

Berechnungen zur Energietechnik und Solartechnik, Darstellung von einzelnen Zusammenhänge und Sammlung von Informationen

Autor: Dieter Drewanz
 Begonnen: 05. Dezember 2014
 Stand: 24/12/14

Inhaltsverzeichnis

1	Der Wärme und Strombedarf eines Haushaltes oder eines Hauses.....	2
1.1	Einleitung.....	2
1.2	Wärmeverbrauch eines Haushaltes.....	2
1.2.1	Warmwasserverbrauch.....	2
1.2.2	Heizwärmeverbrauch.....	3
1.2.3	Stromverbrauch.....	3
2	Energieträger und Erzeugung.....	3
2.1	Energiegehalt eines fossilen Brennstoffes.....	3
2.2	Der Energiegehalt eines atomaren Brennstoffes.....	4
2.3	Die Erdwärme als Energiequelle.....	5
2.4	Einfluss der Erdwärme auf die Bautechnik.....	6
2.5	Die Sonne als Energielieferant.....	7
2.6	Windenergie.....	8
3	Grundlegendes zu Komponenten von Solaranlagen.....	8
3.1	Energieinhalt eines Wasserspeichers.....	8
3.2	Besondere Wärmespeicher.....	9
3.3	Wärmespeicher für den Jahresverbrauch.....	10
3.4	Der Energieertrag eines Solarkollektors.....	11
3.5	Regelung des Wärmekreislaufes.....	12
3.5.1	Eine ideale Regelung.....	12
3.5.2	Schwächen von Regelungen.....	12
4	Module im Vergleich.....	12
4.1	Solarmodule im Vergleich für Wärme und Stromgewinnung	12
4.2	Schutz von Solaranlagen.....	13
4.2.1	Unwetter und Brand.....	13
4.2.2	Temperaturschutz.....	14
4.2.2.1	Tiefe Temperaturen.....	14
4.2.2.2	Hohe Temperaturen.....	14
4.3	Eigenschaften von Wechselrichtern.....	15
4.4	Kennlinien von Anlagen und Dimensionierungseinflüsse.....	15
5	Grundlegendes zu Komponenten der Stromgewinnung.....	15
5.1	Energiespeicher für elektrischen Strom.....	15
5.2	Berechnungen zu Solar-Blei-Akkus.....	18
5.3	NiMh-Akkus und Li-Akkus.....	21
5.4	Andere Speicherzellen.....	22

5.5 Die Energieverteilungskosten.....	22
6 Anlagen:	24
6.1 Literaturquellen:	24

1 Der Wärme und Strombedarf eines Haushaltes oder eines Hauses

1.1 Einleitung

Auf Grund des Winters und damit verbundenen längeren Jahreszeit mit kühleren Temperaturen und weniger Sonnenschein gegenüber den Äquatorialstaaten wird nördlich der Alpen auf lange Sicht permanent mehr Energie für Wärme und auch für Strom benötigt werden. Die menschliche Besiedelung der nördlichen Staaten ging daher einher mit der Fähigkeit intelligent für diese schlechten Zeiten vorzusorgen. Heute im Zeitalter der Maschinen, das heißt Auto, Schneepflüge, Straßen, feste Häuser mit Heizungen sieht man das vielleicht nicht mehr so bedeutend an.

Von Seiten des Energieverbrauchs entfällt grob je ein Drittel auf Verkehr, Industrie/Handwerk und private Haushalte. Da die nichtregenerativen Energieträger zum großen Teil importiert werden müssen, wäre es wünschenswert dies zu vermeiden und statt dessen die Sonnenenergie anzupfen.

Die Intention dieses Textes war das Eine oder Andere verstreut auf verschiedenen Zetteln zusammenzufassen in einem Dokument. Somit sind auch einige Abschweifungen vom Thema enthalten, wie bei solchen „Baustellen“ so üblich, wo der Rote Faden auch mal weg sein kann. Die Speicherungsoption HTML und PDF z.B. von OpenOffice erlaubt es auch dieses Dokument einfach ins Netz zu stellen. Es ist nicht beabsichtigt das Thema allumfassend darzustellen.

Einige Überschlagsrechnungen in dem Dokument dienen der vereinfachten Veranschaulichung und sind meistens so einfach gehalten, dass diese auch nachgerechnet werden können. Bei der Vorgehensweise werden zunächst die Wirkungsgrade vernachlässigt. Für eine grobe Abschätzung ist immer sinnvoll um zu wissen, wo die idealen Grenzen liegen würden und wie weit die Realität davon entfernt ist.

1.2 Wärmeverbrauch eines Haushaltes

Für Überschlagsrechnungen wurden hier ein paar Annahmen getroffen. Der hier angenommene Energieverbrauch eines kleinen Häuschens läge bei 2000 Liter Öl pro Jahr und 3000 kWh Stromverbrauch. Die nutzbare Dachfläche betrüge etwa 30 qm bei einer Neigung von 30 Grad. Viele Angaben werden zur einfacheren Vergleichbarkeit als elektrischen Größen in W bzw. Wh angegeben.

1.2.1 Warmwasserverbrauch

Der Warmwasserverbrauch hängt bei einem Haushalt im Wesentlichen von der Anzahl der Personen und Gewohnheiten ab. An erster Stelle steht der Verbrauch für Baden, kurzes oder langes Duschen. Ein weiterer Faktor stellt dar ob mit der Hand oder mit Waschmaschine gespült wird und täglich gekocht wird. In USA würde auch die Waschmaschine eine große Rolle spielen. Auf Grund der geringeren Netzspannung und größeren zu erwärmender Wassermengen der Rüttelstabwasch-

maschinen werden diese auch an die Warmwasserleitung angeschlossen, da die Stromaufnahme sonst zu hoch für die Stromleitung eines normalen Haushaltes wäre.

Der Verbrauch pro Person pro Tag in Deutschland liegt bei Durchschnittlich 50 Liter 60 Grad warmes Wasser. Die Werte schwanken dabei sehr stark zwischen 24 Litern und 72 Litern pro Tag. Der Bundesdurchschnitt liegt bei 235 Litern Warmwasser pro Quadratmeter umgerechnet auf die Wohnfläche.

$$E = c_w \cdot m_w \cdot \Delta T$$

E: Energie in J oder Wh, c_w : Wärmekapazität des Wassers 4,19 kJ/kg, m_w : Masse Wasser (mit 11 \approx 1kg), ΔT : Temperaturdifferenz in K oder C; Kaltwasserzulauf ungefähr 11°-15° C

Per Kopf pro Tag:

$$E = 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot 50 \text{ kg} \cdot (60 - 11) \text{ K} = 10 \text{ MJ} = 2,9 \text{ kWh}$$

Pro Jahr ergibt das circa 1.000 kWh/Person. Dieser Wert wird später noch benötigt werden.

1.2.2 Heizwärmeverbrauch

Der Heizwärmeverbrauch hängt bei einem Haushalt im Wesentlichen von der Größe der Wohnung, damit verbunden die Anzahl der Personen, des Isolationszustandes, klimatische Lage, Bauweise (freistehend, angereiht) und Gewohnheiten ab. An erster Stelle steht der Verbrauch für Heizen während der kalten Jahreszeiten.

In Deutschland lag im Jahre 2011 der durchschnittliche Heizwärmebedarf bei 155 kWh pro Jahr und m² Wohnfläche. Stark renovierungsbedürftige Altbauten können in bestimmten Fälle auch über 300 kWh/m² erreichen. Nach den Bauvorschriften wurde eine Auslegung der Isolation auf 100 kWh/m² pro Jahr festgelegt für Neubauten.

1.2.3 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch in Haushalten beträgt je Einwohner ungefähr 5,2 kWh/Tag (1900kWh/Jahr). Für Haushalte bei denen auch Heizwärme und Warmwasser mit Strom erzeugt wird liegt der Wert etwas höher, für die anderen Haushalte der Durchschnittswert etwas niedriger.

Ein Computer mit Monitor im 24/7 Betrieb, der 200W verbraucht, würde mit 1750 kWh/Jahr zu buche schlagen.

2 Energieträger und Erzeugung

2.1 Energiegehalt eines fossilen Brennstoffes

Der Energiegehalt eines fossilen Brennstoffes liegt bei ungefähr (Quelle Wikipedia) 10 bis 12 kWh

pro Liter.

	Diesel, Heizöl bis schweres Heizöl
Dichte kg/l bzw kg/dm ³	0,82 - 0,99
Brennwert in MJ/kg	45,4 - 42,3
Brennwert in MJ/l	37,3 - 41,8
Brennwert in kWh/kg	12,6 - 11,7
Brennwert in kWh/l	10,3 - 11,6
Heizwert in MJ/kg	42,6 - 40,0
Heizwert in MJ/l	34,9 - 39,6
Heizwert in kWh/kg	11,8 - 11,0
Heizwert in kWh/l	09,7 - 10,9

Der Brennwert und der Heizwert unterscheiden sich in der Berücksichtigung des Energiegehaltes des Wasserdampfes, der bei der Verbrennung als Produkt ebenfalls entsteht. Diese Energie kann eine Heizung ebenfalls nutzen, wenn das Verbrennungsgas unter den Kondensationspunkt abgekühlt wird. Die Kondensation setzt bei Temperaturen unterhalb der Siedetemperatur von ungefähr 100° C ein. Heizungen mit Brennwertkesseln nutzen diesen Teil der Energie zusätzlich. Damit durch das Kondensat der Kamin nicht versottet muss dieser besonders ausgeführt sein. Beim nachträglichen Einbau werden in den Kamin Glas- oder Edelstahlrohre eingebracht. Ein Frischluftgebläse unterstützt die Abfuhr der Brenngase. Die Angabe des Wirkungsgrades von Kesseln wird gemäß einschlägiger Normen gegenüber dem Heizwert berechnet. Nur aus dem Grunde kann ein Brennwertkessel einen Wirkungsgrad von über 100% haben.

