

## Z-Strom-Regler

Der Regler dient der Erhöhung des Verbrauchsanteils selbst erzeugten Stromes. Er kann in jeder Stromversorgung verwendet werden, die sowohl eine eigene Stromerzeugung wie auch eine Netzanbindung umfasst. In vielen Fällen ist dies eine netzgekoppelte Solaranlage. Es kann sich aber auch um einen anderen Stromerzeuger handeln, besonders kleine Blockheizkraftwerke.

In einer Solaranlage (oder einem BHKW-System) mit Speicherung kann die Energie auf vielen verschiedenen Wegen fließen. Auf dem Bild 1 sind vier Komponenten der Anlage dargestellt, im Uhrzeigersinn: Gewinnung, Verbrauch, Speicherung, Anbindung an das öffentliche Netz.

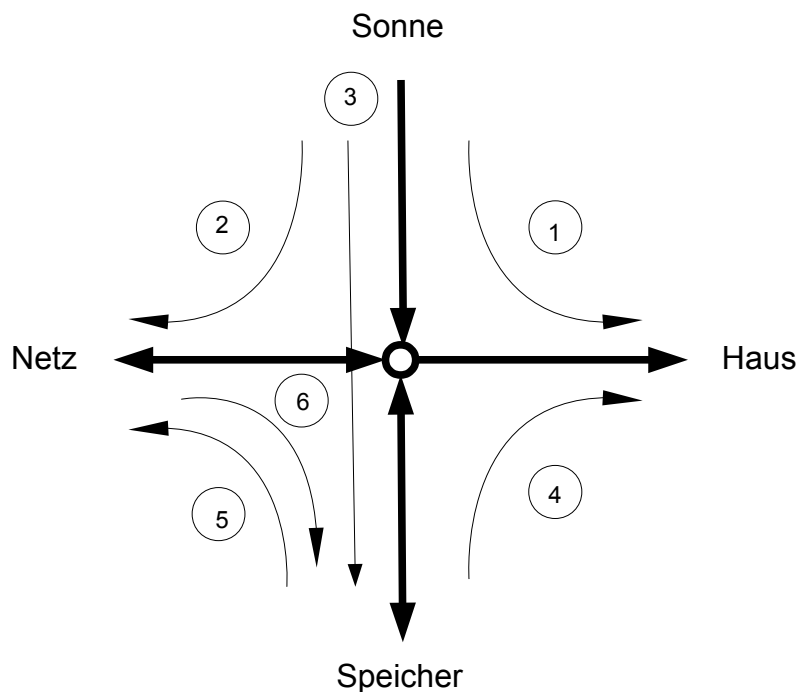


Bild 1 **Energieflüsse in einer Solaranlage mit Speicherung**

1. Direkter Verbrauch des Solarstroms
2. Direktes Einspeisen des Solarstroms in das Netz
3. Speicherung der Solarenergie
4. Verbrauch von gespeicherter Energie
5. Einspeisen gespeicherter Energie in das Netz
6. Laden des Speichers vom Netz

Normalerweise wird es eine Kombination mehrerer Richtungen geben, z.B. Verbrauch, Speichern und Einspeisen von Solarstrom, oder Verbrauch und Einspeisen aus der Batterie.

### Prinzip

Man kann mit einem Regler dafür sorgen, dass man dem Netz keinen Strom entnimmt. Dies kann entweder so erfolgen, dass netto, z.B. täglich oder monatlich, der Zähler auf dem Stand des Beginns der Zeitperiode steht. Oder aber man regelt den Strom so, dass **in jedem Moment die Bilanz ausgeglichen** ist, dass also so gut wie kein Strom über den Zähler läuft.

