

Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft

Anwendungsbeispiele



Impulsprogramm PACER
Bundesamt für Konjunkturfragen

Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft

Seit jeher baut der Landwirt auf Sonnenenergie: Er nutzt die Kraft der Sonne indirekt, indem er aus Biomasse Nahrung für Mensch und Tier produziert, und er nutzt sie direkt bei der Gastrocknung im Freien für die Futteraufbereitung und -konservierung. Bis weit ins 20. Jahrhundert hinein benötigte der Bauer rund einen Viertel seiner Fläche für die Bereitstellung der Energie des betriebseigenen Verbrauchs und weiterer Grundstoffe des täglichen Bedarfs.

Die Nutzung von Erdöl, Erdgas und Kohle, also von nicht erneuerbaren Energien, hat auf landwirtschaftlichen Betrieben nicht nur zur Verdrängung interner Kreisläufe geführt, sondern ebenso zu massiven Umweltbelastungen. Der Einsatz erneuerbarer Energien wie Sonnenenergie (Photovoltaik und Sonnenkollektoren), Windenergie und Energie aus Biomasse (Biogas, Holz, pflanzliche Rohstoffe) könnte die Umweltbelastung reduzieren. Der Landwirtschaftsbetrieb eignet sich traditionellerweise zu deren Nutzung.

Die LehrerInnen von heute unterrichten die LandwirtInnen von morgen. Sie können wesentlich auf Denkmuster und Wertvorstellung einwirken. An diese Lehrkräfte – aber auch an alle anderen Interessierten – richtet sich die Dokumentation zum gleichnamigen Video «Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft»). Sie ist speziell für die Schule konzipiert und bietet mit Kopiervorlagen sowie prägnanten Zusammenfassungen ideale Unterrichtshilfen. Der ausführliche Informationstext vermittelt den LehrerInnen genügend Hintergrundwissen, um die Thematik vertieft zu behandeln. Als Einstieg eignet sich das Video «Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft»), (Bestell-Nr. Video 724.222 d, Fr. 25.-, VHSPAL 15).

Die Dokumentation behandelt die Bereiche Biogas, Sonnenkollektoren für die Heubelüftung, Photovoltaikanlagen und Kleinstwasserkraftwerke zur Stromerzeugung

sowie nachwachsende Rohstoffe für die Treibstoffproduktion. Sie umfasst Grundkenntnisse über die Techniken erneuerbarer Energien und deren Entwicklungsstand und zeigt die Bestandteile der verschiedenen Anlagen sowie Berechnungen auf. Zudem sind Praxisbeispiele und Wirtschaftlichkeitsrechnungen angeführt. Die wichtigsten Punkte des Fliesstextes finden sich in kurzen Zusammenfassungen am Schluss der vorliegenden Broschüre für die Herstellung von Folien für den Unterricht wieder, verdeutlicht mit Zeichnungen und Grafiken.

1992 724.222.1 d

ISBN 3-905232- 04-9

Autoren (Dokumentation)

Dr. Urs Baserga, INFOSOLAR, 8356 Tänikon
Franz Nydegger, FAT, 8356 Tänikon
Pierre Renaud, Planair, 2314 La Sagne

Trägerschaft

INFEL Informationsstelle für Elektrizitätsan-
Wendung

Redaktion

Dr. Urs Baserga, INFOSOLAR, 8356 Tänikon

Fachliche Beratung (Video-Film)

Dr. Urs Baserga, INFOSOLAR, 8356 Tänikon
Franz Nydegger, FAT, 8356 Tänikon
Dr. Arthur Wellinger, INFOSOLAR, 8356 Tänikon

Gestaltung

APUI, Hochfeldstr. 113, 3000 Bern 26

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, November 1991

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe
erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen-
und Materialzentrale, Bern (Best.Nr. 724.222.1d)

Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990-1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP BAU -Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL- Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER - Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitskapital.

Im Zentrum der Aktivität von PACER steht die Förderung verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien. Bis heute ist der Beitrag der erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Wasserkraft trotz des beträchtlichen Potentials sehr gering geblieben. Das Programm PACER soll deshalb

- die Anwendungen mit dem besten Kosten-/ Nutzenverhältnis fördern,
- den Ingenieuren, Architekten und Installateuren die nötigen Kenntnisse vermitteln,
- eine andere ökonomische Betrachtungsweise einführen, welche die externen Kosten (Umweltbelastung usw.) mit einbezieht sowie
- Behörden und Bauherren informieren und ausbilden.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele von PACER durch Aus- und Weiterbildung sowie Information. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Zielpublikum sind vor allem Ingenieure, Architekten, Installateure sowie Angehörige bestimmter spezialisierter Berufszweige aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Die Verbreitung allgemeiner Information ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Programmes. Sie soll Anreize geben bei Bauherren, Architekten, Ingenieuren und Behördenmitgliedern.

InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie

erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im Abonnement, auch in französisch und italienisch) beim Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem/r Kurs- oder VeranstaltungsteilnehmerIn wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Diese Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen direkt bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch SpezialistInnen auch die Beachtung der Schnittstellen sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus VertreterInnen der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten zur Förderung der erneuerbaren Energien sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Jean-Bernard Gay, Dr. Charles Filleux, Jean Graf, Gaby Roost, Dr. Arthur Wellinger, Irene Wüllemmin, BfK) begleitet durch Eric Mosimann, BfK, verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Arbeitsgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Hinweise zur vorliegenden Dokumentation

Die Dokumentation richtet sich in erster Linie an Lehrkräfte, die den Video-Film Erneuerbare Energie in der Landwirtschaft als Einstieg in die Thematik verwenden. In der Dokumentation werden weitergehende Basisinformationen für die Unterrichtsgestaltung geliefert.

In der inneren Spalte werden die im Film gezeigten Verfahren in Form eines allgemeinverständlichen Fachartikels beschrieben, während in der äusseren Spalte die wichtigsten Merkmale und Stichworte in Kästchen zusammengefasst sind. Zu jedem Themenbereich sind am Ende jedes Kapitels

Kopiervorlagen mit Skizzen, Tabellen und Abbildungen zusammengestellt, die LehrerInnen als Unterrichtshilfe für die Hellraumprojektion oder als Kopiervorlage für die Abgabe an die SchülerInnen verwenden kann.

Neben dem Einsatz für den Unterricht eignet sich die Dokumentation auch als allgemeinverständliche Informationsbroschüre für den interessierten Laien.

Nach einer Vernehmlassung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die AutorInnen freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Bei der Anwendung der Publikation sich

zeigende Unzulänglichkeiten können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfüragen oder der verantwortliche Redaktor (vgl. S. 2.) entgegen.

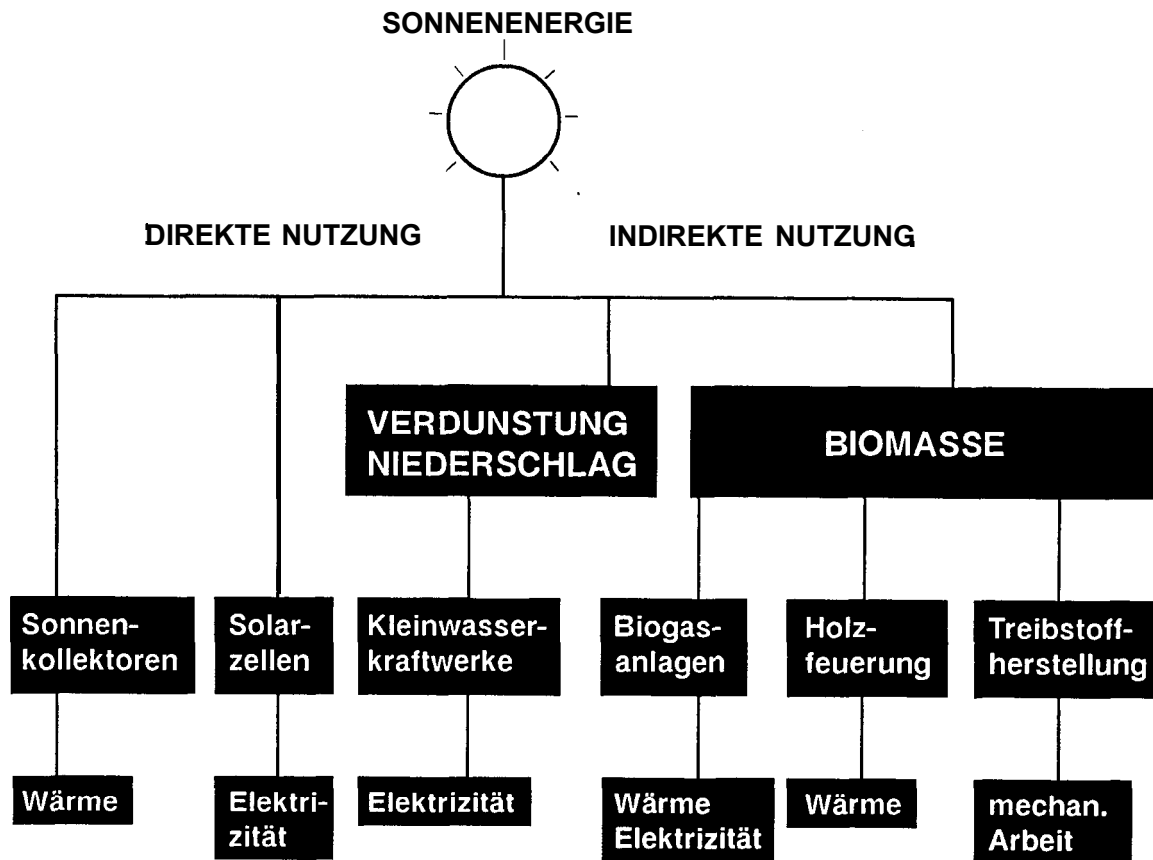
Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen dieser Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

Dr. H. Kneubühler
Stv. Direktor des Bundesamtes für Konjunkturfüragen

Inhalt

Einleitung	7
Erneuerbare Energie	8
Die Sonnenenergie	8
Energie und Umwelt	8
Biogasanlagen	11
Die Methangärung	12
Komponenten einer Biogasanlage	13
Der Fermenter	13
Das Gasnetz	15
Die Gasnutzung	17
Die Biogasgülle	17
Sonnenkollektoren für die Heubelüftung	23
Funktionsweise des Sonnenkollektors	24
Der Sonnenkollektor für die Heubelüftung	26
Schlüsselzahlen für die Planung	26
Ideale Luftführung	27
Montage des Unterzugs	29
Photovoltaikanlagen	35
Globalstrahlung	36
Solarzellen	36
Komponenten einer Solarzellenanlage	39
Praxisbeispiel	40
Kleinstwasserkraftwerke	47
Funktionsprinzip	48
Die Turbine	48
Der Generator	49
Komponenten eines Kleinstwasserkraftwerkes	50
Energiebedarf eines Alpbetriebes	50
Kosten	52
Nachwachsende Rohstoffe	57
Pflanzen als Energiespender	58
Rapsöl als Dieseltreibstoff	59
Produktion von Rapsmethylester	60
Vergleichsmessungen	60
Energiebilanz	61
Wirtschaftlichkeit	62
Publikationen PACER	67

Einleitung



Erneuerbare Energie	8
Sonnenenergie	8
Energie und Umwelt	8

Einleitung

Erneuerbare Energie

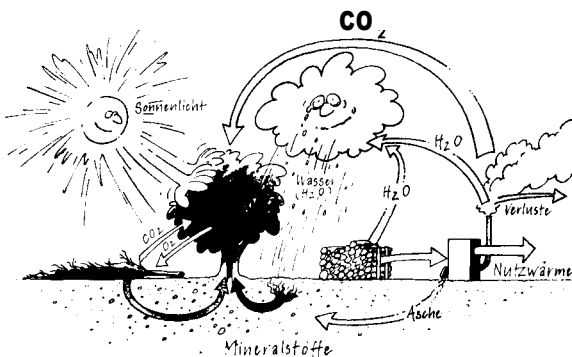
Als erneuerbare Energien gelten:

- Sonnenenergie
- Wasserkraft
- Windenergie
- Energie aus Biomasse

sowie im weiteren Sinn

- Gezeitenenergie
- geothermische Energie

Geschlossener CO₂-Kreislauf



Heizen im Kreislauf der Natur am Beispiel der Brennholzverwertung: Die in den Wäldern heranwachsenden Bäume benötigen gleich viel CO₂ zur Bildung ihrer Holzsubstanz wie bei deren Verbrennung freigesetzt wird. Bei der Verwendung erneuerbarer Energien wird die Atmosphäre nicht mit zusätzlichen CO₂-Emissionen belastet.

Erneuerbare Energie

Als erneuerbare Energie bezeichnet man alle Energieformen, welche direkt oder indirekt der in einem überblickbaren Zeitraum eingefallenen Sonnenbestrahlung entstammen: Sonnenenergie (Photovoltaik, Sonnenkollektoren), Windenergie, Energie aus Biomasse (Biogas, Energieholz, Treibstoffe aus pflanzlichen Rohstoffen) sowie die Wasserkraft. Im weiteren Sinn wird auch die geothermische- und die Gezeitenenergie zu den erneuerbaren Energien gezählt. Als nicht erneuerbar werden dagegen alle Energieformen bezeichnet, deren Ursprung in den vor Jahrmillionen entstandenen Steinkohle-, Erdöl- und Erdgasvorkommen sowie in uranhaltigen Gesteinen liegt. Die weniger alten Rohstoff-Vorkommen wie Braunkohle und Torf werden ebenfalls dazugezählt.

Die Sonnenenergie

Die Sonnenenergie stammt aus dem fortwährenden Kernverschmelzungsprozess der Sonne. Dabei verschmelzen Wasserstoffatome zu Heliumatomen bei Temperaturen von rund 100 Millionen Grad Celsius. Ein grosser Teil der dabei frei werdenden Energie strahlt als sichtbares Licht ab. Pro m² Sonnenoberfläche sind dies rund 60 Megawatt. Die Leistung von 10 m² Sonnenoberfläche entspricht derjenigen eines mittleren Kernkraftwerkes. Ein grosser Teil dieser Leistung verliert sich im Weltall, es erreichen aber immer noch rund 1.4 kW/m² unsere Erdatmosphäre. Je nach Bewölkung trifft letztlich eine Sonneneinstrahlung von 0 - 1000 W/pro m² auf die Erdoberfläche. An einem 10-stündigen Schönwettertag während den Monaten Mai bis September liefert die Sonne im Mittel-land zirka 6.5 kWh Energie pro m² Erdoberfläche.

Energie und Umwelt

Die stürmische wirtschaftliche Entwicklung der letzten Jahrzehnte hat in den Industrienationen zu einer erheblichen Verbesserung des Wohlstandes geführt. Der stark gestiegene Energiekonsum brachte dem Menschen z.B. eine grosse Unabhängigkeit von Klima und Jahreszeit durch Heizen und

Klimatisieren im Wohn- und Arbeitsbereich, eine weitgehende Unabhängigkeit von der geographischen Lage durch moderne Kommunikations- und Transportmittel sowie eine starke Erleichterung der körperlichen Arbeit durch den Einsatz von Maschinen und automatischen Herstellungsverfahren.

Heute spüren viele Menschen, dass diese Entwicklung an bestimmte Grenzen stösst. Die einseitige Verwendung der fossilen, nicht erneuerbaren Energieträger hat zu Umweltbelastungen geführt, die globale Ausmasse angenommen haben (Treibhauseffekt, Ozonabbau, Luftverschmutzung). Durch den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien können diese negativen Auswirkungen mittelfristig reduziert werden. Langfristig gesehen müssen die erneuerbaren Energien gezwungenermassen einen viel höheren Stellenwert bekommen, da die Vorräte der fossilen Energieträger irgendwann erschöpft sein werden.

Landwirtschaftliche Anwendungen der Sonnenenergie

Der Bauer nutzt nicht nur traditionell die Sonnenenergie zur Produktion von Biomasse in Form von Nahrungsmitteln für Mensch und Tier, er verwendet sie auch zur Futteraufbereitung und -konservierung (Heutrocknung). Landwirtschaftliche Betriebe eignen sich aber auch in idealer Weise für die Produktion und Anwendung erneuerbarer Energie.

Neben der direkten Nutzung der Sonnenenergie zur Produktion von Wärme und Elektrizität bietet sich auch der indirekte Weg über die Wasserkraft und die Biomasse als Energierohstoff an.

Landwirtschaftliche Anwendungen der Sonnenenergie

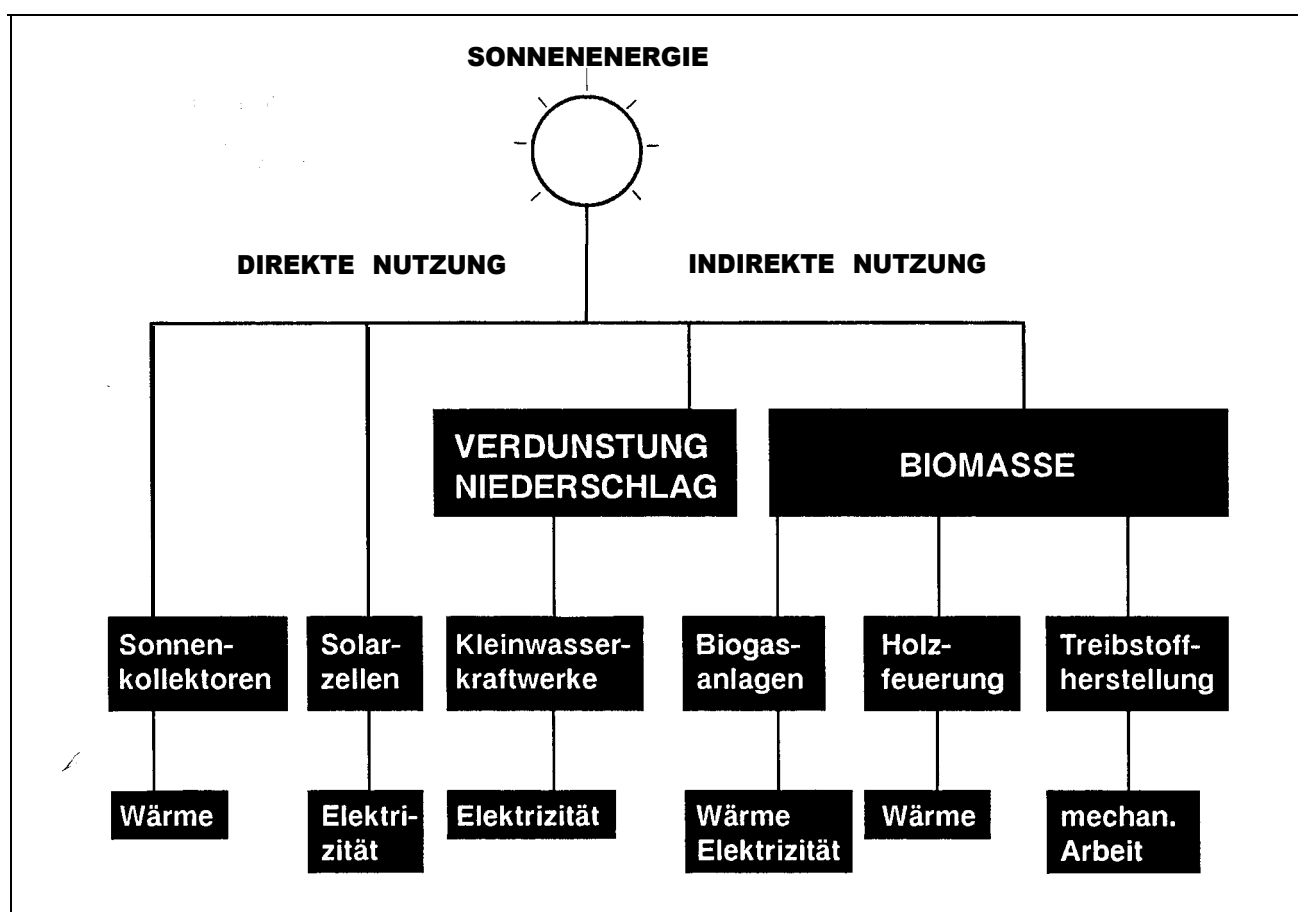
In der Praxis eingeführt sind schon heute über **150 Biogasanlagen** zur Produktion von Biogas aus tierischen Abfallstoffen. Gemessen am Potential von rund 20 000 Anlagen ist deren Verbreitung jedoch noch viel zu gering.

Die **Heubelüftung mittels Sonnenkollektoren**, die schon auf über 1500 Betrieben installiert wurde, ist ein weiteres Beispiel einer praxiserprobten Anwendung der Sonnenenergienutzung in der Landwirtschaft.

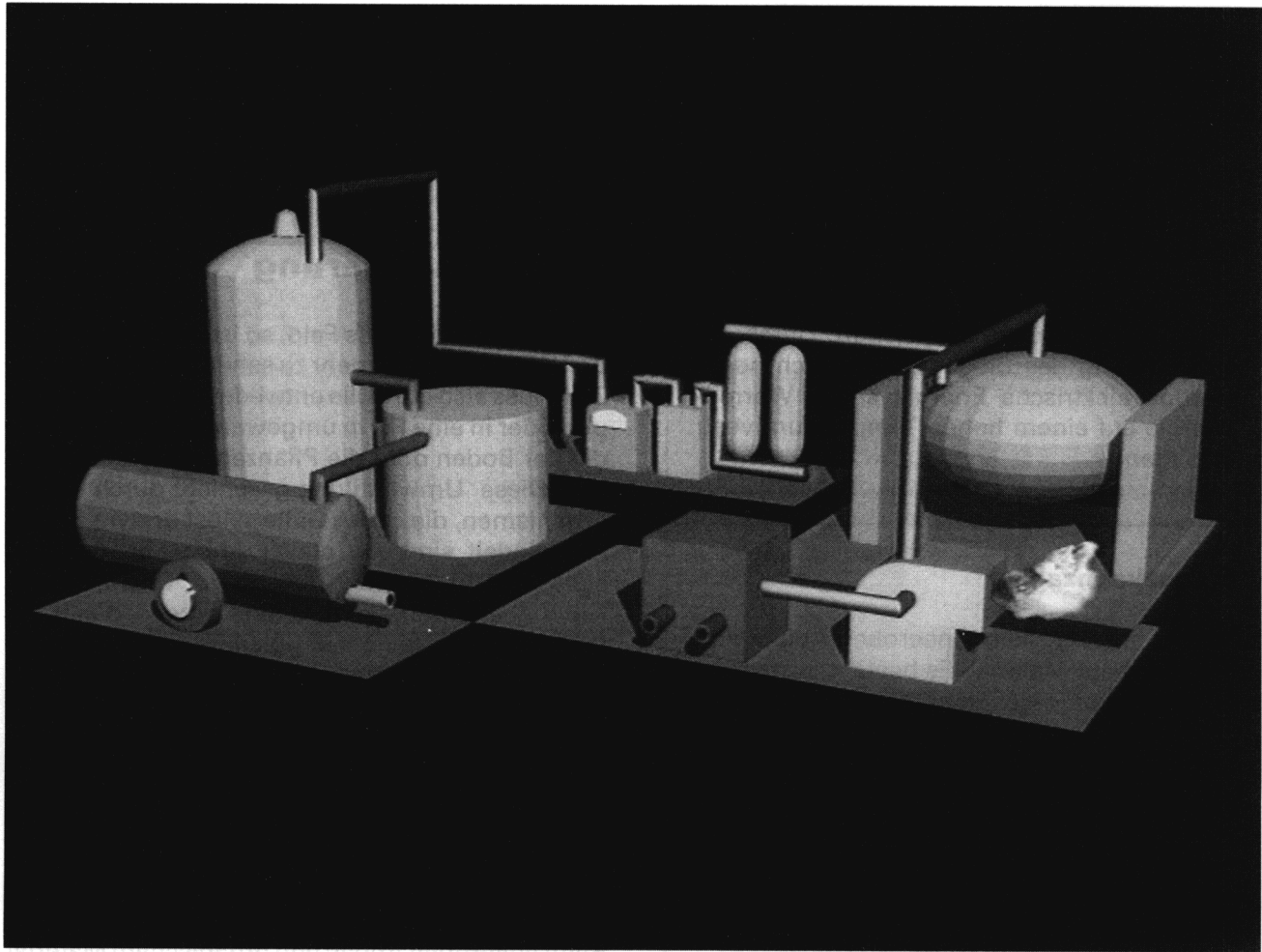
Neuere Techniken, wie die Erzeugung von Elektrizität durch **Solarzellenanlagen** und **Kleinstwasserkraftwerke** können vor allem für Alpbetriebe interessant sein, welche nicht durch das öffentliche Elektrizitätsnetz erschlossen sind.

Ein technisch praxisreifes Beispiel der Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen ist die **Produktion von Rapsöl**, welches zu **Dieseltreibstoff** verarbeitet wird. Als weitere Nutzungsmöglichkeit ist die Alkoholproduktion aus stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen zu erwähnen.

Nutzungsmöglichkeiten der Sonnenenergie in der Landwirtschaft



Biogasanlagen



Die Methangärung	12
Komponenten einer Biogasanlage	13
Der Fermenter	13
Das Gasnetz	15
Die Gasnutzung	17
Die Biogasgülle	17

Biogasanlagen

Aerober Abbau

Die in der Biomasse gespeicherte Energie wird als Niedertemperatur-Abwärme freigesetzt (Selbsterhitzung einer Kompostmiete).

Anaerober Abbau

Rund 90% der Energie des Ausgangssubstrates bleibt im Biogas gespeichert. Durch die Verbrennung des Biogases lässt sich hochwertige elektrische Energie sowie Wärmeenergie auf einem hohen Temperaturniveau erzeugen.

