



Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme



Planungsleitfaden für Energiekonzepte von Berghütten



Juli 2002



Planungsleitfaden für Energiekonzepte von Berghütten



Durchführung: Fraunhofer ISE
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg
Tel.: 07 61 – 45 88-52 16
Fax: 07 61 – 45 88-92 17
e-mail: bopp@ise.fhg.de

Projektleiter: Dipl.-Ing. Georg Bopp

Autoren: Dipl.-Ing. Georg Bopp,
Dipl.-Ing. Klaus Kiefer,
Dipl.-Ing. Dirk Uwe Sauer

Inhalt

1	Allgemeines	4
1.1	Zweck und Zielgruppe	4
1.2	Qualifikation der Planer	5
2	Erfassung und Bewertung des Ist-Zustands	5
2.1	Kontaktgespräch und Erfassung der allgemeinen Daten	5
2.2	Begehung der Hütte und Aufnahme des Ist-Zustands der Energieversorgung	6
2.2.1	Gebäudezustand	7
2.2.2	Heizung	7
2.2.3	Warmwasser	7
2.2.4	Kochen	8
2.2.5	Elektrische Energie	8
2.3	Beschreibung des Ist-Zustands	9
3	Entwicklung eines Gesamtkonzepts	10
3.1	Ermittlung des Energiespar- und Emissionsminderungspotenzials	10
3.1.1	Heizung	11
3.1.2	Warmwasser	12
3.1.3	Kochen	12
3.1.4	Elektrische Energie	13
3.2	Wärme- und Stromerzeuger: Potenziale, Betriebs- und Umwelteigenschaften bzw. Gefährdungspotenziale und Kosten	16
3.2.1	Heizung	16
3.2.2	Warmwasser	17
3.2.3	Kochen	17
3.2.4	Elektrische Energie	18
3.3	Entwicklung und Dimensionierung eines Versorgungskonzepts	22
3.4	Bewertung und detaillierte Darstellung der Vorzugsvariante	27
4	Beispiele	28
4.1	Magdeburger Hütte	28
4.2	Hermann-von-Barth Hütte	29
5	Anhang	31
5.1	Literatur	31
5.2	Erfassungstabellen	32

1 Allgemeines

1.1 Zweck und Zielgruppe

Berg- und Schutzhütten sind typischerweise dadurch gekennzeichnet, dass sie nicht an ein öffentliches Ver- und Entsorgungssystem angeschlossen sind und in besonders sensiblen Gebieten liegen. Hieraus ergeben sich u.a. spezielle Anforderungen an eine umweltgerechte Versorgung dieser Einrichtungen.

Versorgungssysteme umfassen u. a. Systeme zur Energieversorgung. Umweltgerechte Energieversorgungssysteme zeichnen sich dadurch aus, dass die energiebedingten Umweltbeeinträchtigungen (z. B. in Form von Emissionen, Ressourcen- oder Landschaftsverbrauch) im finanziell vertretbaren Rahmen auf das technisch Machbare reduziert werden.

Hieraus ergibt sich typischerweise, dass zunächst sämtliche Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs (rationelle Energieverwendung) und der Anschlussleistung (Vergleichmäßigung des Lastganges) geprüft und wo machbar und vertretbar umgesetzt werden. Der verbleibende Energiebedarf sollte möglichst durch den Einsatz regenerativer Energien gedeckt werden, wobei auch dabei mögliche Umweltbeeinträchtigungen zu berücksichtigen und abzuwägen sind. Nur in besonders begründeten Ausnahmefällen sollten konventionelle Energieträger eingesetzt werden. Dabei sind Energieträger zu bevorzugen, die sich durch eine möglichst geringe Wassergefährdung und geringe Emissionen bei der Umwandlung auszeichnen. Vor dem Hintergrund dieser Anforderungen sollte insbesondere für größere Hütten ein Energieversorgungskonzept erarbeitet werden, das z. B. auch die kombinierte Nutzung von Strom und Wärme vorsieht.

Die Qualität eines solchen Konzepts ist danach zu bemessen, inwieweit die oben genannten Kriterien Eingang in die Planung gefunden haben. Besonders herausragende Konzepte zeichnen sich durch eine Vorzugsvariante aus, die deutlich über den Status Quo hinaus geht.

Dieser Leitfaden wendet sich sowohl an die Eigentümer und Betreiber von Schutz- und Berghütten (z. B. Hüttenwarte oder Hüttenpächter) wie auch an Ingenieurbüros und planende Handwerker. Er will alle am Planungsprozess Beteiligten unterstützen und so einen Beitrag zur Entwicklung hochwertiger Versorgungskonzepte leisten.

Der Leitfaden beschreibt den grundsätzlichen Ablauf der Erarbeitung eines Energieversorgungskonzepts. Er gibt Hilfestellungen für die Ermittlung des aktuellen Energieverbrauchs. Er zeigt auf, welche Möglichkeiten es zur Reduzierung des Energiebedarfs gibt, wie die Energie umweltschonend bereit gestellt werden kann und wie aus verschiedenen Einzelmaßnahmen ein Gesamtkonzept entwickelt wird.

1.2 Qualifikation der Planer

Als Planer im Sinne dieses Leitfadens sind Fachleute anzusehen, die über gute theoretische und praktische Erfahrungen im Bereich der Energietechnik und der regenerativen Energien verfügen. In der Regel setzt dies eine Ingenieur- oder naturwissenschaftliche Ausbildung, möglichst mit handwerklichen Fähigkeiten, voraus. Die Qualifikation des Beraters sollte durch Angabe entsprechender Referenzen nachgewiesen werden. Eventuelle Bindungen an Hersteller, Vertriebsfirmen, Verbände oder andere Institutionen sind vor Beginn einer Planung offen zu legen.

2 Erfassung und Bewertung des Ist-Zustands

Unabdingbar für die Entwicklung eines hochwertigen Energieversorgungskonzeptes für bestehende Hütten ist eine detaillierte und vollständige Erfassung der vorhandenen Technik und der bisherigen Energieverbräuche. Bei Neubauvorhaben sind auf Grundlage der vorhandenen Erfahrungen anspruchsvolle Zielwerte festzulegen.

Im Nachfolgenden wird ein strukturiertes Vorgehen zur Datenerfassung und -dokumentation beschrieben. Damit wird die Grundlage für die Entwicklung eines hochwertigen Energieversorgungskonzeptes geschaffen. Dieses Vorgehen gliedert sich in folgende Schritte:

1. Kontaktgespräch und Erfassung der allgemeinen Daten
2. Begehung der Hütte und Aufnahme des Ist-Zustands der Energieversorgung
3. Beschreibung des Ist-Zustands

2.1 Kontaktgespräch und Erfassung der allgemeinen Daten

In dem Kontaktgespräch mit dem Hüttenwart bzw. einer anderen kundigen Person der jeweiligen Hütte und möglichst auch dem Hüttenwirt, sind die folgenden allgemeinen Daten als Planungsgrundlage zu erfassen:

- ◆ Lageplan samt Orts- und Höhenangabe und Foto des Gebäudes
- ◆ Gebäudebeschreibung (insbesondere hinsichtlich Grundriss und Aufbau der Gebäudehülle)
- ◆ Bewirtschaftungszeitraum
- ◆ Übernachtungsplätze
- ◆ Hüttenpersonal (ggf. auch hinsichtlich Übernachtungstage der Pächter, Angehöriger und Angestellter)

- ◆ Getränke und Speiseangebot
- ◆ Übernachtungsgäste mindestens der letzten 2 Jahre
- ◆ Tagesgäste mindestens der letzten 2 Jahre
- ◆ Transportmöglichkeiten (Tonnage) / Versorgungsstruktur
- ◆ Vorliegende Erfahrungen mit der vorhandenen Ver- und Entsorgungstechnik (z. B. Elektro- und Wärmeversorgung)
- ◆ Verbrauchswerte, Brennstoffabrechnungen für die elektrische und thermische Energieversorgung mindestens der letzten 2 Jahre
- ◆ Trinkwasserversorgung und Abwasseranlage
- ◆ lokale Auflagen durch Behörden, z. B. Abwasser, Brandschutz
- ◆ geplante Umbaumaßnahmen oder Nutzungsänderungen

Der Hüttenwart sollte dem Planer diese für einen ersten Überblick erforderlichen Unterlagen möglichst schon vor dem Kontaktgespräch, spätestens bis zum Gespräch, zur Verfügung stellen. Viele dieser Informationen sind dem »Hüttenerfassungsbogen 1993« zu entnehmen. Im Bedarfsfall ist eine Kopie bei der jeweiligen Sektion oder im Referat »Hütten und Wege« des DAV in München erhältlich.

2.2 Begehung der Hütte und Aufnahme des Ist-Zustands der Energieversorgung

Durch die Begehung der Hütte wird der Ist-Zustand und die Betriebsweise der Energieversorgung erfasst. Dafür sind mindestens zwei Tage auf der Hütte, mit Übernachtung, vorzusehen, um einen Eindruck von der Betriebsweise zu erhalten. Für die Begehung sind Tage mit typischer Auslastung zu wählen. Zur Erfassung der Leistungsaufnahme und des Energieverbrauchs der Elektrogeräte, sind mindestens drei Energiezähler in Form von Zwischensteckern bereitzuhalten.

Neben der Aufnahme der Energieversorgungsstruktur ist vor allem ein intensives und auf den Hüttenwirt und die Mitarbeiter eingehendes Gespräch notwendig, um einen Eindruck von deren Erwartungen und ihrem Umgang mit Energie und technischen Geräten zu erlangen. Dies ist notwendig, um für die weitere Planung zu erfahren, ob es sich um sehr energiebewusste Nutzer oder um „normale“ Nutzer handelt. Für diese Gespräche ist ausreichend Zeit vorzusehen, z. B. am Abend.

Im Folgenden sind für die einzelnen Verbrauchsbereiche die aufzunehmenden Punkte aufgeführt, siehe auch Tabellen I und II im Anhang. Werden Abschätzungen vorgenommen, ist immer die Grundlage (z. B. Faustformel oder Erfahrungswert) anzugeben.

Um eventuelle Veränderungen im Energieverbrauch zu erkennen und bei der Planung zu berücksichtigen, ist es notwendig, den Primärenergie-

verbrauch nicht nur von einem Jahr zu erfragen, sondern mindestens über zwei Jahre.

2.2.1 Gebäude

Unter den Bereich Gebäude fällt die Beschreibung der Haupt- und Nebengebäude inklusive der Wärmedämmung aller beheizten Gebäudeteile oder Räume.

- ◆ Ansichts- und Grundrisspläne (alle Stockwerke der Haupt- und Nebengebäude)
- ◆ Fotos der Außenseiten des Gebäudes bzw. eventuell vorhandener Nebengebäude, dem Geländeumfeld (u.a. hinsichtlich der Verschattungssituation bzgl. der Wind- oder Solarenergienutzung)
- ◆ Markierung der beheizten Flächen und Räume in den Grundrissplänen und Ermittlung deren Wärmedämmung (Wand-, Dach-, Festeraufbau, verwendete Baumaterialien)
- ◆ Ermittlung baulicher Mängel, eventuell Brandschutzmaßnahmen oder geplanter Umbauten, die Einfluss auf die Energieversorgung der Hütte haben

2.2.2 Heizung

Unter den Bereich Heizung fallen alle Geräte und Anlagen zur Raumwärmeerzeugung, die nicht elektrisch versorgt werden.