Bei Niedertemperaturkesseln besteht auch die Gefahr der Versotterung des Kamins. Durch öffnen einer Luftzufuhrklappe wird meist ausreichend erreicht, dass der Kamin wieder trocknet.

Bei Brennwertkesseln ist das Kondensat säurehaltig und darf nicht unbehandelt in das Abwasser abfließen. Je nach Regelung muss es gesammelt werden und als Sondermüll entsorgt werden oder es wird eine Lauge, z.B. Natronlauge hinzugegeben werden bis sich ein neutraler PH-Werte einstellt und kann dann dem Abwasser zugeführt werden. Zu stark dürfen die Verbrennungsabgase nicht abgekühlt werden, da diese sonst nicht mehr zuverlässig schnell genug von selbst nach oben abfließen würden. An besonders ungünstigen Stellen im Bodenbereich könnten sich sonst in ungünstigen Fällen lebensbedrohliche Kohlendioxidkonzentrationen ansammeln.

Generell sollten es so bald wie möglich keine konventionellen Kraftwerke für die Produktion von Strom mehr in Betrieb sein, die ihre Abwärme nicht in ein Fernwärmenetz einspeisen. Statt dessen diese Energie in eine Fluss oder über einen Kühlturm abzugeben stellt eine unnötige Energieverschwendung dar. Als Heizung von Haushalten und auch öffentlichen Einrichtungen, z.B. öffentlichen Schwimmbädern (Freibad, Hallenbad) wäre diese Energie viel besser verwendet.

2.2 Der Energiegehalt eines atomaren Brennstoffes

Bei Uran hängt die tatsächlich erzeugte Strom-Menge vom eingesetzten Reaktortyp und dem Brennstoffkreislauf ab. Aus 1 kg Natur-Uran werden etwa bei 36–56 MWh Strom erzeugt(ohne Wiederaufarbeitung und ohne Brüten). Wird der Wirkungsgrad berücksichtigt liegt der Energiegehalt des Brennstoffes bei ungefähr 100 MWh/kg. In der Vergangenheit wurde die Kernkraft gefördert um unabhängiger von fossilen Energieträgern zu werden, die Emissionen von

Kohlendioxid und schwefelsauren Niederschlägen zu reduzieren, und um den prognostizierten stark steigenden Energiebedarf zu decken.

Da die Kernkraftwerke im Durchschnitt über 50% der Energie als Abwärme über Kühltürme an die Umwelt abgeben, sollten Kernkraftwerke, die nicht in Fernwärmenetze einspeisen um diese Funktion erweitert oder schnellstmöglich still gelegt werden aus Sicht eines nicht betriebsblinden Kernkraftbefürworters. Bei entsprechender Laufzeitverlängerung wäre sicherlich auch ein Neubau mit der Fernwärmefunktionalität die eindeutig bessere Alternative.

Für eine gute Fernwärmeversorgung darf das Kraftwerk auch nicht zu weit von großen Städten und somit den Verbrauchern entfernt sein. Auf Grund einer solchen Lage und stabilen Bauweise wäre das Objekt für eine spätere Verwendung als Energiespeicher von regenerativen Energien prädestiniert.

Aus heutiger Sicht gibt es immer noch ein Problem mit der Endlagerung. Auf dem Gebiet der Weiterverwendung des Abfallproduktes wird in Deutschland kaum mehr geforscht. Früher wurden die Kernabfälle mit Beton vermischt in Behälter abgefüllt und gelagert. Für eine spätere Weiterverarbeitung, falls die Forschung bessere Alternativen finden sollte, war und ist dies die schlechteste Lösung. Der Spezialbehälter CASTOR stellt hier eine wesentlich bessere Zwischenlösung dar.

Interessanterweise wärmen die verbrauchten Kernbrennstäbe und deren Abfälle heute noch merklich die Lagerstellen. Für die Stromerzeugung von Vorteil ist natürlich die hohe räumliche Energiedichte in einem Kernreaktor um die mehreren hundert Grad Temperatur für die Erzeugung des Hochdruckdampfes zum Antrieb der Turbinen. Für Heizzwecke würden auch niedriger Energiedichten reichen. Es kann durchaus sein, dass durch mehrfache Wiederaufbereitung und Verwendung in anderen langsameren Kernprozessen geringerer Energiedichten der Atommüll deutlich oder drastisch reduziert werden könnte. Vielleicht gibt es dieses Wissen bereits, wird aber auf Grund des fehlenden betriebswirtschaftlichen Gewinns des Verfahrens nicht umgesetzt oder bekannt gegeben.

2.3 Die Erdwärme als Energiequelle

Zur Erdwärme gibt es viele gute Seiten im Internet zu finden. Einige Bemerkungen zu Vor-, Nachteilen und kaum erwähnten Aspekten habe ich hier aufgeführt.

Eine interessante Technologie ist die Geothermie. Eine Bohrung in die Tiefe ist aber auch nicht immer unproblematisch. Es kann dabei passieren, dass verschiedene Wasserschichten verletzt werden oder verbunden werden. Bei Anlagen, die auf einer Seite das Wasser entnehmen und auf einer anderen Seite wieder einpumpen kann es auch zur Bildung von Hohlräumen kommen. Insbesondere betroffen sein kann das besonders reine sekundäre, tertiäre, oder noch tiefer gelegene Grundwasser. Für einige Industriebetriebe, die solches hochreine Wasser benötigen, wäre eine Belastung dieser Grundwasserschichten problematisch. Auch die umstrittene Ölgewinnung mittels Cracking stellt eine sehr wahrscheinliche Bedrohung für diese Grundwasserschichten dar.

Im folgenden wird ein Ergebnis eines Wärmepumpenprojektes aus der Vergangenheit erwähnt. In einer Nachbarstadt wurde in der Vergangenheit (80er Jahre) eine Siedlung mit Nutzung der Erdwärme gebaut. Es wurden im Garten Rohrleitungen verlegt. Die Wärme wurde über eine strombetriebene Wärmepumpe aus der Sole gewonnen, die durch die Erdleitungen zirkuliert. Viele Häuser bauten sich bald eine konventionelle Heizung ein wegen der hohen Stromrechnungen. Nur

sehr wenige Hauseigentümer am Rande der Siedlung nutzten die Wärmepumpe weiter. Der Grund war, dass sich die Anlagen gegenseitig beeinflussten. Die abgezogene Wärme kühlte den Boden doch so weit ab, dass die Nachbarn ebenfalls eine kältere Sole der Wärmepumpe zuführen mussten. Da sich jedoch der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe mit sinkender Soletemperatur verschlechterte, stieg natürlich der Stromverbrauch und damit auch die Kosten. Die Eigentümer in der Mitte der Siedlung waren daher die Ersten, die auf eine andere Heizung umstiegen und die Wärmepumpen stilllegten. Nach dem fast alle Häuser die Wärmepumpenanlage stillgelegt hatten, lief für die letzten ein bis zwei Hauseigentümer die Wärmepumpenanlage zufriedenstellend.

2.4 Einfluss der Erdwärme auf die Bautechnik

Hier handelt es sich um einen etwas ungewöhnlichen Abschnitt, der die Bautechnik in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Bodentemperatur beleuchtet. Von der Oberfläche des Bodens in die Tiefe nehmen die Temperaturschwankungen über die Jahreszeiten relativ schnell ab. Auch unsere Vorfahren nutzen bereits dieses Wissen in dem sie Höhlen bewohnten die sie im Winter vor Kälte und im Sommer vor zu großer Hitze schützten.

Im südlichen Europa gibt es Gegenden da liegt die durchschnittliche Bodentemperatur in Bereichen von 17°C bis 20°C. Große Gebäude mit dicken Mauern waren nicht gegenüber dem Boden isoliert und daher war es angenehm sich dort bei große Hitze aufzuhalten wie auch bei frostiger Kälte, auch zu Zeiten als es das Fensterglas noch nicht gab.

Die gleiche Architektur und Bautechnik in skandinavischen Ländern mit einer durchschnittlichen Bodentemperatur von 7°C war das Empfinden in solchen Gebäuden immer unangenehm kalt und entsprechend viel zu heizen brachte nur etwas Linderung. Angenehmer zu wohnen waren in dieser Gegend daher Holzhäuser.

In Deutschland liegt diese Temperatur meist in der Nähe von etwa 14°C. Im heißen Sommer bringt daher ein Keller etwas angenehme Kühlung in ein Haus. Im Winter hilft die Physik über das Gesetz, dass kalte Luft schwerer ist als warme Luft, dass der Keller die Heizbilanz nicht verschlechtert. Im Winter bei Heizungsausfall steigt die Kellerluft auf, wenn die Temperatur im Haus sehr stark gefallen wäre und verzögert oder verhindert ein Einfrieren der Wasserrohre.

Die leichte Holzhäuser in Skandinavien oder Amerika sind bei Ausfall des Stromes oder der Heizung bei Kälteeinbruch nicht selten bereits nach einem Tag so kalt, dass die Wasserleitungen gerissen sind. Aus dem Grund sind hier auch oft an der Oberfläche der Innenwände diese Leitungen verlegt.

Als Amerika besiedelt wurde, kamen die Einwanderer mit Schiffen. Die Schiffe waren aus Holz gebaut. Die Handwerker auf dem Schiff und an den Landungsstellen brachten diese Technik (aus Wartung, Reparatur der Schiffe) in den Hausbau mit ein. Handwerker mit Holzbaukenntnissen gab es viele, für Steinbauten nur wenige während dieser Siedlungsphase und sind Ursprung der großen Anzahl von Holzhäusern in Amerika.