Biogaskennzahlen

Biogas entsteht beim anaeroben Abbau von organischem Material. Es besteht aus einem Gemisch von folgenden Komponenten:

60-70% Methan (CH_4)
30-35% Kohlendioxid (CO_2)
1-5% Wasserdampf

sowie Spuren von

Schwefelwasserstoff (H_2S)
Stickstoff (N_2)
Wasserstoff

Heizwert: 21.5 MJ/m^3
 1 m^3 Biogas entspricht ca. 0.6 l Heizöl

Im Gemisch mit Luft ist Biogas explosiv. Der Zündbereich liegt bei 5 – 12 Vol.-% Methan in Luft.

Die naheliegendste erneuerbare Energie, welche durch die indirekte Sonnenenergienutzung erzeugt wird, ist die Produktion von Biogas aus tierischen und pflanzlichen Abfällen. In der Schweiz gibt es bereits über 150 Betriebe mit einer Biogasanlage.

Die Methangärung

Bringt man Gülle aufs Feld, so ist davon in ein bis drei Wochen nichts mehr zu sehen. Im Laufe dieser Zeit muss also die Gülle entweder zu Gas abgebaut und/oder in eine Form umgewandelt worden sein, die der Boden oder die Pflanzen aufnehmen können. Diese Umwandlung geschieht durch Mikroorganismen, die in der Gülle selbst und im Boden angesiedelt sind. Da dieser Abbau an der Luft stattfindet, nennt man ihn aerob. Gibt man die Gülle anstatt aufs Feld in eine Biogasanlage, so findet ebenfalls eine mikrobielle Umsetzung statt, nur diesmal unter Ausschluss von Luft. Man nennt deshalb die Biogasproduktion einen anaeroben Prozess. Analog zu den unterschiedlichen Abbauebenen hat man die daran beteiligten Mikroorganismen bezeichnet. Man unterscheidet die aeroben Bakterien, die nur in Gegenwart von Sauerstoff wachsen können, und die anaeroben Bakterien, die sich nur unter Luftausschluss vermehren.

Beim anaeroben Abbau von organischem Material werden komplexe organische Verbindungen durch das Zusammenwirken verschiedener Bakterienpopulationen in ihre niedermolekularen Bausteine zerlegt und letztlich zu Biogas - einem Gemisch von Methan (60-70%) und Kohlendioxid (30-35%) - umgesetzt. Die eigentlichen methanbildenden Bakterien sind dabei das letzte Glied dieser Abbaukette. Im Gegensatz zum aeroben Abbau, wo die in der Biomasse gespeicherte Energie als Niedertemperatur-Abwärmefrei wird (Selbsterhitzung einer Kompostmiete), sind rund 90 % dieser Energie im Methan enthalten.

Biogas entsteht in der Natur z.B. am Grund von Seen und Sümpfen (Irrlichter sind entzündetes Biogas), in Sedimenten oder im Pansen von Wiederkäuern.

Technisch wird die Methangärung zur Reinigung organisch belasteter Abwässer und zur Stabilisierung von Abwasserschlämmen genutzt. Bei der landwirtschaftlichen Anwendung steht die Energieproduktion im Vordergrund: Mit der Verbrennung des Biogases lässt sich hochwertige elektrische Energie sowie Wärme auf einem höheren Temperaturniveau als beim aeroben Abbau erzeugen. In der Natur wird in einem Temperaturbereich von 0-100°C Methan gebildet. Bei niederen Temperaturen ist jedoch die Gasproduktionsrate sehr klein. Da biochemische Umsetzungen in der Regel mit zunehmender Temperatur schneller ablaufen, werden Biogasanlagen zur Erhöhung der Gasproduktionsrate beheizt.

Komponenten einer Biogasanlage

Die technischen Installationen einer Biogasanlage setzen sich aus den Elementen Produktion (Fermenter), Sicherheit und Speicherung (Gasnetz) sowie der Gasumwandlung (Nutzung) zusammen.

Der Fermenter

Der Gärbehälter

Das Herzstück jeder Biogasanlage bildet der Gärbehälter, in welchem die anaerobe Vergärung bzw. die Biogasproduktion stattfindet. Grundsätzlich können zwei Bauweisen unterschieden werden: Die Überflur und die Unterflur erstellten Anlagen. Als Baumaterialien werden Beton, Stahl, glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) und auch Holz verwendet. Für Überfluranlagen eignen sich all diese Materialien, während Unterfluranlagen aus Gründen des Gewässerschutzes ausschliesslich aus Beton gefertigt sind.

Durchflussanlagen

Die Mehrzahl dieser Anlagen arbeitet nach dem sogenannten Durchflussverfahren, bei welchem die zugegebene Frischgülle eine identische Menge vergorener Gülle aus dem Gärbehälter verdrängt. Diese Durchflussanlagen werden fast durchwegs im mesophilen Temperaturbereich, d.h. bei Gärtemperaturen zwischen 26 und 35°C betrieben. Die durchschnittliche Verweilzeit der Gülle im Gärbehälter liegt je nach Anlagentyp zwischen 20 und 25 Tagen.

Komponenten des Fermenters

Der wichtigste Teil einer Biogasanlage ist der Fermenter, wo die anaerobe Vergärung und die Biogasproduktion stattfindet. Er besteht aus folgenden Komponenten:

- Gärbehälter
- Rührwerk
- Heizsystem

Richtwerte für Verweilzeiten und Gasausbeuten

	Durchfluss-anlage Gärtemperatur 30°C	Speicher-anlage Gärtemperatur 22°C
Kuhgülle		
Verweilzeit	20d	40d
Gasausbeute	210 l/kgOS	210 l/kgOS
Kuhgülle mit Einstreu		
Verweilzeit	23-25d	46-50d
Gasausbeute	270 l/kgOS	270 l/kgOS
Mastrindergülle		
Verweilzeit	18d	36d
Gasausbeute	350 l/kgOS	400 l/kgOS
Schweinegülle		
Verweilzeit	15d	30d
Gasausbeute	430 l/kgOS	480 l/kgOS

Tägliche Produktion von Gülle und organischer Substanz einiger ausgewählter Nutztiere

	Gülle- menge	Organi- sche Substanz
Rinder		
Milchkuh (625 kg)	60 l	4.8 kg
Mastrind (320 - 500 kg)	25 l	2.2 kg
Mastkalb (45 - 135 kg)	12 l	0.1 kg
Mastschweine		
15-27 kg	3.0 - 4.5 l	0.22 kg
27 - 68 kg	3.9 - 7.5 l	0.22 kg
68-100 kg	5.8 - 8.6 l	0.22 kg
Geflügel		
Legehennen (2.3 kg)	0.14 kg	0.025kg

Funktion des Rührwerkes

Das Rührwerk hat zwei Aufgaben zu erfüllen:

- Durchmischung der zugeführten Frischgülle mit der biologisch aktiven Gärgülle
- Verhinderung von Schwimmdecken- und Sedimentbildung

Speicheranlagen

Einige Anlagen sind als sogenannte Speichersysteme ausgeführt, bei welchen der Gärbehälter gleichzeitig als Lagergrube konzipiert ist. Dabei wird die Gülle wie bei den Durchflussanlagen intervallmässig beschickt. Der Austrag erfolgt jedoch nichttäglich, sondern bei Bedarf der Gülle als Dünger auf dem Feld. Da die Verweilzeit solcher Anlagen, bedingt durch das grössere Gärvolumen, höher ist als bei herkömmlichen Durchflussanlagen, kann die Gärtemperatur tief gehalten werden. In der Regel werden Speicheranlagen bei Temperaturen zwischen 16 und 22°C betrieben. Die Verweilzeit beträgt - je nach Lagerbedarf - 40 bis 150 Tage.

Gasproduktion und Gasausbeute

Die Gasproduktion einer Biogasanlage wird einerseits durch die täglich anfallende Güllemenge und Güllezusammensetzung sowie durch die Prozessgrössen des Biogasfermenters bestimmt. Im wesentlichen sind dies die Verweilzeit der Gülle im Fermenter und die Gärtemperatur. Die Verweilzeit ergibt sich aus der Division des Fermenternutzvolumens durch das täglich anfallende Güllevolumen. Zur Berechnung des zu erwartenden Biogas-Potentials eines Landwirtschaftsbetriebes verwendet man die anfallende Menge an organischer Substanz und die Gasausbeute. Als Gasausbeute wird die Biogasmenge, die aus einem Kilogramm organischer Substanz produziert werden kann, bezeichnet. Sie hängt, wie oben beschrieben, von der Gülleart und den Prozessparametern der Anlage ab.

Das Rührwerk

Das Rührwerk hat die Aufgabe, den Gärbehälterinhalt zu durchmischen (Wermischung der zugeführten Frischgülle mit der mikrobiologisch aktiven Gärgülle) und die Ausbildung von Schwimmdecken und Sedimenten zu verhindern. Für landwirtschaftliche Biogasanlagen haben sich langsam drehende Haspel- und Paddelrührwerke bewährt, welche intervallmässig betrieben werden. Die Intensität der Durchmischung (Rührintervall) hängt in erster Linie von der Neigung des Substrates zur Schwimmdecken- und Sedimentbildung ab. Je schneller sich eine Schwimmdecke oder ein Sediment ausbildet, desto häufiger muss gerührt werden.

Das Heizsystem

Für die meisten Biogasanlagen ist eine Fermenterheizung notwendig, um die Frischgülle auf die erforderliche Gärtemperatur zu bringen und die Abstrahlverluste zu kompensieren. Die Wärmeübertragung erfolgt in der Regel über innenliegende Heizwände oder Kunststoffrohre. Bei mesophilen Durchflussanlagen muss, je nach Isolationsstärke, im Jahresdurchschnitt rund ein Drittel des produzierten Biogases für die Fermenterheizung aufgewendet werden, so dass für die effektive Gasnutzung noch zwei Drittel der Bruttogasproduktion verbleiben.

Das Gasnetz

Biogas besteht im wesentlichen aus rund 60% Methan und 35% Kohlendioxid. Daneben entstehen - abhängig vom Substrat - Spuren des giftigen Schwefelwasserstoffes sowie etwas Stickstoff. Da das Gas den Fermenter wasserdampfgesättigt verlässt, sind je nach Gärtemperatur rund 1 bis 5% Wasser im Biogas enthalten. Für die problemfreie Nutzung des Biogases in stationären Motoren und Heizgeräten sind zwischen dem Fermenter und dem Verbraucher verschiedene Sicherheitsarmaturen und, falls erforderlich, Gasreinigungssysteme anzubringen.

Sicherheitsarmaturen

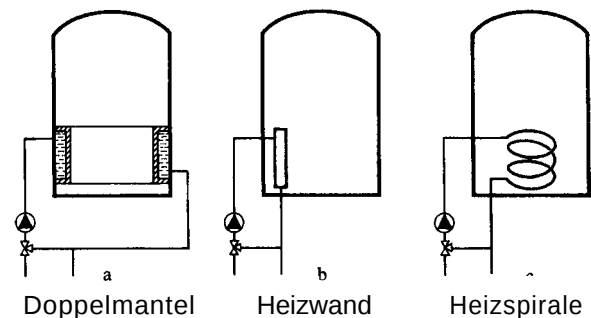
Damit der Gärbehälter keinen übermässigen Belastungen ausgesetzt wird, muss mindestens eine Überdruck- und eine Unterdrucksicherung vorhanden sein. Dies geschieht in der Regel mit einer Abtauchung, einem Syphon oder einem Sicherheitsventil. Im weiteren müssen vor dem Verbraucher Flammenrückschlagsperren eingebaut werden. Die dafür verwendeten Kiesfilter dienen auch als Kondensatabscheider und wirken zusätzlich als Grobfilter.

Gasentschwefelung

Immer häufiger werden für die Aufbereitung des Biogases Entschwefelungsanlagen eingesetzt. Je nach Verwendungszweck kann der Schwefelwasserstoff äusserst unangenehme Folgen haben: Ausbreitung des giftigen Schwefeldioxides bei Verwendung des Biogases als Kochgas, Bildung

Fermenterheizsysteme

Rund 30-35% des produzierten Biogases (Bruttogasproduktion) müssen für die Fermenterheizung aufgewendet werden.



Komponenten des Gasnetzes

Sicherheits- und Messarmaturen:

- Über- und Unterdrucksicherung
- Flammenrückschlagsicherung
- Gasuhr

Gasaufbereitung:

- Kondensatabscheider
- Gasentschwefelung

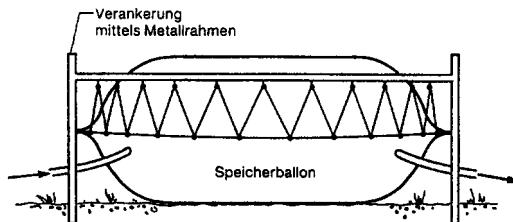
Gasspeicherung:

Gasballon

Heizwerte verschiedener Energieträger

Heizöl, extra leicht	42.7	MJ/kg
Erdgas	33.8	MJ/m ³
Propan, Butan	46.0	MJ/m ³
Biogas, 60% Methan	21.5	MJ/m ³
Laubholz, 15% Feuchte	7190	MJ/Ster
Nadelholz, 15% Feuchte	5420	MJ/Ster
Holzsnitzel, 35% Feuchte	3725	MJ/Sm ³

Der Gasballon



von Schwefelsäurekondensat bei der Verwendung in Heizgeräten mit der Gefahr der Korrosion in Heizgerät und Kamin.

Die am häufigsten verwendeten Entschwefelungsanlagen arbeiten nach dem Prinzip der trockenen Adsorption mit Eisenoxid. Bei diesem als Chemosorption bezeichneten Reinigungsverfahren geht der Schwefelwasserstoff eine chemische Bindung mit dem Eisenoxid ein und bildet Eisensulfid. Durch Zugabe von Luftsauerstoff wird das Eisensulfid wieder zu Eisenoxid (Regeneration) und es bildet sich elementarer Schwefel. Nach mehrmaligen Beladen und Regenerieren muss die Eisenoxidmasse ersetzt werden. Dies geschieht in der Regel einmal jährlich.

Der Gasspeicher

Bei regelmässiger Beschickung einer Biogasanlage fällt das Gas kontinuierlich an, wogegen der Gasverbrauch je nach Verwendungsart stark schwanken kann. Damit das überschüssige Gas nicht ungenutzt abgelassen werden muss, ist ein Gasspeicher notwendig. Aufgrund des geringen Energieinhaltes des Biogases - ein Liter Heizöl entspricht rund 1500 l Biogas - ist die Speicherkapazität jedoch nur auf den Ausgleich kurzfristiger Schwankungen beschränkt. Die Grösse des Speichers richtet sich nach der Abweichung zwischen Gasproduktion und Verbrauch. Üblicherweise beläuft sich das Speichervolumen auf ein bis zwei Tagesproduktionen der Biogasanlage.

Für landwirtschaftliche Biogasanlagen kommen fast ausschliesslich Niederdruckspeicher zur Anwendung. Druckgasspeicher (Komprimierung/Verflüssigung) fallen aus Kostengründen nicht in Betracht. Der am häufigsten verwendete Biogas-Speicher ist der Gasballon aus gewebeverstärktem Kunststoffmaterial. Solche Gasballone werden in praktisch jeder Grösse bis ca. 300 m³ angeboten. Sie werden meist ohne Betonfundament auf Kiesbeete verlegt und an einem Rohrgestänge befestigt.

Die Gasnutzung

Das produzierte Biogas kann auf unterschiedliche Weise und für unterschiedliche Zwecke verwendet werden. Am häufigsten ist sicher die Verbrennung in einem Heizgerätsurwärmeerzeugung. Bei praktisch allen bestehenden Anlagen wird das Gas primär zu Heizzwecken verwendet, sei es zur Beheizung des Gärbehälters, des Wohnhauses oder des Melkstandessowiezur Erzeugung von Brauchwarmwasser. Weitere angewandte Möglichkeiten sind das Kochen, der Betrieb eines Sterilisators in der Schweinemast und die Dampfproduktion in einem Käsereibetrieb. Daneben ist aber auch die gleichzeitige Produktion von Wärme und Strom in Totalenergieanlagen sowie die Verwendung des Biogases als Treibstoff aktuell.

Heizgeräte

Für die Verbrennung von Biogas werden Gasbrenner eingesetzt, die entweder für Erd- oder Stadtgas gebaut sind. Mit geringfügigen Abänderungen lassen sich mit Biogas vergleichbare Wirkungsgrade erreichen wie mit Erdgas.

Wärme - Kraft-Kopplung

In jüngerer Zeit werden auch vermehrt biogasbetriebene Wärme-Kraft Kopplungsanlagen eingesetzt. In der Regel sind dies auf Biogas umgerüstete Otto-Motoren, welche bei einem sehr hohen Wirkungsgrad gleichzeitig Strom und Wärme produzieren. Der Einsatz der Wärme-Kraft-Kopplung bietet den grossen Vorteil, dass überschüssiges Biogas, welches vor allem in den Sommermonaten anfällt, zu Strom umgewandelt und zum Eigenverbrauch genutzt oder ins öffentliche Netz eingespielen werden kann.

Die Biogasgülle

Durch die Vergärung der Gülle werden verschiedene negative Eigenschaften der Frischgülle verbessert oder sogar eliminiert:

Geruch

Durch den anaeroben Abbau werden die geruchsintensiven Stoffe nicht gebildet oder stark abge-

Gasumwandlung und Gasnutzung

Durch den Einsatz verschiedener Energieumwandlungssysteme kann das produzierte Biogas zur Wärmeerzeugung, zur Stromproduktion oder als Treibstoff genutzt werden.

Heizung und Produktion von Brauchwarmwasser:

- Verbrennung des Biogases in einem Gasbrenner zur Wärmeerzeugung

Wärme-Kraft-Kopplung:

- Gleichzeitige Produktion von elektrischem Strom und Wärme in einer Totalenergieanlage (TOTEM)

Treibstoff:

- Verwendung des Biogases als Treibstoff in umgerüsteten Benzin- und Dieselmotoren

Praxisbaispiel

In einem Betrieb mit 25 Milchkühen beträgt die anfallende Güllemenge $1,5 \text{ m}^3$ (25x60 Liter pro Tag). Bei einer geforderten Verweilzeit von 24 Tagen ergibt dies ein Fermenternutz-Volumen von 36 m^3 . Die Gasproduktion errechnet sich nun durch Multiplikation der zugegebenen organischen Substanz (OS) mit der Gasausbeute ($4,8 \text{ kg OS/d} \times 25 \times 0,27 \text{ m}^3/\text{kg OS}$). Die tägliche Bruttogasproduktion der Anlage beläuft sich somit auf $32,4 \text{ m}^3$ Biogas. Nach Abzug der Gasmenge für die Fermenterheizung (rund 30-35% der Bruttogasproduktion) ergibt sich ein jährlicher Nettogasertrag von rund 8000 m^3 , was einer Heizölmenge von 4030 Litern entspricht.

baut, so dass die vergorene Gülle weniger stark riecht als die Frischgülle. So ist bei der Lagerung und Ausbringung von vergorener Schweinegülle eine starke Verminderung der Geruchsemissionen nachzuweisen.

Hygienisierung

Eine inhärente Gefahr bei der Verwertung der Gülle als Dünger besteht in der Übertragung von pathogenen Keimen (Krankheitserreger für Pflanzen und Tiere). Die anaerobe Behandlung der Frischgülle vermag die Mehrzahl solcher Keime wesentlich zu reduzieren.

Homogenisierung

Durch den Abbau der organischen Substanz besitzt die Biogasgülle eine homogenere und feinere Struktur und ist dadurch pump- und fließfähiger.

Nährstoffe

Mit Ausnahme des Schwefels, der in Form von Schwefelwasserstoff nur in Spuren mit dem Biogas entweicht, gehen die in der Frischgülle enthaltenen Nährstoffe nicht verloren. Sie werden z.T. durch die Mineralisation der organischen Stoffe besser pflanzenverfügbar. Einzig beim Stickstoff können beim Ausbringen Verluste infolge der Ammoniakverflüchtigung auftreten, die höher liegen als bei gelagerter Frischgülle. Zusammenfassend kann jedoch festgestellt werden, dass die anaerobe Behandlung von Gülle für die Pflanzenproduktion von kleinerer Bedeutung ist als die Art der Gülle (Herkunft), der Ausbringungszeitpunkt oder deren ausgebrachte Menge. Vergorene Gülle muss deshalb zum Schutz der Umwelt mit derselben Vorsicht angewendet werden wie gelagerte Gülle.

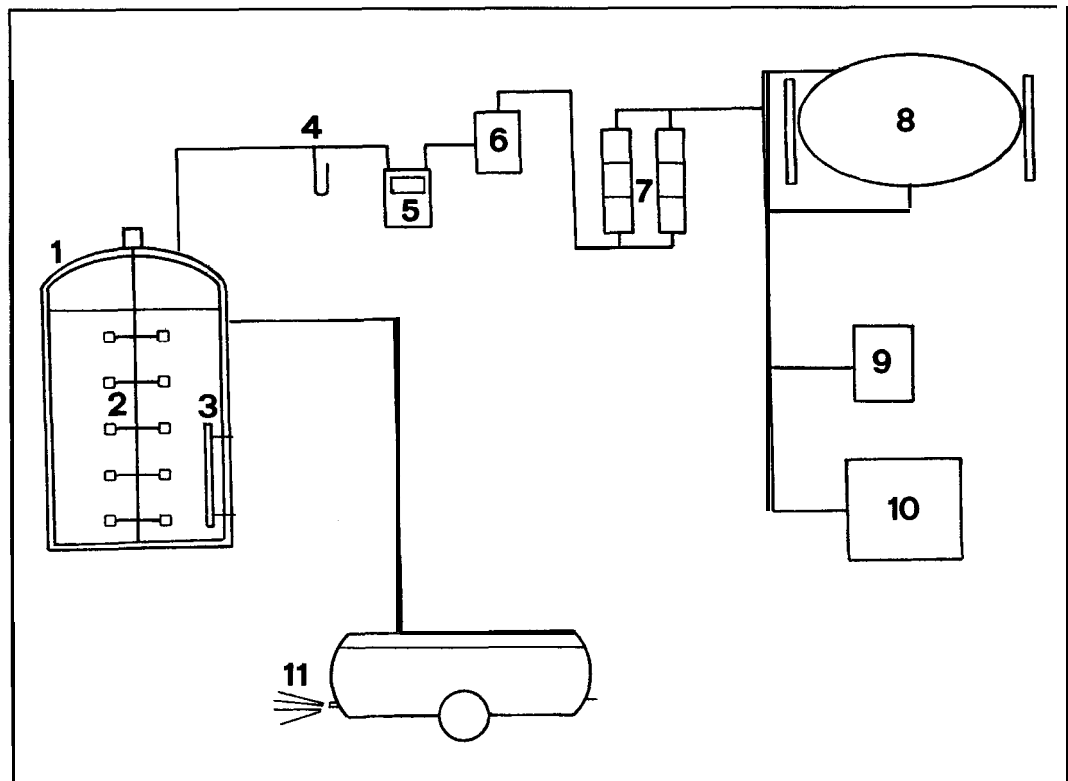
Weiterführende Literatur

Biogas-Handbuch, 2. Auflage, Verlag Wirz AG, Aarau, 1991.

Güllegrube als Biosanlage, FAT-Bericht Nr. 304, 1987

Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft - Planungsgrundlagen. PACER-Dokumentation (BfK), 123 S., 1991 (Best.-Nr. 724.221 d).