- ◆ Aufnahme aller Heizgeräte und Anlagen samt Verteilernetz und evtl. Messeinrichtungen mit den wesentlichen technischen Daten (Nennleistung, Gebrauchsdauer, Brennstoffart, Brennstoffverbrauch, Baujahr, ...)
- ◆ Aufnahme des evtl. thermischen Energiebedarfs der Abwasserkläranlage
- ◆ Ermittlung (Zählerablesungen oder Brennstoffabrechnungen) des jährlichen Primärenergieverbrauchs (Holz, Heizöl, Gas, etc.) über mindestens 2 Jahre
- ◆ Qualitative Beschreibung der Schadstoffemissionen (Rauchbildung, Geruchsbelästigung, verschmutzter Raum, Ölflecken, ...)
- ◆ Wird der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes erwogen, so kann der Wärmeverbrauch z. B. mit Hilfe eines Wärmemengenzählers oder des Brennstoffverbrauchs unter Berücksichtigung des Feuerungswirkungsgrades ermittelt werden.

2.2.3 Warmwasser

Unter den Bereich Warmwasser fallen alle Geräte und Anlagen zur Warmwassererzeugung und zur Warmwassernutzung (Verbraucher), die nicht elektrisch versorgt werden.

- ◆ Aufnahme aller Warmwassererzeuger und Verbraucher sowie Zapfstellen samt Verteilernetz und evtl. Messeinrichtungen mit den wesentlichen technischen Daten (Nennleistung, Gebrauchsdauer, Brennstoffart, Brennstoffverbrauch, Baujahr, Zapfmenge oder Durchfluss, Wärmedämmung, ...)
- ◆ Ermittlung (Zählerablesungen oder Brennstoffabrechnungen) des jährlichen Warmwasser- und Primärenergieverbrauchs (Holz, Heizöl, Gas) über mindestens 2 Jahre
- ◆ Qualitative Beschreibung der Schadstoffemissionen (Rauchbildung, Geruchsbelästigung, verschmutzter Raum, Ölflecken, ...)

Handelt es sich um kombinierte Geräte und Anlagen zur Heizung und Warmwassererzeugung, so ist zumindest die Verbraucherseite detailliert zu erfassen, und unter Annahme und Angabe eines mittleren Wirkungsgrades der anteilige Primärenergieverbrauch abzuschätzen.

2.2.4 Kochen

Unter den Bereich Kochen fallen alle Geräte und Einrichtungen zum Kochen und Warmhalten von Speisen und Getränken, die nicht elektrisch versorgt werden.

- ◆ Aufnahme aller Koch- und Warmhaltegeräte samt Verteilernetz und evtl. Messeinrichtungen mit den wesentlichen technischen Daten (Nennleistung, Gebrauchsdauer, Brennstoffart, Brennstoffverbrauch, Baujahr, ...)
- ◆ Ermittlung (Zählerablesungen oder Brennstoffabrechnungen) des jährlichen Primärenergieverbrauchs (Holz, Heizöl, Gas, etc.) über mindestens 2 Jahre
- ◆ Qualitative Beschreibung der Schadstoffemissionen (Rauchbildung, Geruchsbelästigung, verschmutzter Raum, Ölflecken, ...)

2.2.5 Elektrische Energie

Unter den Bereich „Elektrische Energie“ fallen alle elektrischen Energieerzeuger und Verbraucher (inkl. elektrische Heizung, Warmwassererzeugung und Kochherde), auch wenn es sich z. B. um Bestandteile der Heizung wie Gebläse oder Umwälzpumpen handelt. Dabei ist zwischen Gleichstrom- sowie ein- und dreiphasigen Wechselstromnetzbereichen zu unterscheiden.

- ◆ Aufnahme aller elektrischen Energieerzeuger samt Verteilernetz, Verbraucher und evtl. Zählleinrichtungen mit den wesentlichen technischen Daten (elektr. Nennleistung, Gebrauchsdauer, Nennverbrauch, Betriebsspannung, Frequenz, Brennstoffart, Brennstoffverbrauch, Baujahr, ...). Bei den Verbrauchern, ist auch die Haustechnik (Umwälzpumpen, Trinkwasserversorgung und -reinigung, Abwasserklärung, ...) zu berücksichtigen

- ◆ Ermittlung (Zählerablesungen und Brennstoffabrechnungen) des jährlichen Strom- und Primärenergieverbrauchs (Diesel, Gas, etc.) für mindestens 2 Jahre
- ◆ Ermittlung der benötigten elektrischen Spitzenlast durch die zwei folgenden Methoden: 1. Ablesung der Leistungs- oder Stromanzeige am Motorgenerator. Dabei sind die Verbraucher einzuschalten, die unbedingt gleichzeitig in Betrieb sein müssen. 2. Befragung des Hüttenwirtes nach den Geräten, welche gleichzeitig in Betrieb sein müssen, wenn möglich tageszeitlich und nach der Belegung der Hütte und Gaststube differenziert
- ◆ Wird der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes erwogen, ist die Aufzeichnung des Lastganges mit einem Lastschreiber oder Datalogger über mindestens einen Monat empfehlenswert
- ◆ Qualitative Beschreibung der Schadstoffemissionen (Rauchbildung, Geruchsbelästigung, verschmutzter Raum, Ölflecken, ...)

Vor allem bei elektrischen Geräten ist auf dem Typenschild meist nicht der Nennverbrauch angegeben, d. h. es muss auf die Gerätebeschreibung bzw. auf die Bedienungsanleitung zurückgegriffen werden. Andernfalls muss der Energieverbrauch mit der Nennleistung und der mittleren Betriebsdauer pro Tag berechnet oder am besten mit einem Energiemessgerät gemessen werden. Als Mindestmesszeitraum, sind zwei Tage zu wählen. Für die Energiemessung in Wechselstromnetzen eignen sich Zwischenstecker mit Zählrichtung. Diese erfassen sowohl die Leistungsaufnahme als auch den Energieverbrauch.

In vielen Hütten ist kein Stromzähler vorhanden, sondern es ist nur der Verbrauch an Dieseldieselkraftstoff bekannt. Unter Annahme eines mittleren Verstromungswirkungsgrades von 10 % lässt sich daraus der jährliche elektrische Energieverbrauch abschätzen. Der Grund für die Zugrundelegung des geringen mittleren Wirkungsgrad von nur 10 % ist die häufige Betriebsweise des Dieselmotorgenerators im unteren Teillastbereich. Fehleinschätzungen im Bereich von 50 % sind auf diese Weise möglich, und bei dem notwendigen Vergleich mit den gemessenen und berechneten Verbrauchswerten zu berücksichtigen. Genauer lässt sich der Wirkungsgrad anhand einer 2 bis 4 wöchigen Messung des Kraftstoffverbrauchs und der Stromerzeugung des Dieselgenerators ermitteln.

2.3 Beschreibung des Ist-Zustands

Nach der Aufnahme der o. g. Daten, ist der Ist-Zustand ausführlich zu beschreiben.

Die Anlagen zur Energiewandlung und -speicherung sind getrennt für die Heizung, die Warmwassererzeugung, das Kochen und die Stromerzeugung mit den wesentlichen technischen Daten wie Nennleistung, Betriebsspannung, jährlichem Brennstoffverbrauch, Brennstoffart, Baujahr, etc. darzustellen, siehe Tabelle I im Anhang.

Tabelle 1 in Kapitel 3.1.1 hilft bei der Umrechnung des Primärenergieinhalts verschiedener Brennstoffe. Daneben sollten auch die Brennstoffkosten und die qualitative Beschreibung der Emissionen aufgeführt werden. Wenn Daten für mehrere Jahre vorliegen, sollte die zeitliche Entwicklung des Energieverbrauchs dargestellt werden. Aus den Daten zweier aufeinanderfolgender Jahre darf nicht kritiklos ein Trend abgelesen werden. Weichen die Daten zweier aufeinanderfolgender Jahre erheblich voneinander ab, sollte zusammen mit dem Hüttenwirt analysiert werden, welche Gründe dafür in Frage kommen. Mögliche Gründe für Änderungen können z. B. die Anschaffung neuer elektrischer Geräte, der Einbau eines neuen Heizungssystems, Umbaumaßnahmen am Gebäude, eine erhebliche Änderung in der Gästezahl, besondere Witterungsbedingungen oder auch ein Wechsel des Hüttenwirts sein.

Handelt es sich um komplexe Energiewandlungsanlagen, z. B. mit mehreren Wandlern und Speichern, so ist die tabellarische Darstellung um ein Blockschaltbild zu ergänzen. Generell ist das jeweilige Verteilernetz und sein Zustand (z. B. wärmegeämmte Kupferrohre, 2- oder 3-adrige Stromverteilung, Zählereinrichtungen, ...) stichwortartig darzustellen.

Der Warmwasser- und Stromverbrauch ist – gegliedert nach den einzelnen Geräten oder Verbrauchsgruppen (wie z. B. Licht) – tabellarisch mit Angabe ihrer Nennleistung, der mittleren Betriebsdauer pro Tag und dem Tagesverbrauch aufzulisten (siehe Tabelle II im Anhang). Zur Abschätzung der Dynamik des Lastganges sollte bei Geräten deren Verbrauch stark von der Belegung der Hütte abhängt, wie z. B. der Spül- und Waschmaschine neben dem mittleren Verbrauch auch der maximale und minimale Wert aufgeführt werden. Bei den elektrischen Verbrauchern ist in allen Fällen anzugeben, ob diese aus dem Gleichstromnetz, dem einphasigen oder dem dreiphasigen Wechselstromnetz gespeist werden.

3 Entwicklung eines Gesamtkonzepts

3.1 Ermittlung des Energieeinspar- und Emissionsminderungspotenzials

Die Zweckmäßigkeit Maßnahmen zur Energieeinsparung umzusetzen hängt von den spezifischen Randbedingungen ab. Soll z. B. ein Blockheizkraftwerk eingesetzt werden, ist der Stromverbrauch und die elektrische Spitzenlast durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren. Trotz dieser Maßnahmen kann sich ein Überangebot an Wärme ergeben. Maßnahmen zur Reduzierung des Wärmeverbrauchs wären dann nicht erforderlich. Eine ähnliche Situation kann sich beispielsweise bei einem entsprechend großen Potenzial zur Wasserkraftnutzung ergeben. Ggf. ist es hier wirtschaftlicher, Wärme aus Strom zu erzeugen, statt Maßnahmen zur Verminderung des Wärmebedarfs umzusetzen. Diese Zusammenhänge werden bei der in Abschnitt 3.3 dargestellten Entwicklung eines Energieversorgungskonzeptes berücksichtigt.

Nachfolgend werden zu den einzelnen Verbrauchsbereichen mögliche Ansätze zur Reduzierung des Energieverbrauchs vorgeschlagen. Diese Dar-

stellung hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Gerade hier ist die Kreativität und Erfahrung der Planer gefragt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Energieeinspar- und Emissionsminderungspotenzial sind in geeigneter Form für die einzelnen Bereiche zusammen zu stellen und dem derzeitigen Zustand gegenüber zu stellen (z. B. in Form einer Tabelle inkl. der Angabe der Energieeinsparung und der Kosten, siehe Tabelle III im Anhang).