In dem hier behandelten zweiten Fall beobachtet man den momentanen gesamten Strom innerhalb des Systems nach Bild 1. Jeder der vier Wege kann dabei aus mehreren Phasen bestehen, das gilt in aller Regel für die beiden horizontalen Wege (drei Phasen zwischen dem Netz und den Verbrauchern). Dieser Gesamtstrom wird ständig vom (saldierenden) Stromzähler angezeigt. Der Zähler unterscheidet nicht, ob gerade Strom in dieser oder jener Phase fließt, ebenso wenig, in welche Richtung die Energie einer einzelnen Phase fließt. Wenn man aus mindestens einer Phase beliebig Strom herausziehen oder einspeisen kann, dann kann man damit den Zähler in gewissen Grenzen jederzeit zum Stehen bringen. Dazu benötigt man einen Speicher, der mit Strom geladen werden kann. In den meisten Fällen wird dieser Speicher eine Batterie sein, aber sehr sinnvoll ist auch die Verwendung eines Wärmespeichers.

Wenn diese Methode **einphasig** (bei Messung aller drei Phasen) angewendet wird, dann wird meistens in einer der Phasen Energie über den Zähler in die Nachbarschaft transportiert. In mindestens einer anderen Phase wird Energie bezogen, so dass netto keine Energie fließt. Tatsächlich aber schiebt man dem Nachbarn Strom zu, während man selbst möglicherweise Strom aus der Tschechien bezieht (aber nicht bezahlt). Wenn man dies nicht will, dann muss man entweder alle Verbraucher an nur einer Phase betreiben oder aber an jeder Phase eines der nachfolgend beschriebenen System vorsehen. Dieser **dreiphasige** Betrieb bietet jedoch in der Regel keine oder nur geringe Vorteile.

Besonders interessant wird ein solches System mit einem **BHKW**. Anders als in einer Solaranlage bestimmt man selbst, wie hoch der Strom sein soll, z.B. so, dass der Wirkungsgrad oder die Lebensdauer des BHKW maximal ist. Die Differenz zwischen dem aktuellen Bedarf und dem gewählten Strom speist man dann in einen Speicher ein, das ist besonders dann sinnvoll, wenn man diese Differenz zusammen mit der Abwärme des BHKW zu Heizzwecken nutzt.

Das System arbeitet im Prinzip wie ein **Inselsystem** (ein System ohne Stromanschluss). Der Netzanschluss wird lediglich zur Führung (Frequenz und Spannung) und zum Ausgleich schneller Stromänderungen verwendet.