Komponenten einer Biogasanlage



Fermenter:

- 1 Gärbehälter
- 2 Rührwerk
- 3 Heizung

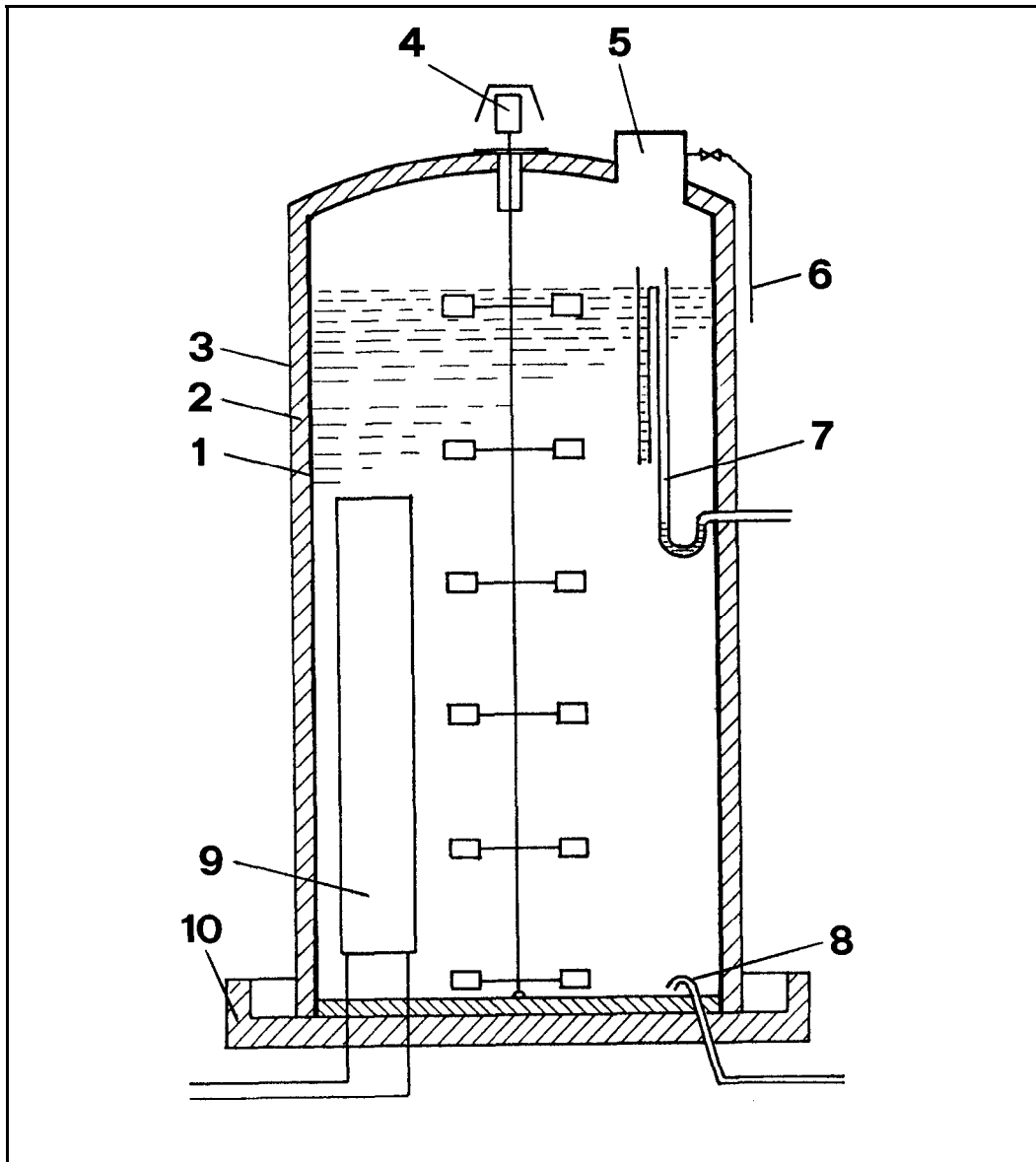
Nutzung:

- 9 Gasheizkessel
- 10 Wärme-Kraft-Kopplung
- 11 Biogasgülle

Gasstrasse:

- 4 Überdrucksicherung
- 5 Gasuhr
- 6 Kiesfilter
- 7 Entschwefelungsanlage
- 8 Speicherballon

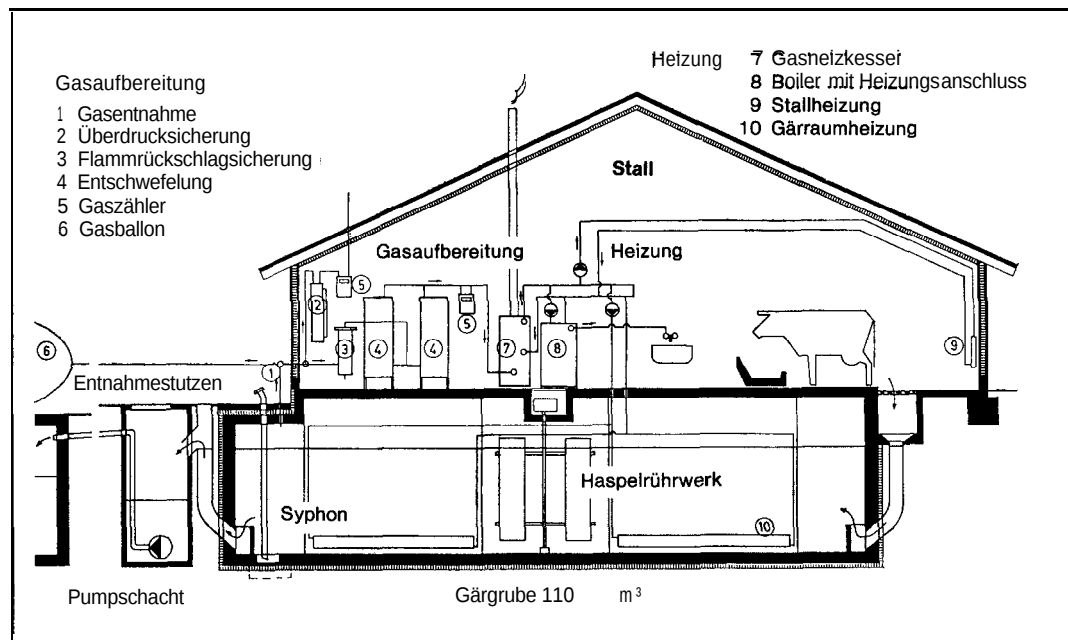
Beispiel einer Durchflussanlage



- 1 Gärbehälter
- 2 Isolation
- 3 Hinterlüftete Fassade
- 4 Paddelrührwerk
- 5 Gasdom

- 6 Gasleitung
- 7 Überlaufleitung
- 8 Beschickungsleitung
- 9 Heizwand
- 10 Fundament

Beispiel einer Speicheranlage



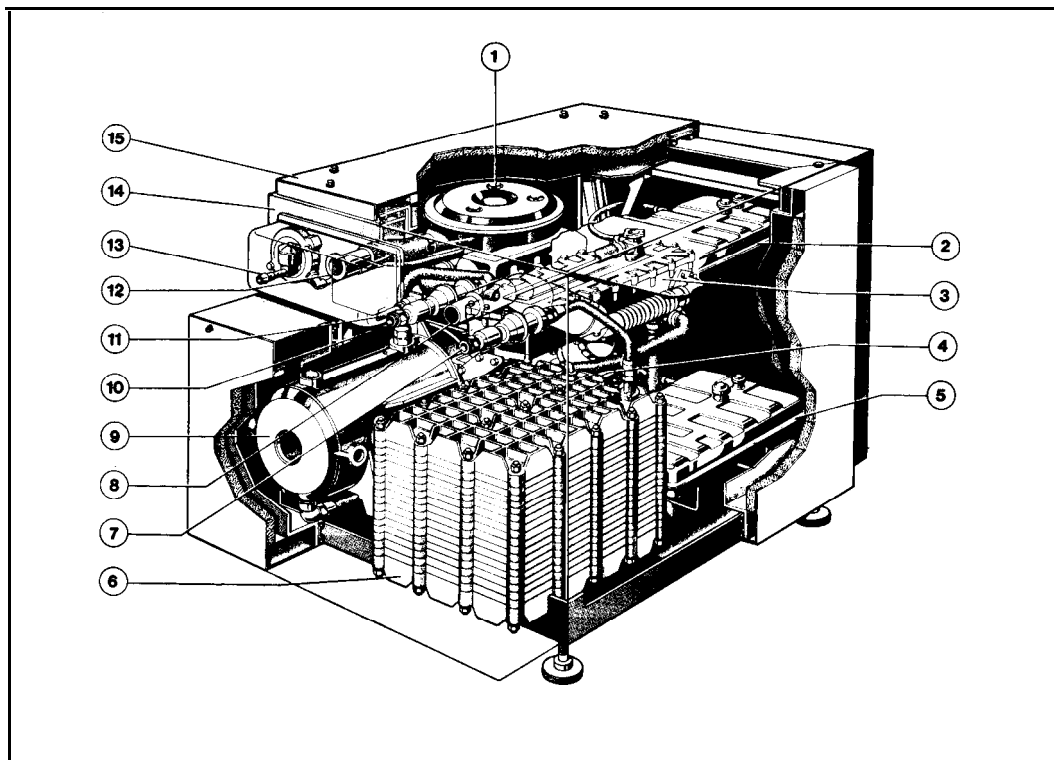
Gasaufbereitung:

- 1 Gasentnahme
- 2 Überdrucksicherung
- 3 Flammrückschlagsicherung
- 4 Entschwefelung
- 5 Gaszähler
- 6 Gasballon

Heizung:

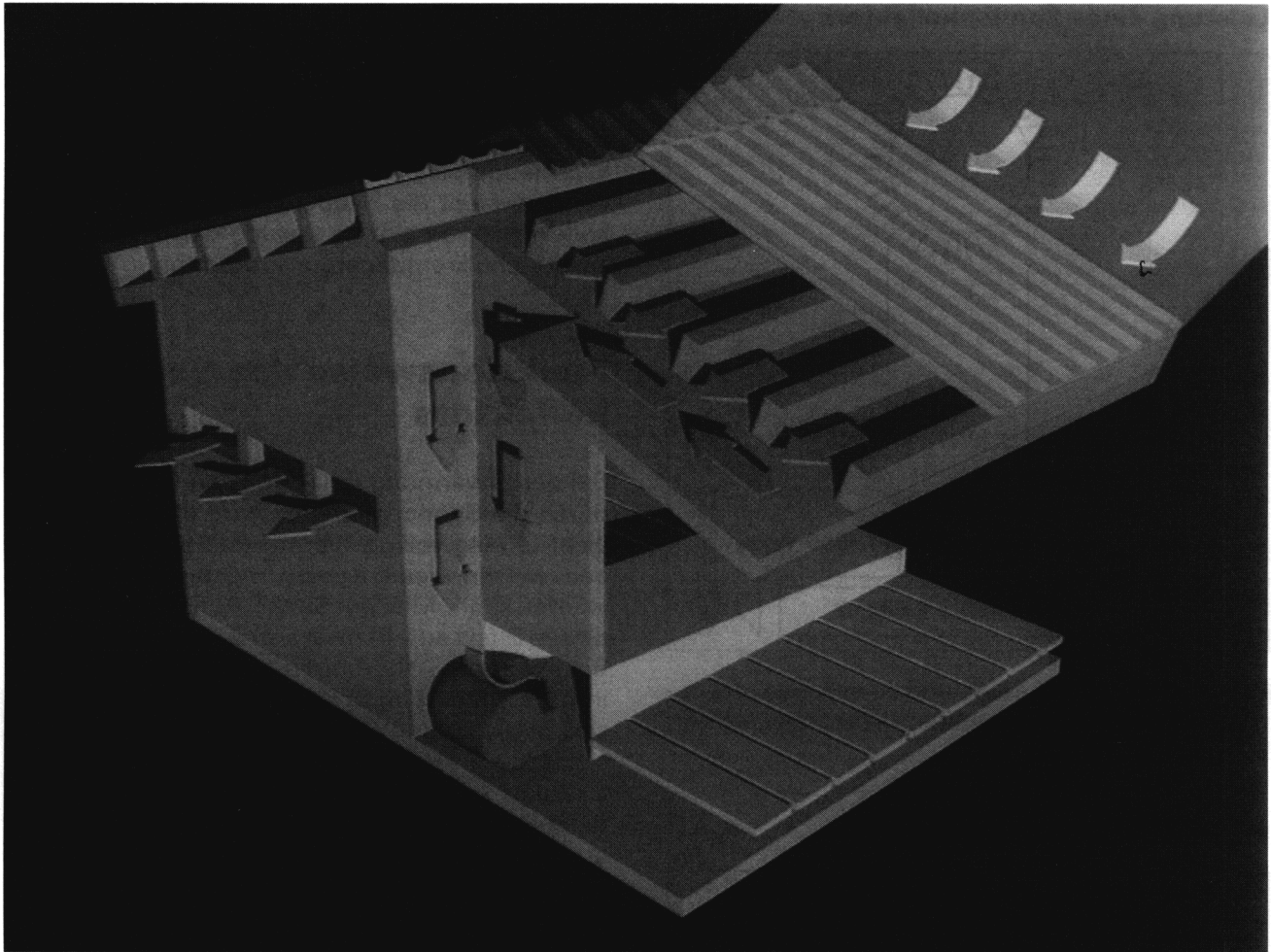
- 7 Gasheizkessel
- 8 Boiler mit Heizungsanschluss
- 9 Stallheizung
- 10 Gärraumheizung

Die Wärme-Kraft-Kopplungsanlage (TOTEM)



- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| 1 PKW-Motor | 9 Generator |
| 2 Wasserbehälter | 10 Kaltwassereinlauf |
| 3 Gas/Wasser-Wärmetauscher | 11 Netzanschluss |
| 4 Öl/Wasser-Wärmetauscher | 12 Lufteintritt |
| 5 Ölbehälter | 13 Gaszufuhr |
| 6 Wasser/Wasser-Wärmetauscher | 14 Tragrahmen |
| 7 Warmwasserauslauf | 15 Isolationsver- |
| 8 Gasablass | Schalung |

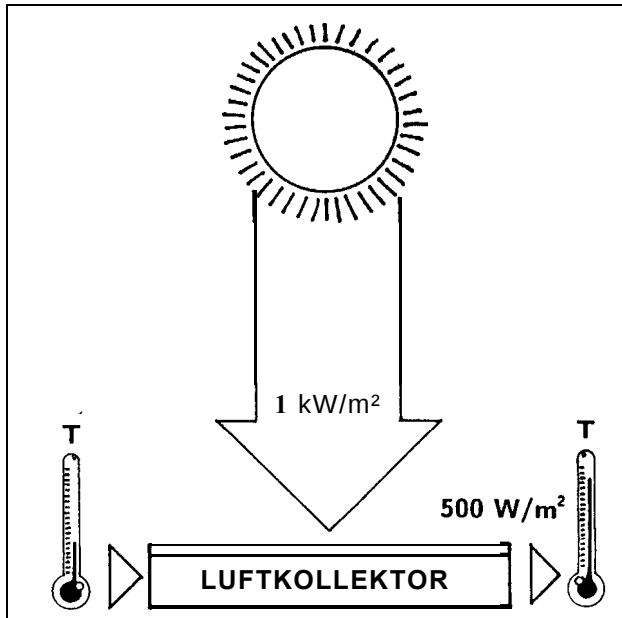
Sonnenkollektoren für die Heubelüftung



Funktionsweise des Sonnenkollektors	24
Der Sonnenkollektor für die Heubelüftung	26
Schlüsselzahlen für die Planung	26
Ideale Luftführung	27
Montage des Unterzugs	29

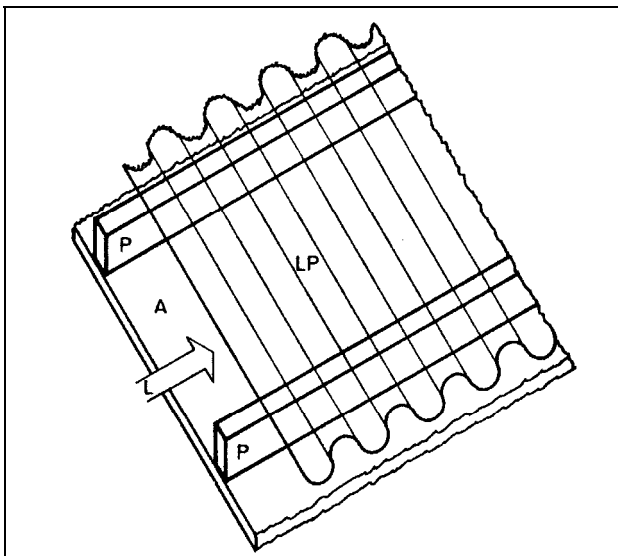
Sonnenkollektoren für die Heubelüftung

Leistung eines Sonnenkollektors



Die durchschnittliche Leistung eines Kollektors beträgt rund 500 W/m^2 was einem Wirkungsgrad von 50% entspricht.

Lichtdurchlässiger Kollektor



P: Pfetten (Dachbalken)

LP: Lichtplatten

A: Absorberplatten (Spanplatte schwarz)

L: Luft

Der grosse Vorteil der Sonnenenergieanwendung für die Heubelüftung liegt darin, dass der Energiebedarf auf die Jahreszeit mit einem hohen Strahlungsangebot der Sonne fällt. Im Gegensatz zu den Heubelüftungsanlagen, welche mittels Ölfen, Wärmepumpen oder Luftentfeuchter betrieben werden, stellt die Heubelüftung mittels Sonnenkollektoren die einzige Lösung dar, welche ohne zusätzliche Fremdenergie auskommt.

Funktionsweise des Sonnenkollektors

Bei der Erwärmung eines dunklen Gegenstandes durch die Sonnenstrahlung wird das kurzwellige Licht in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt, welche wieder an die Umgebung abgegeben werden kann. Mit dem Sonnenkollektor nutzt man diesen Effekt aus. Beim Warmwasserkollektor gibt der erwärmte Absorber die Wärme an eine durch ihn fließende Flüssigkeit ab. Beim Luftkollektor strömt die Luft am Absorber vorbei und erwärmt sich dabei. Es stehen grundsätzlich zwei Luftkollektortypen zur Verfügung: Der Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung und der Kollektor mit dunkler Abdeckung.

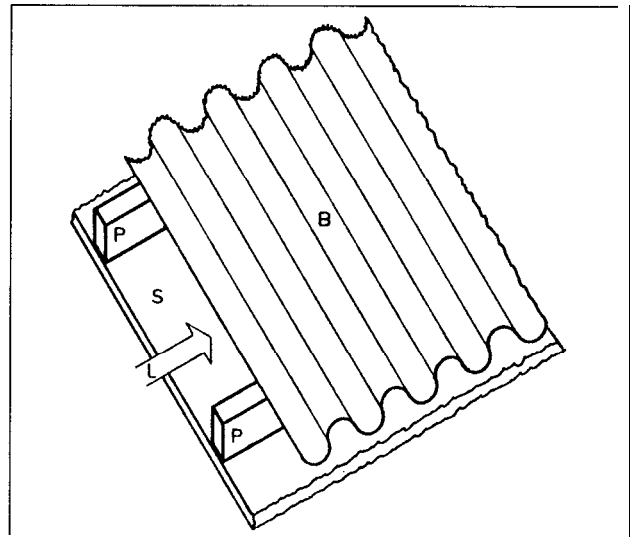
Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung

Der Kollektor mit der lichtdurchlässigen Abdeckung nutzt den sogenannten Treibhauseffekt aus. Die kurzwelligen Sonnenstrahlen dringen durch eine durchsichtige Abdeckung auf die dunkle Absorberplatte. Die entstehende langwellige Wärmestrahlung kann die Abdeckplatte nicht mehr durchdringen. Dadurch kann die eingestrahelte Energie gut ausgenutzt werden, da die Abstrahlung an die Umgebung gering bleibt.

Kollektor mit dunkler Abdeckung

Beim Kollektor mit dunkler Abdeckung fällt die von den Sonnenstrahlen erzeugte Wärme auf der Abdeckung an. Sie kann somit an die Aussenluft wie auch an die durch den Kollektor strömende Luft abgegeben werden. Die Wärmeübertragung vom Absorber an die vorbeiströmende Luft erfolgt hauptsächlich durch Konvektion (Wärmeleitung). Deshalb ist eine gute Verwirbelung der Luft in den Kollektorkanälen wichtig. Je höher die Luftgeschwindigkeit im Kollektor ausfällt, desto besser wird der Wirkungsgrad, desto höher wird aber auch der Druckverlust in den Kollektorkanälen. Bei der Planung muss deshalb ein Kompromiss zwischen hohem Wirkungsgrad und niedrigen Druckverlusten geschlossen werden.

Kollektor mit dunkler Abdeckung



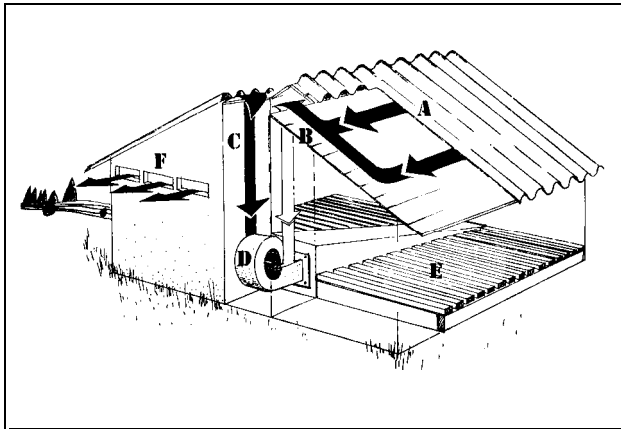
P: Pfetten
B: Eternit- oder Blechplatte
S: Spanplatte
L: Luft

Vergleich Kollektorleistungen

Typ und Luftrichtung zur Wellung	Zwischenraum bei Druckverlust max. 1 mbar	Wirkungsgrad in %	Temperaturerhöhung °C
Eternit quer	10cm	44	7,1
Blech quer	8 cm	52	8,5
Polycarbonat durchsichtig quer	8 cm	58	9,5
Eternit längs	12 cm	42	6,9
Ziegel längs	10 cm	37	6.1

Kollektor mit 250m² für Heustock von zirka 100 m² Sonneneinstrahlung 800 W/m², 500 ü.M., Ansaugstrecke 10 m. Der Eternitkollektor erreicht bei einem Wirkungsgrad von 44% eine Luftanwärmung von zirka 7°C. Ein Blechkollektor erwärmt die Luft um zirka 8,5°C und ein durchsichtiger Kollektor könnte die Temperaturerhöhung des Eternitkollektors von zirka 7°C bereits mit einer Fläche von 180 m² erreichen. Oder anders ausgedrückt: Der schlechtere Wirkungsgrad des Eternitkollektors kann in vielen Fällen durch eine grössere Fläche aufgefangen werden. Die Differenz vom Ziegelkollektor zum Eternitkollektor lässt sich aber schwerlich durch eine noch grössere Kollektorfläche ausgleichen. Die Luftführung sowie die vorhandenen Dachflächen setzen hier oft Grenzen.

Übersichts-Schema einer Heubelüftungsanlage mit Sonnenkollektoren



- A: Kollektor
 B: Sammelkanal
 C: Zuführkanal
 D: Lüfter
 E: Rost
 F: Abluftöffnungen

Dimensionierungsbeispiel

Stockfläche: 100 m ²	Kollektortyp: Eternit
Stockhöhe: 5 m	Kollektorlänge: 20m
Stockvolumen: 500 m ³	Kollektorbreite: 12.5m
	Luftdurchsatz: 11 .0m ³ /s
	Balkenhöhe: 22cm
	Geografische Höhe: 500m

Kollektor- kanalhöhe (cm)	22	21	20	19	18	17
Luftgeschwin- digkeit (m/s)	4.00	4.19	4.40	4.63	4.89	5.18
Druckverlust (mbar)	0.44	0.50	0.58	0.67	0.78	0.92
Wirkungsgrad (%)	40	41	41	42	43	44
Temperatur erhöhung (°C)	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.1

* bei Sonneneinstrahlung von **800 W/m²**

Der Sonnenkollektor für die Heubelüftung

Die lichtdurchlässigen Kollektoren kommen heute bei Luftkollektoren für die Heubelüftung aus ästhetischen und feuerpolizeilichen Gründen praktisch nicht mehr in Frage. Dagegen werden immer mehr Anlagen mit Eternitabdeckung, oft auch Sonnendächer genannt, erstellt.

Komponenten einer Heubelüftungsanlage

Der Kollektor (A) besteht aus einer Abdeckung (Dachhaut) und dem Unterzug (normalerweise Spanplatten). Der Lüfter (D) saugt die Luft durch den Kollektor. Diese wird dabei erwärmt. Die warme Luft gelangt nun via Sammelkanal (B) durch den senkrechten Zuführkanal (C) zum Lüfter und wird dann durch den Rost (E) in den Heustock gedrückt. Danach entweicht die feuchte Luft durch die Abluftöffnungen (F) aus der Scheune.

Schlüsselzahlen für die Planung

Grösse des Sonnenkollektors

Der Sonnenkollektor sollte in der Lage sein, bei einer Einstrahlung von 800 W/m² eine Temperaturerhöhung von 6°C zu erzeugen. Als grobe Faustzahl für die Dimensionierung der Kollektorfläche gilt:

$$\text{Eternitkollektorfläche} = 2.5 \times \text{Heubelüftungsfläche}$$

Abstand Abdeckung-Unterzug

Der Lufteinlass aus dem Freien und die Luftbewegung an der meist welligen Dachunterseite verursacht einen Druckverlust, welcher bei höheren Luftgeschwindigkeiten rasch ansteigt. Der Abstand zwischen der Abdeckung und dem Unterzug sollte so dimensioniert sein, dass der gesamte Druckverlust im Kollektor höchstens 1 mbar beträgt. Höhere Druckverluste führen zu einer schlechteren Verwirbelung der Luft, wodurch der Wirkungsgrad verschlechtert wird. Der Druckverlust von 1 mbar ist für die Lüfter tragbar und wird bei Neuplanungen einkalkuliert.

Querschnitt Sammel- und Zuführkanal

Beim Sammelkanal sollen Luftgeschwindigkeiten unter 5 m/s eingehalten werden. Üblicherweise wird der Querschnitt so dimensioniert, dass Luftgeschwindigkeiten von rund 4 m/s erreicht werden.

Ideale Luftführung

Der Kollektor und die Verbindung vom Kollektor zur Belüftung hängt sehr stark vom Gebäudekonzept ab. Wir unterscheiden grundsätzlich zwischen Pfetten- und Sparrendächern. Die nachfolgenden Luftführungsbeispiele sind deshalb für die zwei Gruppen getrennt aufgeführt. Bei Pfettendächern laufen die Balken horizontal über das Dach, bei Sparrendächern von der First zur Traufe.

