

Das Solar-Wasserstoff-Projekt in Neunburg vorm Wald

SWB
Ein Unternehmen der
Bayernwerk-Gruppe



Schriftenreihe Solarer Wasserstoff Elektrische Leistungsaufbereitung Nr. 4

Erschienen in ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT, Jg. 91, Nr. 19, 1992

Der leistungselektronische Teil einer Solar-Wasserstoff-Anlage

R. Hümpfner, Siemens AG, Erlangen
Dr. G. Vaupel, Siemens AG, Erlangen

Zusammenfassung

Die Verfasser geben einen Überblick über die Komponenten zur elektrischen Leistungsaufbereitung, d. h. über den Einsatz der Leistungselektronik in Solar-Wasserstoff-Systemen.

Abschließend umreißen sie, wie der Umrichterteil eines Gerätes zur unterbrechungsfreien Stromversorgung zur Netzankepfung eines Solargenerators genutzt werden kann.

1. Allgemeines

Die von der Solar-Wasserstoff-Bayern GmbH in Neunburg vorm Wald/Oberpfalz errichtete Solar-Wasserstoff-Anlage bietet, wie in verschiedenen Veröffentlichungen dargestellt, die Möglichkeit, zukunftssträchtige Solar-Wasserstoff-Systeme zu erforschen. Das offengestaltete Konzept der Anlage ermöglicht eine variantenreiche experimentelle Untersuchung der Wirkungskette von der solaren Stromerzeugung über die Herstellung und Speicherung von Wasserstoff und Sauerstoff bis hin zu unterschiedlichen H₂-Anwendungen.

2. Beschreibung des Leistungsteils

2.1 Anlagenübersicht

Die Demonstrationsanlage vereint sämtliche bei einer solaren Wasserstoff-Energiewirtschaft notwendigen Umwandlungsschritte von der Sonneneinstrahlung bis zum Wasserstoff- und Sauerstoffgas, dabei können folgende funktionale Bereiche unterschieden werden:

- elektrische Energieerzeugung durch Solargeneratoren,
- elektrische Energieerzeugung durch Wasserstoff-Brennstoffzellen,
- elektrischer Energieverbrauch durch Elektrolyseure zur Wasserstoffherzeugung,
- elektrischer Energieausgleich mit dem Netz durch Umrichter,
- verschiedene Anwendungen, z. B. Wasserstoff-Gasheizkessel.

Die von der Siemens AG gelieferten Gerätekomponten zur elektrischen Leistungsaufbereitung gliedern sich wie folgt auf (Bild 1):

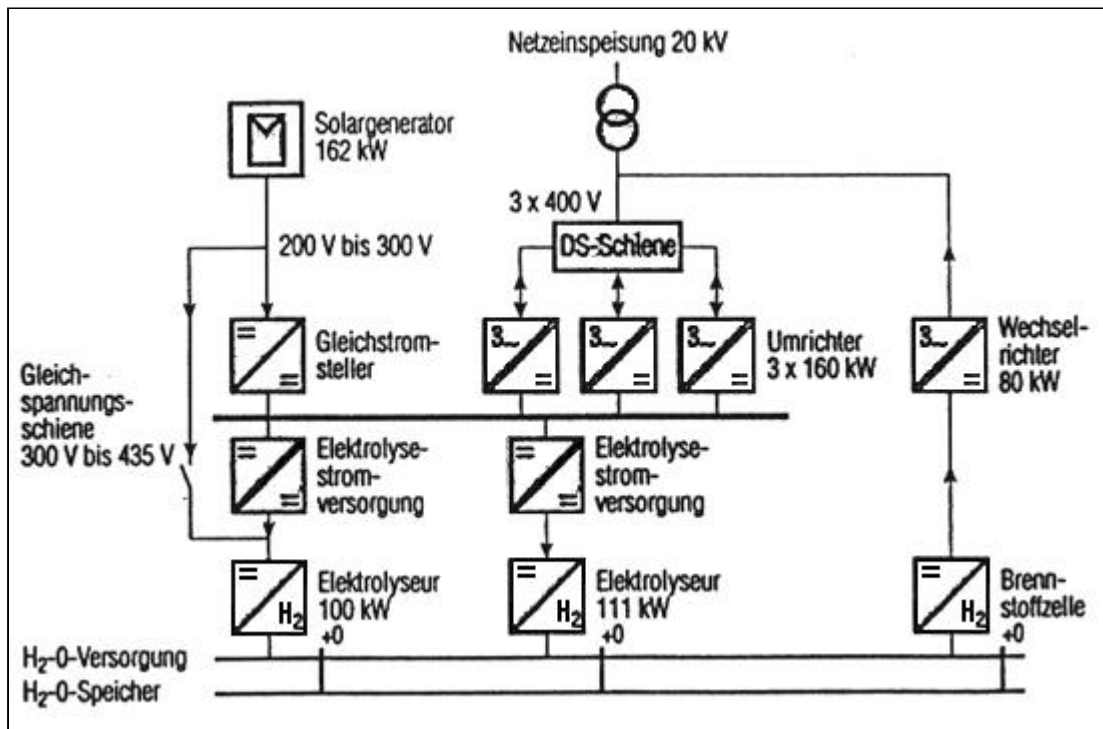


Bild 1. Anlagenübersicht der elektrischen Leistungsaufbereitung
(nur Lieferanteil Siemens AG)