3.1.1 Heizung

Der in Kapitel 2.2.2 ermittelte Primärenergiebedarf für die Beheizung der genutzten Flächen (nur beheizte Räume/Flächen) soll während der Sommerperiode (insgesamt 180 Tage) 80 kWh pro m² nicht überschreiten. Tabelle 1 dient zur Umrechnung des Primärenergieinhalts verschiedener Brennstoffe.

Energieträger	Energieinhalt [kWh/kg]	Wassergefährdungsklasse WGK*	Ca. Preis Euro	Ca. Preis Euro/kWh
Heizöl / Diesel	11,6	2	0,4 pro l / 0,8 pro l	0,04/0,08
Biodiesel / RME	10,3	1	0,7 pro l	0,07
Rapsöl (natubel.)	10,2	0	0,5 pro l	0,05
Steinkohlebrikett	8,8	Keine	0,4 pro kg	0,05
Flüssiggas	13,5	Keine	0,5 pro l	0,08
Holzbrikett	5,3	Keine	0,4 pro kg	0,05
Holz	4,4 (ca. 1700 kWh/ m ³)	Keine	0,08 pro kg	0,02

Tabelle 1: Primärenergieinhalt verschiedener Brennstoffe

*WGK 0 = nicht wassergefährdend
 1 = schwach wassergefährdend
 2 = wassergefährdend
 keine = keine WGK definiert

Wird der oben angeführte Zielwert, der auf der Studie »Energieversorgungskonzept für den Nationalpark Berchtesgaden« [1] basiert, nicht erreicht, sollte der Wärmedämmstandard und die Luftdichtigkeit geprüft werden. Dach, Wand und Boden der tatsächlich beheizten Räume sollten nach den in Tabelle 2 angegebenen Werten gedämmt werden. Als Dämmstoffe sollten Materialien mit einer Wärmeleitfähigkeit von weniger als 0,045 W/mK verwendet werden.

Bauteil	Mindeststandard	Zielwert
Außenwand	10 cm	16 cm
Dach	12 cm	20 cm
Boden	10 cm	12 cm
Fenster	2fach-Glas	Wärmeschutzglas

Tabelle 2: Anforderungen an den Wärmedämmstandard

Zur Winddichtung und als Feuchtigkeitsschutz muss bei allen Leichtbaukonstruktionen (Dach + Wand) eine Dampfbremssfolie auf der Innenseite und eine Winddichtungsfolie (Diffusionsoffen) auf der Außenseite eingebaut werden.

Weiter kann anhand der aufgenommenen Grundrisse und der Kennzeichnung der beheizten Flächen untersucht werden, ob die beheizten Flächen zusammenhängend sind. Eine Zonierung in beheizte und nichtbeheizte Flächen sollte vorgenommen werden. Treppenhäuser sind möglichst mit Türen zu versehen, um einen ungewünschten Abzug der Wärme zu vermeiden.

Vor der Durchführung kostspieliger baulicher Maßnahmen oder dem Einsatz eines Blockheizkraftwerkes wird als Entscheidungshilfe für die geeignetste Maßnahme bzw. als Dimensionierungsgrundlage die Durchführung einer Wärmebedarfsberechnung durch einen Fachplaner empfohlen. Bei offensichtlich erkenntlichen Maßnahmen wie Ersatz einer Einfachverglasung durch eine Zweifachverglasung oder der Verbesserung der Luftdichtigkeit ist dies nicht notwendig.

3.1.2 Warmwasser

Der überwiegende Warmwasserverbrauch findet meist in der Küche zum Spülen statt. Wird im Sanitärbereich Warmwasser verwendet (dies ist meist nur im Bereich der Personalwohnung der Fall), so ist der Einsatz von Wasserspararmaturen sinnvoll. Einhandmischbatterien sind in allen Fällen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs zu empfehlen. Zur Abschätzung des Warmwasserbedarfs darf nicht mit dem im Wohnungsbau üblichen Wert von 40 l pro Tag und Person gerechnet werden, sondern es sollte ein maximaler Bedarf von 4 l pro Tag und Gast angesetzt werden, sofern für die Gäste kein warmes Wasser im Sanitärbereich zur Verfügung steht. Durch den in Kapitel 3.1.4 empfohlenen Warmwasseranschluss für elektrische Geräte mit Warmwasserbedarf (Spülmaschine, Waschmaschine) wird der Warmwasserbedarf meist geringfügig erhöht.

3.1.3 Kochen

Holzherdfeuerstellen haben konstruktionsbedingt sehr geringe Wirkungsgrade im Bereich von 15 % bis 50 %. Gleiches gilt auch für Kohle-, Koks- oder Brikett-Feuerstellen. Sie sind daher meist nur bei kleinen Hütten sinnvoll bei denen die Abwärme gezielt zur Warmhaltung von Speisen, zur Beheizung der Küche oder des Gastraumes verwendet wird. In allen anderen Fällen wird das Kochen mit einem Gasherd empfohlen. Der Gasherd kann im Gegensatz zum Holzherd hervorragend geregelt werden, weist einen sehr gu-

ten Wirkungsgrad von ca. 80 % auf und erlaubt eine direkte Übertragung der Wärme auf das Kochgeschirr.

3.1.4 Elektrische Energie

Erfahrungen zeigen, dass durch konsequenten Einsatz von Energiespargeräten und bei bewusstem Umgang in Einzelfällen der elektrische Energieverbrauch bis auf ein Drittel reduziert werden kann. Maßnahmen dazu sind:

- ◆ Energiesparende Elektrogeräte (siehe Tabelle 3) und Beleuchtung (Leuchtstofflampen benötigen nur ein Fünftel soviel Energie wie Glühlampen)
- ◆ Keine Wärmeerzeugung mit Hilfe von elektrischer Energie¹, d. h. keine Elektroboiler, kein elektrischer Wäschetrockner, kein Elektroherd, keine Mikrowelle
- ◆ Warmwasseranschluss für Spül- und Waschmaschine
- ◆ Einsatz besonders energiesparender Kühlgeräte, Getränkekühlung mit Brunnenwasser oder Lagerung in kühlen Kellerräumen anstelle der Nutzung von Kühlgeräten
- ◆ Schulung der Betreiber der Anlage

Für Küchengeräte gibt Tabelle 3 Richtwerte für sehr sparsame Geräte. Bei 50°C Warmwasserzulauf mit kurzer und damit verlustarmer Leitung kann der elektrische Energieverbrauch bei Wasch- und Spülmaschine auf 2/3 bis 1/2 reduziert werden.

Gerät	Randbedingungen	Elektrischer Energiebedarf
Kühlschrank	Ohne Gefrierfach, bezogen auf 100 l Inhalt	Unterbaugeräte (ca. 150 l) 0,20 kWh/Tag Standgeräte (ca. 300 l) 0,10 kWh/Tag
Gefriertruhe	Bezogen auf 100 l Inhalt	0,20 kWh/Tag
Waschmaschine	5 kg Baumwolle, 60°C	0,95 kWh pro Waschgang
Spülmaschine	12 Maßgedecke, 50°C	1,1 kWh pro Spülgang

Tabelle 3: Elektrischer Energiebedarf von besonders sparsamen Haushaltsgeräten (Energieeffizienz Klasse: A)

¹ Der Umwandlungsgrad der elektrischen Energiezeugeter ist wesentlich geringer als der der Wärmeerzeugeter. Nur wenn elektrische Überschüsse vorhanden sind, ist die elektrische Wärmeerzeugung ökologisch sinnvoll, siehe Kapitel 3.2.1 und 3.3.

Für Hersteller von Haushaltsgeräten ist eine Kennzeichnung mit dem Euro-label A bis G und somit die Angabe des Energiebedarf Pflicht. Geräte mit dem Buchstaben A sind sehr sparsam, Geräte mit dem Buchstaben G führen zu einem deutlich höheren Energiebedarf. Auf der Internetseite www.impulsprogramm.de sind Listen von besonders sparsamen Haushaltsgeräten verfügbar. Für Informations- und Unterhaltungselektronik sind solche Listen unter der Internetadresse www.energielabel.de abrufbar.

Detaillierte Hilfen zur Großküchenplanung, aber ohne detaillierte Angaben zum Energiebedarf von Großküchengeräten, sind unter www.gastroline.de/projekt/index.html zu finden. Zum Kühlen, Gefrieren und Waschen können für Alpenvereinshütten oftmals Geräte aus dem Haushaltsbereich verwendet werden, dies ist aber nicht für Geschirrspülmaschinen möglich, denn aufgrund der hohen Gästezahlen und den dadurch anfallenden Geschirr- und Gläsermengen, müssen meistens Gewerbespülmaschinen mit einem zehnmal höheren Geschirr- und Gläserdurchsatz eingesetzt werden. Werden Gewerbespülmaschinen mit einer möglichst kurzen Leitung an eine nichtelektrische Warmwasserbereitung angeschlossen und der Warmwassertank wärmegeklämt, so ist es auch dort möglich, den elektrischen Energiebedarf zu senken. Zur Berechnung des Sparpotenzials muss aus den technischen Geräteinformationen das Volumen und die Temperatur des Tanks und des Boilers entnommen werden.

Falls doch Kühl- oder Gefriergeräte aus dem Gewerbebereich eingesetzt werden, so ist darauf zu achten, dass die Wärmedämmung bei Kühlschränken mindestens 6 cm Wanddicke aufweist, bei Kühltruhen und Kühlhäusern muss sie mindestens 10 cm betragen. Bei häufigem Öffnen dieser Geräte kann der Energiebedarf bis zu 50 % über den Werten der Tabelle 3 liegen.

Im Bereich Trinkwasserentkeimung sollte geprüft werden, ob die in der Regel meist kontinuierlich 24 Stunden am Tag betriebenen Entkeimungslampe nicht auf diskontinuierlichen Betrieb mit einem Vorratsbehälter umgestellt werden kann. Im Bereich Klärung sollten keine aktiv belüfteten Systeme verwendet werden, sondern nur passiv belüftete wie z. B. eine Tropfkörperkläranlage im Hängeinbau. Unter der Internetadresse www.alpenverein.de/huw/life/intro.html sind detaillierte Informationen über verschiedene Abwasserklärsysteme für Berghütten verfügbar.

Werden nicht konsequent Energiespargeräte eingesetzt und ist ein energiebewusster Umgang nur teilweise zu erreichen, so ist typischerweise nur eine Reduktion auf zwei Drittel des ursprünglichen Energieverbrauchs möglich.

Nachfolgend werden drei verschiedene empirische Verfahren zur Bestimmung des elektrischen Energiebedarfs beim Einsatz von energiesparenden Geräten dargestellt. Die Planung soll immer mit dem ersten und einem der beiden weiteren Verfahren durchgeführt werden. Aus den Unterschieden der Ergebnisse lässt sich dann entscheiden, ob eher eine enge oder eine auf Zuwachs im Energiebedarf ausgelegte Auslegung gewählt werden soll. Bei einer Erhöhung des Geräteparks oder einem Wechsel des Hüttenwirts, ist häufig mit einer Erhöhung des Energiebedarfs zu rechnen. Die Verfahren 2 und 3 erlauben auch eine Bewertung des derzeitigen Verbrauchs.