Pfettendächer

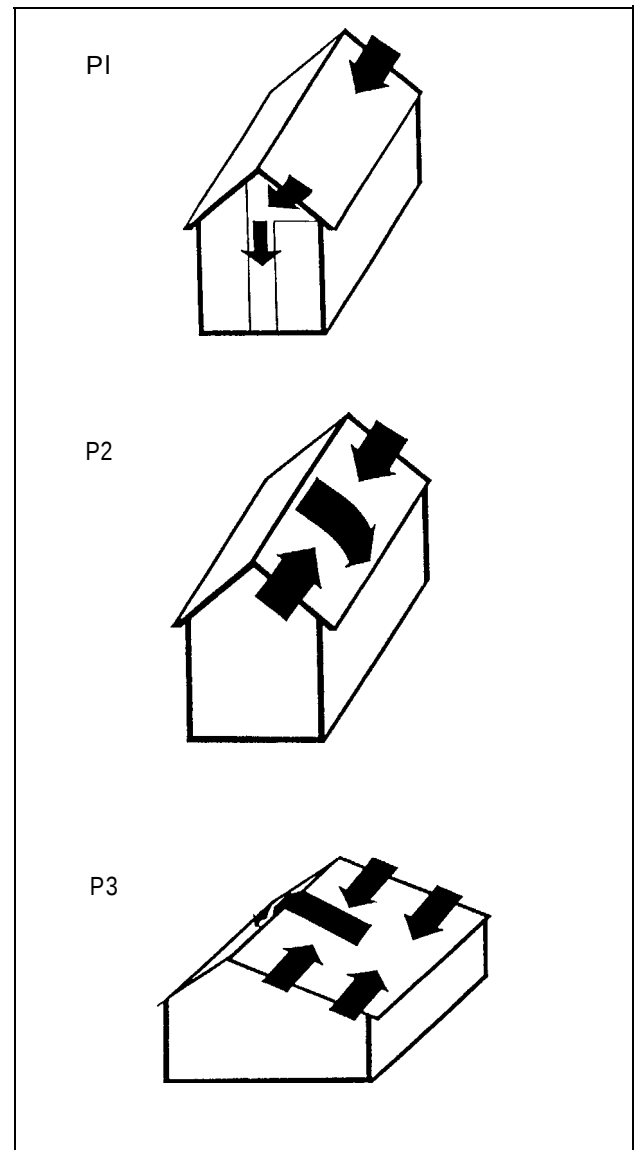
Pfettendächer enthalten Kollektorkanäle, welche waagrecht über das Dach verlaufen.

P 1: Eine einfache Lösung für eine Dachflanke mit einseitigem Ansaug- und Sammelkanal auf der gegenüberliegenden Seite.

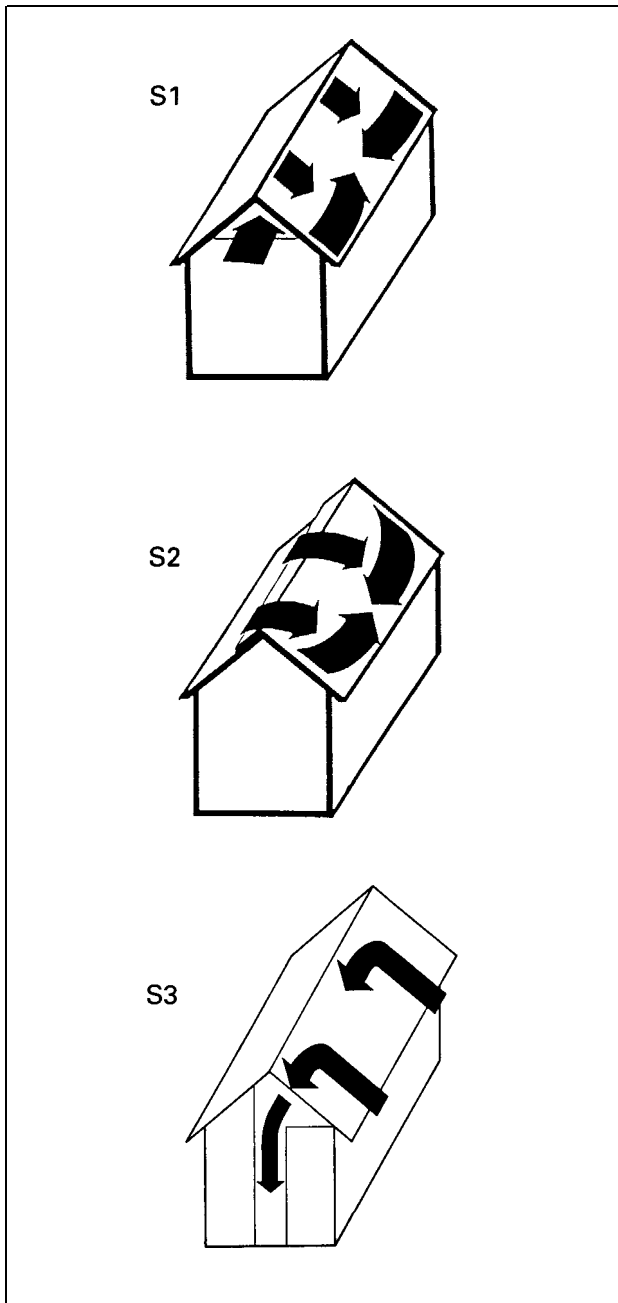
P 2: Diese Anordnung findet man oft bei deckenlastigen Scheunen. Die Luft wird von beiden Seiten angesaugt und in der Mitte durch einen Sammelkanal zum Lüfter gebracht.

P 3: Ein Fall, der besonders bei grösseren Bauten wie Boxenlaufställen anzutreffen ist. Der Stall liegt meistens südseitig unter einer nur leicht geneigten Dachfläche. Der Heustock befindet sich auf der Nordseite. Die Lüfter stehen dann, vor allem bei Greiferbetrieben, auch an der kalten nördlichen Aussenwand, was für eine Kaltbelüftung eine denkbar schlechte Voraussetzung ist. Nachteile dieser Lösung sind lange Zufuhrkanäle. Dafür kommt zum Effekt des Sonnenkollektors noch der Vorteil der günstigeren Ansaugbedingungen.

Luftführung in Pfettendächern



Luftführung in Sparrendächern



Sparrendächer

Sparrendächer bilden Kollektorkanäle, welche vom First zur Traufe verlaufen. Dadurch ist bei Süddächern eine ost-west-seitige Ansaugung der Luft nicht möglich.

S 1: Hier führt ein Kanal im Firstdreieck die Luft zu den Kanälen. Ein Sammelkanal bringt sie der Traufe entlang zum Lüfter.

S 2: Falls eine Dachseite über den First ragt, kann die Luft unter der Firstkappe, die z.B. aus einem abgebogenen Aluminium-Blech gefertigt ist, angesogen werden.

S 3: Die Luft strömt entlang der Traufe in die Kollektorkanäle ein. Ein Firstsammelkanal und ein senkrechter Zuführkanal sorgen für die Verbindung zum Lüfter.

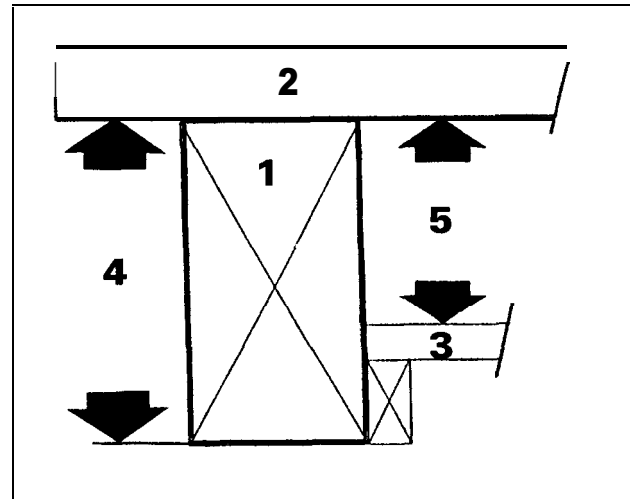
Da bei einigen Varianten mit Luftführungen über den First hinaus eine Firstentlüftung verunmöglicht wird, ist für eine genügende Entlüftung an den Stirnseiten zu sorgen.

Montage des Unterzugs

Bei Neubauten empfiehlt es sich, den Unterzug (Spanplatten) direkt vor dem Eindecken des Daches einzulegen. Der Zimmermann kann seitliche Latten oder Bretter unter den Balken (Sparren/Eternitpfetten) bereits in der Werkstatt vormontieren. Die zugeschnittenen Spanplatten (19mm) können so sehr schnell von oben verlegt werden. Die Montage erfolgt praktisch immer durch den Zimmermann. Nachträgliches Montieren bringt zusätzlichen Aufwand für die Gerüstung und ist sehr mühsame Arbeit über Kopf. Die Verbindung der Platten erfolgt in der Regel mit Nut und Feder.

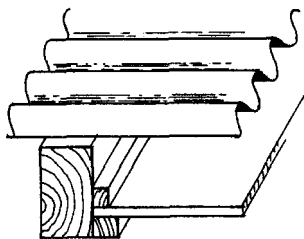
Als Unterzug können auch andere Materialien als Spanplatten verwendet werden (z.B. Profil-Bleche, Blachenstoffe oder Hartfaserplatten). Wenn der berechnete Kollektorzweischenraum gleich oder etwas weniger hoch als die Balkenstärke ausfällt, ist es möglich, Blachenstoffe aus gewebeverstärktem Polyäthylen zu verwenden (Bigroflex, Nissan, Sarnafil). Diese sind wesentlich leichter zu montieren. Sie sollten aber mittels eingerollter Dachlatte und Flaschenzug etwas vorgespannt werden, damit sie im Sommer bei Erwärmung nicht zu stark einbauchen und den Querschnitt der Kanäle verengen. Teilweise ist eine Konfektionierung möglich, indem die Verkaufsfirma Stücke vorbereitet, die zum Beispiel dem Binderabstand und der Dachbreite entsprechen. Blachen sind vor allem geeignet für Eigenmontage und wo keine mechanische Belastung durch Geräte (Greifer) oder Bewerfen mit Futter und Steinen durch das Gebläse auftritt.

Kanalhöhe



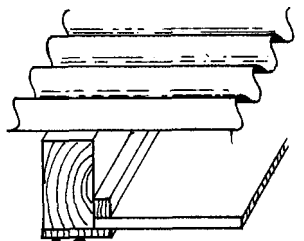
- 1 Balken
- 2 Abdeckung
- 3 Unterzug (Spanplatte)
- 4 Balkenhöhe
- 5 Kanalhöhe

Montagearten



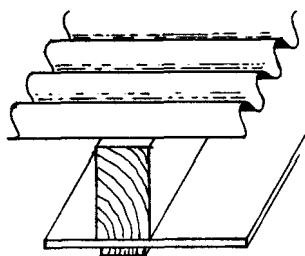
A

Starke Balken, kleiner notwendiger Durchlass. Spanplatte liegt auf seitlich angeschlagener Latte. Einlegen von oben vor dem Dachdecken.



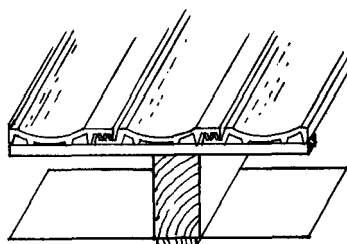
B

Notwendiger Durchlass nur wenig kleiner als Balkenstärke. Einlegen der Spanplatte von oben.



C

Balkenhöhe entspricht dem nötigen Durchlass. Spanplatte unten bündig mit Brett befestigen.



D

Balkenhöhe entspricht dem nötigen Durchlass. Unterzug aus Blachenmaterial. Besonders geeignet bei Sparrendächern in Altbauten.

Montagearten

Massgebend für die Montageart ist der berechnete Abstand zwischen Abdeckung und Unterzug (Kollektorkanalhöhe).

Starke Balken (18-24 cm) und niedrige Kanalhöhe (z.B. 12 cm) führen zu Lösung A: Die Spanplatte liegt auf der seitlich angeschlagenen Latte. Das Einlegen und Fixieren mit einer Leiste erfolgt von oben und vor dem Dachdecken.

Fällt die notwendige Kanalhöhe nur unwesentlich kleiner als die Balkenstärke aus, so eignet sich Variante B. Das Einlegen geschieht wie bei Lösung A.

Wenn die Balkenhöhe ungefähr gleich gross ist wie die notwendige Kanalhöhe, ist praktisch nur noch Variante C möglich: Die Spanplatte wird von unten angeschlagen und mit einem Brett befestigt.

Bei Altbauten mit verzogenen Sparrendächern kommt Variante D in Frage. Der Unterzug besteht aus Blachenmaterial.

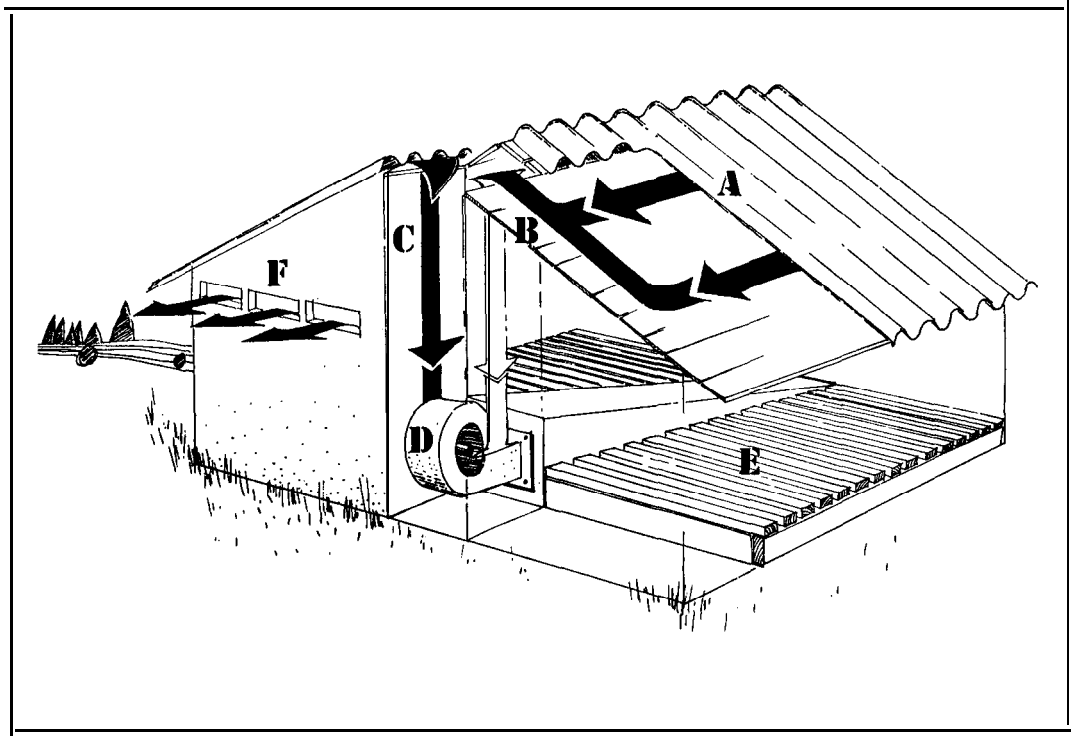
Weiterführende Literatur:

Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft - Planungsgrundlagen. PACER-Dokumentation (BfK), 123 S., 1991 (Best.-Nr. 724.221 d)

Die Heubelüftung von A bis Z. FAT-Bericht Nr.406, 1991.

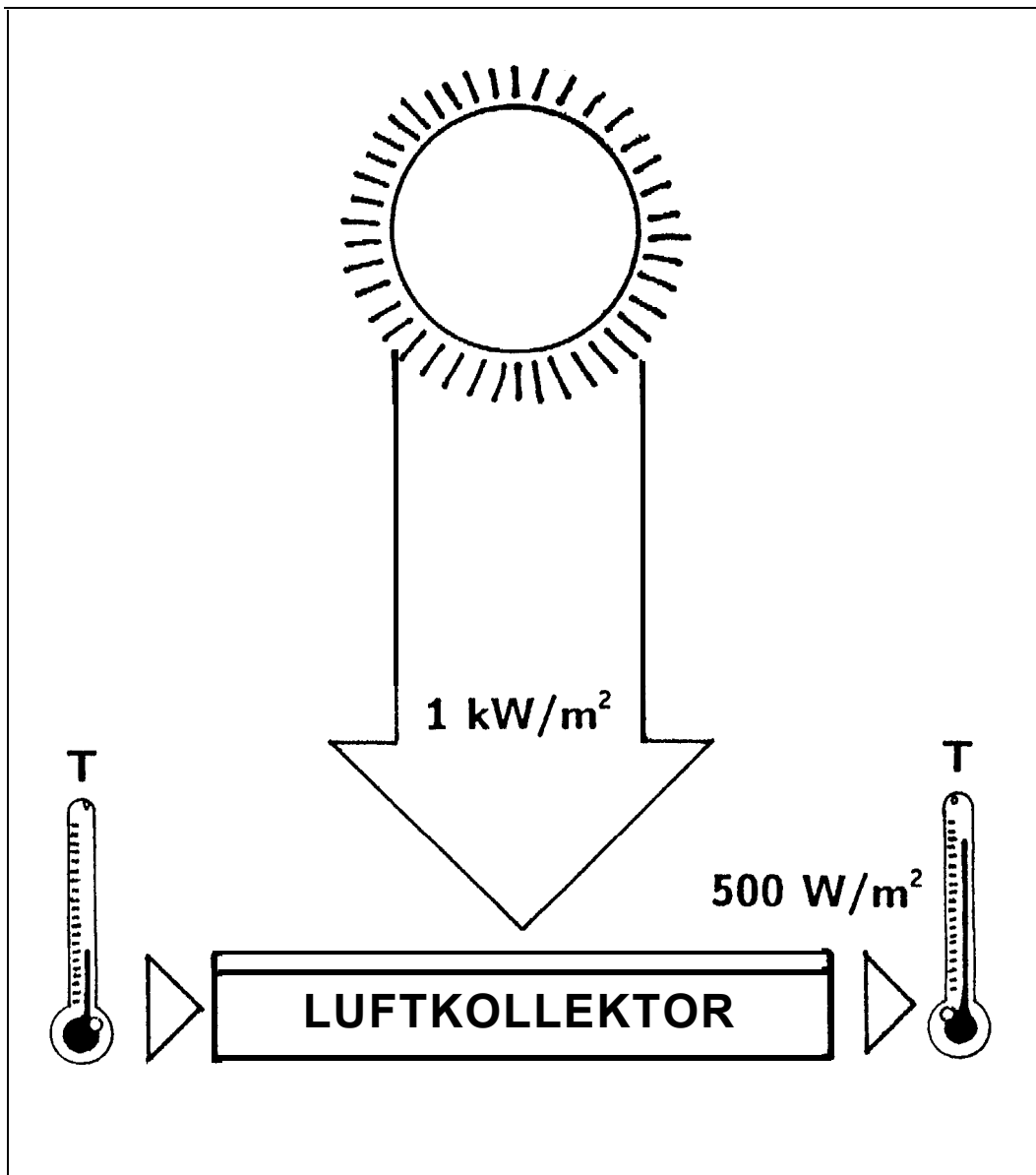
Planen und Realisieren von Sonnenkollektoren für die Heubelüftung. FAT-Bericht Nr. 407, 1991.

Heubelüftungsanlage mit Sonnenkollektoren



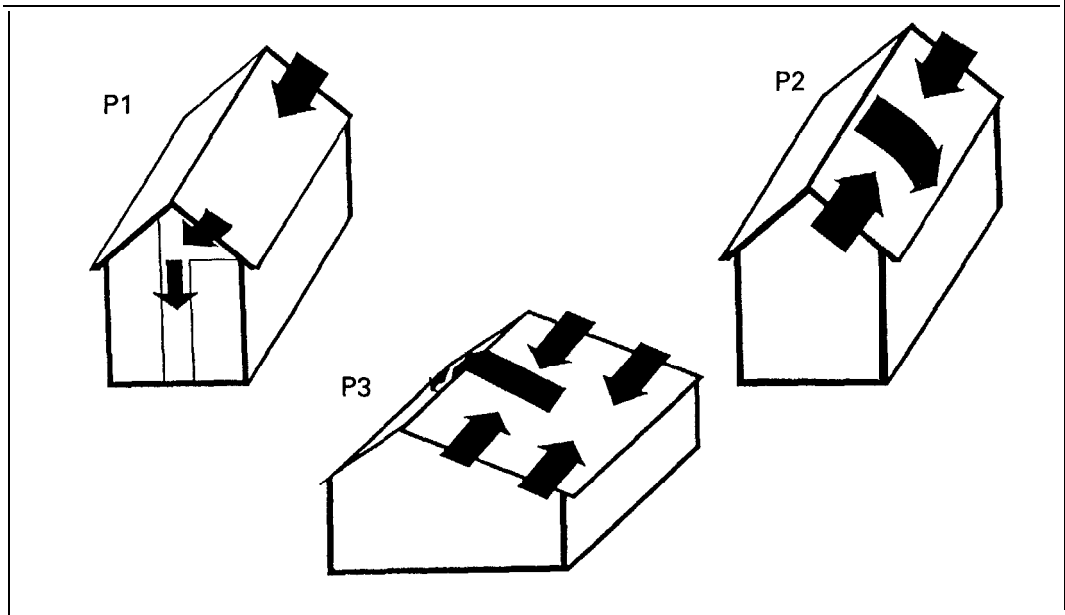
- A: Kollektor
- B: Sammelkanal
- c: Zuführkanal
- D: Lüfter
- E: Rost
- F: Abluftöffnungen

Leistung eines Luftkollektors

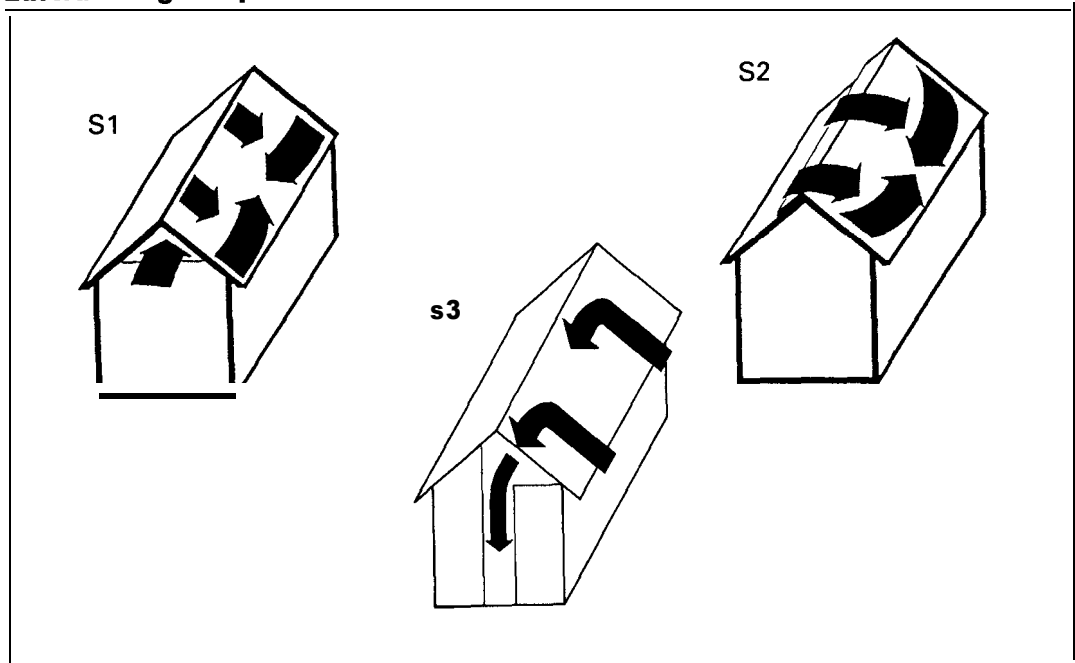


Luftführung in Pfetten- und Sparrendächern

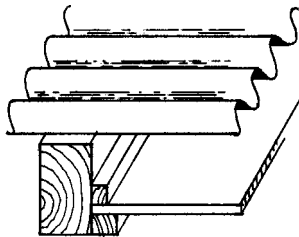
Luftführung in Pfettendächern



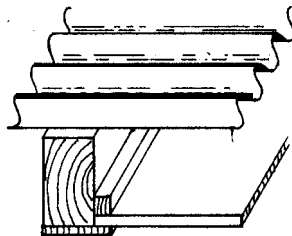
Luftführung in Sparrendächern



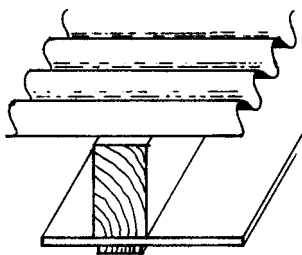
Montagearten des Unterzuges



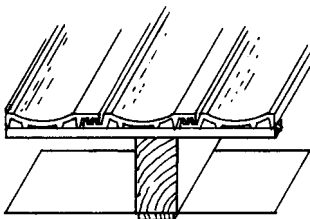
*Starke Balken, kleiner notwendiger Durchlass.
Spanplatte liegt auf seitlich angeschlagener Latte.
Einlegen von oben vor dem Dachdecken.*



Notwendiger Durchlass nur wenig kleiner als Balkenstärke. Einlegen der Spanplatte von oben.