Bei gleicher Fläche für aktives Wohnen und Lagerung benötigt ein kellerloses Haus mehr Grundfläche und es verbleibt weniger Garten. Im Hinblick auf den bereits vorhandenen Flächenverbrauch in Deutschland sollten die Grundflächen möglichst klein gehalten werden. Ein Haus ohne Keller sollte daher nicht ohne triftige Gründe gebaut werden, wie z.B. Grundwasserpegel, naher Fluss mit Uferübertritten.

2.5 Die Sonne als Energielieferant

Eine langfristige Energiequelle stellt die Sonne dar, die bereits seit vielen Millionen Jahren strahlt und dies auch noch viele weitere Millionen Jahre tun wird.

In 2008 betrug der Primärenergieverbrauch weltweit: $4,5 \cdot 10^{20}$ J oder 450 ExaJ oder $128 \cdot 10^{15}$ Wh oder 128 PWh oder $128 \cdot 10^{12}$ kWh oder 128 T kWh.

Wäre die Erde eine immer senkrecht zur Sonne ausgerichtete Scheibe würden bei einer Solarkonstante 1000 W/m^2 pro Stunde $125 \cdot 10^{12}$ kWh oder 125 T kWh pro Stunde einstrahlen. Der Primärenergieverbrauch der gesamten Menschheit beträgt also ungefähr 1/8000 der Sonneneinstrahlung auf der Erde.

$$A_{\text{Scheibe}} = \pi \cdot r^2 = 3,1415 \cdot (6,3 \cdot 10^6 \text{ m})^2 = 125 \cdot 10^{12} \text{ m}^2 \quad \text{Fläche der „Scheibe“}$$

$$E_{\text{Scheibe}} = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot 125 \cdot 10^{12} \text{ m}^2 = 125 \cdot 10^{15} \text{ W} = 125 \cdot 10^{12} \text{ kW} \quad \text{pro Stunde}$$

$$h_{\text{Jahr}} = 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ Tage/Jahr} = 8760 \text{ h/Jahr} \quad \text{Anzahl Stunden eines Jahres}$$

In 2008 betrug der Primärenergieverbrauch in Deutschland $1,4 \cdot 10^{19}$ J, 14.216 PJ oder 14 ExaJ oder rund $4 \cdot 10^{15}$ Wh oder 4 PWh oder $4 \cdot 10^{12}$ kWh oder 4 T kWh. Der gesamte Primärenergieverbrauch Deutschlands entspricht ungefähr einer senkrechten Sonneneinstrahlung von insgesamt 12 Stunden im Jahr. Bei ungefähr 2000 Sonnenstunden im Jahr würden hierfür ungefähr 1/160 der Fläche verbraucht werden. Unter Berücksichtigung des Einfallwinkels der Sonne und den damit ungünstigeren Verhältnissen würde sich der Wert auf ungefähr 1/80 der Fläche verschlechtern.

Die Fläche der Bundesrepublik Deutschland: $A_{\text{BRD}}: 357 \cdot 10^9 \text{ m}^2$

$$E_{\text{BRD}} = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot 357 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 357 \cdot 10^{12} \text{ W} = 357 \cdot 10^9 \text{ kW} = 0,36 \text{ T kWh} \quad \text{pro Stunde}$$

Angemerkt sei hier noch, dass am gesamten Primärenergieverbrauch der Energieverbrauch für Wärme und Strom nur einen Teil davon ist.

Während der ungünstigen Witterungszeiten im Winter sind durchaus Erträge von nur 10% gegenüber den maximalen Erträgen in Sommer möglich. Daraus lässt sich folgern, dass ohne nennenswerte Energiespeicher in dieser Zeit ungefähr ein 1/16 der Fläche Deutschlands benötigt würde um den Primärenergiebedarf zu decken.

Auf lange Sicht stellt die Solarenergie eine obere Grenze dar für den energetischen Lebensstandard pro Einwohner eines Landes. Es wäre heutzutage durchaus möglich abzuschätzen ab welcher Einwohnerzahl hier Einschränkungen notwendig werden oder die Zahl Einwohner eines Landes begrenzt werden müsste. Solche Überlegungen sind heutzutage sehr opportun. Es kann aber zu einem sehr großen politischen Knall kommen, wenn die Grenzen erreicht werden und die fossilen Energievorräte zur Neige gehen oder rasant steigen auf Grund einschlägiger Marktgesetze (Preisgleichgewichte wenn die zunehmende Nachfrage das abnehmende Angebot übersteigt). Es gibt aber auch die Optimisten, die annehmen, dass bis dahin die Raumfahrt so weit wäre, dass sich durch die Besiedelung ferner Planeten alles in Wohlgefallen auflösen würde.

Die versiegelten Flächen gemäß Statistik des Bundesamtes waren in 2012 ungefähr $24,7 \text{ km}^2$ Gebäude/Freiflächen (Bauflächen) und 18 km^2 Verkehrsflächen. Die Werte der einzelnen Jahre schwanken, da die Zuordnung zu den Kategorien sich jeweils änderte.

Im Jahre 2004 waren (Quelle: Statistisches Bundesamt 2004) Bauflächen: 27.634 km^2 oder 7,7%,

Flächen für Gemeinbedarf: 1.106 km² oder 0,3%, Verkehrsfläche (überörtlicher Verkehr und örtliche Hauptverkehrszüge): 7.638 km² oder 2,1%, Flächen für Ver- und Entsorgung: 605 km² oder 0,2%. Ende des Jahres 2011 waren 45.730 Quadratkilometer (km²) Siedlungs- und Verkehrsflächen. Davon waren etwa 20.847 km² oder 45,6 Prozent (%) versiegelt. Bezogen auf die Gesamtfläche betrug die Siedlungs- und Verkehrsfläche 13,6 % und der Anteil der versiegelten Fläche 6,2 %. Somit betrug der Anteil der versiegelten Flächen ungefähr 1/16 der Gesamtfläche Deutschlands.

Vor ein paar Jahrzehnten gab es Aussagen, dass die siebenfache Fläche Deutschlands benötigt würde um ausreichend Energie zu produzieren. Für die Überschlagsrechnungen wurden die Wirkungsgrade vernachlässigt. Somit stellen die Werte eine theoretische Grenze dar, wie im Einleitungsteil bereits aufgeführt wurde. In der Realität müssen natürlich die Wirkungsgradketten mit betrachtet werden. Wie die Zahlen ergeben, bleibt aber noch etwas Buffer für die verlustbehaftete Ernte, Umwandlung und Speicherung von Energie.

Aus den globalen Betrachtungen sollte sich Jeder selbst ein Bild über die Grenzen und Möglichkeiten einer solaren Gesamtversorgung ausreichend ableiten können.

2.6 Windenergie

Im Gegensatz zur Sonnenenergie, die nur während eines schönen Tages für die Energiegewinnung zur Verfügung steht, gibt es nutzbaren Wind zu Tages- und Nachtzeiten, wie auch zu allen Jahreszeiten. Allerdings unterliegt diese Energieform auch starken zeitlichen Schwankungen. In der Landschaft stören sich viele an den hohen Türmen mit den sich drehenden Propellern. Das säuseln im Wind, der Infraschall und die Schlagschatten stören im immer dichter besiedelten Deutschland (Zunahme an verbauten Flächen) viele Menschen. Auch Tiere verunfallen indem diese gegen die Rotoren fliegen. Im Winter kann es Eisschlag geben, das Tiere, Personen und auch Landwirte gefährdet, die sich in der Nähe oder unter der Anlage aufhalten.

Bisher noch sehr wenig bekannt und wohl noch nicht entsprechend entwickelt sind Windenergiewandler, die ohne große rotierende Teile arbeiten. Deren Wirkungsgrade dürften um einen Faktor von 0,5 bis 0,7 geringer ausfallen, würden aber an viel mehr Standorten akzeptiert werden.

3 Grundlegendes zu Komponenten von Solaranlagen

3.1 Energieinhalt eines Wasserspeichers

Für die Warmwasserbereitung von Bedeutung ist die benötigte Energie für das Aufheizen des Wasserspeichers auf eine nutzbare Temperatur.

$$E = c_w \cdot V \cdot \rho_w \cdot \Delta T$$

E: Energie in J oder Wh, c_w : Wärmekapazität des Wassers 4,19 kJ/kgK, V: Volumen Wasser, ΔT : Temperaturdifferenz in K oder C; ρ_w : Dichte des Wassers

Für einen 500 Liter fassenden Behälter ergäbe sich:

Die Leitungswassertemperatur auf der Einlaufseite habe 14° C. Je nach maximaler

Speichertemperatur von 65° C oder 95° C würde folgende Energie für die Erwärmung aufgenommen werden:

$$E = c_w \cdot V \cdot \rho_w \cdot \Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 500 \text{ l} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot (65 - 14) \text{ K} = 106,8 \text{ MJ} = 29,6 \text{ kWh}$$

$$E = c_w \cdot V \cdot \rho_w \cdot \Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 500 \text{ l} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot (95 - 14) \text{ K} = 169,7 \text{ MJ} = 47,1 \text{ kWh}$$

Eine direkte Wärmeabgabe erfordert, dass die untere Temperatur des Speichers über der minimalen Verbrauchertemperatur liegt. Für eine Heizung sollte diese ausreichend über 23° C liegen, für Warmwasser natürlich höher (Legionellen). In dem Falle könnte nur ein Teil der gespeicherten Energie genutzt werden (das wären ca. 11-22 kWh, je nach Verwendung). Technisch könnte über eine Wärmepumpe die Temperatur auf einen höheren Level gebracht werden und die gesamte Energie im Speicher genutzt werden. Die meisten Anlagen sind aus diesem Grunde auf eine Vorerwärmung des Wassers ausgelegt. Die konventionelle Heizung bringt somit nur noch einen Teil der Energie auf um das Wasser auf die benötigte Endtemperatur zu bringen. Bei vielen Boilern findet daher in der unteren Schicht die solare Vorerwärmung statt und im oberen Schichtteil die Enderwärmung durch die konventionelle Heizungsanlage.