- eine Gleichspannungsschiene (GS-Schiene) zur Verbindung aller Komponenten auf der GS-Schienenenseite,
- ein Gleichstromsteller (GS-Steller) zur Anpassung der Solargeneratoren an die Spannung der GS-Schiene mit 162 kW,
- drei selbstgeführte Umrichter von je 160 kW zur Anbindung der GS-Schiene an das 400-V-Drehstromnetz über eine gemeinsame Drehstromschiene,
- zwei Elektrolysestromversorgungen (E'lyseSV) mit 100 kW bzw. 111 kW zur Umwandlung mit Potentialtrennung des GS-Schienen Spannungsniveaus auf den Wert für die Elektrolyseure,
- ein netzgeführter Wechselrichter zur Anpassung der Gleichspannung einer 80-kW-Brennstoffzelle an das 400-V-Drehstromnetz.

Das Gesamtsystem umfaßt noch zwei weitere GS-Steller und Solargeneratoren eines anderen Herstellers (AEG).

Ein Energieausgleich zwischen allen Komponenten findet direkt über die GS-Schiene statt. Die Regelung der einzelnen Komponenten ist so aufeinander abgestimmt, daß auch bei dynamischen Vorgängen wie Lastsprüngen die GS-Schienen Spannung im Toleranzbereich bleibt, ohne daß eine zusätzliche zentrale Spannungsstützung, z.B. durch eine Batterie, nötig ist.

Die Potentiale der Solargeneratoren, der GS-Schiene und aller angeschlossenen Komponenten sind erdfrei. Der Isolationswiderstand wird durch eine Erdschlußüberwachungseinrichtung überwacht. Diese ist speziell für GS-Netze mit

angeschlossenen Stromrichtern und hohen Kapazitäten gegen Erde ausgeführt. Aus Kostengründen und wegen der besseren Lieferbarkeit von Ersatzteilen wurden zur Realisierung der Komponentenleistungsteile weitgehend Produktserienteile eingesetzt. So sind für die Leistungstransistoren der Komponenten vollständige Transistor-Phasensätze der Siemens-USV-Geräte verwendet worden. Der Stromrichter im Wechselrichter für die Brennstoffzelle ist ein Thyristorsatz der Siemens-Gleichstromantriebs-Reihe (Simoreg).

2.2 Gleichstromsteller für Solarfelder

Der Leistungsteil des GS-Stellers besteht aus drei gleichen unabhängigen Teilstellern, die über einen gemeinsamen Leistungsschalter mit der GS-Schiene verbunden sind. Jeder Teilsteller ist über eine Luftdrossel für den Blitzschutz und einen Lasttrennschalter an ein Solarfeld angeschlossen. Die Teilsteller sind als Hochsetzwandler ausgeführt. Ist der Stellertransistor eingeschaltet, treibt die Spannung des Solarfeldes einen Strom durch Speicherdrosselspule und Transistor. Wird er ausgeschaltet, hält die in der Drosselspule gespeicherte magnetische Energie den Strom aufrecht. Dieser fließt über die Freilaufdiode des Hochsetzwandlers und lädt den Ausgangskondensator auf. Die Ausgangsspannung ist dann größer als die des speisenden Solarfeldes. Die Diode verhindert einen Energierückfluß von der GS-Schiene in die Solarfelder. Die Eingangskondensatoren nehmen die Stromüberschwingung der Speicherdrosselspule auf und wirken somit als Filter gegenüber Rückwirkungen auf das Solarfeld. Ihre Kapazitätswerte sind aus regelungstechnischen Gründen so klein wie möglich gehalten.

Die Speicherdrosselspule ist so dimensioniert, daß der überlagerte Wechselstrom maximal +/- 10% des Nennwertes beträgt. Die Taktfrequenz des Transistors beträgt etwa 4 kHz. Das Taktverhältnis beeinflußt das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung und wird von der Steuer- und Regeleinrichtung variiert. Beim gemeinsamen Betrieb der Teilsteller wird ihre Taktung untereinander so beeinflußt, daß der Summenoberwellengehalt herabgesetzt wird.

Der speisende Solargenerator (Siemens-Solar) besteht aus drei Teilfeldern von je 48 kW (Spitzenwert), die mit je 952 monokristallinen Silizium-Modulen bestückt sind. Nach [1] haben die Module 50 W (Spitzenwert) und einen Wirkungsgrad von 13,9% (Si-Fläche) bzw. rd. 11,3% (Modulfläche). Die Module sind im Ganzjahresoptimum unter 40° gegen die Horizontale fest aufgeständert. Die Teilfelder (Leerlaufspannung kleiner 300 V) sind über GS-Steller-Eingangsverteilungen, die die Blitzschutzableiter enthalten, mit den Teilstellern verbunden.