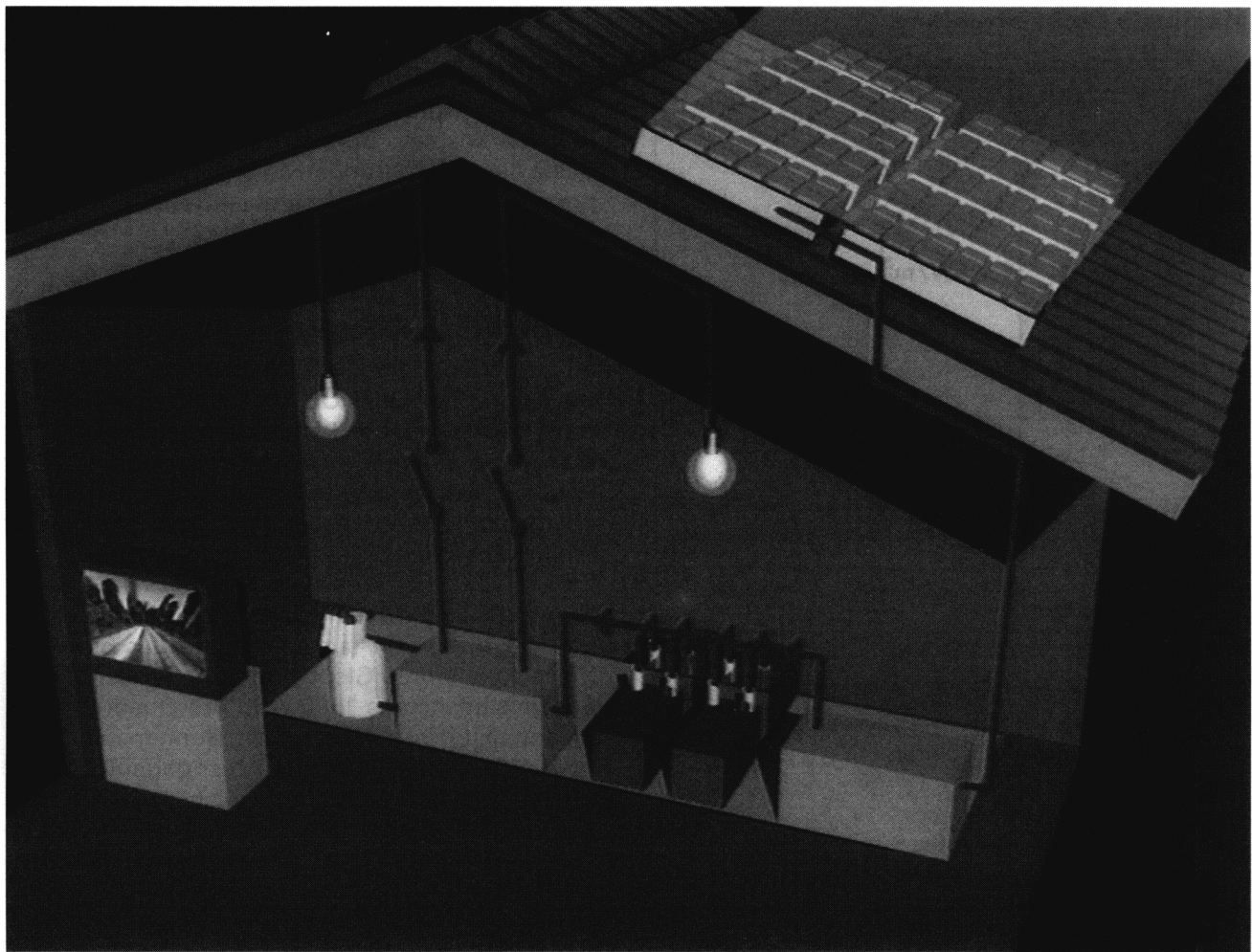


*Balkenhöhe entspricht dem nötigen Durchlass.
Spanplatte unten bündig mit Brett befestigen.*



*Balkenhöhe entspricht dem nötigen Durchlass.
Unterzug aus Blachenmaterial. Besonders geeignet
bei Sparrendächern in Altbauten.*

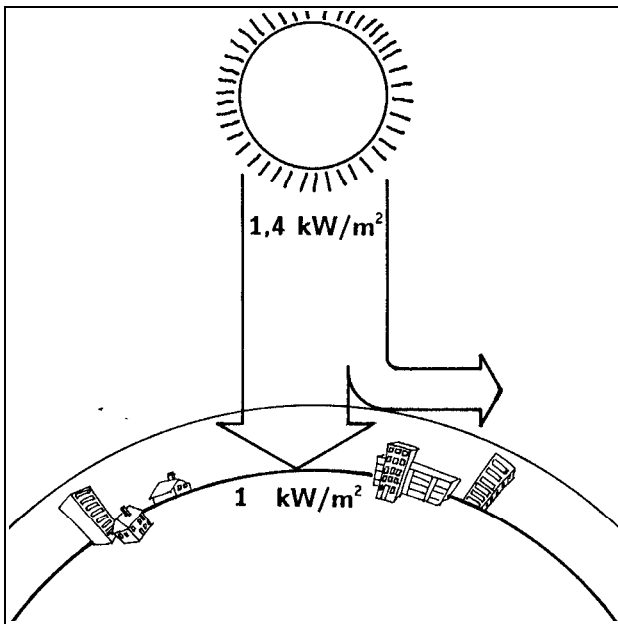
Photovoltaikanlagen



Globalstrahlung	36
Solarzellen	36
Komponenten einer Solarzellenanlage	39
Praxisbeispiel	40

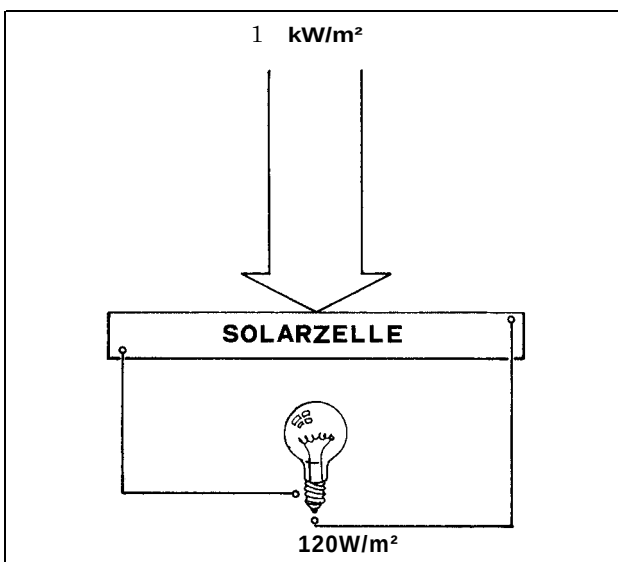
Photovoltaikanlagen

Maximale Globalstrahlung



Die maximale Leistungsdichte der Sonnenstrahlung liegt bei rund 1 kW/m^2 . Dies entspricht etwa der Leistung einer Kochplatte.

Leistung einer Solarzelle



Die durchschnittliche Leistung einer Solarzelle beträgt rund 120 W/m^2 , was einem Wirkungsgrad von 12% entspricht.

Solarzellen (Photovoltaikanlagen) sind heute vielfach die wirtschaftlichste Lösung zur Elektrifizierung von Alpbetrieben. Der Anschluss ans Elektrizitätsnetz würde oft mehrere hunderttausend Franken kosten. Solarstrom erfüllt zudem aufs Beste die Anforderungen an eine moderne Stromproduktion: Dezentral, umweltfreundlich, übersichtliche Technik.

Globalstrahlung

Die Sonne mit einer Oberflächentemperatur von rund 6000°C sendet kontinuierlich eine enorme Menge an Energie in Form von Strahlen oder Partikeln aus, welche man Photonen nennt. Der energetische Wert dieser Photonen ist von der Wellenlänge des Lichtes abhängig.

Nur ein Bruchteil der von der Sonne ausgesandten Energie trifft auch tatsächlich auf der Erde auf. Diese sogenannte Globalstrahlung erreicht in der Schweiz höchstens 1000 Watt pro Quadratmeter. Die Intensität ist abhängig vom Sonnenstand, d.h. vom Winkel des Messpunktes gegenüber der Sonne. Das führt einmal zu täglichen Schwankungen (über Mittag ist die Strahlung am grössten) sowie zu jahreszeitlichen Schwankungen (im Sommer ist der Energieertrag am grössten).

Solarzellen

Solarzellen (sie werden auch Photovoltaikpanele genannt) vermögen die eingestrahelte Sonnenenergie direkt in Strom umzuwandeln. Zellen sind im Prinzip grossflächige Halbleiter, wie sie z.B. in jedem Transistor oder Computerchip zu finden sind. Als Material eignen sich Silizium, Indium, Germanium, Gallium, Selen oder Tellurium. Einige der Elemente weisen eine erhöhte Toxizität auf, was bei der Entsorgung nicht unwesentlich ist. Da Silizium weder für Lebewesen noch für die Umwelt eine Gefahr bedeutet, sind die bisher handelsüblichen Produkte ausschliesslich aus diesem Material gefertigt.

Man unterscheidet dabei zwischen drei verschiedenen siliziumhaltigen Zelltypen: Monokristalline

Zellen werden aus einem Siliziumkristall herausgeschliffen, welcher vorher unter gleichmässiger Rotation aus einer Siliziumschmelze herausgezogen worden ist. Polykristalline Zellen dagegen werden aus einem gegossenen Siliziumblock herausgesägt. Die amorphen Zellen letztlich entstehen mittels Aufdampfen in verschiedenen Schichten von Silizium auf ein Trägermaterial.

Wirkungsgrad - energetischer Nutzen

Der Wirkungsgrad einer monokristallinen Zelle beträgt - in Bezug auf die eingestrahlte Energie - maximal 26.9%. Die höchsten im Labor erreichten Werte liegen knapp über 23%. Die praktischen Wirkungsgrade sind momentan jedoch noch deutlich kleiner und betragen - in Abhängigkeit vom Zellentyp - zwischen 5% und 13%. Der Wirkungsgrad zusammen mit der Energie für die Herstellung der Zellen bestimmen auch die sogenannte energetische Amortisationszeit, d.h. die Zeit welche die Anlage benötigt, um die für seine Produktion aufgewendete Energie zurückzugewinnen. Die Werte liegen im Bereich von zwei bis sieben Jahren. Bei einer Lebensdauer der Zellen von mehr als 20 Jahren wird also ein mehrfaches an Energie produziert als für die Anlage aufgewendet wurde.

Spannung

Scheint die Sonne auf eine Solarzelle, wird eine Spannung aufgebaut. Wird eine äussere Last angeschlossen, beginnt ein Strom zu fliessen, und zwar ein Gleichstrom. Die resultierende Betriebsspannung und der -Strom sind abhängig von der Einstrahlung, der angeschlossenen Last und der Temperatur. Je tiefer die Temperatur, desto höher die erreichbare Spannung. Übliche Betriebsspannungen pro Panel liegen bei 14 bis 16 V. Leerlaufspannungen (ohne Last) erreichen 18 bis 24 V.

Wirkungsgrad und energetische Amortisationszeit von Sonnenzellen

Zellentyp	Wirkungsgrad		Energetische Amortisationszeit
	Praxis	Labor	
mono-kristallin	10-13%	23%	6 - 10 Jahre
polykristallin	9-11%	18%	5 - 10 Jahre
amorph	5- 8%	12%	1 - 2 Jahre

Spannung, Strom und elektrische Ladung

Fließende elektrische Ladung bezeichnet man als elektrischen Strom. Weil ein Draht der fließenden Ladung einen Widerstand entgegengesetzt, kann ein Strom im allgemeinen nur fließen, wenn eine Spannungsquelle (Solarzelle, Batterie) eingeschaltet ist. Die technische Stromrichtung erfolgt vom Pluspol zum Minuspol. Sie ist der tatsächlichen Elektronenbewegung entgegengesetzt.

Spannung U in Volt (V), Strom I in Ampere (A) und Widerstand R in Ohm (Ω) verbindet das Ohm'sche Gesetz:

$$U = R \times I \text{ (Volt)}$$

Eine Gleichspannungsquelle mit der Spannung U, die während der Zeit t den Strom I liefert, gibt folgende Energie W ab:

$$W = U \times I \times t \text{ (kWh)}$$

Ihre **Leistung P** beträgt:

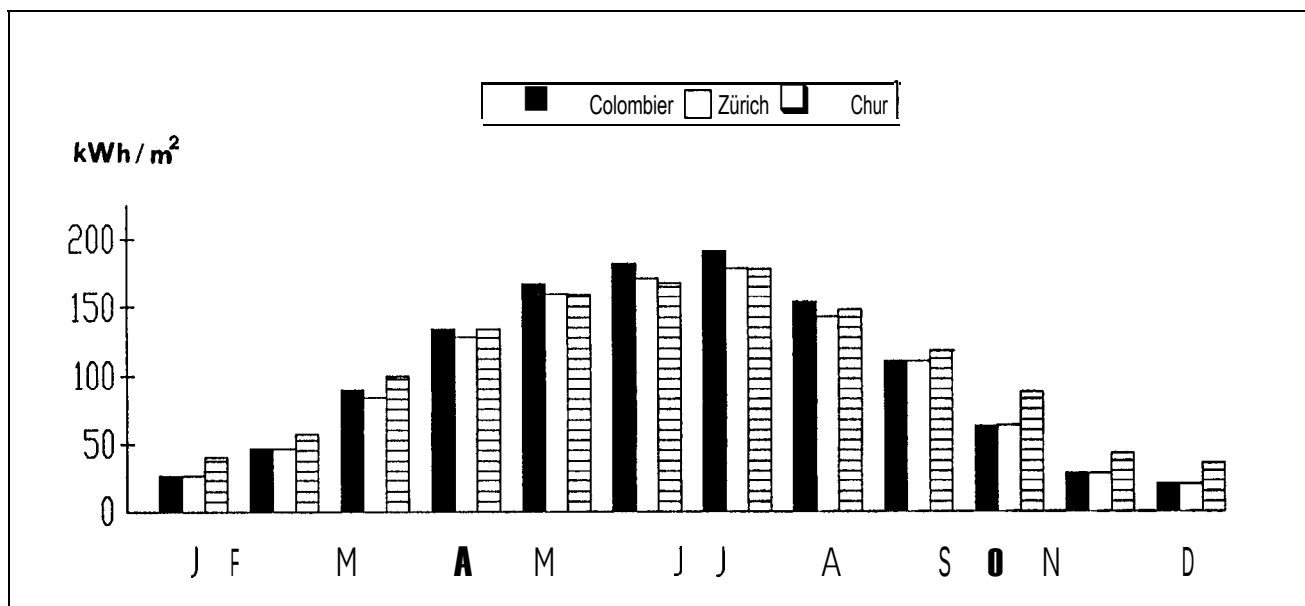
$$P = U \times I \quad (\text{kW})$$

Stromproduktion

Die von den Herstellern angegebene Spitzenleistung (W_p = englisch Watt peak) bezieht sich immer auf eine maximale Einstrahlung von 1000 W/m^2 senkrecht auf die Zelle bei 25°C . Wollte man diesen Spitzenwert während des ganzen Tages einhalten, müsste die Anlage der Sonne nachgedreht werden, d.h. von Ost nach West mit wechselndem Winkel in Abhängigkeit des Sonnenstandes.

Da bei leichten Winkelabweichungen die Einbusse des Wirkungsgrades nicht gravierend ist, installiert man aus finanziellen Überlegungen jedoch die Zellen fix, in der Regel auf ein Dach. In der Schweiz kann davon ausgegangen werden, dass eine Solarzellenanlage in der Praxis pro W_p Spitzenleistung einen Ertrag von 0.8 bis 1.5 kWh pro Jahr erbringt. Den optimalen Winkel über eine Saison oder über das ganze Jahr lässt sich mit Hilfe der Meteonorm (Bundesamt für Energiewirtschaft) anhand von Tabellen oder des entsprechenden PC-Programmes errechnen.

Monatliche Globalstrahlung in drei Schweizer Städten



Komponenten einer Solarzellenanlage

Unabhängig von ihrer Grösse benötigt eine Solarzellenanlage bestimmte Komponenten.

Verwendet werden je nach Energiebedarf entweder ein einzelnes Solarzellenmodul oder eine grössere Anzahl von Modulen, welche zu einem Solarzellenfeld zusammengeschlossen werden. Reichen für einen Taschenrechner ein paar Zentimeter, so braucht es für eine Alpwirtschaft zwischen fünf und zehn Quadratmetern.

Mit wenigen Ausnahmen benötigen Inselanlagen, d.h. Anlagen ohne Netzanschluss, einen Stromspeicher, welcher unabhängig von der aktuellen Sonneneinstrahlung einen konstanten und regelmässigen Betrieb der Elektrogeräte erlaubt. Normalerweise werden dafür speziell für Solaranlagen gefertigte Bleibatterien verwendet.

Damit nachts der Strom nicht rückwärts von den Batterien zu den Solarzellen fliesst und diese schädigt, ist eine Sperrdiode vorzusehen.

Bleiakkumulatoren sollten vor Überladung und Tiefentladung geschützt werden, damit sie eine lange Lebensdauer erreichen. Zu diesem Zweck werden Laderegler eingesetzt.

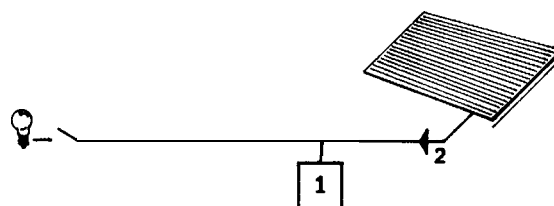
Einige Elektrogeräte können nicht mit Gleichstrom betrieben werden, sondern nur mit 220 V Wechselstrom. Für die Umwandlung ist dazu ein Synchron-Wechselrichter notwendig. Da bei jeder Umwandlung Energie verloren geht, sind möglichst viele Geräte mit Gleichstrom zu betreiben. Wärmeproduzierende Geräte wie Heizungen, Boiler oder Kochherde haben einen hohen Stromverbrauch und sollen mit Photovoltaikanlagen grundsätzlich nicht verwendet werden.

Liegt die Photovoltaikanlage in einem Gebiet mit Netzanschluss, ist es in der Regel sinnvoll, den überschüssigen Strom einzuspeisen, anstatt in Batterien zu speichern. Für solche sogenannten Netzverbundanlagen ist zusätzlich ein Stromzähler einzubauen.

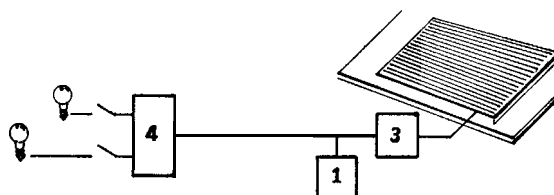
Komponenten einer Solarzellenanlage



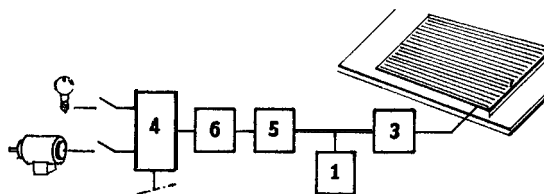
minimum..



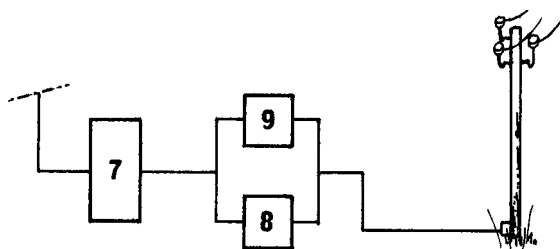
+ Batterie (1) und Diode (2)



+ Laderegler (3) und Tableau (4)



+ Entladeregler (5) und Wechselrichter (6)



+ Synchronisator (7), Bezugs- (8) und Rücklieferungszähler (9)

Praxisbeispiel

Anlagencharakterisierung

Solarzellen:	
Zellentyp	monokristallin
Leistung bei 1000 W/m ² Licht	1300 w
Betriebsspannung	4% V
Wirkungsgrad	10 %
Regler:	
Prinzip	Serieregler ein/aus
Max. Entladestrom	2x25A

Akkumulator:	
Batterietyp	Nasse, wartungsarme Bleiakkumulatoren
Nennkapazität	450 Ah
Nennspannung	48 V

Energiehaushalt

Verbraucher	Leistung	Täglicher Energie- bedarf
14 Lampen zu 12W	170W	0.17 kWh
1 Milchzentrifuge	260 W	0.53 kWh
1 Melkmaschine für zwei Aggregate	800 W	2.70 kWh
Total	1280 W	3.40 kWh

Kosten

Solarzellen	Fr. 30 000.-
Batterien (inkl. Gestell)	Fr. 7 000.-
Umbau und Ersatz elektrischer Geräte	Fr. 6 500.-
Elektrokasten, Regler Installation	Fr. 4 300.-
Gesamtkosten	<u>Fr. 47 800.-</u>

Akkumulatoren

Solarakkumulatoren sind für eine hohe Zahl von sogenannten Ladezyklen ausgelegt, je nach Typ zwischen 300 bis 1500 Zyklen. Mit Ausnahme weniger Ni-Cd-Speicher kommen vor allem Bleibatterien zum Einsatz. Neben den wartungsarmen Nassakkumulatoren, welche alle sechs bis zwölf Monate mit destilliertem Wasser nachgefüllt werden müssen, werden heute auch wartungsfreie, gasdichte Gelbatterien angeboten.

Praxisbeispiel

Ein Alpbetrieb in den Voralpen (1500 m.ü.M.) mit 45 Stück Vieh wurde von Dieselbetrieb auf Solarstrom umgerüstet.

Die Anlage wurde so ausgelegt, dass der Betrieb einer Melkanlage mit zwei Aggregaten, einer Milchzentrifuge und die Beleuchtung mit 14 Lampenstellen gewährleistet werden kann. Ein zuvor berechneter Energiehaushalt zeigte einen Bedarf von etwa 3.4 kWh pro Tag, was in der Praxis auch tatsächlich erreicht wurde. Die Solarzellenfläche wurde auf 10 m² festgelegt. Mit dieser Fläche kann eine maximale Erzeugung von 1.3 kW erwartet werden. Die Installation eines Batteriespeichers von 450 Ah sollte eine Reserve von mindestens fünf Tagen schaffen.

Die Steuerung der Anlage beinhaltet im Wesentlichen alle nötigen Überwachungsinstrumente, den Überladungs- und Tiefentladungsschutz sowie Zähler für Verbrauch und Erzeugung. Die Betriebsspannung von 48 V garantiert ein Minimum an Verlusten. Die Milchzentrifuge und die Melkmaschine wurden auf diese Spannung umgerüstet. Die Lampen wurden neu beschafft.

Der Betrieb verläuft seit rund 5 Jahren problemlos und zur vollsten Zufriedenheit des Alpbirten.

Es ist zu erwarten, dass mit dem wachsenden Einsatz die Preise für Photovoltaikanlagen weiter sinken werden und damit die Wirtschaftlichkeit zunehmend verbessert wird. Das Programm Energie 2000 des Bundesrates unterstützt diese Bestrebungen in politischer und finanzieller Art. Es ist aber nicht zu vergessen, dass - wo immer

möglich - der Nutzung der Wasserkraft aus energetischer, insbesondere aber aus wirtschaftlicher Sicht, der Vorzug gegeben werden sollte.

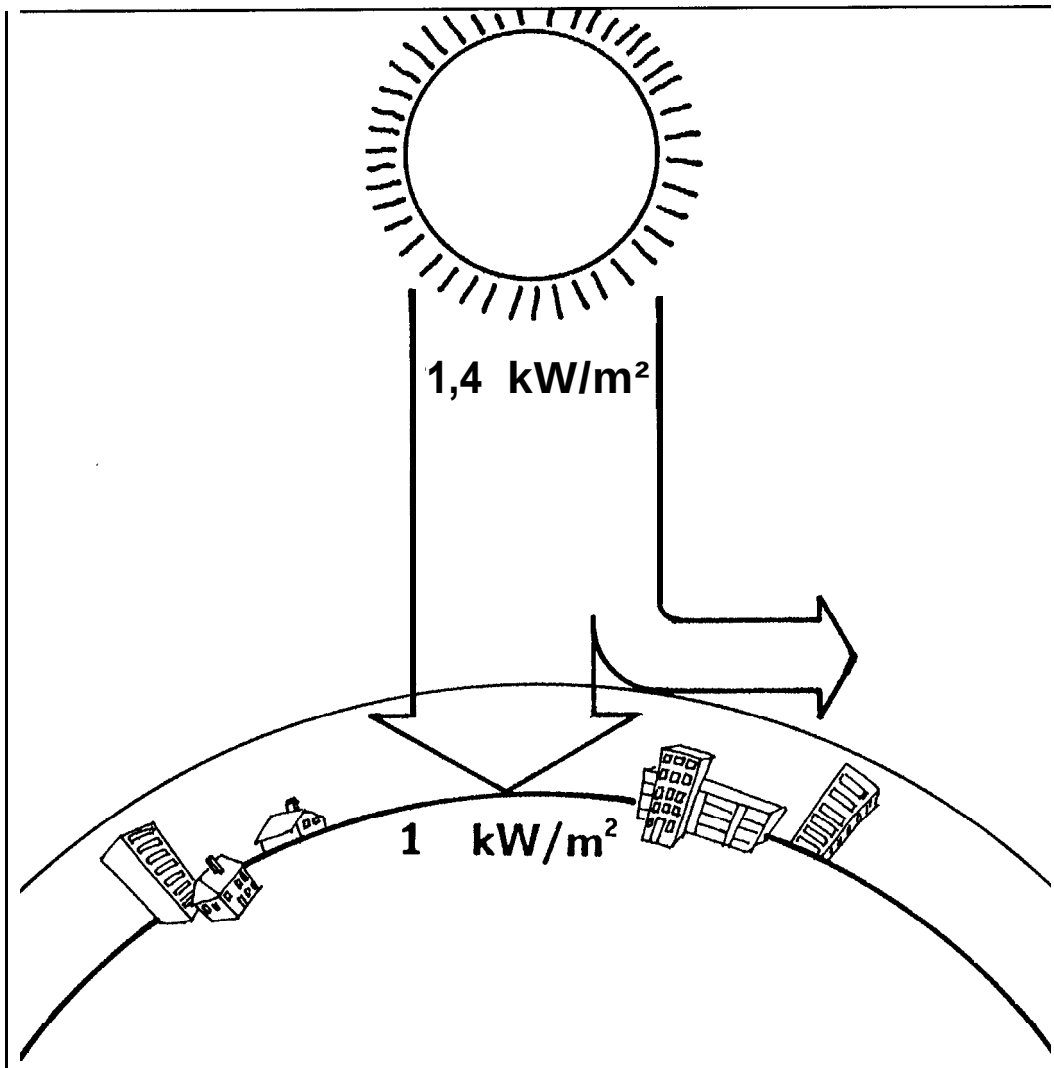
Weiterführende Literatur

Solarzellen - Nutzungsmöglichkeiten in der Schweiz. INFOSOLAR, 1991,30 S.