3.1.4.1 Anhand von Richtwerten für energiesparende Geräte

Bei allen vorhandenen Geräten, ist das Sparpotenzial zu ermitteln und Tabelle II, siehe Anhang, ist erneut mit Angabe der Kosten für ein erhältliches Energiespargerät auszufüllen. Parallel dazu ist auf der Basis des Gesprächs mit dem Hüttenwirt die Spitzenleistung der Stromerzeuger zu bestimmen. Es sollte möglichst eine Differenzierung nach Tageszeit und nach der Belegung der Hütte und des Gastraumes vorgenommen werden.

3.1.4.2 Anhand der Anschlussleistung

Eine weniger präzise, dafür aber einfachere Methode ist die Abschätzung des Energiebedarfs aus der Anschlussleistung der elektrischen Geräte. Aus der Analyse bereits realisierter Hütten konnte der in Abbildung 1 dargestellte Zusammenhang zwischen der Gesamtanschlussleistung aller Geräte und dem täglichen Energieverbrauch ermittelt werden [2]. Dieser Zusammenhang kann bei der Planung genutzt werden. Dazu muss, wie in Kapitel 3.1.4.1, eine vollständige Liste der Geräte mit deren Nennleistung erstellt werden.

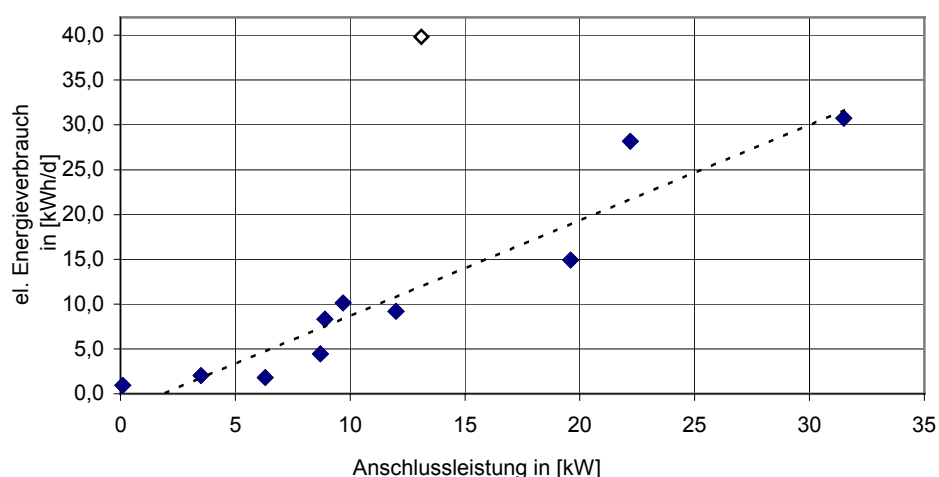


Abbildung 1: Mittlerer elektrischer Gesamtenergieverbrauch in Abhängigkeit von der Anschlussleistung aller elektrischen Geräte

Der oben dargestellte Zusammenhang gilt nur, wenn die regelmäßig genutzten Geräte Energiespargeräte sind und es sich um eine etablierte Geräteausstattung handelt. Bei der Ermittlung der Gesamtanschlussleistung dürfen nur Geräte einfließen, die regelmäßig genutzt werden. Beispielsweise muss ein täglich genutztes Bügeleisen berücksichtigt werden. Wird dies aber nur einmal pro Woche für eine ¼ Stunde genutzt, ist es nicht zu berücksichtigen. Ebenfalls darf in der Regel die nur sehr sporadisch genutzte Werkstattausstattung nicht mitgezählt werden. Abweichungen von der dargestellten Funktion ergeben ggf. das Einsparpotential.

3.1.4.3 Anhand der Gästezahl

Eine weitere Abschätzungsmöglichkeit ist die Bestimmung des Energiebedarfs aus der Gästezahl einer Hütte [2]. Sobald eine Hütte mehr als 4.000

Übernachtungsgäste pro Saison beherbergt oder es sich um eine ganzjährig genutzte Wandergaststätte handelt, ist es möglich, das Einsparpotential anhand der Gesamtgästeprozahl, d. h. sowohl der Übernachtungs- wie Tagesgäste zu ermitteln. Die Zahl der Übernachtungsgäste lässt sich anhand der durch den Wirt verkauften Übernachtungscoupons ermitteln. Die Anzahl der Tagesgäste kann zusammen mit dem Wirt und der Sektion geschätzt werden, da in der Regel nur eine sporadische Zählung erfolgt. In Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen der mittleren täglichen Gesamtgästeprozahl und dem mittleren elektrischen Energieverbrauch angegeben. Dieser Zusammenhang gilt nur bei Einsatz von energiesparenden Geräten.

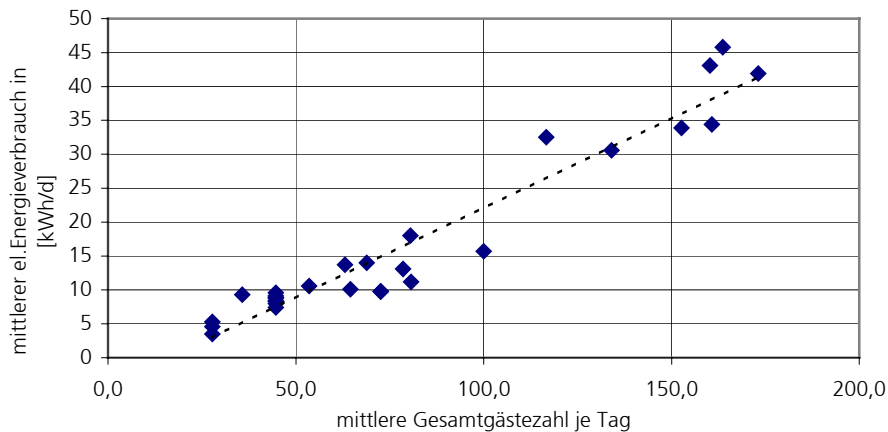


Abbildung 2: Mittlerer elektrischer Energieverbrauch in Abhängigkeit der durchschnittlichen Gesamtgästeprozahl pro Tag

3.2 Wärme- und Stromerzeuger: Potenziale, Betriebs- und Umwelteigenschaften bzw. Gefährdungspotenziale und Kosten

3.2.1 Heizung

Auf den meisten Hütten werden holzbefeuerte Kachelöfen mit einem Wirkungsgrad zwischen 40 % und 75 % eingesetzt. Von Vorteil ist deren einfache Technik. So sind keine Vorkehrungen gegen Frost zu treffen und sie arbeiten auch bei einem Stromausfall. Nachteilig sind die vergleichsweise sehr hohen Emissionen an z.B. unverbrannten Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Rauch, was zu entsprechenden Beeinträchtigungen vor Ort führen kann. Durch den Einsatz eines modernen Heizeinsatzes mit gezielter Luftführung in einem leichten Kachelgrundofen oder Kachelwarmluftofen lässt sich der Wirkungsgrad auf 60 % bis 80 % steigern. Holzpelletöfen sind grundsätzlich effizienter und schadstoffärmer als Scheitholzöfen.

Werden zentrale Holzfeuerungen oder gar öl- oder gasbefeuerte Kessel eingesetzt, so sind Wirkungsgrade über 90 % erzielbar. Diese zentralen Feuerungsanlagen benötigen aber elektrische Energie zum Betrieb der internen Elektronik des Gebläses und vor allem der Pumpe(n) für das zentrale Heizungssystem.

Handelt es sich um eine Hütte mit hohem Strombedarf und einem hohen Erzeugungsanteil des Motorgenerators (> 50 %), ist es sinnvoll, eine Kraftwär-

mekopplung (siehe Blockheizkraftwerk im Kapitel 3.2.4) zur Heizung zu verwenden.

Die elektrische Wärmeerzeugung ist nur in Ausnahmefällen sinnvoll, da der Umwandlungswirkungsgrad der Stromerzeuger wesentlich geringer als der für thermische Energiewandler ist. Sie ist dann sinnvoll, wenn Überschüsse aus einem Wasserkraftwerk, einer Windkraftanlage oder einem Blockheizkraftwerk zur Verfügung stehen. Mit diesen Überschüssen ist in der Regel nur sporadisch zu rechnen, so dass eine konventionelle Zuheizung auch zur Deckung der Spitzenlast in den meisten Fällen vorzusehen ist.

Die Dimensionierung der Heizung erfolgt nach Zahl und Quadratmeter der zu beheizenden Fläche, dabei ist der erreichte Wärmeschutzstandard zu berücksichtigen. Für die Auslegung können die im konventionellen Heizungsbau verwendeten Auslegungsrichtlinien verwendet werden.

3.2.2 Warmwasser

Die Warmwassererzeugung erfolgt in vielen Hütten über einen Holzherd mit Warmwassertaschen. Allerdings haben Herdfeuerstellen konstruktionsbedingt sehr geringe Wirkungsgrade im Bereich von 15 % bis 50 %. Doppelt so hohe Wirkungsgrade lassen sich mit einem Wärmetauscher im Kachelofen oder mit zentralen Feuerungsanlagen mit angekoppeltem Warmwasserspeicher erzielen.

Gasdurchlauferhitzer sind bei kleineren Hütten von Vorteil, weil deren Anschaffung und Installation mit geringen Kosten verbunden ist. Nachteilig ist die schlechte Temperaturregelung bei unterschiedlichen Kaltwasserdrücken und -durchflüssen und ein Wirkungsgrad von max. 75 %.

Bei wassergekühlten Motorgeneratoren bietet sich die Auskopplung der Kühlwärme zur Warmwassererzeugung an.

Als weitere umweltfreundliche Lösung vor allem bei saisonal genutzten Hütten empfiehlt sich der Einbau von Sonnenkollektoren auf das Süd-, Südwest- oder Südostdach. Zur Deckung von Verbrauchsspitzen zur Überbrückung bei sonnenarmen Tagen, wird ein Speichertank mit dem ca. zweifachen Volumen des täglichen Warmwasserverbrauchs benötigt. Bei einer Dimensionierung von ca. 2,5 m² Kollektorfläche pro 100 l täglichem Warmwasserbedarf lassen sich im Sommer ca. 80 % des Wassers solar erwärmen. Der Rest muss durch eines der oben beschriebenen Heizsysteme über den gemeinsamen Wärmespeichertank gedeckt werden. Aufgrund der extremen klimatischen Bedingungen sollten Flachkollektoren mit Alu- oder Edelstahlwanne eingesetzt werden.

Für die elektrische Warmwassererzeugung gilt dasselbe wie für die Heizung.

3.2.3 Kochen

Siehe Kapitel 3.1.3. Für das Kochen mit Strom gilt dasselbe wie für die Heizung.