3.2 Besondere Wärmespeicher

Eine interessante Entwicklung sind Latentwärmespeicher, die als Besonderheit auch die Schmelzwärme des Phasenwechsels nutzen. Bei der Verwendung von Wasser als Speichermedium muss die Anlage mit einer Wärmepumpe kombiniert werden, da die Schmelztemperatur bei 0° C liegt. Die Schmelzenergie von Wasser beträgt 334 kJ/kg und die spezifische Wärmekapazität 4,19 kJ/kgK. Die Schmelzenergie entspricht einem Energieaufwand von fast 80° C Temperaturdifferenz für die gleiche Wassermenge.

Für einen 500 Liter oder kg fassenden Behälter ergäbe sich:

$$E = c_w \cdot m_w \cdot \Delta T + c_{\text{Schmelze}} \cdot m_w = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 500 \text{ kg} \cdot (95 - 0) \text{ K} + 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 500 \text{ kg} \\ = 199 \text{ MJ} + 167 \text{ MJ} = 366 \text{ MJ} = 101 \text{ kWh}$$

In der Praxis kann aber nur ein Teil im Behälter gefrieren, da Wasser sich als Eis ausdehnt und den Boiler sprengen würde. Realisierungen verwenden daher dehnbare kleine Behältnisse gefüllt mit Wasser im Boiler, die von einer Flüssigkeit umspült werden, die nicht gefriert, z.B. Wasser mit Frostschutzmittel.

Ein solches System könnte eine Wärmepumpe unter Ausnutzung von Synergieeffekten betreiben, wenn im Sommer gekühlt und Winter geheizt wird. Unter Umständen stehen sogar noch Speicher mit noch nicht vollzogenem Phasenübergang vom gefrorenen in den flüssigen Zustand während der ersten heißen Tage zur Verfügung.

Technisch praktischer wäre natürlich ein Wärmespeicher, bei dem der Phasenübergang bei höheren Temperaturen liegen würde (z.B. 40°C bis 70° C) und auf die Wärmepumpe größtenteils verzichtet werden könnte. Es gibt Paraffine deren Schmelztemperatur bei ungefähr 60°C liegen, eine

Schmelzenergie von ungefähr 220 kJ/kg und spezifischer Wärmekapazität von ungefähr 2,8 kJ/kg vorweisen.

Für einen 500 kg fassenden Behälter ergäbe sich:

$$E = c_{\text{Paraffin}} \cdot m_{\text{Paraffin}} \cdot \Delta T + c_{\text{Schmelze}} \cdot m_{\text{Paraffin}} = 2,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 500 \text{ kg} \cdot (95 - 60) \text{ K} + 210 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 500 \text{ kg} \\ = 49 \text{ MJ} + 105 \text{ MJ} = 154 \text{ MJ} = 42 \text{ kWh}$$

Da die Siedetemperatur der Paraffine über der Siedetemperatur von Wasser liegt, können diese Behälter auch auf höhere Temperaturen aufgeheizt werden. Allerdings in einem Schadensfälle stellen diese eine erhebliche Erhöhung der Brandlast und auch Verbrühungsgefahr für Personen dar.

Technisch praktischer für ein Kühlungssystem im Sommer wären Stoffe mit einem Phasenübergang im Bereich von 15°C bis 25°C. Im Heizbetrieb läge der Phasenwechsel in einem günstigen Temperaturbereich für Wärmepumpen mit guten Wirkungsgrad.

3.3 Wärmespeicher für den Jahresverbrauch

Bei dem Klima in Deutschland wird verhält sich der Energieverbrauch für Wärme und das Energieangebot antizyklisch. Das heißt, dass im Winter die meiste Energie verbraucht wird aber am wenigsten Solarenergie geerntet werden kann. Für eine erste Abschätzung kann mit ausreichender Genauigkeit angenommen werden, dass ungefähr die Hälfte des Jahresverbrauchs in einem Wärmespeicher zwischengelagert werden müsste, um die Zeiten mit wenig Ertrag zu überbrücken.

Bei Überdimensionierung der Solaranlage wird diese im Sommer viele Standzeiten haben, da der Speicher die Energie nicht mehr aufnehmen kann. Bei Unterdimensionierung der Solaranlage wird entsprechend eine konventionelle Heizungsanlage die Energie bereitstellen.

Für eine Abschätzung der Dimension eines Wärmespeichers für den Heizbetrieb reicht die Annahme, dass die Hälfte des durchschnittlichen Jahresverbrauch in diesem eingelagert werden müsste. Bei einer Auslegung von 100 kWh/m² pro Jahr und einem kleinen Haus mit 100 m² Wohnfläche ergibt sich somit ein Jahresverbrauch von 10 MWh pro Jahr und ein Speicherbedarf von 5 MWh. Die Beispiele für Wärmespeicher mit 500 kg Speichermedienfüllung (Wasser oder latente Wärmespeicher) lagen bei ungefähr 40 kWh pro 500 kg. Es ergäbe sich für das gesamte Jahr ein Speicherbedarf von 62 Tonnen für dessen Unterbringung ca. 25% der Wohnfläche des Hauses benötigt würde (oder ca. 25% des Hausvolumens). Es blieben also noch 75 m² als Wohnfläche übrig.

Würde das Haus von zwei Personen bewohnt fiele noch insgesamt ein Warmwasserbedarf von 2 MWh an, der einen Speicherbedarf von 1 MWh erfordern würde. Als Einfamilienhaus mit Keller, Erdgeschoss und 1. Stock hätte das Gebäude eine Grundfläche von ungefähr mindestens 45 m² (mit Berücksichtigung der Wände). Die Sonneneinstrahlung auf das Dach mit guter Ausrichtung zur Sonne (2000h Sonne im Jahr, 1000W/m², 0,5 gemittelter Faktor zur Berücksichtigung des Einstrahlungswinkelverlaufs, Schrägdach zur Sonne 30 m²) ergäbe sich eine maximale theoretische Ernte von 30 MWh.

Der theoretische maximalen Jahresenergieernte gegenüber steht ein Gesamtjahresbedarf von 10 bis 12 MWh. Es ist ersichtlich, dass durchaus die Chance besteht, diese Bedarf über die Sonne zu decken. Allerdings darf der Gesamtwirkungsgrad von Solaranlage und Langzeitspeicher nicht merklich unter 50% liegen.

3.4 Der Energieertrag eines Solarkollektors

In unserer Gegend von Deutschland liegt die Sonneneinstrahlung auf einer zur Sonne ausgerichteten Fläche (d.h. Sonnenstrahlen treffen senkrecht auf die Fläche) bei ungefähr 1000 Watt pro Quadratmeter. Auf einem Dach befinden sich 4 Solarkollektoren mit je circa 2 m² Fläche. Wenn diese senkrecht zur Sonne ausgerichtet wären, würde ich einer Stunde 8 kWh Wärme geerntet werden können.

$$E = k_{\text{Sun}} \cdot n \cdot A_{\text{SK}} \cdot t$$

E: Energie in J oder Wh, k_{Sun} : Solarkonstante 1000 W/m², n: Anzahl Solarkollektoren, A_{SK} : Fläche eines Solarkollektors in m², t: Zeit der Einstrahlung in s;

$$E = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot 4 \cdot 2 \text{ m}^2 \cdot 3600 \text{ s} = 28,8 \text{ MJ} = 8 \text{ kWh}$$

Das Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch für Temperaturen bis minus 30 bis 35 Grad Celsius hat in etwa 3,6 kJ/kg und ca. insgesamt eine Dichte von rund 1 kg/dm³.

$$E = c_g \cdot m_g \cdot \Delta T$$

E: Energie in J oder Wh, c_g : Wärmekapazität des Gemisches 3,6 kJ/kg (2,5-4,2 je nach Mischung), m_g : Masse der Flüssigkeit, ΔT : Temperaturdifferenz in K oder C;

$$m_g = \frac{E}{c_g \cdot \Delta T}$$

Wenn das Wasser im Kollektor um 20° C erwärmt werden soll, muss folgende Flüssigkeitsmenge durch den Kollektorkreislauf gepumpt werden:

$$m_g = \frac{28,8 \text{ MJ}}{3,6 \text{ kJ/kg} \cdot 20 \text{ K}} = 400 \text{ kg} \hat{=} 0,4 \text{ m}^3$$

Die 0,4 m³/h entsprechen 6,6 l/min oder 0,1 l/s durch eine Pumpe erzeugten Volumenstroms.

Diese Werte stellen eigentlich Obergrenzen theoretische Natur dar, da bisher die Wirkungsgrade vernachlässigt wurden. Es gibt Verluste des Kollektors, der Zuleitungen und auch die Sonneneinstrahlung schwankt mit dem Einstrahlwinkel auf Grund der Umlaufbahn.

Gerade in der Winterszeit, wo die meiste Wärme benötigt wird, sind die Tage am kürzesten und der Sonneneinstrahlwinkel am flachesten. Im November und September kann es durchaus vorkommen, dass zweieinhalb Wochen (z.B. in 2014) keine einziges mal die Sonnen durch die Wolken oder Nebel dringt auf Grund einer Inversionswetterlage.