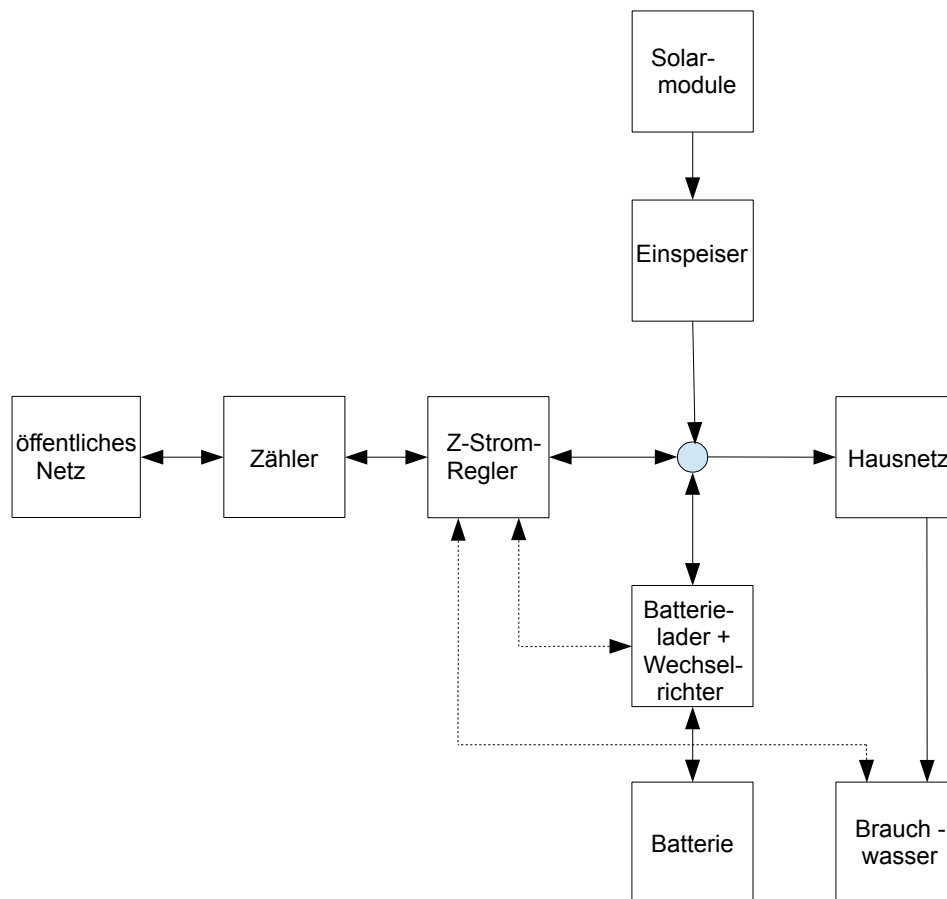
**Funktion**

Der Z-Strom-Regler hat eine sehr einfache Funktion. Die **Ströme der drei Phasen** im Haus werden gemessen, die **Summe der drei Ströme** berechnet, und die **Richtung des Gesamtstroms** ermittelt (ob also gerade Strom verkauft oder bezogen wird). Der Regler verändert laufend den Speicherstrom und seine Richtung so, dass der Stromzähler stehen bleibt.

Der Regler steuert entweder eine Elektroheizung (s.weiter unten) oder einen Wechselrichter der Firma Studer: Den Xtender. Die Parameter des Xtender sind über eine serielle Schnittstelle stellbar.

Der Z-Strom-Regler bekommt seine Daten von einem externen ein- oder dreiphasigen Stromsensor, der in die Phase(n) der Hausinstallation eingeschleift wird.

Der Ladestrom kann in Schritten von 1 A Gleichstrom erhöht oder vermindert werden, in einem System mit einer 24V-Batterie entspricht dies etwa 25W. Der Einspeisestrom kann in Schritten von 1 A Wechselstrom erhöht oder vermindert werden (230W). Die Heizung kann in ebenso kleinen Schritten angepasst werden.