3.2.4 Elektrische Energie

Motorgenerator: Bisher erfolgt in vielen Hütten die elektrische Stromerzeugung mit einem Heizöl/Diesel betriebenen Notstromaggregat. Da diese Aggregate im Durchschnitt deutlich unter ihrer Nennleistung betrieben werden, erreichen sie bestenfalls einen mittleren Verstromungswirkungsgrad von 10 % (Verstromungswirkungsgrad bei 10 % Nennlast: ca. 8 %, bei 30 % Nennlast: ca. 13 %, bei 100 % Nennlast: max. 28 %). Damit der Wirkungsgrad nicht noch weiter absinkt, die Lebensdauern zu kurz werden und der Wartungsaufwand begrenzt bleibt, ist dieses Notstromaggregat nur wenige Stunden am Tag in Betrieb. In der restlichen Zeit steht keine elektrische Energie zur Verfügung.

Blockheizkraftwerk (BHKW): Bei einem BHKW wird über Wärmetauscher sowohl die Motor- wie Abgaswärme zur Nutzung ausgekoppelt. Die thermische Leistung ist etwa doppelt so hoch wie die elektrische Leistung und es wird ein Gesamtwirkungsgrad von max. 85 % erreicht. Die Kosten für Blockheizkraftwerke überschreiten allerdings die eines reinen Motorgenerators mit gleicher elektrischer Leistung um etwa den Faktor 3. Wenn nach ökonomischen Kriterien geplant wird, dann lohnt sich ein BHKW meist nur dann, wenn der thermische Energiebedarf mindestens doppelt so hoch wie der elektrische Energiebedarf ist. Eine einfachere, kostengünstigere aber energetisch nur 2/3 so effektive Lösung, ist die ausschließliche Auskopplung der Motorabwärme über das Kühlwasser, z. B. zur Warmwasserbereitung, die ca. halb so teuer wie ein BHKW ist. Ein Kostenargument für die Abwärmenutzung ist ab dem Jahr 2002 das Verbot, statt Diesel steuervergünstigtes Heizöl zum Betrieb von Notstromaggregaten zu verwenden. Die Steuerbegünstigung gilt nur noch, wenn die Abwärme des Notstromaggregats zur Heizung oder zur Warmwassererzeugung verwendet wird.

Je nach Qualität und jährlichen Betriebsstunden erreichen Motorgeneratoren und BHKW eine Lebensdauer zwischen 10 und 20 Jahren. Ihre Nennleistung reduziert sich je 1000 Höhenmeter um ca. 10 %.

Treibstoffe: Da Heizöl/Diesel ein hohes Wassergefährdungspotenzial aufweist, bietet sich als weniger wassergefährdender Treibstoff Biodiesel/RME (Rapsölmethylester) an. Eine Zulassung der Dichtungen des Dieselmotors durch den Hersteller muss allerdings vorliegen.

Als nicht wassergefährdende Alternative gilt Rapsöl. Für dessen Verwendung ist es jedoch notwendig, am Dieselmotor starke Modifikationen vorzunehmen. Die Studie »Erhebung des technischen Standes bei pflanzenölbetriebenen Blockheizkraftwerken im Alpengebiet« [3] gibt einen guten Überblick über pflanzenöлтаugliche Blockheizkraftwerke und über die Anbieter von Pflanzenöl.

Flaschen- bzw. Flüssiggas ist auch nicht wassergefährdend. Sobald eine Hütte jedoch nicht mit einem Tanklastwagen angefahren werden kann, kommen als Transport- und Lagerbehältnis nur Flaschen mit maximal 33 kg Füllgewicht in Frage, da der Hubschraubertransport von gefüllten Tanks extrem teuer ist. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass das Leergewicht von Gasflaschen genauso hoch wie ihr Füllgewicht ist und bei großen Entnahme-

raten in Höhenlagen über 1500 m eine Vereisungsgefahr der Armatur besteht.

Hybridanlagen: Um eine 24-stündige Dauerstromversorgung zu erreichen, werden parallel zum Motorgenerator zusätzliche Energiewandler und vor allem eine Speicherbatterie und ein Wechselrichter in das System integriert. Wirtschaftlichkeitsrechnungen haben gezeigt, dass durch die Integration eines oder mehrerer zusätzlicher Energiewandler in ein reines Motorgenerator-Batterie-Wechselrichter-System die spezifischen Stromgestehungskosten fallen [4] [6].

Photovoltaik (PV): Die Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenlicht mit PV-Generatoren ist emissionsfrei, erfolgt mit ca. 10 % Wirkungsgrad und es werden Lebensdauern von 25 Jahren erreicht.

Ihr Nachteil ist die schwankende Verfügbarkeit der Sonnenenergie. Neben den Tag-/Nachtzyklen und den jahreszeitlichen Zyklen, muss auch mit Wetterlagen gerechnet werden, bei denen über mehrere Tage unterdurchschnittliche Energieerträge verzeichnet werden. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über den im Monatsmittel zu erwartenden Energieertrag.

Januar	1,7 kWh/d/m ²	Juli	5,0 kWh/d/m ²
Februar	2,6 kWh/d/m ²	August	4,5 kWh/d/m ²
März	3,4 kWh/d/m ²	September	3,8 kWh/d/m ²
April	4,1 kWh/d/m ²	Oktober	2,8 kWh/d/m ²
Mai	4,8 kWh/d/m ²	November	1,7 kWh/d/m ²
Juni	4,8 kWh/d/m ²	Dezember	1,3 kWh/d/m ²

Tabelle 4: Übersicht über typische Einstrahlungen in den Bayerischen Alpen pro m² und Tag bei einer Neigung von 40° und Südausrichtung. Die angegebenen kWh-Werte können bei der Dimensionierung als täglicher Ertrag pro kWp installierter PV-Generatorleistung zu Grunde gelegt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die angegebenen Werte langjährige Mittel sind. In einzelnen Jahren können davon Abweichungen bis zu 30 % für die Monatswerte auftreten.

Regelmäßige Marktübersichten über die am Markt verfügbaren PV-Module erscheinen in der Zeitschrift Photon (<http://www.photon.de>).

Windkraftanlagen: Potenziell können mit Windkraftanlagen günstigere Stromgestehungskosten erreicht werden, als mit PV-Anlagen. Die Nutzung von Windenergie macht ab einer mittleren Jahreswindgeschwindigkeit über 3,5 m/s (in 10 m Höhe über Grund) Sinn. Ein eindeutiges Zeichen hierfür ist, dass die Äste an den Bäumen nicht symmetrisch verteilt sind, sondern in eine Richtung geneigt sind oder gehäuft wachsen. Vor der Investition in eine größere Windkraftanlage empfiehlt sich die Erstellung eines Windgutachtens, das auf einer Vorortmessung über eine Saison basiert und einen optimalen Standort identifiziert. Bei der Anschaffung der Windkraftanlage ist je nach Entfernung zum Haupthaus darauf zu achten, dass es sich um eine Anlage mit geringer Geräuschemission handelt.

In der Praxis ergeben sich allerdings eine Reihe von Nachteilen beim Einsatz von Windkraftanlagen. Bedingt durch die Vereisungs- und Böengefahr im Winter ist es bei vielen Fabrikaten notwendig, die Flügel der Windkraftanlage im Winter zu demontieren. Es besteht sonst die Gefahr einer Zerstörung. Aber auch bei wetterfesten Anlagen besteht das Problem, dass die Energieertragsverteilung wesentlich ungleichmäßiger ist als bei einem PV-Generator. Tage- bis wochenlange Perioden mit geringem Windaufkommen treten an Binnenlandstandorten typischerweise auf. Wenn dann die volle Leistung der Windgeneratoren zur Verfügung steht, kann diese Leistung oftmals von den Verbrauchern und dem Speicher nicht aufgenommen werden, so dass die Gesamteffizienz nicht sehr hoch ist. Windkraftanlagen eignen sich aber als gute Ergänzung zu PV-Anlagen (hier können vor allem in den Übergangszeiten im Herbst und im Frühjahr und während Schlechtwetterperioden oftmals sehr gute Ergänzungseffekte zwischen Solar- und Windenergie erzielt werden).

Einen Überblick über Hersteller und Produkte zur Windenergie gibt z. B. der Bundesverband WindEnergie (<http://www.wind-energie.de>).

Wasserkraftanlagen: Die Nutzung von Wasserkraft ist emissionsfrei. Allerdings muss geklärt werden, ob die notwendigen Eingriffe in den Wasserlauf akzeptabel und rechtlich zulässig sind. Aufgrund der meist geringen Wassermengen bei großen Fallhöhen, werden überwiegend Peltonturbinen mit max. 85 % Wirkungsgrad eingesetzt.

Da es sich häufig um Regen- oder Schmelzwasser aus gerölligen Bergbächen handelt, ist eine Filterung des Wassers notwendig. Je nach Geröllanfall muss dieses Filter täglich bis wöchentlich gereinigt werden. Zur Vermeidung von Frostschäden muss bei Hütten, die im Winterhalbjahr geschlossen sind, das Leitungssystem der Wasserkraftanlage komplett entleert werden.

Batterien: Zur Zwischenspeicherung der elektrischen Energie werden ortsfeste Blei- Säure- Akkumulatoren eingesetzt, da sie das beste Preis-Leistungsverhältnis und hohe Wirkungsgrade aufweisen. Die Batterieanlage hat eine Lebenserwartung zwischen 5 und 8 Jahren. Die Lebensdauer hängt erheblich von der Auslegung und der Betriebsführung ab [7]. Die Kosten für den Austausch müssen berücksichtigt werden. Die Entsorgung der Batterieanlage übernimmt entweder der Batterielieferant oder ein Entsorgungsunternehmen. In beiden Fällen fallen für die Entsorgung in der Regel keine Kosten an, wenn die Batterien an einem für einen LKW zugänglichen Ort zur Abholung bereitgestellt werden. Die Zeitschrift Photon International (<http://www.photon-international.com/>) veröffentlicht regelmäßig Marktübersichten zu Batterien für Solaranlagen.

Wechselrichter: Wechselrichter wandeln elektrischen Gleichstrom in Wechselstrom um. Wichtige Eigenschaften sind eine gute Überlastfähigkeit für kurze Zeiten (notwendig um Anlaufströme elektrischer Maschinen verkraften zu können) und ein hoher Wirkungsgrad. Dabei ist nicht nur der Wirkungsgrad bei der Nennleistung zu beachten. In Inselstromversorgungen läuft der Wechselrichter die meiste Zeit im Teillastbetrieb und die meiste Energie wird typischerweise im Bereich zwischen 10 und 20 % der Nennleistung umge-

setzt. Insbesondere in diesem Bereich unterscheiden sich die Wirkungsgrade von Wechselrichtern verschiedener Hersteller erheblich. Der Wirkungsgrad bei 10 % der Nennleistung sollte mindestens 85 %, besser 90 % betragen. Erfolgt die Kühlung durch Naturkonvektion, so reduziert sich die zulässige Nennleistung um ca. 10 % pro 1000 Höhenmetern, dies gilt auch für die Batterieladeregler und –geräte.

Kosten: Typische Kosten für die einzelnen Komponenten können nur sehr schwer angegeben und auch verglichen werden. Die in Tabelle 5 angegebenen Werte, sind als Richtwerte zu verstehen. Die Schwierigkeit bei dem Vergleich von Kosten und Angeboten ergeben sich vor allem daraus, dass bei manchen Anlagenanbietern Planung und Aufbau in den Komponentenkosten enthalten sind, bei anderen als gesonderte Positionen ausgewiesen werden.