3.5 Regelung des Wärmekreislaufes

3.5.1 Eine ideale Regelung

Eine gute Regelung würde folgende Aspekte berücksichtigen:

- Wenn der Temperatursensor am Kollektor eine höhere Temperatur meldet als der wärmste Teil des Speichers fängt die Anlage zu pumpen an.
- Wird eine maximale Temperatur am Kollektorausgang erreicht, wird die Leistung der Pumpe erhöht.
- Fällt die Temperatur am Kollektorausgang, wird die Pumpenleistung zurückgefahren.
- Fällt die Temperatur unter die Temperatur des Speichers, wird abgeregelt bis einschließlich Abschaltung. Hierbei wird auch die Temperatur des Zulaufs aus dem Speicher berücksichtigt. Ist diese noch niedrig sollte bis zu geeigneten Grenzwerten der Pumpenbetrieb noch gefahren werden.

3.5.2 Schwächen von Regelungen

Einige Anlagen, insbesondere wenn sich Gasblasen im Kollektorsystem angesammelt haben, neigen dazu nicht mehr anzuspriegen. Der Grund ist, dass der Sensor sehr schnell eine zu hohe Temperatur meldet und die Anlage daher abschaltet. Bei einer solchen Anlage, sollte der Umwälzmotor besser etwas mehr maximale Förderhöhe schaffen. Kleine Abstriche beim Volumenstrom machen der Anlage nur wenig aus.

4 Module im Vergleich

4.1 Solarmodule im Vergleich für Wärme und Stromgewinnung

Vergleich der Solarkollektoren in Kombination mit Solarzellen für die Stromgewinnung.			
Eigenschaften	Standard Solarkollektor	Röhrenkollektor	Kombizelle (Wärme und Strom)
Wirkungsgrad:	Hoch wenn Temperaturunterschiede nicht zu groß, gute Flächennutzung	Besser als Standardkollektor wenn große Temperaturunterschiede vorliegen, aber nicht so gute Flächennutzung	Weniger Wärme pro qm da Absorberfläche nicht ganz so schwarz und ein Teil der Energie als Strom abgezogen wird.
Wärme:	Wärmewirkungsgrad ca. 90-95%	Wärmewirkungsgrad ca. 90-95% es.	Wärmewirkungsgrad ca. 70% (85% wenn Strom nicht abgezogen wird) Stromwirkungsgrad ca. 14 %

Flächenbedarf für Äquivalente Wärmemenge:	100,00%	100,00%	130-135%
Zusätzlicher Flächenbedarf für Äquivalente Stromerzeugung:	100,00%	100,00%	0,00%
Flächenbedarf für jeweils gleiche Menge Wärme und Strom	73% Wärme + 100% Strom = 173%	73% Wärme + 100% Strom = 173%	100,00%
Kosten:	Für Wärmegewinnung die günstigste Alternative.	Für Wärmegewinnung deutlich teurer als Standardkollektor.	Kosten liegen etwas mehr als nur Solarzellen zur Stromgewinnung. Nur zur Wärmegewinnung die teuerste Lösung. In Kombination aber die günstigere Lösung.
Sonstiges:	Sehr einfacher Aufbau.	Im Winter sind höhere Temperaturen erreichbar. Im Sommer muss aktiv eine Überhitzung vermieden werden.	Es gibt nicht viele Handwerker, die die Lösung auch auf Anfrage anbieten. Hier muss man sich an den Hersteller wenden, der aber in ganz Deutschland Betriebe nennen kann, die solche Anlagen installieren.
			Die Anlage wird oft mit einer Wärmepumpe kombiniert. Hierbei wird mehr Strom gewonnen und die Wärmegewinnung verbessert sich noch etwas.

4.2 Schutz von Solaranlagen

4.2.1 Unwetter und Brand

Bei der Installation der Kollektoren sollten entsprechend stabile Befestigungen auf dem Dach verwendet werden, so dass die Kollektoren von einem Sturm oder Eis nicht gelöst werden können. Auch die Schneelast ist mit zu berücksichtigen. In Gebieten mit häufigem Hagelschlag wird empfohlen die Mehrkosten für entsprechend stabiles Glas aufzuwenden.

Der Blitzschutz sollte auch mit betrachtet werden bei der Planung einer Anlage. Es sollte auch nicht großflächig das ganze Dach mit Zellen bedeckt sein, so dass im Brandfall die Feuerwehr noch eine Möglichkeit hat das Gebäude und hier insbesondere den Dachstuhl zu löschen.

4.2.2 Temperaturschutz

4.2.2.1 Tiefe Temperaturen

Gegen Gefrieren muss dem Kühlmittel eine ausreichende Menge an Frostschutzmittel zugesetzt werden. Die reinen Frostschutzmittel sind meistens auch leicht korrosiv. Daher gibt es diese mit Beimischungen, die die Korrosion reduzieren.

Zuwenig Frostschutzmittel darf auf keinen Fall verwendet werden, da sich gefrierendes Wasser ausdehnt und die Kollektoren meistens nach so einem Vorfall nur noch Schrottwert haben. Die Frostschutzmittel vermindern etwas die spezifische Wärmekapazität und erhöhen die Viskosität der Umwälzflüssigkeit. Ausgeglichen wird dies durch etwas mehr Leistung der Pumpen. Es muss etwas mehr Volumenstrom und Differenzdruck durch die Pumpen aufgebracht werden.

4.2.2.2 Hohe Temperaturen

Eine besondere Belastung erfahren Solaranlagen bei starker Sonneneinstrahlung im Sommer, wenn der Wärmespeicher bereits aufgeladen ist oder die Pumpe aus einem anderen Grund nicht mehr läuft.

Auf der einen Seite wäre es von Vorteil, wenn der Kollektor so ausgelegt wäre, dass er auf der Ausgangsseite möglichst hohe Temperaturen erreichen würde. Damit es nicht zu großen Schäden bei optimaler Einstrahlung beim Stillstand der Anlage kommt, werden die Solarkollektoren so ausgelegt, dass bei hohen Temperaturen bzw. Temperaturdifferenzen gegenüber der Außentemperatur die Verluste zunehmen und somit der Wirkungsgrad sinkt.

Es gibt Solaranlagen, die müssen zur Vermeidung von thermischen Hot Spots zwangsumgewälzt werden. Die meisten neueren Kollektoren werden mit dieser Situation besser fertig, müssen also nicht zwangsumgewälzt werden und verbrauchen somit hierfür keinen Strom für den Pumpenbetrieb.

Allerdings führt die Hitze zu einer permanent schleichenden Gasbildung in der Solaranlage. Wenn die Gasblasen zu groß werden, muss die Pumpe eine höhere Kraft für die Überwindung der Höhendifferenzen durch die Gasblasen zusätzlich zu den Strömungswiderständen aufbringen. Wird diese zu groß, läuft zwar meistens die Umwälzpumpe, aber es wird kein Medium umgewälzt. Festgestellt kann dies durch den Laien daran, dass bei guter Sonneneinstrahlung, der Kreislaufmotor der Solaranlage läuft aber der Rücklauf sich kalt anfängt und die Durchflußanzeige keinen Volumenstrom anzeigt. Bei vielen Anlagen sind Umwälzpumpe, Durchflußanzeige, Vor- und Rücklauf-temperaturanzeige zusammen als ein Modul aufgebaut und daher leicht zu finden.

Die meisten neueren Flachkollektoren sind heutzutage im Stillstand Übertemperaturfest. Die Datenblätter zu dem Kollektor geben hierüber Auskunft und sollten gut aufbewahrt werden. Die Vakuum-Röhrenkollektoren sind oftmals nicht Übertemperaturfest. Durch Abdeckungen oder spezielle Anbringungen können die maximalen erreichbaren Temperaturen des Vakuum-Röhrenkollektors im Sommer merklich gesenkt werden. Vakuum-Röhrenkollektoren haben den Vorteil bei weniger Sonne und tiefen Außentemperaturen deutlich höhere Temperaturen für die Wärmenutzung abzugeben im Vergleich zu Flachkollektoren, aber der Aufwand zur Vermeidung von Übertemperaturprobleme ist höher. Es bedarf hier einer ausführlichen Prüfung, ob der Kollektor für den Endanwender geeignet ist. Röhren-Kollektoren kostet mehr als Flachkollektoren und somit wäre Schadensfalle mit wesentlich höheren Kosten verbunden.

4.3 Eigenschaften von Wechselrichtern

Die meisten Wechselrichter sind sehr ähnlich in der Funktion. Auf folgende Eigenschaften des Gerätes sollte geachtet werden:

- Möglichkeit einer Notstromversorgung, d.h. das Gerät kann ein Inselnetz betreiben, wenn die Energieversorgung ausgefallen sein sollte.
- Erweiterungsmöglichkeit um elektrische Energiespeicher.
- Als elektrische Energiespeicher sollten auch andere Medien als Lithium-Akkus möglich sein.
- Modulare Erweiterbarkeit der Leistungsklasse, z.B. von ein- bis dreiphasig.

4.4 Kennlinien von Anlagen und Dimensionierungseinflüsse

Die meiste Wärme fällt im Sommer an, wo diese am wenigsten benötigt wird, wenn der Kollektor ideal ausgerichtet wäre auf fast senkrechte Einstrahlung. In der Regel sind die Dachausrichtungen und Dachschrägen so, dass dies nicht Zutritt. Das hat den Vorteil, dass bei Stillstand der Anlage keine Temperatur erreicht wird die einen Standardflachkollektor schwer beschädigen würde. Es gibt aber durchaus Kollektoren die in einem solchen Falle eine Zwangsumwälzung notwendig ist um thermische Hot Spots zu vermeiden, die einen Kollektor beschädigen könnten.