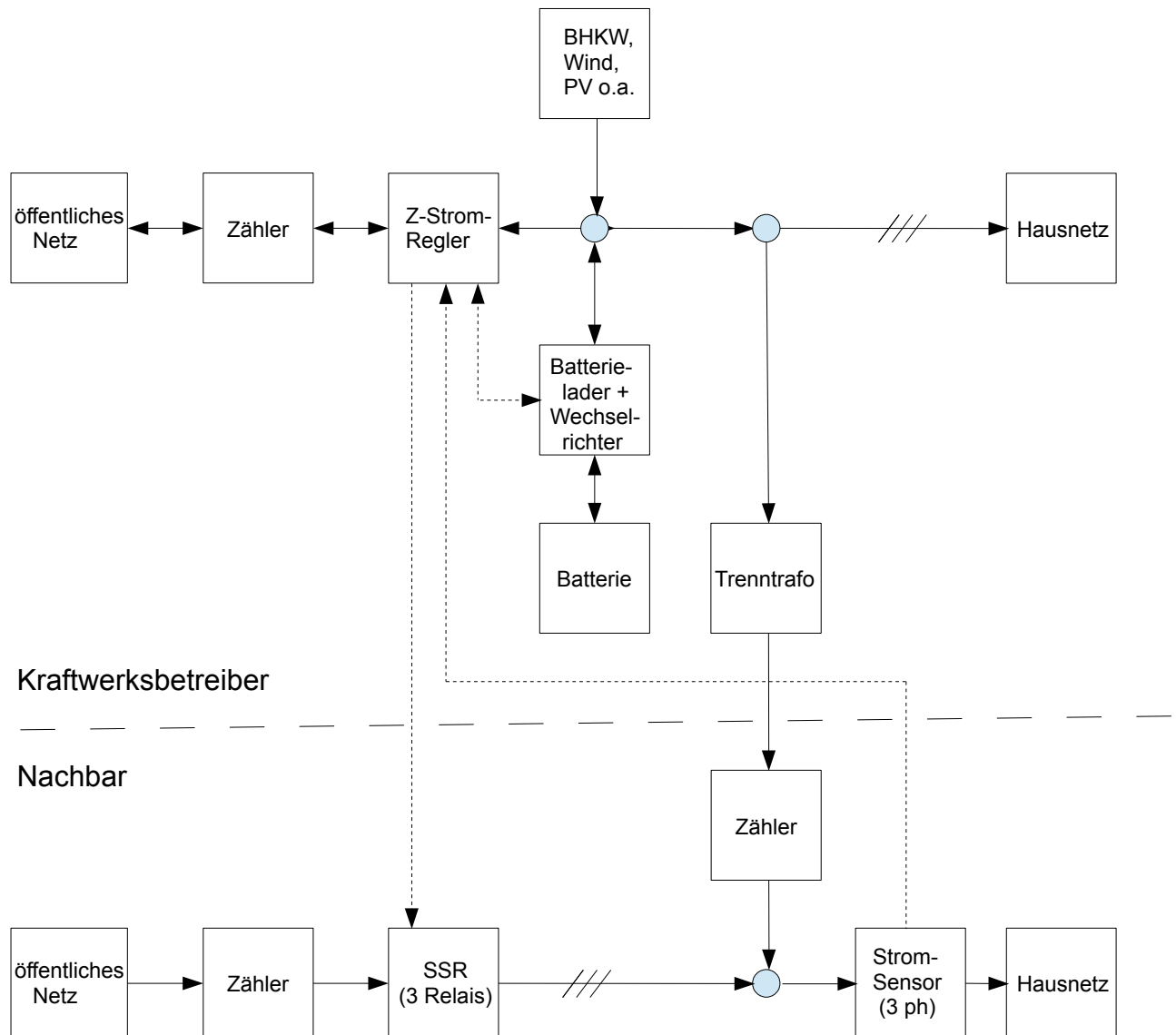


**Bild 2 Solaranlage mit Speicherung und Stromregelung**

Der Regler kann dafür sorgen, dass Ströme nur zwischen der Solaranlage, dem Speicher (bzw. den Speichern) und den Verbrauchern, nicht aber über den Zähler fließen. Als Speicher sind an mindestens einer der drei Phasen eine Heizung oder ein Wechselrichter/Lader mit einer Batterie installiert. Der Wechselrichter/Lader soll entweder Energie in der Batterie speichern oder in das Netz einspeisen.

**Verkauf von Strom an andere Stromkunden**

Überschüssiger Strom kann auch an andere verkauft werden. Dazu werden in die Stromversorgung des Nachbarn drei Stromsensoren und drei Relais eingebaut, s. Bild 3.



**Bild 3 Verkauf von Strom**

Überschüssiger Strom kann auch an andere verkauft werden. Dazu werden in die Stromversorgung des Nachbarn drei Stromsensoren und drei Relais eingebaut.

Der Regler vergleicht den Überschuss mit dem Strombedarf des Nachbarn. Es werden beim Nachbarn einzelne oder mehrere Phasen vom öffentlichen Netz auf das des Kraftwerksbetreibers umgeschaltet.

Da die drei Phasen getrennt gemessen und geschaltet werden, kann der Regler sieben verschiedene Lasten zusammenstellen. Damit wird es meistens nur eine sehr geringe Differenz zwischen dem Überschuss und dem Strom zum Nachbarn geben.

Der Regler vergleicht den Überschuss mit dem Strombedarf des Nachbarn. Es werden beim Nachbarn einzelne oder mehrere Phasen vom öffentlichen Netz auf das des Kraftwerksbetreibers umgeschaltet. Da die drei Phasen getrennt gemessen und geschaltet werden, kann der Regler sieben verschiedene Lasten zusammenstellen. Damit wird es meistens nur eine sehr geringe Differenz zwischen dem Überschuss und dem Strombedarf des Nachbarn geben, oder aber es bleibt immer noch ein Überschuss, den man dann in das öffentliche Netz einspeisen kann.

Die verbleibende Differenz kann entweder durch das öffentliche Netz oder durch den Batteriespeicher ausgeglichen werden, der meistens mit nur geringen Strömen belastet wird. Man kann die Differenz auch immer als Überschuss halten, den man dann zur Wassererwärmung nutzt.