Bei der Bewertung von Angeboten muss berücksichtigt werden, ob die Planungs-, Errichtungs- und Transportkosten enthalten sind. Zudem sollte das Angebot Angaben darüber enthalten, welche Energieanteile von welchem Stromerzeuger nach Planung bereitgestellt werden.

Sonnenkollektor	250 bis 350 Euro/m ²
PV Generator	3000 bis 5000 Euro / kW Spitzenleistung
Windkraftanlagen	1000 bis 2000 Euro / kW (1-10 kW ohne Mast)
Wasserkraft	1500 bis 3000 Euro/kW ohne Wasserbau
Motorgeneratoren	700 bis 1000 Euro / kVA
Blockheizkraftwerk	2000 bis 3000 Euro/kVA
Batterie	100 bis 250 Euro / kWh
Wechselrichter	700 bis 1200 Euro / kVA
Ladegerät	300 bis 500 Euro / kW
Laderegler	Abhängig von Lade- und Entladeleistung bis 1,0 Euro / Wp (PV-Generator)
Planung und Errichtung	20 bis 50 % der Materialkosten

Tabelle 5: Typische Kosten für Komponenten in Inselstromversorgungen [4]

Wartung: Für das Stromversorgungssystem wird aus Kostengründen keine pauschale Vollwartung, sondern zum Saisonbeginn eine einfache Anlagenkontrolle und zum Saisonende eine umfangreiche Anlageninspektion empfohlen. Die einfache Anlagenkontrolle kann von einem technisch versierten Hüttenwirt selbst durchgeführt werden, die Inspektion sollte von einem lokal ansässigen, mit PV-Anlagen vertrauten Elektrofachbetrieb durchgeführt werden. Je nach Komplexität der Anlage betragen die Kosten für eine Inspektion 250 bis 500 Euro zuzüglich Fahrt- und Materialkosten. Zusätzlich fallen Wartungskosten für die elektromechanischen Stromerzeuger wie Motorgenerator (z. B. alle 100-200 Betriebsstunden ein Ölwechsel), Windkraftanlage oder Wasserkraftanlage an. Diese Einzelpositionen überwiegen in der Regel die Wartungskosten für das PV-System.

Aus den Erfahrungen der vergangenen Jahren kann geschlossen werden, dass bei regelmäßiger Wartung statistisch nur alle 2 Jahre ein Fehler in der Anlage auftritt, der eine Reparatur durch einen Fachmann erfordert.

3.3 Entwicklung und Dimensionierung eines Versorgungskonzepts

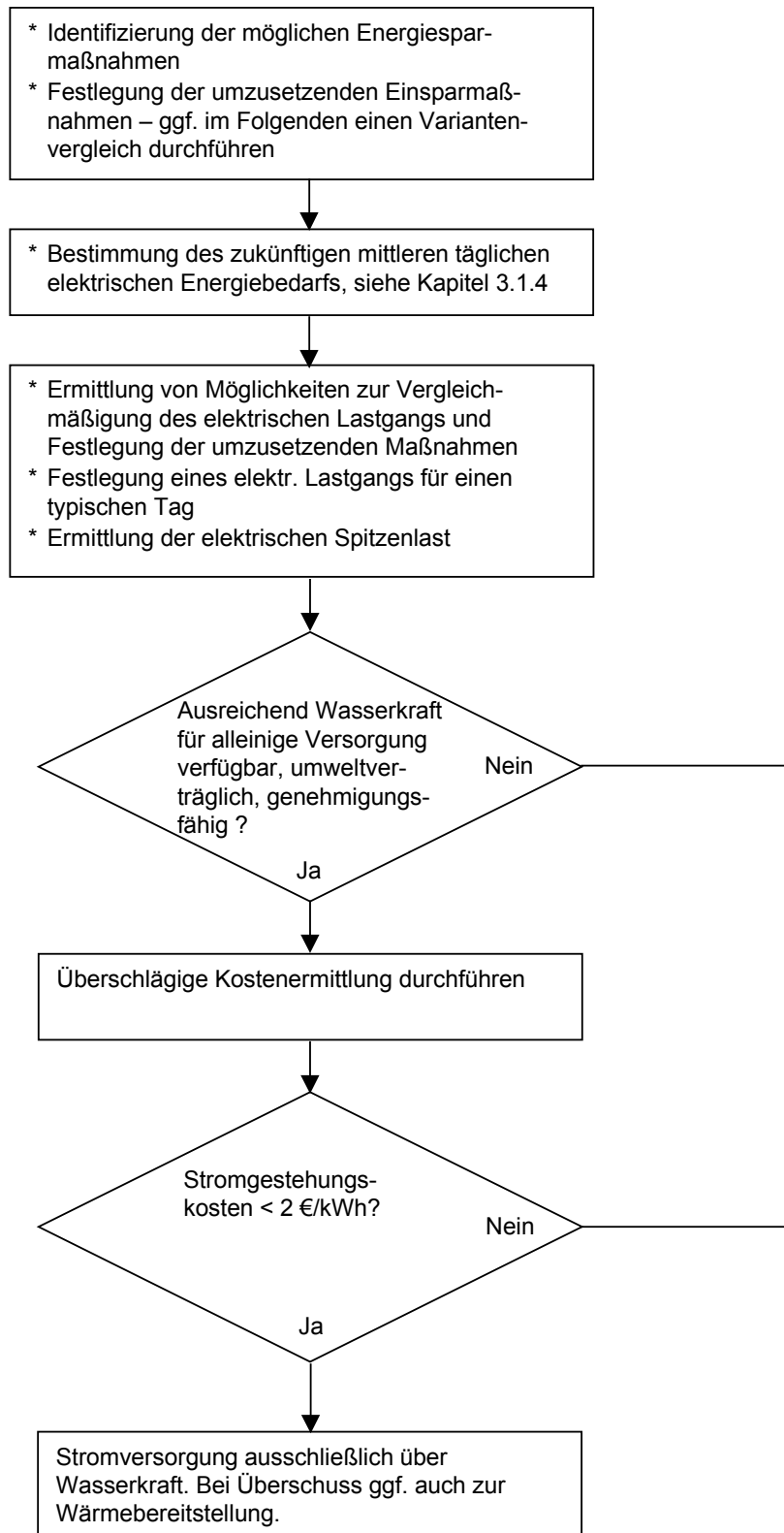
Die Entwicklung eines Versorgungskonzepts wird überwiegend von der Art und Weise der elektrischen Energieerzeugung bestimmt. Nur bei Einsatz eines BHKW oder bei Überschussenergie aus regenerativen Energiequellen wird das Wärmeerzeugungskonzept (Heizung, Warmwasser, Kochen) direkt beeinflusst, andernfalls sind in Kapitel 3.2. die entsprechenden Konzepte und Dimensionierungsregeln angegeben. Um die Dimensionierung des elektrischen Versorgungskonzepts praktikabel zu halten basieren alle folgenden Ausführungen auf einem mittleren täglichen elektrischen Energieverbrauch der nach Kapitel 3.1.4. bestimmt wurde. Um aus gemessenen oder berechneten Werten für einen bestimmten Monat die Werte für andere Monate und vor allem den mittleren Wert bestimmen zu können ist in Tabelle 6 die typische Monatsverteilung angegeben.

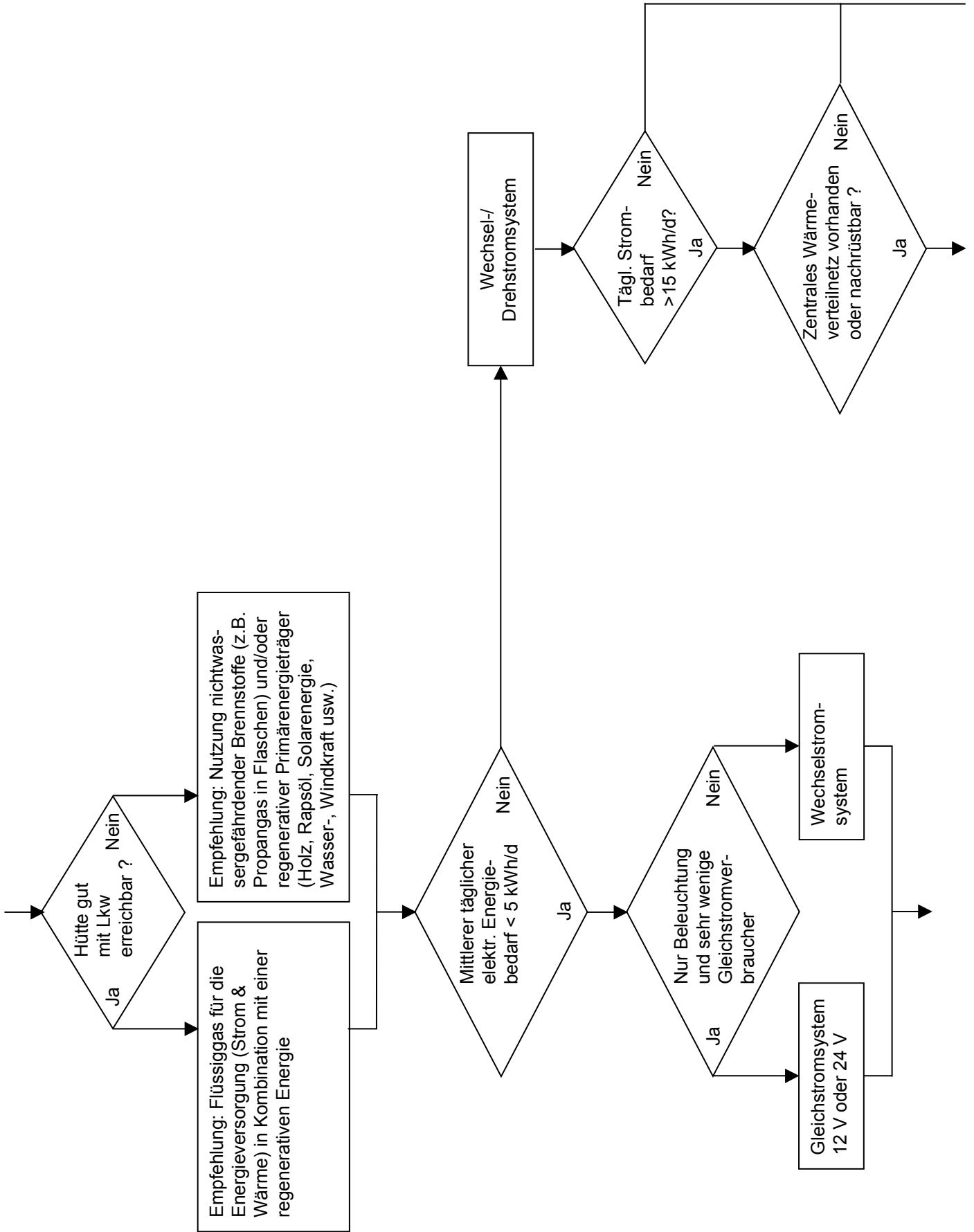
Monat	saisonal genutzte	ganzjährig genutzte
Januar	-	80 %
Februar	-	85 %
März	-	85 %
April	-	80 %
Mai	75 %	100 %
Juni	90 %	115 %
Juli	115 %	125 %
August	125 %	135 %
September	110 %	130 %
Oktober	85 %	120 %
November	-	70 %
Dezember	-	75 %