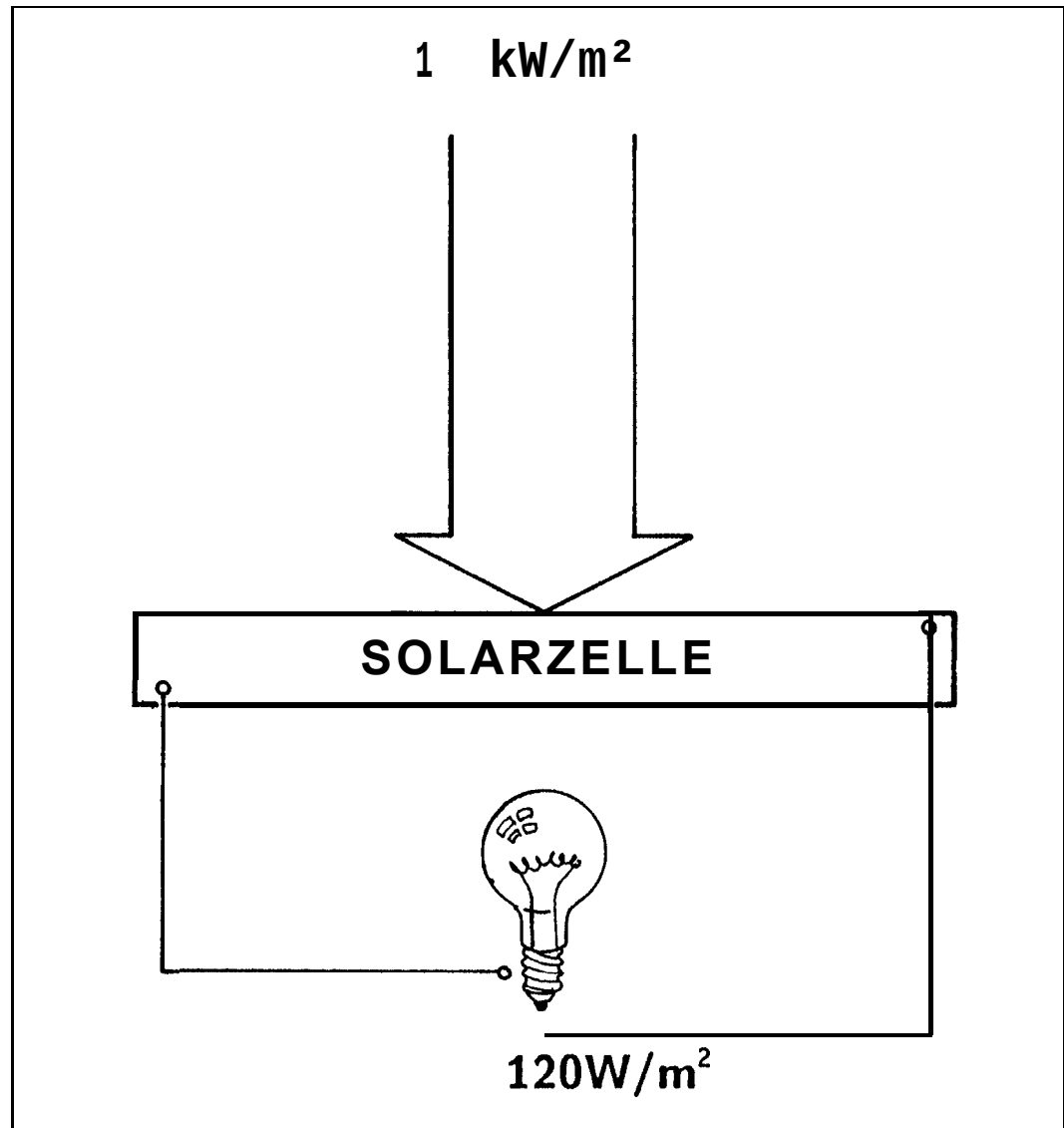
Photovoltaik Nutzung 1990. Referate einer Fachtagung. SIA D 049,278 S.

Photovoltaik - Grundlagen, Montage und Einspeisung. PACER-Dokumentation (BfK), 110 S., 1991. Best.-Nr. 724.242 d.

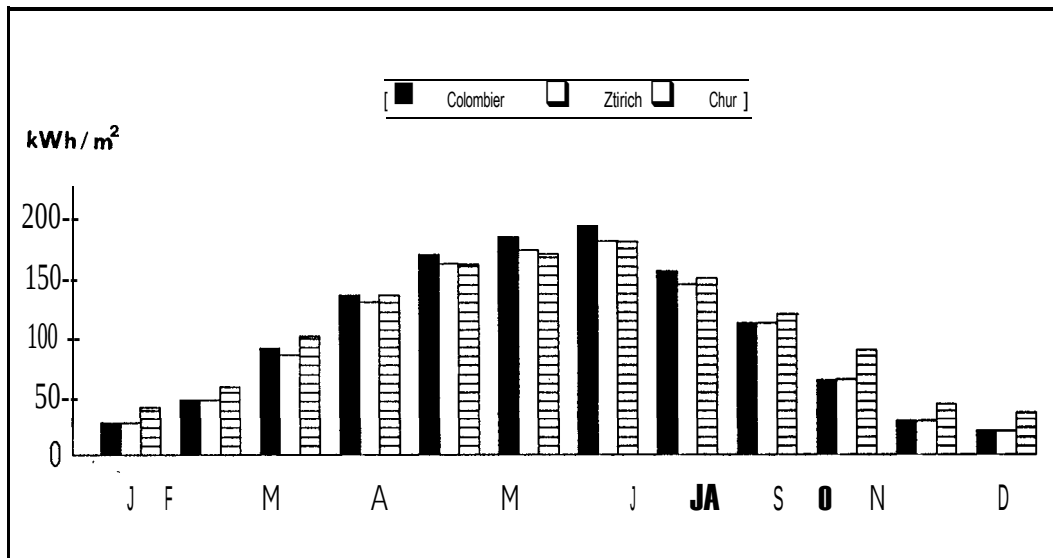
Maximale Globalstrahlung



Leistung einer Solarzelle



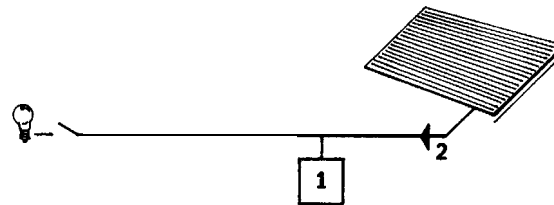
Monatliche Globalstrahlung in drei Schweizer Städten



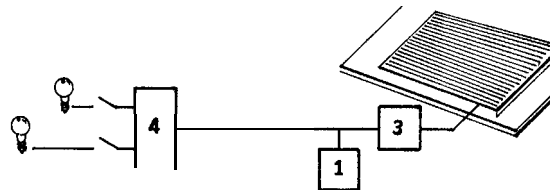
Komponenten einer Photovoltaikanlage



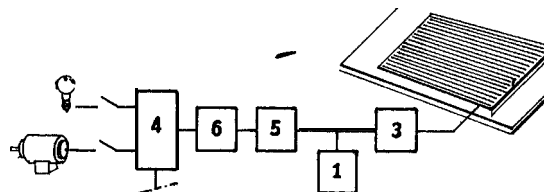
minimum.



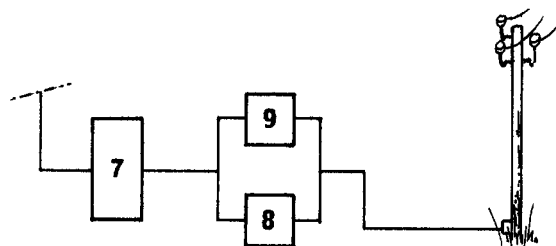
+ Batterie (1) und Diode (2)



+ Laderegler (3) und Tableau (4)

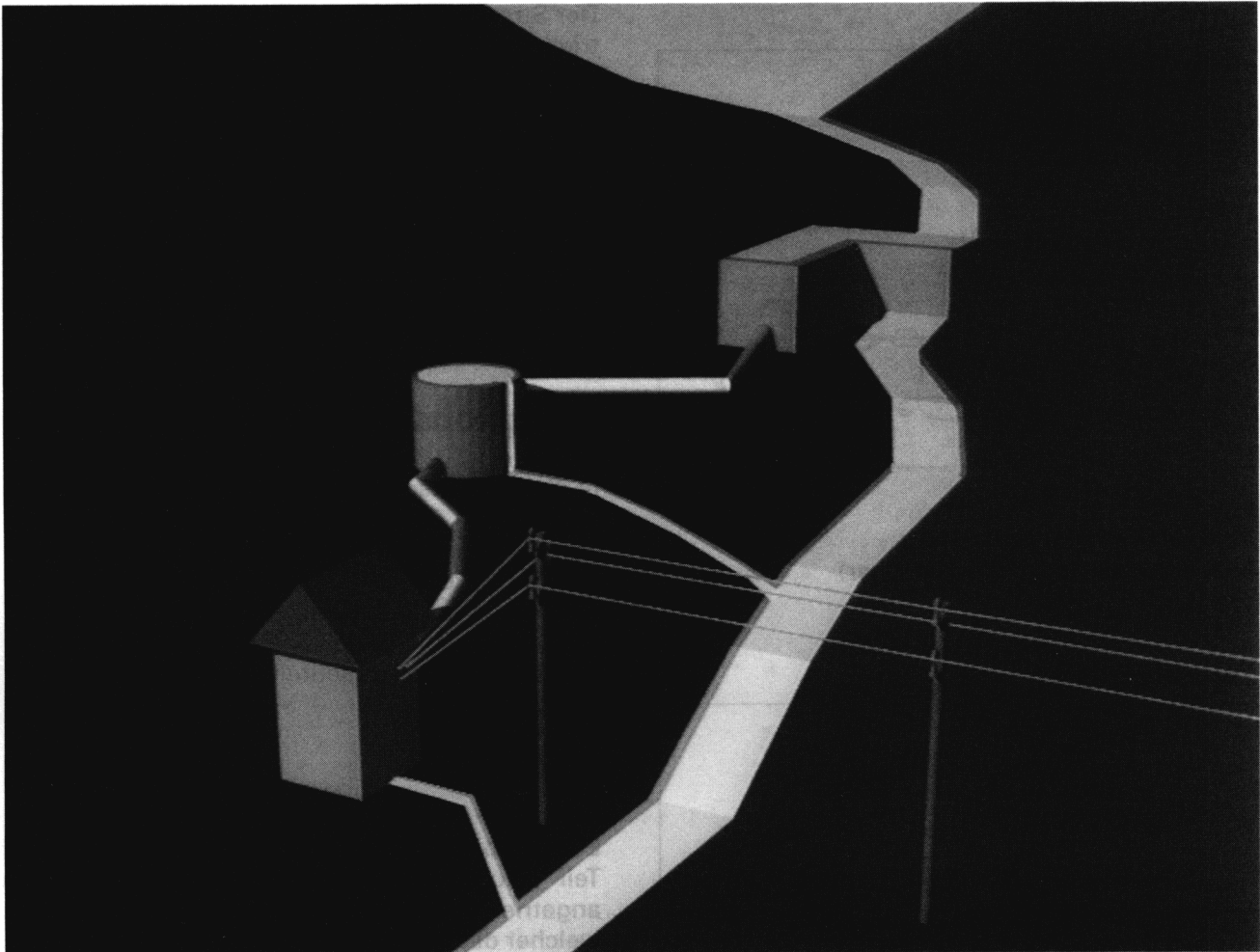


+ Entladeregler (5) und Wechselrichter (0)



+ Synchronisator (7) , Bezugs- (8) und Rücklieferungszähler (9)

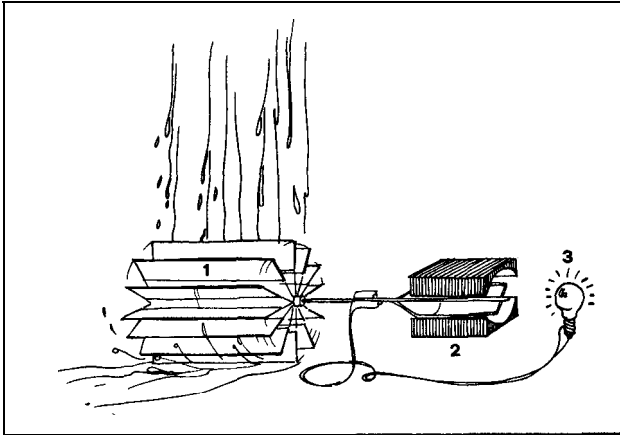
Kleinstwasserkraftwerke



Funktionsprinzip	48
Die Turbine	48
Der Generator	49
Komponenten eines Kleinstwasserkraftwerkes	50
Energiebedarf eines Alpbetriebes	50
Kosten	52

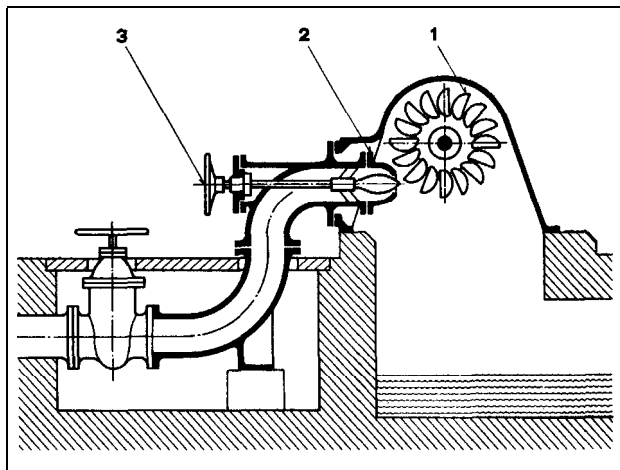
Kleinstwasserkraftwerke

Funktionsprinzip



- 1 Turbine
- 2 Generator
- 3 Elektrischer Strom (Verbraucher)

Pelton-Turbine



- 1 Laufrad
- 2 Düse
- 3 Regler zur Düsenverstellung

Der Strombedarf von landwirtschaftlichen Alpbetrieben kann oft mittels Kleinstwasserkraftwerken bereitgestellt werden. Dies ist wirtschaftlich insbesondere dort interessant, wo lange Anschlussleitungen ans öffentliche Stromnetz erstellt werden müssten. Aber auch bei nahegelegenen Stromnetzen ist aus oekologischen und energiepolitischen Überlegungen eine Stromproduktion aus Kleinstkraftwerken sinnvoll. Das Programm Energie 2000 des Bundesrates unterstützt deshalb die vermehrte Wasserkraftnutzung.

Funktionsprinzip

In einem Wasserkraftwerk wird die mechanische Energie des fließenden Wassers in elektrischen Strom umgewandelt. Das Wasser fließt durch die Turbine, welche den Generator antreibt. Der Strom entsteht dabei durch die elektromagnetische Induktion, indem eine Spule (Rotor) in einem Magnetfeld (Stator) gedreht wird.

Die Turbine

Eine Turbine verfügt immer über einen mobilen Teil (Laufrad), welcher durch den Wasserfluss angetrieben wird, und einen unbeweglichen Teil, welcher das Wasser dem Laufrad zuführt. Für den Leistungsbereich unter 20 kW und den Einsatz für den Alpbetrieb beschränkt sich das Angebot von Turbinentypen praktisch auf zwei Systeme: Die Pelton- und die Ossbergerturbine.

Bei der Pelton-turbine spritzen aus einer oder mehreren Düsen Wasserstrahlen mit hoher Geschwindigkeit auf die löffelförmigen Schaufeln des Laufrades. Beim Durchlauf der Düse wird das Wasser auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt. Durch die Umlenkung der Wasserstrahlen in den Schaufeln des Laufrades wird die ursprüngliche Druckenergie in mechanische Energie umgewandelt. Pelton-turbinen eignen sich für Fallhöhen von über 20 m bei relativ kleinen Wassermengen.

Bei der Durchströmturbine - auch unter dem Namen ihres bedeutendsten Herstellers als Ossbergerturbine bekannt - durchströmt ein durch

einen Leitapparat rechteckig geformter Wasserstrahl den Schaufelkranz eines walzenförmigen Laufrades. Das Wasser gibt seine Energie wie bei der Peltonturbine durch Umlenkung an den Schaufeln an das Turbinenrad ab. Der Einsatzbereich der Ossbergerturbine liegt bei Fallhöhen zwischen 1 und 200 Metern und Wassermengen von über 20 Litern pro Sekunde.

Der Generator

Der Generator setzt mechanische Energie in elektrischen Strom um. Grundsätzlich können zwei Typen von Generatoren unterschieden werden: Der Gleichstrom- und der Wechselstromgenerator.

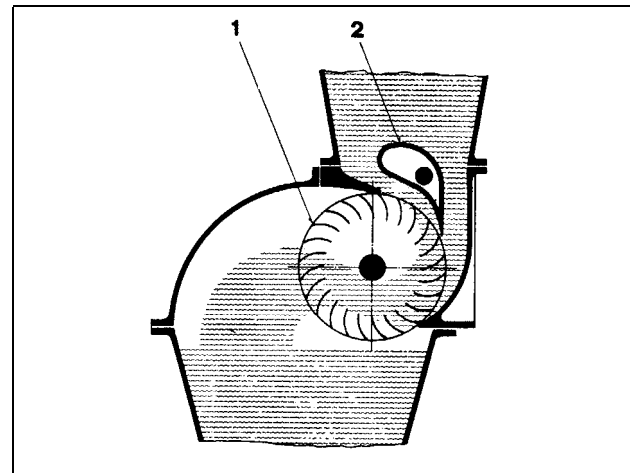
Während Generatoren für 220-Volt-Einphasen-Wechselstrom schon für kleinste Anlagen unter 0,5 kW Nennleistung angeboten werden, sind für dreiphasigen Strom (220/380 V) Anlagen ab ca. 1 kW auf dem Markt.

Zur Gleichstromerzeugung werden in Kleinstwasserkraftwerken meist Wechselstromgeneratoren mit Gleichrichtern (Alternatoren) eingesetzt. Diese Alternatoren sind preisgünstig, weil sie für den Automobilbau in grosser Stückzahl hergestellt werden. Die Leistung solcher Gleichstromanlagen reicht bis ca. 1 kW.

Die Wahl von Stromart und Spannung richtet sich nach den Anforderungen der Verbraucher. Wo Strom gespeichert werden soll, ist Gleichstrom erforderlich. Ein 220-Volt-Einphasen-Wechselstromnetz bietet den Vorteil, dass marktgängige Haushaltgeräte problemlos angeschlossen werden können. Dasselbe gilt für ein 220/380 Volt-Drehstromnetz in Bezug auf grössere Haushaltsmaschinen und Käsereianrichtungen, die in der Regel mit Drehstrommotoren bestückt sind.

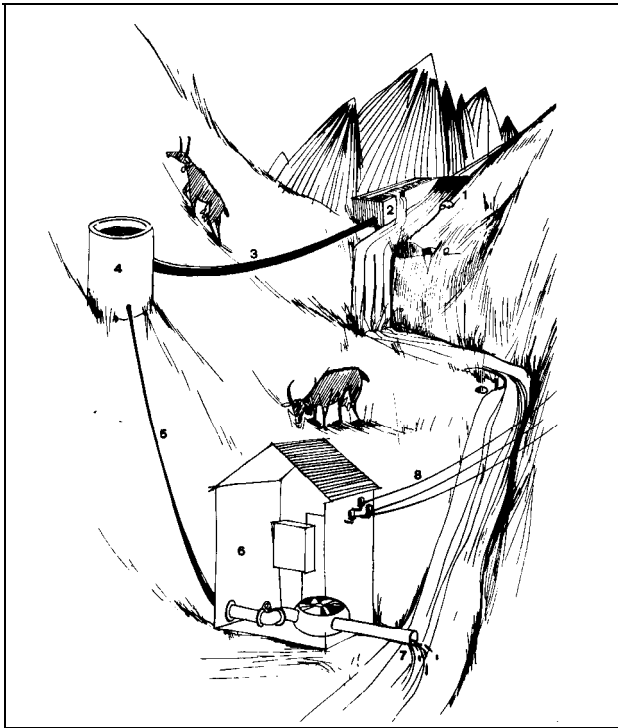
Während Zeiten mit kleinem oder ohne Stromverbrauch bei Inselanlagen wird empfohlen, die Turbine anzuhalten und das Wasser in einem Reservoir zu speichern. Falls dies aus baulichen Gründen nicht möglich ist, besteht auch die Möglichkeit, einen Teil des produzierten Stromes in Batterien zu speichern.

Ossberger-Turbine



- 1 Laufrad
- 2 Leitapparat

Kraftwerkanlage in der Übersicht



- | | |
|----------------------|------------------|
| 1 Wehr/Wasserfassung | 5 Druckleitung |
| 2 Entsander | 6 Maschinenhaus |
| 3 Ausleitung | 7 Wasserrückgabe |
| 4 Wasserschloss | 8 Stromleitung |

Komponenten eines Kleinst-Wasserkraftwerkes

Ein Kleinstwasserkraftwerk besteht im Wesentlichen aus 5 Komponenten - der Wasserfassung, dem Reservoir, der Druckleitung, der Turbine und dem Generator, welcher letztlich den elektrischen Strom erzeugt.

Durch das Wehr bzw. die Wasserfassung wird das Wasser aus dem natürlichen Bachlauf abgeleitet. An die Fassung schliesst sich in der Regel ein Entsander an, eine ruhige Fliesstrecke, in der sich mitgeschwemmter Sand absetzen kann. Das möglichst sandfreie Wasser wird der Druckleitung zugeführt, welche dieses entlang dem Bach talwärts zum Turbinenhaus befördert. Zwischen der Wasserfassung und der Druckleitung kann ein Wasserschloss erforderlich sein, um bei kurzfristigen Wassermengenänderungen die Druckstösse in der Druckleitung abzufangen. Ein Reservoir anstelle des Wasserschlosses ermöglicht das Speichern des Wassers für Zeiten mit hohem Stromverbrauch. Das von der Turbine ausströmende Wasser wird schliesslich auf möglichst kurzem Weg dem Bach zurückgegeben.

Energiebedarf eines Alpbetriebes

Der Energiebedarf eines Alpbetriebes richtet sich nach seiner Grösse und seiner Betriebsart. Während eine Rinderalp in den meisten Fällen einen minimalen Strombedarf für die Beleuchtung und zum Betrieb eines Elektrozaungerätes aufweist, kann ein Alpbetrieb mit Milchvieh und eigener Käserei den Energiebedarf eines Talbetriebes erfordern.

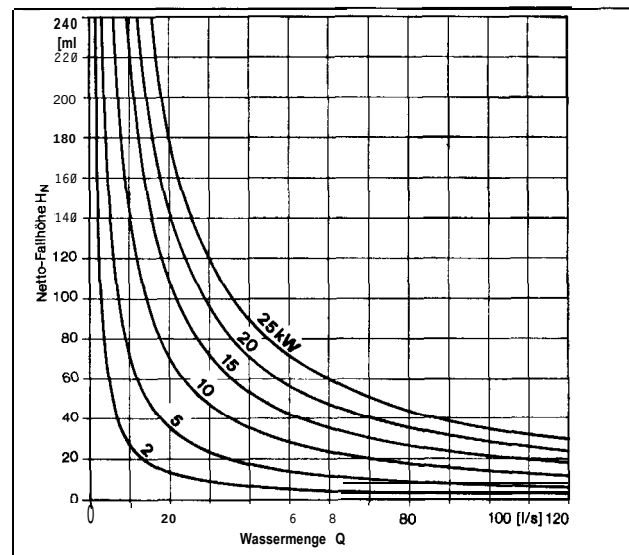
Die effektive Leistung einer Inselanlage errechnet sich aus dem Strombedarf der anzuschliessenden Elektrogeräte. Um eine Überdimensionierung der Anlage zu vermeiden, versucht man, den Stromverbrauch möglichst auf 24 h zu verteilen. Insbesondere ist der gleichzeitige Einsatz mehrerer grosser Stromverbraucher zu vermeiden (z.B. GÜllerührwerk und Kochherd). Allfällige Stromüberschüsse können auch an einen elektrischen Warmwassererzeuger (Boiler) abgegeben werden.