Der Stromanschluss des Nachbarn ist einfach mit dem des Kraftwerksbetreibers parallelgeschaltet (über einen Trenntransformator, um die Bestimmungen einzuhalten). Um den Strom verkaufen zu können, werden einzelne oder mehrere Phasen beim Nachbarn aufgetrennt. Dazu dienen Halbleiterrelais (SSRs), die im Nulldurchgang des Wechselstromes schalten. Da beide Netze synchron laufen, gibt es bei der Umschaltung keine Phasenänderung. Eine (geringe) Spannungsänderung tritt nur dann auf, wenn der Widerstand der Versorgungsleitung vom Kraftwerksbetreiber wesentlich von dem Netzanschluss des Nachbarn abweicht.

Damit kann also die Umschaltung in beliebig hoher Frequenz durchgeführt werden, das Ergebnis ist nur am Verkaufszähler, aber nicht am Flackern der Beleuchtung sichtbar.

Wenn der Kraftwerksbetreiber sein eigenes System als unterbrechungsfreie Stromversorgung auslegt, dann profitiert der Nachbar davon gleich mit.

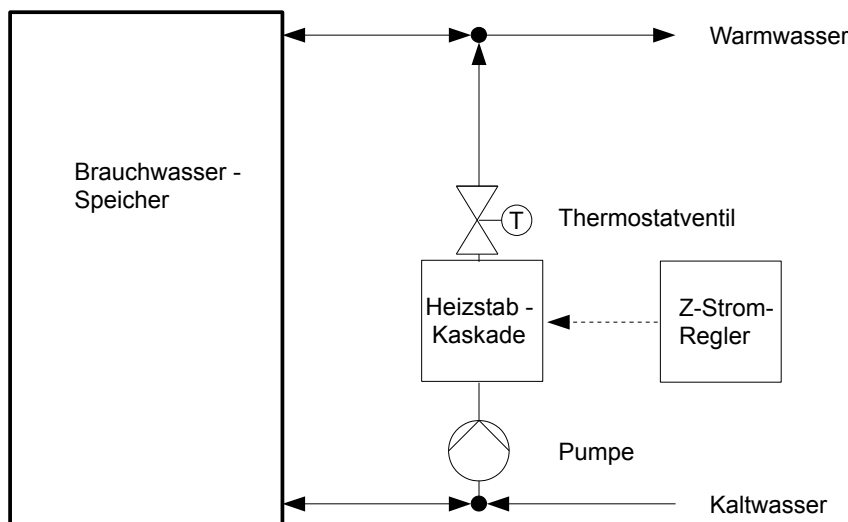
### Brauchwassererwärmung

Seit längerer Zeit schon ist die Brauchwassererwärmung mit Solarmodulen preiswerter und vor allem technisch viel einfacher als mit Solarkollektoren. Solarkollektoren sind zwar immer noch etwas billiger als Solarmodule, aber die Systemtechnik ist aufwendig, teuer und verlangt mehr Wartungsaufwand. Die Vorteile der Solarmodule treffen umso mehr zu, wenn ohnehin Solarmodule zur Stromerzeugung installiert sind. Die Verwendung überschüssigen Stroms für das Brauchwasser ist wesentlich günstiger als die Speicherung des Stromes in einer Batterie. Man sollte daher vorrangig warmes Wasser machen, bevor in der Batterie gespeichert wird. In vielen Fällen ist es eher besser, den Batteriespeicher ganz fortzulassen und Überschüsse entweder für warmes Wasser zu nutzen und den Rest einzuspeisen. Das trifft besonders dann zu, wenn die Überschüsse gering sind.

Der Z-Strom-Regler kann für alle vier Situationen benutzt werden: Brauchwassererwärmung und Batterieladen mit wechselndem Vorrang, oder nur eine der beiden Speichermöglichkeiten.

### Systemtechnik

Man kann einfach einen Einschraubheizkörper in einen evtl. schon vorhandenen Brauchwasserspeicher schrauben. Eine besonders effiziente Brauchwassererwärmung erfolgt jedoch über eine externe Beladung des Speichers mit einer konstanten Temperatur von oben nach unten. Damit kann die geerntete Energie ohne jede Nachheizung verwendet werden, in sehr vielen Fällen sogar ohne Speicherung (s. Anlagenschema). Die Verfügbarkeit ist hoch und die Verluste sind gering.