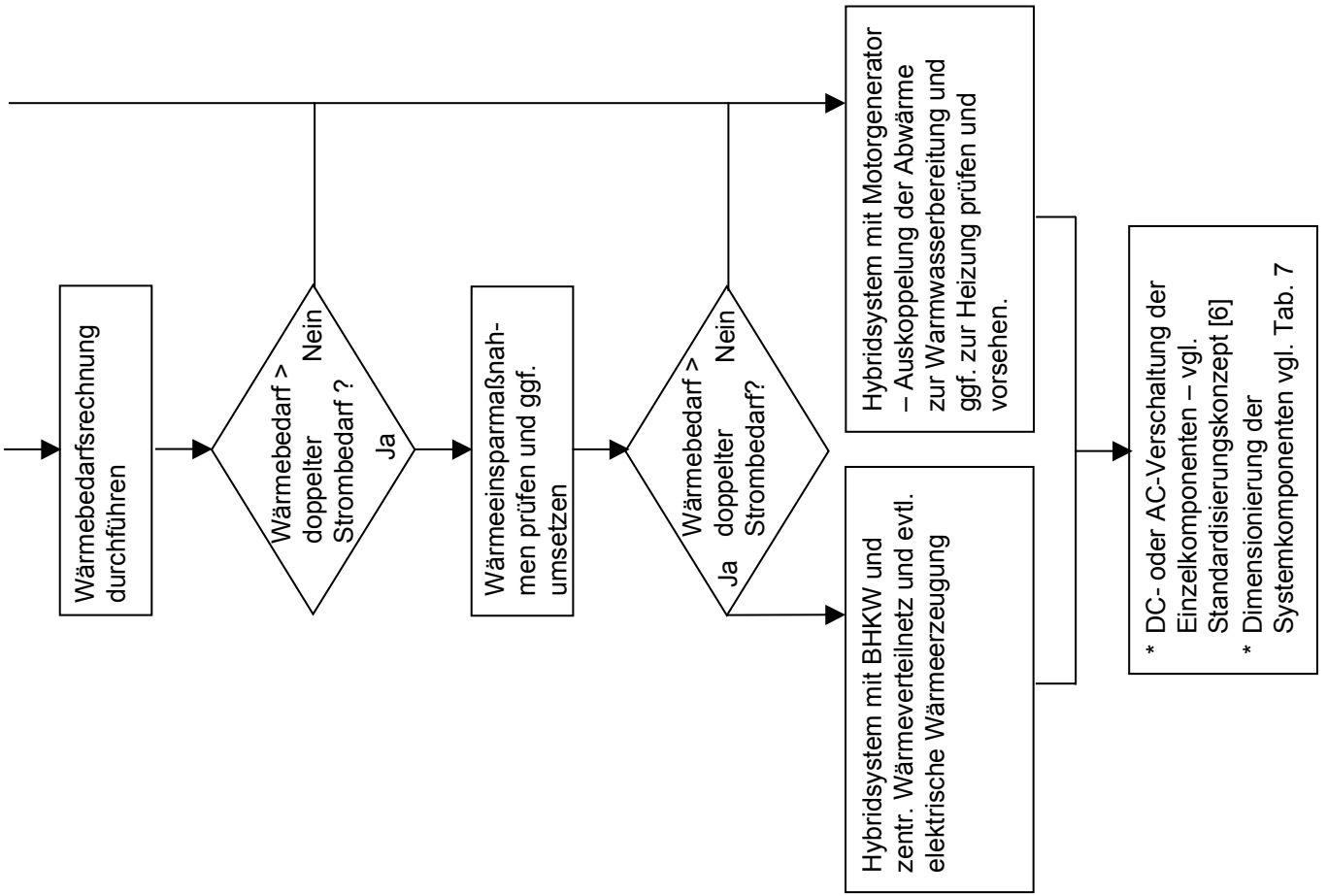
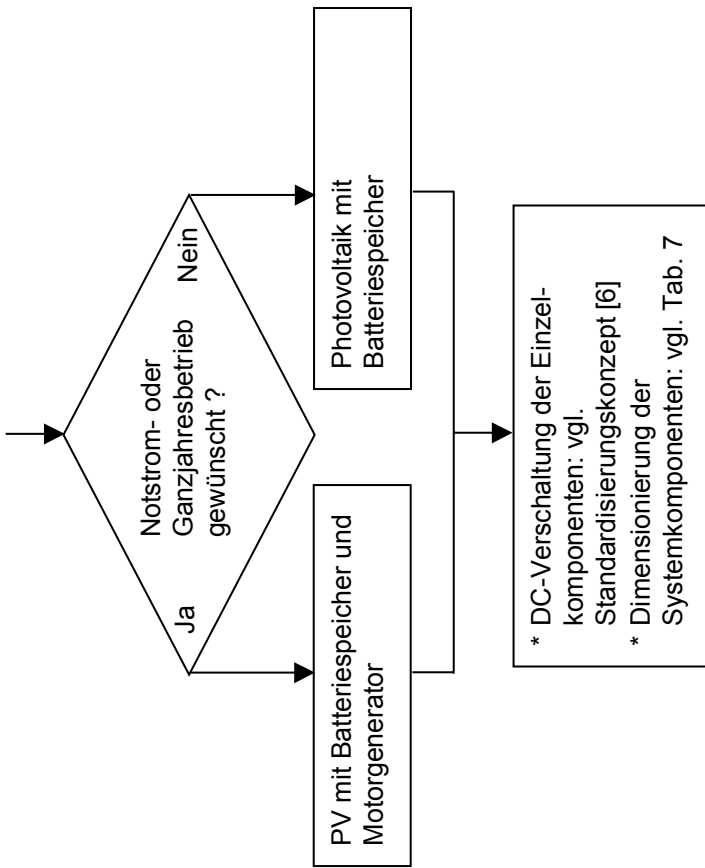
Tabelle 6: Typische Verteilung des elektrischen Energiebedarfs in % des Jahresmittelwerts für saisonal oder ganzjährig (ohne intensive Wintersportnutzung) genutzte Berghütten

Zusätzlich muss zur Dimensionierung der Nennleistung der einzelnen Energieerzeuger eine grobe Abschätzung des täglichen elektrischen Lastgangs vorgenommen werden. Hierbei ist vor allem auf eine gleichmäßige Lastverteilung durch evtl. Lastverriegelungen zu achten um eine gute Auslastung und somit gute Wirkungsgrade und günstige Stromgestehungskosten zu erreichen. Damit keine negativen Auswirkungen auf den Hüttenbetrieb und -wirt entstehen, ist hierbei ein gutes Fingerspitzengefühl gefordert. Sind die Grunddaten mittlerer täglicher elektrischer Energieverbrauch und täglicher Lastgang bekannt, erfolgt die Entwicklung eines Energieversorgungskonzepts nach folgendem Ablaufdiagramm.

Ablaufdiagramm für die Entwicklung eines Energieversorgungskonzeptes - elektrische Energieversorgung







Für die Dimensionierung des Stromversorgungssystems gilt grundsätzlich:

- ◆ Elektrische Leistung des Motorgenerators: Summe der Leistungen der unbedingt gleichzeitig zu betreibenden Geräte, z. B. Geschirrspülmaschine und Materialeilbahn und Ladegerät und Grundlast. Evtl. ist eine mit dem Hüttenwirt abgestimmte Lastverriegelung vorzusehen. Bei einem Wechselstrom (AC) verschalteten System addieren sich die Leistung des Motorgenerators und des Wechselrichters, so dass der Motorgenerator kleiner ausfallen kann.
- ◆ Elektrische Leistung des Wechselrichters: Summe der Leistungen der mindest gleichzeitig zu betreibenden Geräte, nach der mit dem Hüttenwirt vereinbarten Lastverriegelung. Mindestens Leistung des »stärksten« Gerätes und Grundlast.
- ◆ Grundlast: ca. 20 % der Leistung des größten Einzelverbrauchers
- ◆ Größe des PV-Generators und der Batterie: in Tabelle 7 sind bewährte Größen dieser Komponenten in Abhängigkeit vom täglichen elektrischen Energiebedarf aufgeführt. Auch bei Ersatz oder Ergänzung des PV-Generators durch andere Energieerzeuger ist diese Tabelle anwendbar, da sie auf einer Optimierung der Stromgestehungskosten basiert [5].
- ◆ Dimensionierung der Windkraftanlage. Mit Hilfe der vom Hersteller gelieferten Leistungskennlinie und der gemessenen Windgeschwindigkeit kann der jährliche Energieertrag bestimmt werden. Er sollte 1/3 des Gesamtenergiebedarfs der Anlage nicht überschreiten.

Mittlerer täglicher elektrischer Energiebedarf [kWh/d]	Nennleistung des PV-Generators [kWp]	Batteriegröße ² in Autonomietagen [d]	Solare Deckungsrate [%]
≤ 5	≈ 1,5	≈ 5	> 90
> 5, < 15	≈ 3	≈ 3	65-90
> 15, < 25	≈ 5	1-3	35-65
> 25	≥ 5	1	< 35

Tabelle 7: Empfohlene Größen der PV-Systemkomponenten in Abhängigkeit vom elektrischen Energiebedarf

Genauere Auslegungen können mit verschiedenen kommerziell erhältlichen Simulationsprogrammen durchgeführt werden.

Die zwei in Deutschland am weitesten verbreiteten Programme für die Auslegung von PV-Inselstromversorgungen sind:

² Batteriegröße: Die Autonomietage ergeben sich aus dem Nennenergieinhalt der Batterie dividiert durch den mittleren täglichen Energiebedarf

PVS 2000 - <http://www.econzept.de/start.htm>

PV SOL - <http://www.valentin.de/>

Sehr detaillierte Lebensdauerkostenberechnungen und Systemoptimierungen können z. B. mit dem Softwarepaket TALCO durchgeführt werden [5]. Derartige Rechnungen sind allerdings nur als Auftragsarbeit z. B. am Fraunhofer ISE, Freiburg möglich.

Die Verschaltungsarten (Gleichstrom (DC) oder Wechselstrom (AC) Koppelung), die Auswahl und Spannungslage der Systemkomponenten werden im »Standardisierungskonzept für Photovoltaik-Anlagen zur Versorgung von Alpenvereinshütten«, erhältlich im Referat »Hütten und Wege« des DAV in München, ausführlich beschrieben [6].

3.4 Bewertung und detaillierte Darstellung der Vorzugsvariante

Das neudimensionierte oder angepasste Energieversorgungssystem, ist gegebenenfalls in den verschiedenen Varianten dem Status quo gegenüber zu stellen. Diese Gegenüberstellung kann mit den Tabellen II und III, siehe Anhang, erfolgen. Zusätzlich sollten die Investitions-, Betriebs-, Transport- und Wartungskosten in tabellarischer Form aufgeführt werden. Anhand dieser Gegenüberstellung soll die Vorzugsvariante begründet werden.

Die Vorzugsvariante ist in der folgenden Weise detailliert darzustellen.