Die Anlagenteile sollten generell für hohe Temperaturen ausgelegt werden. Anlagen für maximal 65 bis 75 Grad verschenken Speicherleistung des Heißwasserspeichers. Auf der anderen Seite sind bei höheren Temperaturen Anlagenteile notwendig die Temperatur wegen der Brühgefahr zu reduzieren. Hierfür kann ein Thermostatmischer oder entsprechende Wärmetauscher zum Einsatz kommen.

Wegen der Legionellen (bzw. Chemonoiden) sollten keine Speicher mehr verwendet werden, bei denen die Wärme nicht über einen Entnahmewärmetauscher diesem entzogen wird. Es muss sonst der Speicher einmal in der Woche über 65 Grad aufgeheizt werden und das geschieht meist über die konventionelle Heizungsanlage. Hier geht ein nicht unbeachtlicher Spareffekt wieder verloren. Das trifft vor allem zu, wenn die Kinder aus dem Haus sind.

5 Grundlegendes zu Komponenten der Stromgewinnung

5.1 Energiespeicher für elektrischen Strom

Gesamtenergie eines Speichers, die er über seine Lebensdauer zurückspeisen kann:

$$E_{\text{Akku, Out}} = n_z \cdot E_{\text{Akku, Zykl}}$$

$E_{\text{Akku,Out}}$: Gesamtentnahme an Energie über die Lebensdauer eines Akkumulators,

n_z : Durchschnittliche erreichbare Zyklenzahl der Energiespeichers

$E_{\text{Akku,Zyk}}$: Energie einer Entladung, bzw. Speicherkapazität des Akkus

$$E_{\text{Akku,In}} = \frac{1}{\eta_{\text{Akku}}} \cdot n_z \cdot E_{\text{Akku,Zyk}} = \frac{1}{\eta_{\text{Akku}}} \cdot E_{\text{Akku,Out}}$$

$E_{\text{Akku,In}}$: Gesamte geladene Energie über die Lebensdauer eines Akkumulators,

n_z : Durchschnittliche erreichbare Zyklenzahl der Energiespeichers

$E_{\text{Akku,Zyk}}$: Energie einer Entladung, bzw. Speicherkapazität des Akkus

η_{Akku} : Wirkungsgrad des Akkus, Verhältnis von Entladungsenergie zu Ladungsenergie

$E_{\text{Akku,Out}}$: Gesamtentnahme an Energie über die Lebensdauer eines Akkumulators,

Berechnung der Speicherkosten nur aus Beschaffungspreis und gesamte Speicherentnahmeenergie über die Lebenszeit des Akkumulators:

$$K_{\text{Akku,kWh}} = \frac{K_{\text{Akku,Preis}}}{E_{\text{Akku,Out}}} = \frac{K_{\text{Akku,Preis}}}{n_z \cdot E_{\text{Akku,Zyk}}}$$

$K_{\text{Akku,kWh}}$: Kosten des Akkus pro kWh über die gesamte Lebensdauer,

$K_{\text{Akku,Preis}}$: Kosten des Speichers bei der Beschaffung,

$E_{\text{Akku,Out}}$: Gesamtentnahme an Energie über die Lebensdauer eines Akkumulators,

$E_{\text{Akku,In}}$: Gesamte geladene Energie über die Lebensdauer eines Akkumulators,

n_z : Durchschnittliche erreichbare Zyklenzahl der Energiespeichers

$E_{\text{Akku,Zyk}}$: Energie einer Entladung, bzw. Speicherkapazität des Akkus

η_{Akku} : Wirkungsgrad des Akkus, Verhältnis von Entladungsenergie zu Ladungsenergie

Berechnung der Speicherkosten nur aus Beschaffungspreis plus Wartungskosten und mit Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Akkus über die Lebenszeit des Akkumulators:

$$K_{\text{Verlust}} = (1 - \eta_{\text{Akku}}) K_{\text{Verkauf}}$$

$$K_{\text{Akku,}\eta+\text{NK,kWh}} = \frac{K_{\text{Akku,Preis}} + K_{\text{Akku,Wartung}}}{E_{\text{Akku,Out}}} + (1 - \eta_{\text{Akku}}) K_{\text{Verkauf}}$$

$$K_{\text{Akku,}\eta+\text{NK,kWh}} = \frac{K_{\text{Akku,Preis}} + K_{\text{Akku,Wartung}}}{n_z \cdot E_{\text{Akku,Zyk}}} + (1 - \eta_{\text{Akku}}) K_{\text{Verkauf}}$$

$K_{\text{Akku,}\eta+\text{NK,Wh}}$: Kosten des Akkus pro kWh über die gesamte Lebensdauer mit Wirkungsgrad und Nebenkosten,

$K_{\text{Akku,kWh}}$: Kosten des Akkus pro kWh über die gesamte Lebensdauer,

$K_{\text{Akku,Preis}}$: Kosten des Speichers bei der Beschaffung,

$E_{\text{Akku,Out}}$: Gesamtentnahme an Energie über die Lebensdauer eines Akkumulators,

$E_{\text{Akku,In}}$: Gesamte geladene Energie über die Lebensdauer eines Akkumulators,

n_z : Durchschnittliche erreichbare Zyklenzahl der Energiespeichers

$E_{\text{Akku,Zyk}}$: Energie einer Entladung, bzw. Speicherkapazität des Akkus

η_{Akku} : Wirkungsgrad des Akkus, Verhältnis von Entladungsenergie zu Ladungsenergie

$K_{\text{Akku,Wartung}}$: Kosten des Akkus in der Wartung (Nebenkosten) über die gesamte Lebensdauer,

K_{Verkauf} : Kosten/Preis für die Einspeisung oder Eigenverbrauch,

K_{Verlust} : Konstante Verlustkosten auf Grund des Wirkungsgrades

Beispiele:	Standard AA NiMh, mit geringer Selbstentladung, nur 20% in 12 Monaten	Standard Bleiakku vom Auto	Standard Lithium Akku Mobiltelefon (Ersatzakku)
Spannung [V]	1,2	12	3,7
Kapazität [Ah]	2,1	45	1,5
Kapazität [Wh]	2,52	540	5,55
Zyklenzahl	2000	1000	1000
$E_{\text{Akku,Out}}$: [kWh]	5,02	540	5,55
$K_{\text{Akku,Preis}}$: [Euro]	2	50	12
$K_{\text{Akku,kWh}}$: [ct/kWh]	39,7	9,3	218,2
η_{Akku} : [%]	80	80	90
K_{Verkauf} : [ct/kWh]	25	25	25
K_{Verlust} : [ct/kWh]	5	5	2,5
$K_{\text{Akku,Wartung}}$: [Euro]	0	0	0
$K_{\text{Akku},\eta+\text{NK},\text{Wh}}$: [ct/kWh]	44,7	14,3	223,7
Breite [m]	0,01	0,18	0,06
Höhe [m]	0,05	0,18	0,04
Tiefe/Länge [m]	0,01	0,21	0,01
Gewicht [kg]	0,03	11	0,04
Volumen [dm ³]	0,010	6,339	0,014
spez. Volumen [dm ³ /kWh]	3,889	11,740	2,479
spez. Gewicht [kg/kWh]	11,508	20,370	7,027

Hier wurden bewusst handelsübliche Akkus von Kleingeräte verwendet um zu zeigen, wie nahe oder weit weg diese von einer wirtschaftlichen Nutzung als Energiespeicher liegen. Die Kosten der drei

Typen (die 99ct hinter dem Komma wurden aufgerundet) stammen aus dem Jahr 2014. Die Datenangaben zur Zyklenzahl und zu Wirkungsgraden sind sehr unterschiedlich gemäß einer kleinen durchgeführten Recherche. Transparenz und Neutralität scheint auf dem Gebiet momentan nicht besonders hoch im Kurs zu stehen. Bei der Vielzahl der Typen ist es kein Problem genügend Beispiele zu finden, jeden Zellentyp mehr oder weniger gut aussehen zu lassen.

Anhand dieser Beispiele lassen sich die Kosten gut nachrechnen. Es werden nur ein paar technische Daten des Akkus und der Kaufpreis benötigt um eine ausreichende erste Überschlagsrechnung durchzuführen.

Wegen der hohen Energiedichte von Lithium-Akkus wird intensiv bei diesem Speichertyp geforscht und entwickelt. Andere Speichertypen werden hier eher etwas stiefmütterlich behandelt. Ein Punkt der auch für Lithium-Akkus spricht ist wohl auch dass dieser auf Grund des höheren Gefährdungspotentials auf lange Zeit sicherlich fachkundige Wartung benötigt. Die Marketingstrategie dürfte vergleichbar werden, wie bei Druckern mit Chip oder ähnlichen Produkten.

Umgekehrt wird verhindert werden müssen, dass der nicht technisch versierte Nutzer hier Unfug treibt. Zur Aufrechterhaltung eines fairen Wettbewerbs werden entsprechende Standards für die Speicherzellenpacks notwendig werden. Somit wäre der Endanwender unabhängig von einem Hersteller bei der Zusammenstellung seine Speicheranlagen. Wenn ein Hersteller vom Markt geht wäre somit auch sichergestellt, dass seine Anlage frühzeitig die Elektroschrottverwertung belastet.