**Bild 4 Beladung eines Brauchwasserspeichers**

Die Baugruppe wird einfach zwischen Kalt- und Warmwasseranschluss gehängt.

Durch die Beladung von außen mit konstanter Temperatur wird eine gute Schichtung im Speicher erhalten. Die Schüttleistung der Baugruppe liegt typisch bei 150l/h, diese Wassermenge kann direkt ohne jede Zwischenspeicherung entnommen werden, erst der darüber hinausgehende Bedarf kommt aus dem Speicher.

Wenn man das die Energie nicht im Brauchwasser nicht speichern möchte, hängt man die Baugruppe an einen Pufferspeicher und bekommt dann das Brauchwasser aus einem Frischwassererwärmer.

Diese Systemtechnik zeichnet sich überdies dadurch aus, dass sie mit äußerst geringem Aufwand an jeden beliebigen Speicher angehängt werden kann, die Baugruppe wird einfach zwischen Kalt- und Warmwasseranschluss angeschlossen.

Die Baugruppe besteht aus einer Elektroheizung, einem Thermostatventil, einer Pumpe und der Ansteuerung. Die Elektroheizung beinhaltet eine Gruppe verschieden großer Heizelemente, die vom Z-Strom-Regler feinstufig in fünfzehn 250W – Schritten von 250 bis 3500W gestellt wird. Die Veränderung der Heizleistung in 250W – Schritten hat neben der feinstufigen Einstellbarkeit auch den Vorteil, dass es niemals zu Spannungseinbrüchen im Hausnetz kommt.\*

Wenn sich das Wasser in der Elektroheizung auf die am Thermostat eingestellte Temperatur erwärmt hat, öffnet sich das Thermostatventil soweit, dass die Elektroheizung im Schwerkraftumlauf durchströmt wird. Wenn die Heizleistung 2 kW erreicht hat, wird eine Pumpe zugeschaltet, die den Schwerkraftumlauf unterstützt.

Wenn die Temperatur am Zulauf (dem Kaltwasseranschluss) 50°C erreicht hat, wird die Elektroheizung abgeschaltet.

Die Elektroheizung kann an einer einzelnen mit 16A abgesicherten Phase betrieben werden.

Wie oben erwähnt, kann man die dieses System auch mit einem Teil des Stromes aus einem **BHKW** gewinnbringend einsetzen. Es gibt zwar keinen Überschuss bei einem BHKW, aber es ist am besten, wenn es konstant belastet wird.

### **Reglerausführung**

Der Regler ist auf einer Demoplatine von Microchip mit einem Mikrocontroller PIC18F untergebracht. Die Hardware zur Messung der drei Ströme und der Energieflussrichtungen sind auf einer zusätzlichen aufsteckbaren Platine aufgebaut.

Die Sensoren können entweder auf der Platine sein (wie auf dem Photo zu sehen) oder man verwendet einen externen dreiphasigen Stromsensor. Im ersten Fall setzt man die gesamte Platine mit in die Hausverteilung, andernfalls nur den Stromsensor.

### **Inbetriebnahme**

Der Regler wird über ein Kabel mit DB9-Steckverbindern mit der Schnittstelle (der Xcom) des Xtenders verbunden.

Die Adern der drei Phasen werden, vom Zähler her kommend, von oben nach unten durch die drei Sensoren geführt.

Für die Bestimmung der Energieflussrichtung werden die drei Phasen mit der Klemme verbunden.

Der Regler wird von einem Netzteil mit Strom versorgt.

Daraufhin meldet sich der Regler auf dem Display und eine oder mehrere Leuchtdioden leuchten.

Falls der Regler noch nicht für den speziellen Fall voreingestellt ist, müssen noch einige Werte eingegeben werden. Dazu gehört die Auswahl des Xtender-Modells (XTS, XTM, XTH; 12, 24, oder 48 Volt Systemspannung), durch diese Auswahl werden viele Werte bereits voreingestellt.