Ist die zur elektrischen Versorgung des Betriebes notwendige Leistung bekannt, gilt es abzuklären, ob der in Frage kommende Bergbach dafür genügt. Die aus einem Gewässer erzeugbare Leistung ist abhängig von der ausnutzbaren Höhendifferenz (Fallhöhe) und der zur Verfügung stehenden Wassermenge. Sie berechnet sich überschlagsmässig nach der Formel:

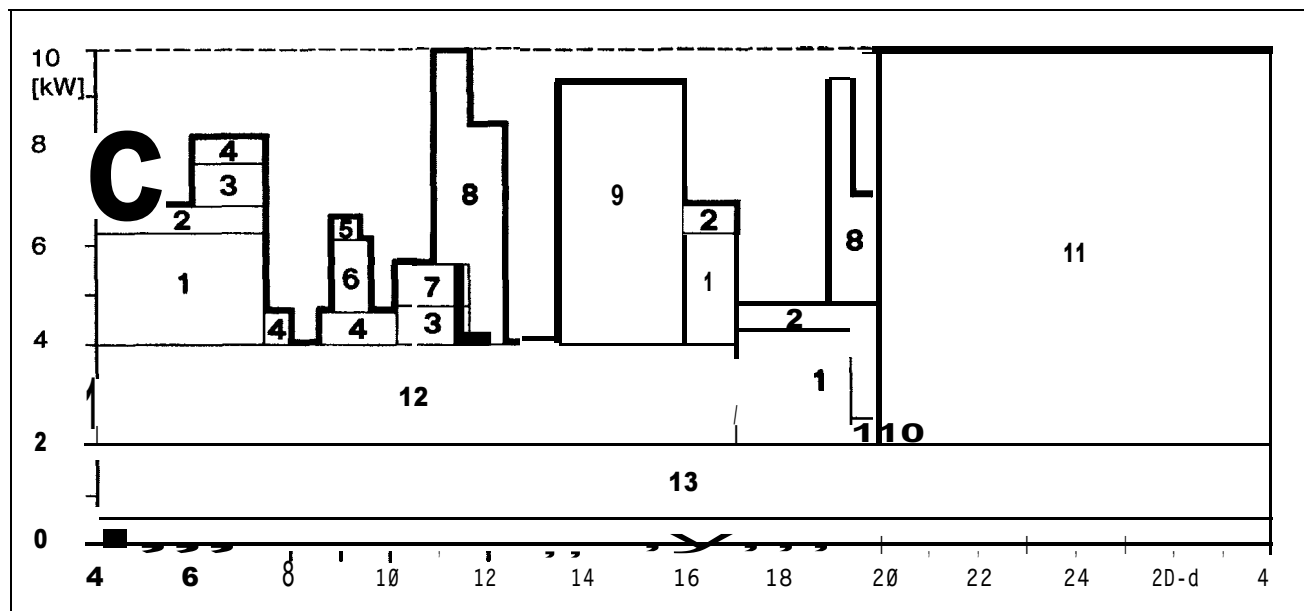
$$\text{Elektrische Leistung} = \text{Wassermenge} \times \text{Fallhöhe} \times 0.007$$

Eine Leistung von 10 kW lässt sich danach zum Beispiel mit einer Wassermenge von 10 l/s bei einer Fallhöhe von 140 m oder mit einer Wassermenge von 70 l/s bei einer Fallhöhe von 20 m erzeugen.

Elektrische Leistung in Abhängigkeit der Fallhöhe und der Wassermenge



Leistungsbedarf eines Alpbetriebes mit 136 Kühen und angeschlossener Käserei



- | | |
|--------------------------|--|
| 1 Vakuumpumpe | 8 Kochherd |
| 2 Milchpumpe (Melkstand) | 9 Gülle-Rührwerk |
| 3 Zentrifuge | 10 Bassin-Rührwerk |
| 4 Käserei-Rührwerk | 11 Wärmespeicher |
| 5 Warmwasserpumpe | 12 Heisswasserboiler |
| 6 Butterfertiger | 13 Grundlast (Licht, Kühlschrank etc.) |
| 7 Milchpumpe (Käserei) | 14 Zuleitungsverluste |

Installationskosten verschiedener Kleinstwasserkraftwerke

Ort	Leistung	Fall- höhe	Wasser- menge	Kosten
	(kW)	(m)	(l/s)	(Fr.)
Blackenalp	0.15	18.5	1.6	6 800.-
Beuertweid	2.0	90.0	4.0	18 500.-
Hinterchirel	2.4	130.0	3.0	20 200.-
Bachläger	8.6	50.0	26.0	102 000.-
Cavel	15.4	84.0	27.0	220 700.-
Aebnet	16.0	220.0	11.0	180 400.-

Kosten

Kleinstwasserkraftwerke sind immer an örtliche Verhältnisse angepasste Anlagen und Bauwerke. Es ist deshalb schwierig, allgemein gültige Angaben über die Kosten einer Anlage zu machen.

In der Praxis ist ein entsprechendes Vorprojekt für eine zuverlässige Kostenabschätzung unerlässlich. Durch Eigenleistungen können die effektiven Kosten z.T. erheblich reduziert werden, Eigenleistungen können z.B. bei den Grabarbeiten für die Wasserleitungen sowie beim Bau der Wasserfassung und des Maschinenhauses erbracht werden.

Die Investitionskosten eines Kleinstwasserkraftwerkes liegen im Bereich zwischen rund 9000 - 15000.- pro kW installierte Leistung.

Ein Investitionsbedarf unter Fr. 10000.- pro Kilowatt scheint nur bei grosser Eigenleistung oder bei besonders günstigen Verhältnissen möglich (Quellenfassung, günstige topographische Verhältnisse, kurze Elektrozuleitungen).

Die aufgeführten Investitionen verstehen sich ohne Abzug allfälliger Subventionsbeiträge. Einzelne Kantone subventionieren Wasserkraftwerke für Alpbetriebe, die dafür zuständige Stelle ist in der Regel das kantonale Meliorationsamt.

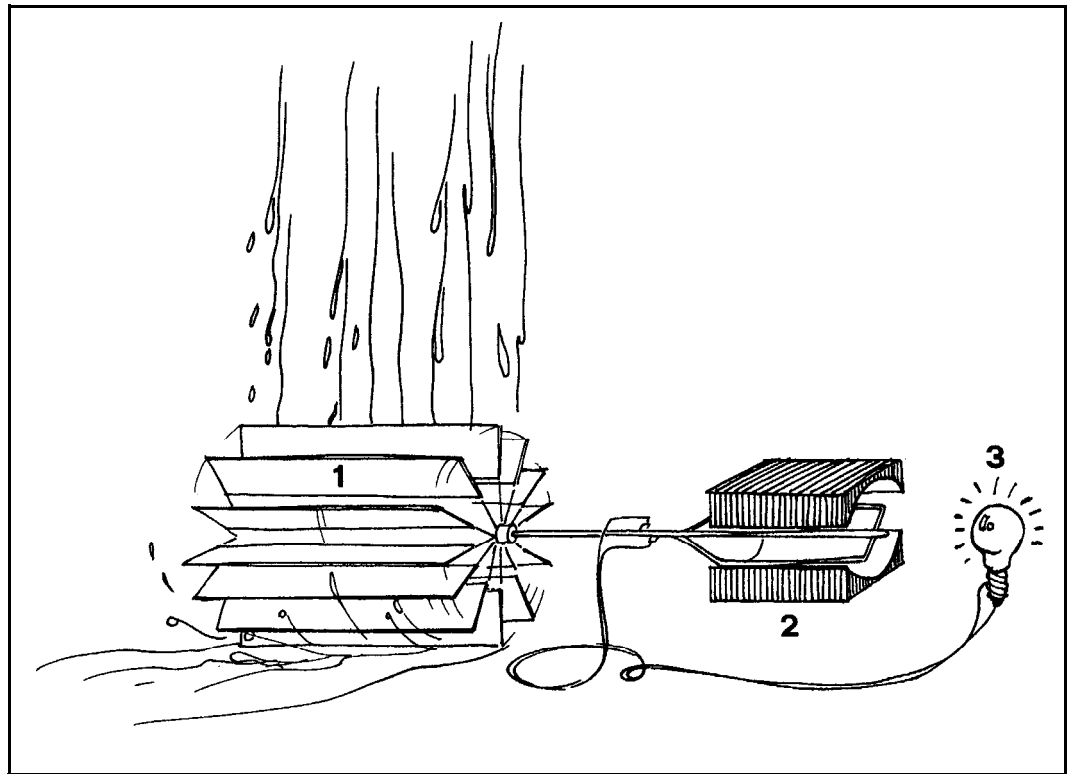
Weiterführende Literatur

Energieversorgung von Alpbetrieben mit Kleinstwasserkraftwerken. FAT-Bericht Nr. 348, 1989, 28 S.

Kleinstwasserkraftwerke in der Schweiz, Teil III. Mitteilung Nr. 2, 1987. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ) Bestell-Nr. 804.101d.

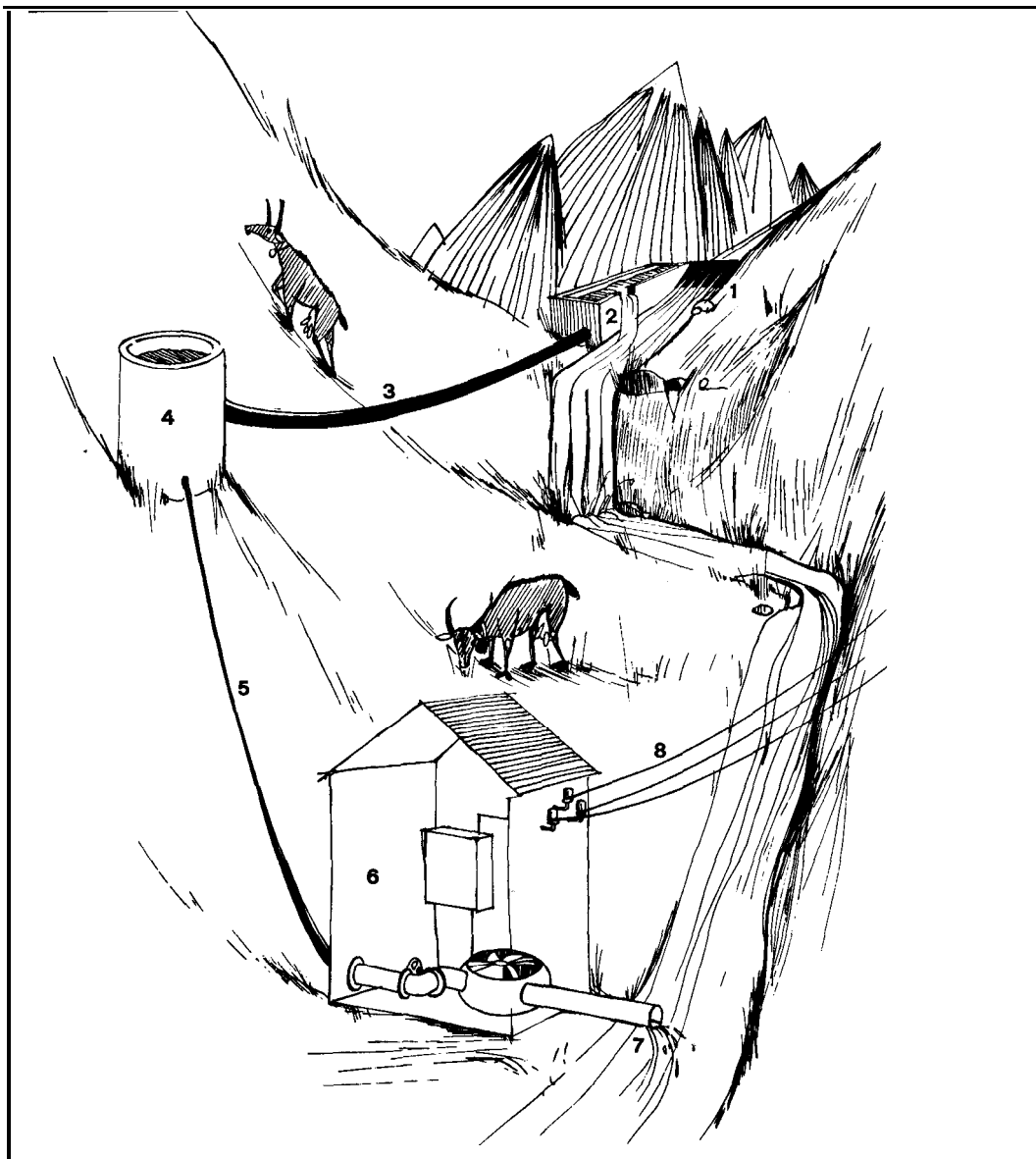
Entwurf von Wasserfassungen im Hochgebirge. Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 33, 1981, Heft 11/12.

Funktionsprinzip



- 1 Turbine
- 2 Generator
- 3 Elektrischer Strom (Verbraucher)

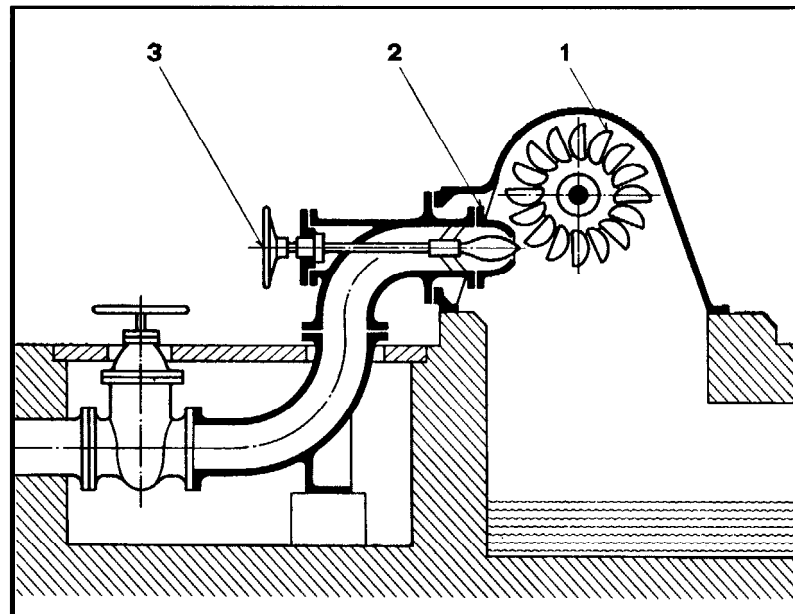
Komponenten eines Kleinstwasserkraftwerkes



- 1 Wehr/Wasserfassung
- 2 Entsander
- 3 Ausleitung
- 4 Wasserschloss
- 5 Druckleitung
- 6 Maschinenhaus
- 7 Wasserrückgabe
- 8 Stromleitung

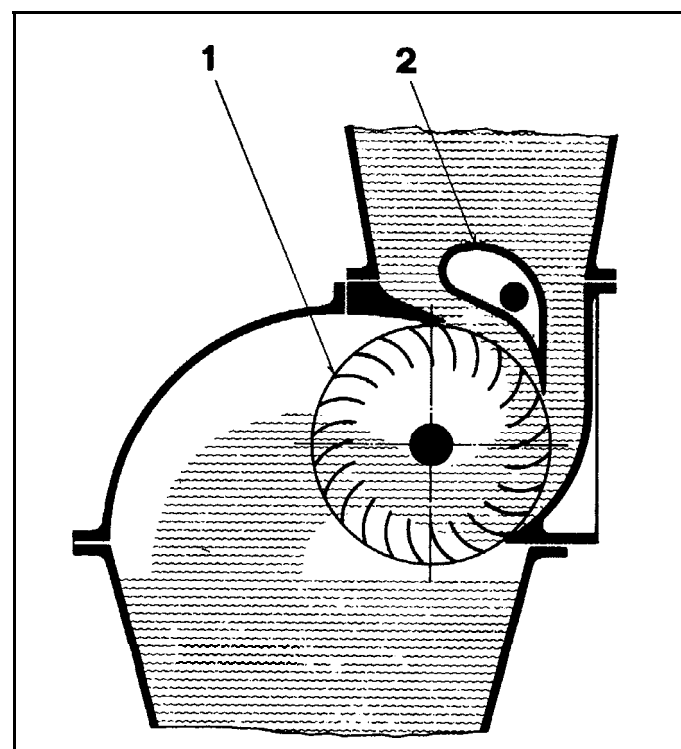
Pelton- und Ossberger-Turbine

Pelton-Turbine



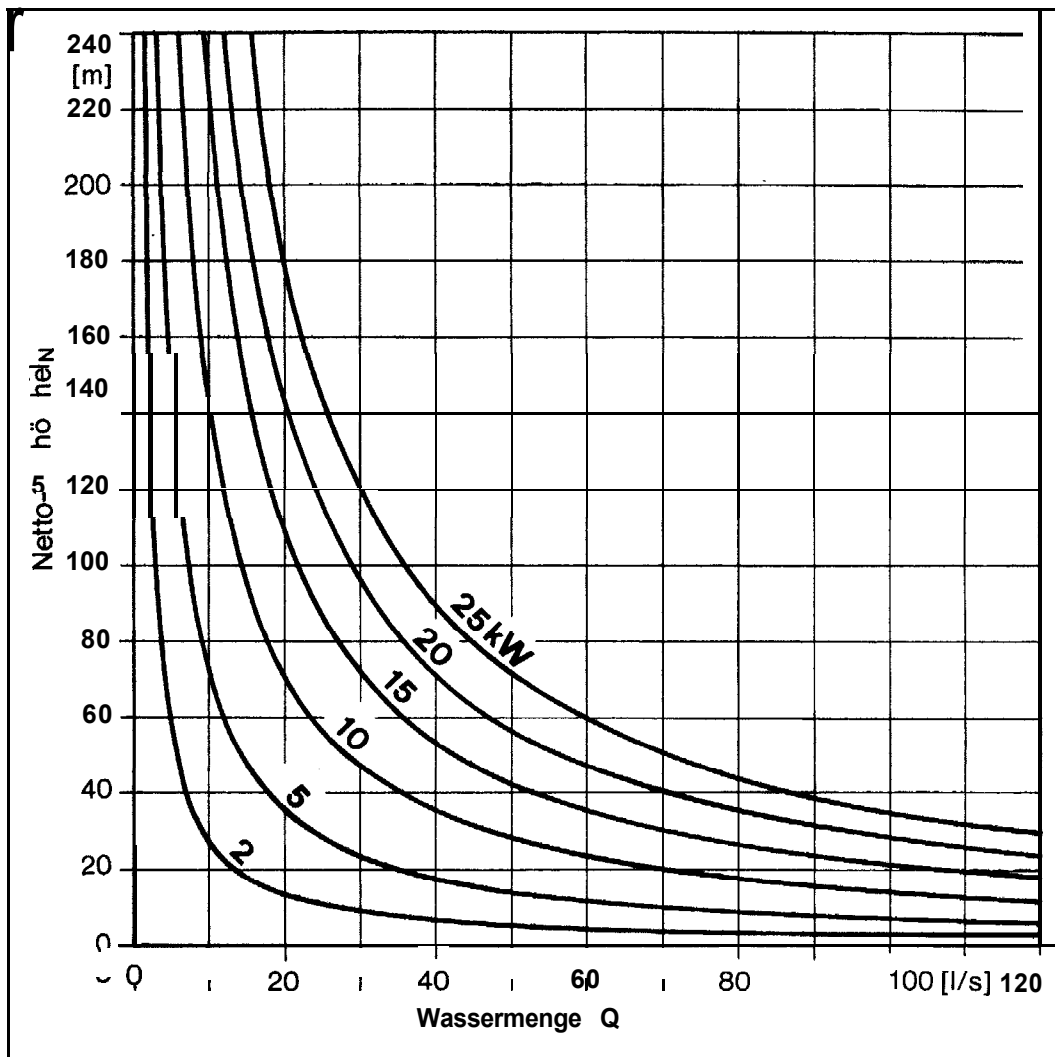
- 1 Laufrad
- 2 Düse
- 3 Regler
zur Düsen-
verstellung

Ossberger-Turbine

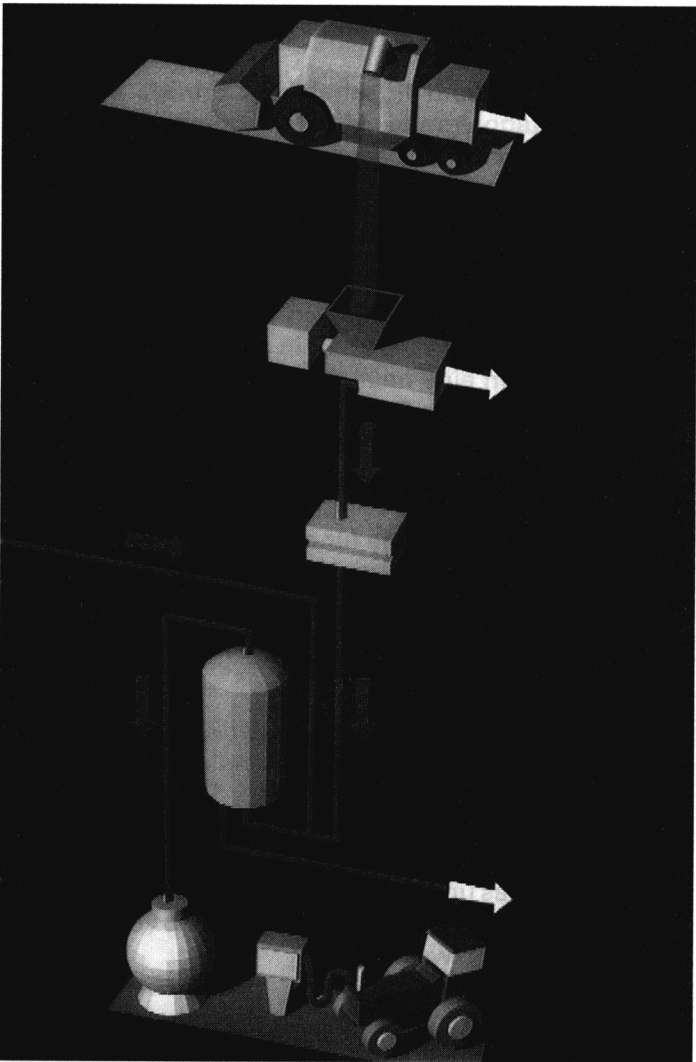


- 1 Laufrad
- 2 Leitapparat

Elektrische Leistung in Abhängigkeit der Fallhöhe und der Wassermenge



Nachwachsende Rohstoffe



Pflanzen als Energiespender	58
Rapsöl als Dieseltreibstoff	59
Produktion von Rapsmethylester	60
Vergleichsmessungen	60
Energiebilanz	61
Wirtschaftlichkeit	62

Nachwachsende Rohstoffe

Pflanzenmaterial zur Treibstoffherstellung

Rohstoff	Treibstoff
zuckerhaltig	
Zuckerrohr	Ethanol
Zuckerrüben	
Futtermüben	
Zuckerhirse	
stärkehaltig	
Kartoffeln	Ethanol
Getreide	
Mais	
Maniok	
cellulosehaltig	
Holz	Ethanol
Stroh	
Schalen/Hülsen	
Bagasse	
öihaltig	
Raps	Pflanzenöie
Rüben	
Flachs	
Hanf	
Sonnenblumen	

Pflanzen als Energiespender

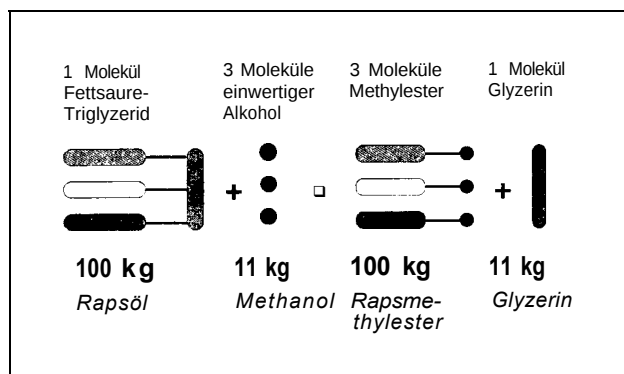
Steigende landwirtschaftliche Erträge einerseits und stagnierende Märkte andererseits führen zunehmend zu Überschüssen und bringen damit die traditionelle Rolle der schweizerischen Landwirtschaft, als Erzeugerin von Nahrungsmitteln, ins Wanken.

Nebst Extensivierung und Flächenstilllegung suchen die Bauernvertreter in den nachwachsenden Rohstoffen eine neue Absatzmöglichkeit. Sie eignen sich für den Energiebereich oder als industrieller Grundstoff. Beide Bereiche sind für die Landwirtschaft nicht neu. Noch bis weit ins zwanzigste Jahrhundert hinein hatte ein Landwirt rund einen Viertel seiner Fläche für die Bereitstellung des betriebsinternen Energiebedarfes sowie für weitere Grundstoffe des täglichen Bedarfs reserviert. Erst mit dem Aufkommen der Erdöltechnologie ist dieser interne Kreislauf in Vergessenheit geraten.

Mit der Kultur nachwachsender Rohstoffe möchte man diese alte Tradition -wenngleich in moderner Form - wieder aufleben lassen. Statt als Futter für Zugtiere würden Pflanzen neu zur Herstellung von Treibstoff und Schmiermittel, oder zur Produktion von Biogas und Pyrolysegas angebaut. Treibstoffe und Gase dienen letztlich zum Antrieb von Motoren oder zu Heizzwecken.

Als Rohstoffe mit hohem Energieinhalt bieten sich vor allem zucker- und stärkehaltige Kulturen an wie Zuckerrüben, Kartoffeln, Getreide und Mais. Sie lassen sich mit bekannten chemisch/biologischen Verfahren zu Ethanol umwandeln.

Prinzip der Umesterung von Rapsöl



Schnellwachsende Hölzer, Stroh, Ganzgetreide oder Heu können verbrannt und via Dampf zur Erzeugung von Strom, oder direkt als Heizwärme genutzt werden. Energetisch interessanter ist jedoch die Herstellung von Syn(these)-Gas mittels Pyrolyse, d.h. Verbrennung ohne Luft (thermische Reduktion). Das kohlenmonoxidreiche Schwachgas ist zum Betrieb von Wärme-Kraft-Kopplungs- (WKK-)Anlagen geeignet, welche die Energie in rund 25 bis 30% Strom und 50 bis 60% Wärme umsetzen.