Dazu gehören

1. genormte Maße der Zellenpacks.
 - wenige verschiedene Maße in geeigneten Abstufungen
2. genormte Spannungen der Zellenpacks.
 - wenige verschiedene Spannungen in geeigneten Abstufungen
 - z.B. analog Fzg-Batterien, Einzelzelle, 12V (drei Zellen) und 24V (sechs Zellen).
3. genormte Chip-Schnittstellen.
 - Enthält wichtige Daten des Zellenpacks, wie Spannung, Akkutyp, Ladeangaben
 - Zyklenzahl, diese kann bei Erreichen eines vorgegebenen Grenzwertes durch aktive Nutzereingabe verlängert werden.
 - Plug and Use für den Nutzer und auch Wartungshandwerker.
4. Genormte Anschlüsse der Zellenpacks für die Leistungsabgabe und Ladeüberwachung.

5.2 Berechnungen zu Solar-Blei-Akkus

Beispiel eines Solarakkus mit Blei-Gel-Akku aus einem Katalog. Bei Bleiakku sinkt ab einer bestimmten Zyklenzahl die Kapazität des Akkus ab. Für den Vergleich wurde die äquivalente Zyklenzahl ermittelt, die den Durchsatz während der Lebensdauer beschreibt.

dryfit Solar Akku, Conrad Elektronik Katalog 2014,
und Datenblatt Fa. Sonnenschein

Zyklen Kapazität % Zyklen- Zyklen-

	Äquivalent	Äquivalent	Summe
0	100	0	0
800	100	800	800
1000	80	160	960
1200	70	140	1100
1500	55	165	1265
2000	40	200	1465
2500	35	175	1640
3000	28	140	1780
3500	25	125	1905
4000	20	100	2005

Der äquivalente Wert liegt bei ungefähr maximal 2000 Zyklen. Angemerkt sei noch, dass es vom gleichen Hersteller auch Akkus gibt, deren Kapazität erst ab 1200 Zyklen abnimmt und bei ungefähr 6000 Zyklen das Ende der Lebensdauer erreicht ist.

Beispiele:

	dryfit Solar Akku, Conrad Elektronik Katalog 2014	dryfit Solar Akku, Conrad Elektronik Katalog 2014	Deta Solar 12 Volt 105 Ah/C100 - GUG , Händler Wuttke Solar
--	--	--	--

Spannung [V]	12	12	12
Kapazität [Ah]	32	230	105
$K_{\text{Akku,Preis}}$ [Euro]	155	649	115
Kapazität [Wh]	384	2760	1260
Zyklenzahl	2000	2000	1500
$E_{\text{Akku,Out}}$ [kWh]	768	5520	1890
$K_{\text{Akku,Preis}}$ [Euro]	20,2	11,8	6,1
$K_{\text{Akku,kWh}}$ [ct/kWh]	85	85	85
η_{Akku} [%]	25	25	25
K_{Verkauf} [ct/kWh]	3,75	3,75	3,75
K_{Verlust} [ct/kWh]	0	0	0
$K_{\text{Akku,Wartung}}$ [Euro]	0	0	0
$K_{\text{Akku},\eta+\text{NK,Wh}}$ [ct/kWh]	23,95	15,55	9,85
Breite [m]	0,197	0,518	0,353
Höhe [m]	0,184	0,238	0,175
Tiefe [m]	0,132	0,274	0,19
Gewicht [kg]	11,2	67	25
Volumen [dm ³]	4,785	33,780	11,737
spez. Volumen [dm ³ /kWh]	12,460	12,239	9,315
spez. Gewicht [kg/kWh]	29,167	24,275	19,841

Unter Vernachlässigung der Kosten für den Wechselrichter erlauben bereits Blei-Akkus eine

wirtschaftliche Speicherung des Solarstroms, wenn das Stromnetz der Energieversorger die Energie nicht mehr aufnehmen kann.

Einem Diagramm einer nicht Standard gemäße Messung im Internet (abgeschrieben, Link nicht mehr gefunden) zeigte folgende prinzipiellen Werte für den Durchsatz in Abhängigkeit von der Entlademenge:

Ein Beispiel aus dem Internet entnommen,
Abfall auf 60% Kapazität:

Entladung	Zyklenzahl	Durchsatz
100%	350	350
80%	480	384
50%	830	415
30%	1350	405
15%	1750	263

Aus den Werten kann gefolgert werden, dass das Durchlaufen der Kennlinie an den jeweils äußeren Randbereichen den Durchsatz stärker reduziert. Der Durchsatz beschreibt das Produkt aus Entladungsmenge mal Zyklenzahl bis die gleiche Restkapazität des Akkus noch vorhanden wäre. Dieser ist auch sehr ähnlich der Zykläquivalentsumme.

Die Lebensdauer und auch der Durchsatz eines Akkus wäre am höchsten, wenn beim Laden und Entladen die Randbereiche der Akkukennlinie nicht zu häufig durchfahren würden. Zur Vermeidung vom Memoryeffekten muss bei vielen Akkutypen dieser Bereich jedoch in gewisser Regelmäßigkeit durchlaufen werden.

Allerdings die Aussage es sei besser immer den Akku erst zu leeren, bevor das Notebook wieder an das Netz gehängt wird, widerlegt dieses Diagramm. Der Akku hält also länger wenn ich das Notebook gleich an das Netz hänge statt erst zu warten (über 1700 Zyklen gegenüber 350 Zyklen), bis der Akku größtenteils entladen wäre.

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer kann bei bis zu 2000 Stunden im Jahr in Gegenden mit viel Sonne in Deutschland liegen. Für Deutschland liegt der Mittelwert bei ungefähr 1600 Stunden. Ein Jahr hat ungefähr 8700 Stunden. Ungefähr die Hälfte der Zeit ist etwas Tageslicht vorhanden. Wenn die Sonne am Tag von Wolken verdeckt wird, kann noch etwas Energie aus dem diffusen Licht gewonnen werden, aber dieser Betrag ist deutlich geringer (ca. eine Zehnerpotenz geringer). Es gibt auch noch den groben Schätzwert von 100 Sonnentagen im Jahr.

Für die Zwischenspeicherung von Energie wäre es gut, wenn sich Sonnentage und Nichtsonnentagen immer nacheinander abwechseln würden und nicht als größere Blöcke vorkommen würden. Zweieinhalb Wochen ohne einen Sonnentag und gleiches im Sommer bis zu zwei Wochen ohne Unterbrechung würde also einen viel größeren Speicher erfordern, wenn die aufgenommene Energie über einen langen Zeitraum konstant abgeben werden sollte.

Eine Dimensionierung der Akkuanlage für ein Dach mit Solarzellen hängt somit stark von der angestrebten Anwendung ab. Werden zum Beispiel 30qm eines Daches mit Zellen bestückt, die

einem Wirkungsgrad von 10% für die Stromerzeugung besitzen, können an einem schönen Sommertag Leistungsspitzen bis 3 kW auftreten und über den ganzen Tag ungefähr 20 kWh Strom gewonnen werden. Wenn die gesamte Energie in Bleiakkumulatoren gespeichert werden sollte, wäre ein Raumbedarf von mindestens 0,2 m³ für die Speicher vorzusehen.

Ein Tageszyklus für Speicherung und Entladung erfordert keine Schnellladefähigkeit oder Hochstromfähigkeit der Zellen. Im Gegensatz hierzu wären diese beiden Fähigkeiten für Elektroautos sehr wohl eine wichtige Forderung. Bei einem E-Auto mit einer Akkulebensdauer für 300000km und 100km Reichweite pro Ladung ergäbe sich eine Zyklenzahl von 3000. Hier spielt auch Volumen und Gewicht eine große Rolle.

5.3 NiMh-Akkus und Li-Akkus

Da in der Vergangenheit die NiMh-Akkus bei vielen für die Solarenergiespeicherung wichtigen Eigenschaften ähnlich zu den Blei-Akkus waren, aber preislich teurer waren, wurde in dieser Richtung nur sehr wenig Versuche unternommen diese zur Speicherung zu verwenden. Zellen mit geringer Selbstentladung, sogenannte „ready for use“ bzw. „R2U“-Zellen gab es erst als bereits schon begonnen wurde verstärkt die Li-Zellen weiter zu entwickeln. Als treibende Kraft dahinter steht vor allem die Anwendung in Elektrofahrzeugen. Als Verwendung in Solarstromspeichern werden diese von der Industrie forciert um Langzeiterfahrungen zu sammeln und auch die Überwachungselektronik für die Zellen oder Zellblöcke weiter zu entwickeln.

Nach den wenigen Preisen, die ich mündlich in Erfahrung (2014) bringen konnte, stellen Li-Zellen immer noch die teuerste Speichervariante pro kWh gespeicherte Energie. Aus Sicherheitsgründen werden die Zyklen begrenzt. Es gibt zwar Meldungen aus der Forschung über Zellen mit mehr als zehntausend Zyklen, aber bis es diese zu kaufen gibt wird noch einige Zeit vergehen und in den ersten Jahren nach Markteinführung werden diese auch noch sehr teuer sein.

Eine Überschlagsrechnung der Speicherkosten für Li-Akkus kann sehr gut analog der Beispiele für Blei-Akkus durchgeführt werden.

Beispiele:	Ultralife URB1270 12V 7Ah LifePo4 Lithium Akku	Sony US18650V3 3.7V 2250mAh	A123 APR18650M A1 - 1100 mAh 3,2V - 3,3V LiFePo 4
Spannung [V]	12	3,7	3,3
Kapazität [Ah]	7	2,25	1,1
K _{Akku,Preis} : [Euro]	86	4,7	4,5
Kapazität [Wh]	84	8,325	3,63
Zyklenzahl	3000	1000	1000
E _{Akku,Out} : [kWh]	252	8,325	3,63
K _{Akku,Preis} : [Euro]	34,1	56,5	124
K _{Akku,kWh} : [ct/kWh]	90	90	90
η _{Akku} : [%]	25	25	25
K _{Verkauf} : [ct/kWh]	2,5	2,5	2,5

K_{Verlust} : [ct/kWh]	0	0	0
$K_{\text{Akku,Wartung}}$: [Euro]	0	0	0
$K_{\text{Akku},\eta+\text{NK,Wh}}$: [ct/kWh]	36,6	59	126,5
Breite [m]	0,151	0,019	0,019
Höhe [m]	0,094	0,066	0,065
Tiefe [m]	0,065	0,019	0,019
Gewicht [kg]	1	0,047	0,039
Volumen [dm ³]	0,923	0,024	0,023
spez. Volumen [dm ³ /kWh]	10,983	2,862	6,464
spez. Gewicht [kg/kWh]	11,905	5,646	10,744

Die Werte wurden verschiedenen Internetseiten entnommen. Vereinzelt erreichen die Speicherkosten den Bereich der Strombezugskosten der Energieversorgungsunternehmen.