- ◆ Blockschaltbild(er) mit den wichtigsten technischen Daten
- ◆ Primärenergieverbrauch und erzeugte Nutzenergie
- ◆ Plan für die zeitliche Umsetzung
- ◆ Detaillierte Kostenplanung
- ◆ Finanzierungskonzept
- ◆ Prognostizierte Lebensdauer für die wichtigsten Komponenten
- ◆ Konzept für die Betriebsüberwachung und eine regelmäßige Wartung

4 Beispiele

4.1 Magdeburger Hütte

Bei der Magdeburger Hütte handelt es sich mit 1.200 Übernachtungen, 2.500 Tagesgästen, 150 Öffnungstagen im Jahr und einem elektrischen Energieverbrauch von 1,5 kWh/Tag um eine kleine Hütte, die auf 1633 m Höhe im Karwendel liegt. Die Versorgung erfolgt über einen Fahrweg.

Der Anlass für die Erstellung eines elektrischen Energieversorgungskonzeptes und die Installation einer größeren PV-Anlage, war der Wunsch die vorhandene Gasbeleuchtung auf elektrische Energie umzustellen und die Notwendigkeit eine UV- Entkeimungsanlage für das Trinkwasser und eine Kläranlage einzubauen.

Die Ermittlung des zukünftigen elektrischen Energiebedarfs anhand gemessener und berechneter Werte ergab 720 kWh_{el}/Jahr (4,8 kWh_{el}/Tag) im Vergleich zu derzeit 220 kWh_{el}/Jahr (1,5 kWh_{el}/Tag).

Mit Hilfe des Simulationsprogramms PVS wurde die Größe des PV Generators zu 1,5 kWp bei einer Batteriegröße von 5 Autonomietagen und einer 90 %igen solaren Deckungsrate bestimmt (siehe auch Tabelle 7) Die zwei alten Benzingeneratoren sollen durch einen mit mittlerer Leistung ersetzt werden, um einen einfacheren Systemaufbau und einen höheren Verstromungswirkungsgrad zu erreichen. In Tabelle 8 ist dargestellt, dass mit dieser Auslegung und des deutlich erhöhten elektrischen Energiebedarfs der Primärenergieeinsatz von derzeit 1950 kWh auf 500 kWh fällt.

	Benzingenerator		PV-Anlage		Beleuchtung		
	Derzeit	Zukünftig	Derzeit	Zukünftig	Derzeit	Zukünftig	
Leistung	2,1 kW	5 kW	3 kW	0,4 kW	1,5 kW	27 x 7 W _{el} und 10 Gasleuchten	45 x 7 W _{el}
Primärenergieverbrauch	60 l Benzin =600 kWh	50 l Benzin =500 kWh	–	–	100 kg Gas =1350 kWh	–	–
Nutzenergie	≈60 kWh _{el} (mit 10 % Wirkungsgrad abgeschätzt)	70 kWh _{el} (mit PVS berechnet)	≈160kWh _{el}	650 kWh _{el} (mit PVS berechnet)			

Tabelle 8: Gegenüberstellung der derzeitigen und zukünftigen elektrischen Energieerzeuger mit jährlichem Energieverbrauch

Die PV-Anlage auf der Magdeburger Hütte wurde zu Ende der Saison 1999 in Betrieb genommen. Aufgrund der noch nicht fertiggestellten Kläranlage betrug der tägliche Energiebedarf statt den geplanten 4,8 kWh_{el} nur 2,8 kWh_{el}, der zu 100 % ohne Motorgeneratorunterstützung von der PV-Anlage geliefert wurde.

4.2 Hermann-von-Barth Hütte

Bei der Hermann-von-Barth Hütte handelt es sich mit 3.000 Übernachtungen, 6.000 Tagesgästen, 110 Öffnungstagen im Jahr und einem elektrischen Energieverbrauch von 30 kWh/Tag um eine mittelgroße Hütte, die auf 2231 m in den Allgäuer Alpen liegt. Die Versorgung erfolgt über eine Materialseilbahn.

Durch die Installation einer PV-Anlage soll die tägliche 10-stündige Laufzeit des 32 kW Dieselgenerators bei einem Verbrauch von 3500 l Dieselöl pro Jahr deutlich reduziert werden. Der häufige Teillastbetrieb des Dieselgenerators führt zu einem sehr schlechten Verstromungswirkungsgrad von nur 7 %. Durch die im folgenden aufgelisteten Maßnahmen soll der derzeitige tägliche elektrische Energiebedarf von 30 kWh auf 24 kWh gesenkt werden.

- ◆ Warmwasseranschluss für die Wasch-, Spül- und die Kaffeemaschine
- ◆ Ersatz von zwei Gefrierschränken und zwei Kühlschränken durch energiesparende Geräte
- ◆ Entfernung der elektrischen Zapfkühlanlage, dafür Lagerung der Getränke im kühlen Keller
- ◆ Ersatz von 2 Heizlüftern durch 2-3 Heizkörper, die durch einen Wärmetauscher im Kachelofen gespeist werden

Der zukünftige elektrische Energieverbrauch wurde mit Hilfe einer Gerätetafel mit gemessenen und berechneten Verbrauchsdaten zu 24 kWh/d bestimmt. Die Abschätzung nach der installierten Gesamtgeräteleistung (gemäß der Abbildung 1 in Kapitel 3.1.4.2) von 17 kW ergab 17 kWh/d. Für die Auslegung der PV-Anlage wurde der höhere Bedarf angenommen, da dem Hüttenwirt bisher bei Betrieb des Motorgenerators eine nahezu unbegrenzte Leistungs- und Energiequelle zur Verfügung stand.

Mit Hilfe einer 4,4 kWp großen PV-Anlage und einer Bleibatterie mit 1,5 Autonomietagen kann der verbleibende Strombedarf zu 50 % von der Sonne gedeckt werden, die Laufzeit des Dieselgenerators reduziert sich dabei von 10 h/Tag auf nur noch 3 h/Tag. Während dieser Zeit wird über einen Elektromotor bei Bedarf die Materialseilbahn betrieben. Dadurch entfällt der bisherige Benzinmotor (500 l Benzin/a) und der mittlere Verstromungswirkungsgrad des Dieselmotors erhöht sich von 7 % auf 10 %. In Verbindung mit der PV-Anlage fällt der Dieserverbrauch somit von 3500 l/a auf 1000 l/a.

Trotz Warmwasseranschluss für die Spül- und Waschmaschine wird der tägliche Warmwasserbedarf durch Verkürzung der Zulaufwege von derzeit 1130 l auf zukünftig 700 l reduziert. Es wird vorgeschlagen den vorhandenen Gasdurchlauferhitzer mit einer 18 m² großen Sonnenkollektoranlage zu ergänzen um dadurch den Gasverbrauch um ca. 300 kg zu senken. Bei einem Variantenvergleich wurde nachgewiesen, dass eine Sonnenkollektoranlage günstiger als der Einsatz eines BHKW ist, da kein zentrales Wärmeverteilnetz vorhanden ist. Alternativ zum Sonnenkollektor ließe sich auch die Kühlwasserabwärme des Motorgenerators zur Warmwasserzeugung nutzen.

Für das Kochen werden jährlich 485 kg Gas (entspricht 6550 kWh) Primärenergie benötigt. Die Beheizung der zwei Gasträume (55 m²) erfolgt mit einem Kachelofen, dafür werden jährlich 4 m³ Holz (entspricht 6800 kWh Primärenergie) benötigt. Der spezifische Primärenergieverbrauch von 123 kWh/m² liegt höher als der Zielwert von 80 kWh/m², kann aber akzeptiert werden, da die Küche mit 30 m² Fläche teilweise mitbeheizt wird. Zusätzlich werden für die Küchenbeheizung 11 kg Gas (entspricht 150 kWh Primärenergie) benötigt.

Durch den Einsatz der Photovoltaik- und der Sonnenkollektoranlage kann der bisherige Primärenergieeinsatz von 59.300 kWh um 57 % auf 25.500 kWh gesenkt werden, s. Tabelle 9.

Derzeit			Zukünftig		
Energiebereich (Nutzenergie)	Energieträger	Primärenergieverbrauch [kWh]	Energiebereich (Nutzenergie)	Energieträger	Primärenergieverbrauch [kWh]
Heizung	Holz	6800	Heizung	Holz	6800
	Gas	150		Gas	150
Warmwasser (124 m ³ /a)	Gas	6000	Warmwasser (77 m ³ /a)	Gas	2000
				Sonnenkollektor	
Kochen	Gas	6550	Kochen	Gas	6550
Elektrische Energie (3300 kWh)	Diesel	35000	Elektrische Energie (2640 kWh)	Diesel	10000
				Photovoltaik	
Summe		59300			25500

Tabelle 9: Jährlicher Energieverbrauch für die Hermann-von-Barth Hütte derzeit und zukünftig

5 Anhang

5.1 Literatur

[1] Studie *Energieversorgungskonzept für den Nationalpark Berchtesgaden*, Auftraggeber: Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, Auftragnehmer: Fraunhofer ISE, K. Kiefer, Freiburg, 1995

[2] Senft, S., *Alpine PV-Anlagen, Hinweise zur elektrischen Energiebedarfsplanung*, Sonnenenergie, Heft 3, 1998

[3] Studie *Erhebung des technischen Standes bei pflanzenölbetriebenen Blockheizkraftwerken im Alpengebiet*, TU München Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Dr. B. Widmann, K. Thuneke, Freising, 2001, www.tec.agrar.tu-muenchen.de/pflanzenoel/dbu_bericht.pdf

[4] Bopp, G., u. a., *Qualitätssicherung von photovoltaischen Energieversorgungssystemen*, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 0329596 des vom BMBF geförderten Vorhabens, Freiburg, Juni 2000. Dieser Bericht kann beim Fraunhofer ISE bezogen werden.

[5] Landau, M., *Standardisierungskonzept für Photovoltaik-Anlagen zur Versorgung von Alpenvereinshütten*, ISET Kassel unter Mitwirkung des Fraunhofer ISE, Kassel, 1998

[6] Sauer, D. U., u. a., *Inselanlagen – was kosten sie?*, 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, 1999

[7] Sauer, D. U., u. a., *What happens to Batteries in PV Systems or Do we need one Special Battery for Solar Applications?*, 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Spain, 1997

Eine Möglichkeit zur Vertiefung des Themas bieten auch Seminare. So bietet z. B. das OTTI-Technologie-Kolleg (www.otti.de) regelmäßig Seminare zum Thema „Dezentrale Stromversorgungen mit Photovoltaik“ an.

Einen sehr guten Überblick und viele Beispiele zur umweltgerechten Sanierung der Schutzhütten alpiner Vereine bietet das Buch: *Die umweltgerechte Schutzhütte*, Hrsg.: Verband alpiner Vereine Österreichs, Bäckerstr. 16, A-1010 Wien, Österreich, ISBN 3-9500087-3-X.

Derzeit				Zukünftig			
Energiebereich (Nutzenergie)	Energie-träger	Primär-energie-verbrauch [kWh]	Primär-energie-kosten [Euro]	Energie-bereich (Nutzenergie)	Energie-träger	Primär-energie-verbrauch [kWh]	Primär-energie-kosten [Euro]
Heizung				Heizung			
Warmwasser				Warmwasser			
Kochen				Kochen			
Elektrische Energie				Elektrische Energie			
Summe				Summe			

Tabelle III: Jährlicher Primärenergieverbrauch derzeit und zukünftig