All diese Techniken sind seit langem bekannt und bis zur Pilot- oder Demonstrationsanlage entwickelt. Ihre weitere Verbreitung ist bislang aber gescheitert, einmal an der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Erdöl, oft aber am energetischen Wirkungsgrad und der oekologischen Bilanz.

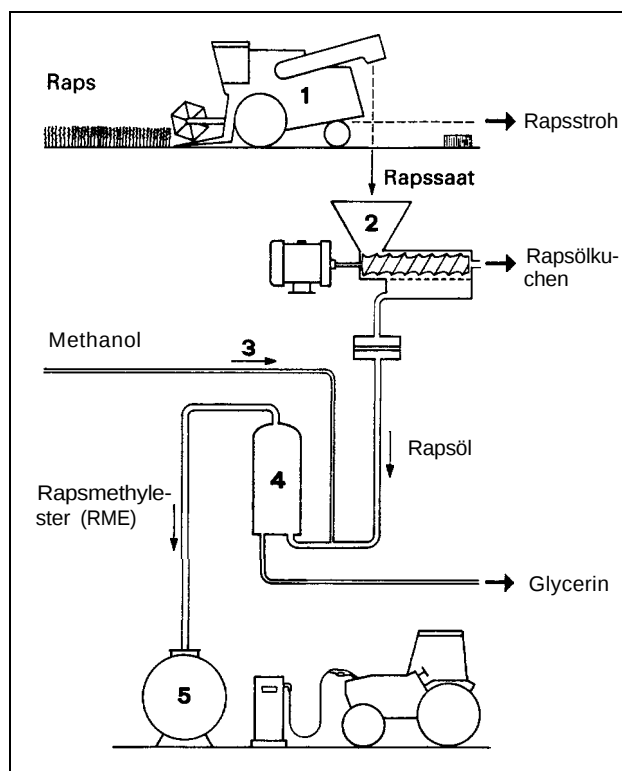
Neue, oekologisch unbedenkliche Perspektiven eröffnet die Nutzung von Naturgas, welches in Fermentern bakteriell zu Biogas umgesetzt wird. Allerdings ist die Vergärung von Gras noch wenig erforscht, d.h. nicht unmittelbar praxisreif.

Rapsöl als Dieseltreibstoff

In den vergangenen zehn Jahren wurden in Deutschland und vor allem auch in Oesterreich umfangreiche Versuche zur Verwendung von Pflanzenölen, speziell Rapsöl als Treibstoff für Dieselmotoren durchgeführt. Es zeigte sich, dass Rapsöl in modernen Dieselmotoren - vor allem in solchen mit direkter Einspritzung - wegen der rund zehnmal höheren Zähflüssigkeit zu Verkokung und damitzu Motorschäden führt. In Kleinserien bestehen heute spezielle Dieselmotoren, nach seinem Erfinder Elsbett-Motoren genannt, welche Rapsöl ohne Probleme mit gutem Wirkungsgrad verbrennen können. Der Vorteil eines Direkteinsatzes von Rapsöl wäre, dass die Ölgewinnung mittels Kleinpressen direkt auf dem Hof des Rapsanbauers möglich würde. Nachteilig ist, dass der Umbau der Motoren mit Kosten von rund fünf- bis zehntausend Franken pro Motor teuer zu stehen kommt. Ein Treibstoffhersteller wird daher anfänglich kaum mit grösserem Absatz rechnen können.

Während man in Deutschland den Elsbett-Motor vorantreibt, geht Oesterreich einen anderen Weg. Statt den Motor passt man hier den Treibstoff an. Dies ist möglich durch die sog. Umesterung, eine relativ einfache chemische Reaktion. Das leicht veränderte Rapsöl - der sog. Rapsmethylester - lässt sich in fast allen Dieselmotoren verwenden, ohne dass am Motor eine Anpassung notwendig ist. Bei entsprechenden Treibstoffpreisen sind schnell grosse Absatzmengen möglich.

Schematischer Prozessablauf der Biodieselherstellung



1 Ernte

1 ha Rapskultur ergibt 6000 kg Rapsstroh und 3000 kg Rapssaat

2 Ölgewinnung

Aus 3000 kg Rapssaat entstehen 1800 kg Rapsölkuchen und 1300 Liter Rapsöl

3 Methanolzugabe

Dem Rapsöl werden 165 Liter Methanol zugegeben

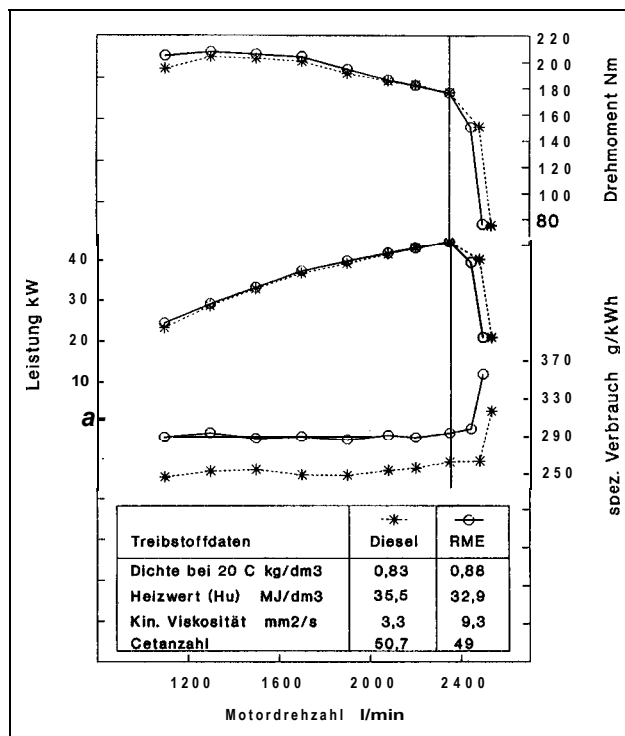
4 Umesterung

Bei der nachfolgenden Umesterung entstehen schliesslich 1375 Liter RME (Rapsmethylester) und 100 Liter Glycerin

5 Lagerung und Nutzung

Betrieb von Dieselfahrzeugen (Öffentliche Busse und Traktoren) mit Rapsmethylester

Biodiesel (RME) im Vergleich zu Dieselöl



Die Technik der Umesterung ist in Oesterreich entwickelt worden und steht im Grossmassstab im Einsatz. In der Schweiz besteht die Absicht, diese Methode zu übernehmen.

Produktion von Rapsmethylester

Als Pflanzenmaterial eignen sich die gleichen Rapssorten wie für die Speiseölproduktion. Die Übernahme und Verarbeitung in den Ölmühlen verläuft daher gleich. Anstelle der Raffination tritt bei der Treibstoffproduktion die Umesterung. Dabei wird dem Rapsöl unter leichter Erwärmung auf 50° bis 80°C - Methanol zugegeben. Mit Hilfe eines Katalysators spalten sich die grossen Fettmoleküle vom Glycerinteil ab und verbinden sich einzeln mit je einem Methanoltteilchen zum sogenannten Rapsmethylester (RME). Aus 1300 Litern Rapsöl entstehen 1375 Liter RME und als Nebenprodukt 131 kg Glycerin, das in gereinigter Form in der chemischen Industrie Absatz findet. Das zweite Nebenprodukt, der Rapsschrot, lässt sich gut als Futtermittel absetzen, insbesondere wenn die neuen 00-Sorten angebaut werden.

Vergleichsmessungen

Motorcharakteristik

Die Resultate vergleichender Prüfstandmessungen an einem 48 kW Traktor (SAME Explorer 65) mit RME und Diesel zeigen, dass sowohl die Drehmoment- wie die Leistungskurven nahezu deckungsgleich sind. Hingegen ist der Treibstoffverbrauch bei RME um 6 bis 8 Volumenprozent grösser wegen seines geringeren Heizwertes.

Die Prüfstandversuche lassen erwarten, dass ein Traktorfahrer in der Praxis kaum unterscheiden kann, ob er mit Diesel oder RME fährt, es sei denn, er stelle dies mit der Nase fest. Statt nach beissen-dem Dieselabgas riechen RME-Abgase eher nach dem Öl von Pommes-Frites.

Abgase

Die Abgase von RME betriebenen Traktoren riechen jedoch nicht nur anders, sondern sind auch deutlich weniger umweltbelastend. RME verursacht bei gleichem Betrieb wie Diesel

- rund ein Drittel weniger Russ (Partikelemissionen)
- deutlich weniger (krebserregende) Kohlenwasserstoffe
- fast keine Schwefeldioxide (verantwortlich für den sauren Regen)
- wirkt zufolge des geschlossenen CO₂-Kreislaufes dem Treibhauseffekt entgegen.

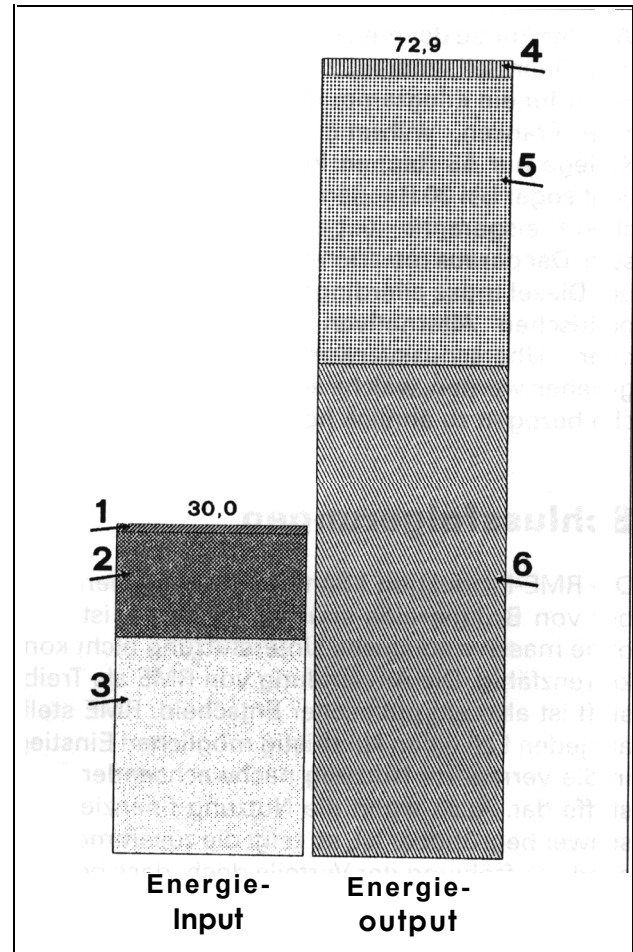
Insbesondere der letzte Punkt muss deutlich hervorgehoben werden. Würde der gesamte inländische Rapsanbau von 17 000 ha als Treibstoff verwendet, so betrüge die CO₂-Reduktion rund 60 Mio kg!

Zur Zeit werden RME-betriebene Motoren in der Praxis getestet. Einmal läuft ein Versuch mit zwei Traktoren auf einem Landwirtschaftsbetrieb (Ackerbau), zum anderen werden fünf Busse der Verkehrsbetriebe Zürich mit RME betrieben.

Energiebilanz

Die Energiebilanz von Biodiesel ist deutlich positiv. Rechnet man alle für den Rapsanbau und die Umesterung aufgewendeten Energieeinheiten - sei dies direkt in Form von Treibstoff oder Strom oder indirekt in Form von Dünger - zusammen, so resultiert ein Betrag von 30 GJ (das sind 30 Mio kJ). Der Energieertrag in Form von RME, Glycerin und Rapsschrot beträgt jedoch rund 73 GJ, d.h. es resultiert ein Erntefaktor (Output/Input-Verhältnis) von 2.4. Selbst wenn man nur die Energie in Form von Treibstoff (ohne Glycerin und Rapsschrot) berücksichtigt, ist die Bilanz immer noch positiv.

Energiebilanz für Biodiesel



Die Energiebilanz von Biodiesel ist deutlich positiv. Aus jeder für die Produktion aufgewendeten Energieeinheit lassen sich innerhalb eines Jahres rund zweieinhalb Einheiten in Form von Treibstoff oder Futtermittel gewinnen.

1 Methanol	0.85 GJ
2 Industrielle Verarbeitung	9.49 GJ
3 Landwirtschaftliche Produktion	19.66 GJ

TOTAL Energie-Input 30.0 GJ/ha

4 Glycerin	1.56 GJ
5 Futtermittel	26.49 GJ
6 Biodiesel	44.85 GJ

TOTAL Energie-Output 72.90 GJ/ha

Wirtschaftlichkeit

Wie der Anbau der meisten Kulturen wird auch der Raps finanziell unterstützt. So erhält ein Schweizer Bauer für ein Kilogramm Rapssaat etwas mehr als zwei Franken, während sein österreichischer Kollege nur 55 Rappen löst. Der Weltmarktpreis liegt sogar bei 30 Rappen. Als Folge dieser staatlichen Preisgarantie steigen auch die Biodieselskosten. Der daraus resultierende Fehlbetrag gegenüber Diesel muss allerdings im Rahmen der agrarpolitischen Alternativen wie Flächenstilllegung oder Überschussverwertung von Brotgetreide gesehen werden, welche auf die HektareAnbaufläche bezogen zu ähnlich hohen Kosten führen.

Schlussfolgerungen

Die RME-Produktion könnte zwar das Überangebot von Brotgetreide spürbar entlasten, ist aber ohne massive staatliche Unterstützung nicht konkurrenzfähig. Die Anwendung von RME als Treibstoff ist also ein politischer Entscheid. RME stellt auf jeden Fall einen kurzfristig möglichen Einstieg in die vermehrte Nutzung nachwachsender Rohstoffe dar. Auch wenn die Nutzung finanziell nur schwer begründbar ist, so zeigt die zusammenfassende Aufzählung der Vorteile doch, dass bei entsprechender politischer Gewichtung, ein volkswirtschaftlicher Nutzen zu erzielen wäre:

RME ist ein Treibstoff mit geringer Umweltbelastung: Er hat einen geringen SO_x-Ausstoss und tiefe Partikelemissionen; die Konzentration an atmosphärischem CO₂ wird weniger stark erhöht.

Die RME-Produktion zeigt eine positive Energiebilanz: Aus einer aufgewendeten Energieeinheit werden 2.4 neue produziert.

Raps hält die Felder über die Wintermonate bedeckt und wirkt somit einer Nitratauswaschung aus dem Boden entgegen.

Mit den neuen 00-Rapssorten steht ein hochwertiges, einheimisches Kraftfutter zur Verfügung.

Weiterführende Literatur

Nachwachsende Rohstoffe - Chance für die Landwirtschaft und die chemische Industrie. Landwirtschaft Schweiz, Band 2 (5), 1989.

Fahren mit Rapsöl. Schweizer Landtechnik LT 1/1991.

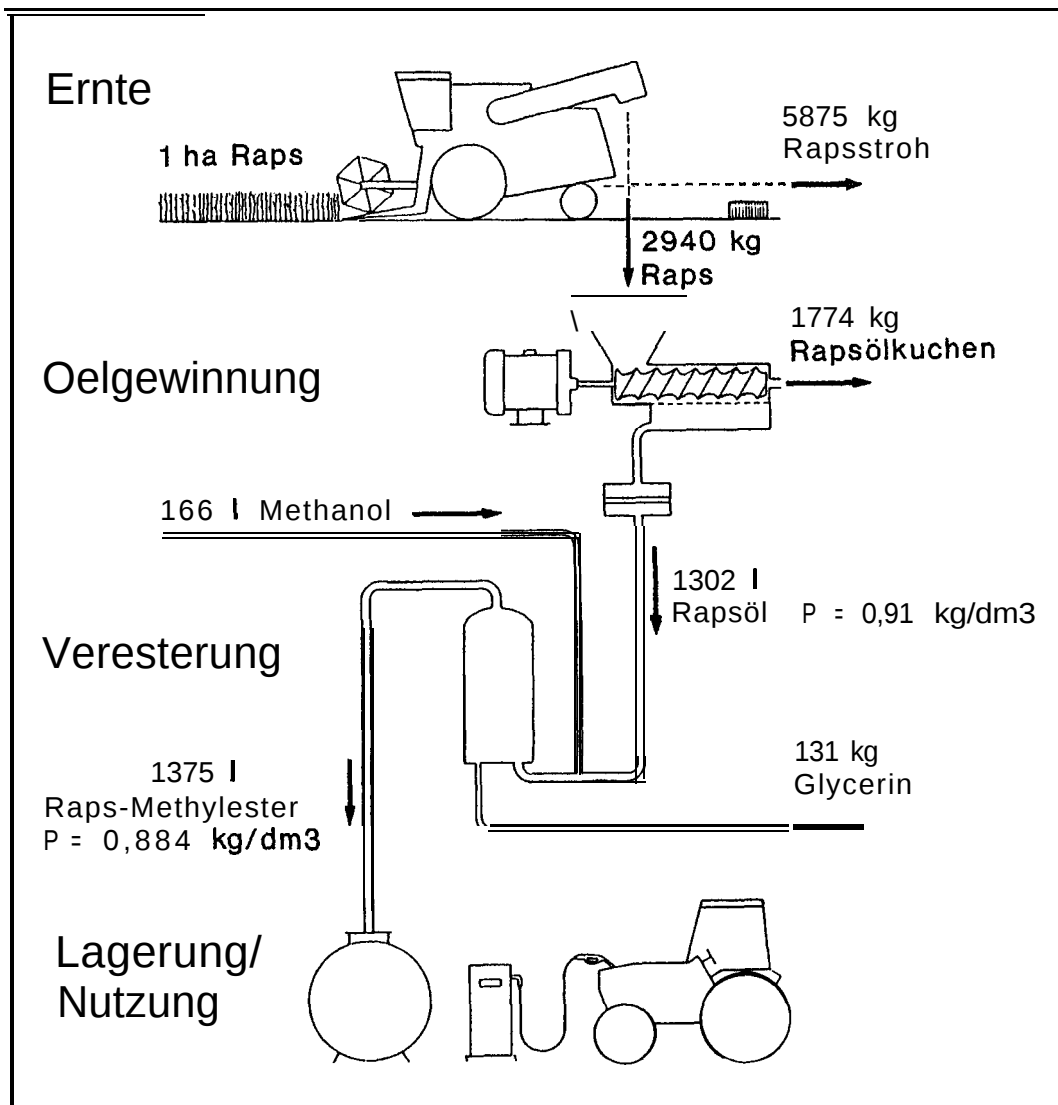
Rapsöl für Dieselmotoren - Motortechnischer Vergleich mit herkömmlichem Treibstoff. Landwirtschaft Schweiz, Band 4 (12), 1991.

Energie- und CO₂-Bilanzen über den Alternativtreibstoff Biodiesel. Landwirtschaft Schweiz, Band 4 (12), 1991.

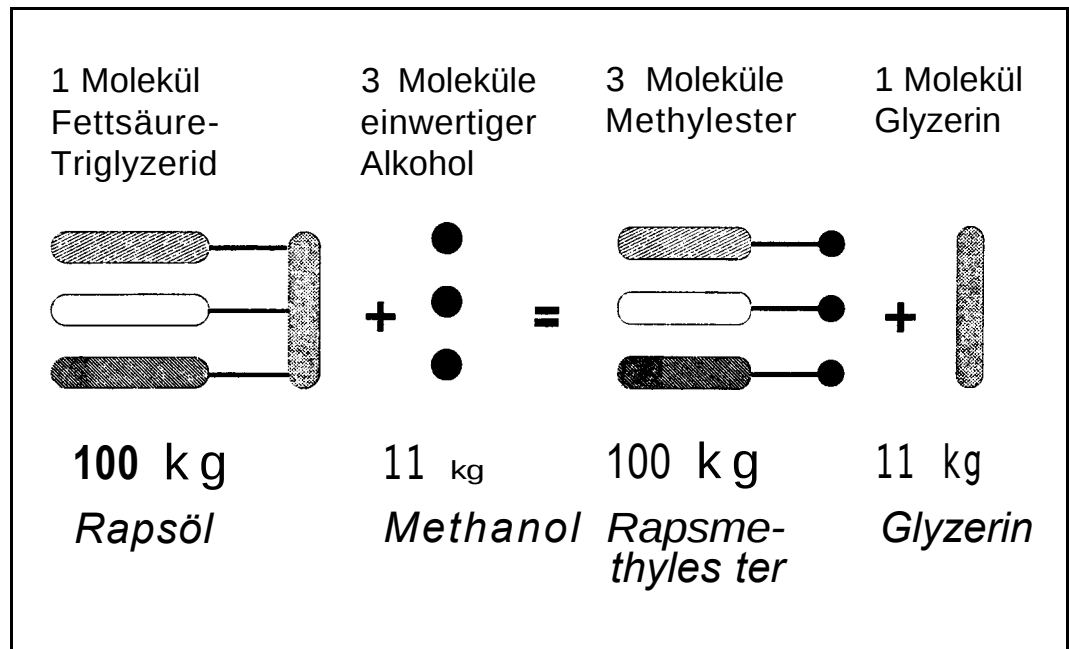
Pflanzenmaterial zur Treibstoffherstellung

<u>Rohstoff</u>	<u>Treibstoff</u>
zuckerhaltig	
Zuckerrohr	
Zuckerrüben	Ethanol
Futterrüben	
Zuckerhirse	
stärkehaltig	
Kartoffeln	
Getreide	Ethanol
Mais	
Maniok	
cellulosehaltig	
Holz	
Stroh	
Schalen/Hülsen	Ethanol
Bagasse	
ölhaltig	
Raps	
Rüben	
Flachs	Pflanzenöle
Hanf	
Sonnenblumen	

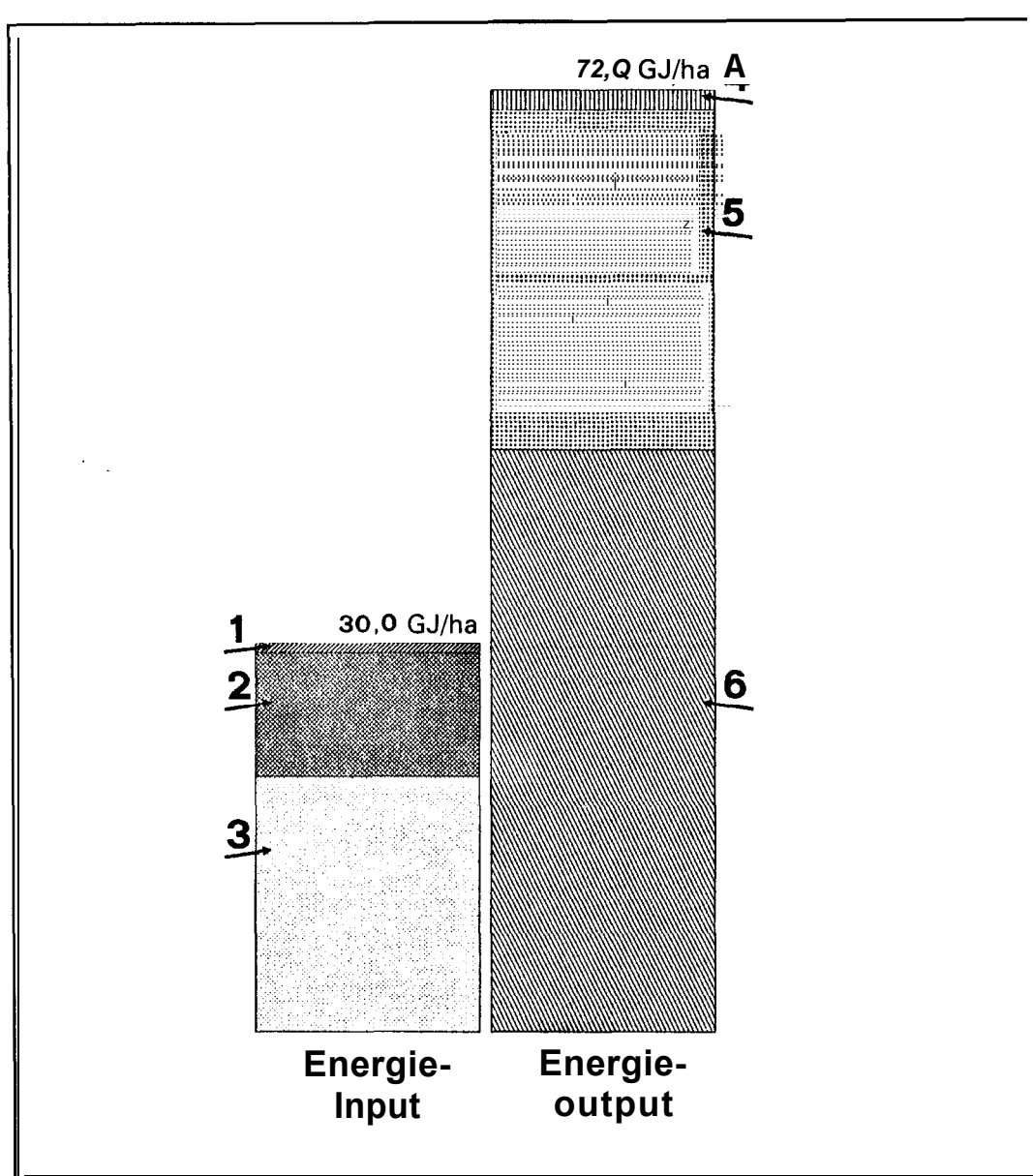
Prozessablauf der Biodieselherstellung



Prinzip der Umesterung von Rapsöl



Energiebilanz der Biodieselsproduktion



1	Methanol	0.85 GJ
2	Industrielle Verarbeitung	9.49 GJ
3	Landwirtschaftliche Produktion	19.66 GJ
4	Glycerin	1.56 GJ
5	Futtermittel	26.49 GJ
6	Biodiesel	44.85 GJ