Eingestellt wird auch, ob das Einspeisen oder das Laden erlaubt sein soll.

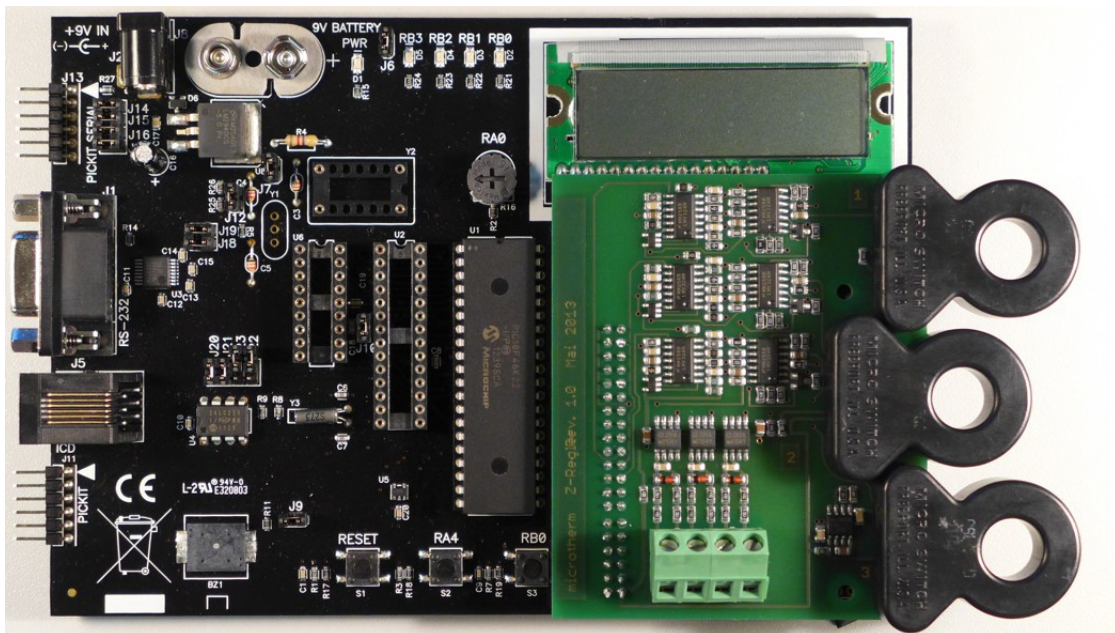


Weiterhin kann die Art der Speicherung gewählt werden, Batterie oder warmes Wasser bzw. der Vorrang.

Die Werte werden im nichtflüchtigen Speicher des Mikrocontrollers gespeichert, einige, wie die verschiedenen Batteriespannungswerte, auch zusätzlich im Xtender. Damit ist der Regler fertig eingestellt.

Weitere Werte werden erst während des Betriebes im Xtender gespeichert bzw. ständig aktualisiert. Dies sind unter anderem der Lade- und der Einspeisestrom.

Im Display sind nun während des Betriebes unter anderem folgende Werte zu sehen: Strom und Stromrichtung („Verbrauch“ oder „Einspeisen“) der drei einzelnen Phasen, der Sollstrom (der über den Xtender laufen soll), und der Gesamtstrom (der oft zwischen Null und 1 A liegt) und die Batteriespannung.



**Bild 5 Reglerplatine**

Rechts sind die drei Stromsensoren zu sehen. Die drei Phasen werden an der grünen Klemmleiste angeschlossen. Das Kabel für die serielle Schnittstelle wird auf dem mittleren Verbinder auf der linken Seite aufgesteckt.



### Kundenspezifische Auslegung

Die Software kann nach Kundenwunsch geändert und ergänzt werden (s. auch Bild 6). Schließlich wird die Hardware (Peripherie, Art der Platine und des Gehäuses) nach der Entwicklung aller Funktionen zusammen mit dem Kunden festgelegt.