5.4 Andere Speicherzellen

Sehr vielversprechend in der Vergangenheit war die Technik einer Schwefelbatterie. Unter anderem wegen der hohen internen Zelltemperaturen wurde die Verwendung in der Hand von Endanwendern wohl kritischer gesehen, als die Verwendung von Li-Akkus und wurde nicht mehr entsprechend zur Marktreife gebracht.

5.5 Die Energieverteilungskosten

Da sich elektrische Energie schwer speichern läßt, waren viele Maßnahmen notwendig die Energieversorgung sicher zu stellen. Hierzu gibt es Kraftwerke, die die Grundlast erzeugen und eine Vielzahl verschiedener Kraftwerke für die Erzeugung von Strom für verschiedene Höhen und Zeitdauer der Überlastspitzen. Im Studium der Energietechnik gab es Spitzenlastkraftwerke nach Daten von 1985-1988 deren durchschnittliche Erzeugerkosten bei bis zu 5 DM/kWh lagen und der darin enthaltene variable Kostenanteil bei bis zu 2 DM/kWh lag.

Da dieser Anteil an der gesamten Erzeugung nur gering war, hatte dies natürlich nur einen geringen Einfluß auf den Strompreis. Die Erzeugung und Einspeisung von Solarenergie auf den Preis kann ähnlich abgeschätzt werden. Die Berechnung der Mischpreise ist sehr einfach durchführbar.

$$P_{\text{Mischpreis}} = \frac{\text{Grundlast}_{\text{kWh}} \cdot \text{Kosten}_{\text{Grundlast}} + \text{Spitzenlast}_{\text{kWh}} \cdot \text{Kosten}_{\text{Spitzen}} + \dots}{\text{Gesamtenergie}_{\text{kWh}}}$$

oder in Prozent der Erzeugung und Kosten:

$$P_{\text{Mischpreis}} = \frac{\sum_{k=0}^n p_k \cdot E_k}{100\%}$$

$p_{\text{Mischpreis}}$: Mischpreis in Euro/kWh

p_k : Erzeugungskosten der jeweiligen Anteile an der Gesamtenergieerzeugung in Euro/kWh

E_k : Prozentuale Anteile an der Gesamtenergieerzeugung in Euro/kWh

Zum Beispiel:

p_0 : Erzeugungskosten Grundlast, ca. 0,05-0,08 Euro/kWh

E_0 : Prozentualer Anteil der Grundlast an der Gesamtenergieerzeugung ca. 60%

p_1 : Erzeugungskosten langsamer Lastschwankungen, ca. 0,08-0,12 Euro/kWh

E_1 : Prozentualer Anteil langsamen Lastschwankungen an der Gesamtenergieerzeugung ca. 25%

p_2 : Erzeugungskosten mittelschneller Lastschwankungen, ca. 0,12-0,20 Euro/kWh

E_2 : Prozentualer Anteil langsamen Lastschwankungen an der Gesamtenergieerzeugung ca. 10%

p_3 : Erzeugungskosten mittelschneller Lastschwankungen, ca. 0,20-0,50 Euro/kWh

E_3 : Prozentualer Anteil langsamen Lastschwankungen an der Gesamtenergieerzeugung ca. 3%

p_4 : Erzeugungskosten schneller Lastschwankungen, ca. 0,50-2,00 Euro/kWh

E_4 : Prozentualer Anteil schneller Lastschwankungen an der Gesamtenergieerzeugung ca. 2%

p_5 : Erzeugungskosten sehr schneller Lastschwankungen (auch Notversorgung), ca. 2,00-5,00 Euro/kWh

E_5 : Prozentualer Anteil sehr schneller Lastschwankungen an der Gesamtenergieerzeugung ca. 0,xx %

Eine seriöse Aufstellung würde diese Posten beinhalten und auch den Vergleich der Änderungen durch die Solareinspeisungen. Nur mit solchen Angaben und die hinterlegten Diagramme der Verbrauchsschwankungen Tag/Nacht, Werktags/Wochenende und Jahreszeiten kann ein entsprechende Expertise zum Beispiel durch eine Ministerin oder ein Minister qualitativ und quantitativ geprüft werden.

6 Anlagen:

6.1 Literaturquellen:

Warmwasserverbrauch:

- <http://www.umweltbewusst-heizen.de/Warmwasser/Warmwasserverbrauch/Warmwasserverbrauch-Berechnung.html>
- <http://www.co2online.de/energie-sparen/heizenergie-sparen/warmwasser/durchschnittlicher-wasserverbrauch/>

Heizungsverbrauch:

- <http://www.regenerative-zukunft.de/energieverbrauch>
- <http://www.oekosystem-erde.de/html/energie.html>

Kombizelle Solarwärme und Solarstrom:

- <http://www.solarzentrum-wiosun.de/>
- <http://www.solarzentrum-wiosun.de/produkte/pv-therm/prinzip-infos>

Heizwerte und Brennwerte:

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Uran>

Eine sehr gute Zusammenfassung aller regenerativen Energien und Techniken im Netz ist das Buch der Synergien von Achmed Khammas:

- <http://www.buch-der-synergie.de/>

Kühlflüssigkeit von Solarkollektoren:

- <http://www.bosy-online.de/Solarfluessigkeit.htm>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/1,2-Propandiol>

Bodenverbrauch und versiegelte Flächen:

- <http://www.umweltschulen.de/boden/flaechenverbrauch.html>
- <http://www.umweltbundesamt.de/daten/bodenbelastung-land-oekosysteme/bodenversiegelung>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/F1%C3%A4chenversiegelung>
- http://www.statistik-portal.de/statistik-portal/de_jb09_jahrtabf1.asp

Latentwärmespeicher, Wärmespeicher die auch die Schmelzwärme des Phasenwechsels nutzen:

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Latentw%C3%A4rmespeicher>

Lebensdauer und Zyklen Akkumulatoren:

Einige Artikel behandeln einen bereits einige Jahre zurückliegenden Stand.

- <http://www.aku-abc.de/aku-lebensdauer.php>
- <http://www.ingenieur.de/Themen/Energiespeicher/Ingenieure-entwickeln-Hochleistungs->

Batterien-fuer-10000-Ladezyklen

- <http://www.buchmann.ca/Article9-page2-german.asp>
- <http://www.breggo.ch/produkte/wissenswertesueberakkus/index.php>
- <http://www2.ife.ee.ethz.ch/~rolfz/batak/>
- <http://www2.ife.ee.ethz.ch/~rolfz/batak/zyklentest12/index.html>
Testmessungen von verschiedenen Kleinakkus.
- <http://www.basytec.de/ladung/ladung.html>
- <http://www.accu-select.de/praxis-hinweise.htm>
- <http://www.maurelma.ch/batterien.htm>
Sehr ausführliche Darstellung verschiedener Akkutypen (auch Lithium).
- <http://people.fh-landshut.de/~mbl/emg/pdf/allgemein/Akkumulator.pdf>
- <http://www.oeko.de/oekodoc/1780/2012-482-de.pdf>
- <http://intern.ipv.uni-stuttgart.de/content/web8/file/akkumulator.pdf>
- http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_180875.pdf
- http://www.fb06.fh-muenchen.de/fb/images/img_upld/arbeiten/01334.pdf
- <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/156269/umfrage/wirkungsgrade-von-ausgewaehlten-stromspeichern/>
- http://www.mysuntec.com/fileadmin/mySuntec/Datenblaetter/DatenblattSENEC-Home_G2.pdf
- http://www.alpenverein.de/chameleon/public/f367cff9-fa95-5bc5-1ea8-9b3b86e38c12/Ueberblick-ueber-Entwicklungen-der-modernen-Batterietechnologie_23815.pdf
- http://referate.mezdata.de/sj2009/akkumulator_eduard_marbach/ausarbeitung/index.html
- <http://www.solarstrom.net/batterien.htm>
- http://www.energie-cluster.ch/fachtag-energie/referate/ws2_2_2_andreavezzini_teil1-2.pdf
- <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Memory-Effekt-bei-Lithium-Ionen-Akkus-1842032.html>

Sonnenscheindauer:

- <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/5578/umfrage/durchschnittliche-monatliche-sonnenscheindauer-in-deutschland/>

Quellen für Preise:

- Conrad Elektronik
 - http://www.conrad.de/ce/de/category/SHOP_AREA_14717/Akkus
 - http://www.conrad.de/ce/de/category/SHOP_AREA_40033/Geraeteakkus
- Wuttke Solar
 - <http://solarstrom.net/online-shop-pv24/vmchk.htm>
 - <http://solarstrom.net/solarbatterien.htm>
- <https://www.akkuteile.de/lithium-ionen-akkus/>
- <http://www.online-batterien.de/shop/Ultralife-URB1270-12V-7Ah-LifePo4-Lithium-Akku-132V-Lithium-Eisenphosphat>

- <http://www.batt-energy-shop.de>
-