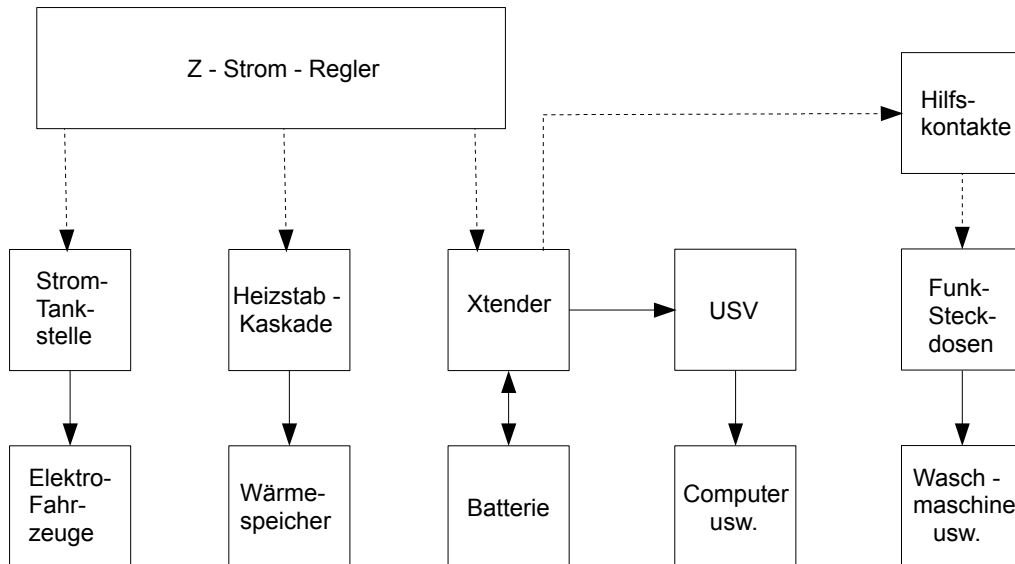


Bild 6 Weitere Möglichkeiten zur Steuerung der Energieflüsse

Weitere Optionen sind leicht realisierbar, u.a.:

- **Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)**. Dazu wird das Hausnetz bei Ausfall des öffentlichen Netzes vom Eingang des Xtender auf den Ausgang umgeschaltet. Dies ist eine Funktion des Xtender und zur Nutzung dieser Option müssen lediglich die betreffenden Verbraucher an seinem Ausgang angeschlossen werden.
- Anschluss von Sendern zum Schalten von Verbrauchern über **Funksteckdosen**
- Schaltschwellen für Verbraucher, Ansteuerung der beiden **Hilfskontakte im Xtender**
- Laden von **Elektrofahrzeuge**
- Verwendung weiterer **Speicher**
- **Einspeisen mit konstanter Batteriespannung** statt mit stehenden Zähler. Dies ist eine Funktion des Xtender. Sie gilt sowohl für das Laden wie auch das Einspeisen in das Net
- Es können **alle Parameter des Xtender** beliebig beeinflusst werden, s. dazu die Liste im Handbuch der Fernbedienung RCC oder im „Xtender serial protocol“.

### Alternativen

Das hier beschriebene Konzept basiert auf dem Prinzip der Kopplung des Wechselrichtereingangs an das Netz.

Wenn es um eine perfekte unterbrechungsfreie Stromversorgung ohne Umschaltung ankommt und die Störungen des Netzes draussen bleiben sollen, ist die Kopplung an den Wechselrichterausgang besser. Informationen bekommen Sie unter [lods@microenergie.com](mailto:lods@microenergie.com).

Eine weitere, sehr spezielle Lösung ist das viel verlustärmere Laden der Batterie über MPPT-Laderegler, s. hierzu <http://shop-microtherm.com/de/downloads/> → NiFe-Fp1.

\* Die Alternative wäre eine Phasenanschnittsteuerung, die zwar beliebig genau den Strom stellen kann, aber die Nachteile sind groß: Viel Blindstrom und starke Störungen im Hausnetz, die kein Kurzwellenamateur gern hat. Einen großen Heizstab mit einer Schwingungspaketsteuerung (Vollwellensteuerung) zu stellen, kommt nicht in Frage, weil damit der Zähler ständig vor- und zurücklaufen würde und in schwächeren Netzen zudem das Licht flackert.