Zwei Solarfelder je 67 kW (Spitzenwert) aus polykristallinen Siliziumzellen, mit dazu passenden GS-Stellern von der TST geliefert, ergänzen die Anlage auf der Solargeneratorseite und ermöglichen einen Vergleich von monokristallinen Modulen mit polykristallinen.

2.3 Elektrolysestromversorgungen

Die beiden E'lyseSV sind prinzipiell gleich aufgebaut und unterscheiden sich nur hinsichtlich ihrer Nenndaten. Die Elektrolyseure werden jeweils über eine Verteilung angeschlossen.

Der Leistungsteil der E'lyseSV besteht im wesentlichen aus:

- einem Leistungsschalter, der die Komponente mit der GS-Schiene verbindet,
- einem Gleichstromsteller, der für die Regelung des Ausgangsstromes der E'lyseSV die Funktion des Stellgliedes übernimmt und als Einquadranten-Tiefsetzsteller in Transistortechnik ausgeführt ist, und für die Potentialtrennung aus:
- einem Einphasen-Wechselrichter,
- einem Transformator zur galvanischen Trennung von Ein- und Ausgangsspannung,
- einem Gleichrichter in M2-Schaltung mit Glättungsdrosselspule.

Die Glättungskondensatoren am Eingang nehmen den pulsformigen Strom des Tiefsetzstellers auf. Dessen Transistor hat eine Taktfrequenz von 4 kHz. Über das Taktverhältnis wird von der Steuer- und Regeleinrichtung der Ausgangsstrom der E'lyseSV verstellt. Die Speicherdrosselspule des Gleichstromstellers nimmt die Oberschwingungen der

Stellerausgangsspannung auf und begrenzt den überlagerten Wechselstrom auf maximal +/- 10 % des Gleichstromnennwertes. Dieser Oberschwingungsstrom wird vom Zwischenkreiskondensator aufgenommen. Der nachgeschaltete Wechselrichter wird so mit einer geglätteten Gleichspannung versorgt. Der transistorisierte Wechselrichter ist in Einphasen-Brückenschaltung ausgeführt und wird im Vollblock mit rd. 1kHz Taktfrequenz betrieben. Dadurch kann der Transformator bei geringerer Bauleistung mit reduziertem Gewicht und Volumen ausgeführt werden. Ausgangsseitig ist der Transformator wegen der Mittelpunktschaltung des nachfolgenden Diodengleichrichters mit einer Mittelanzapfung ausgeführt.

Die Elektrolyseure erfordern einen geglätteten Eingangsstrom; deshalb muß der Ausgangstrom des Gleichrichters mit einer Drosselspule geglättet werden. Die den E'lyseSV über die entsprechenden Verteilungen nachgeschalteten Elektrolyseure sind beide in Niederdrucktechnik ausgeführt und wurden von den Unternehmen

- Krebskosmo [Cadwell 1000 (alkalische Wasserelektrolyse) mit den Nenndaten 111 V und 1000 A] und
- ABB [Membrel (Membranelektrolyse) mit den Nenndaten 217 V und 460 A] entwickelt und aufgestellt. Beide Elektrolyseure haben bei Nennbedingungen einen Wirkungsgrad von rd. 80 %, einen Energieverbrauch von < 4,5 kWh/Nm³ H₂ und erzeugen 24,7 bzw. 22,4 Nm³H₂/h, [1].

Über eine Umgehung ist es möglich, den ABB-Elektrolyseur direkt mit einem Solargenerator zu koppeln.

2.4 Umrichter zur Netzkopplung

Die Anbindung der GS-Schiene an das 400-V-Drehstromnetz wird über drei selbstgeführte Umrichter mit einer Nennleistung von je 160 kW vorgenommen. Diese Einheiten haben gleiche dynamische Eigenschaften und tauschen regelungs- und steuertechnische Daten für den Parallelbetrieb untereinander aus. Der Umrichter besteht im wesentlichen aus einer pulsbreitenmodulierten B6-Schaltung mit Bipolartransistoren und nachgeschaltetem passiven Filter 2. Ordnung. Das Wechselspannungsniveau des Umrichters wird mit einem 50-Hz-Drehstromtransformator an das 400-V-Netz angepaßt.

Ein Leistungsschalter stellt die Verbindung zur GS-Schiene her. Die Glättungskondensatoren auf der GS-Seite des Transistorumrichters dienen zur Reduzierung der Rückwirkung der pulsförmigen Ströme des Umrichters auf die GS-Schiene. Die Taktfrequenz des Transistorumrichters beträgt 2,5 kHz.

Der netzseitige Drehstromtransformator ist in Dyn-II-Schaltung ausgeführt. Der Netzfilter reduziert die Rückwirkungen der pulsförmigen Umrichterströme auf das Netz. Der induktive Teil des Netzfilters wird im Transformator mit einem Zusatzkern realisiert. Für die Netzstromregelung des Umrichters wird dieser über Entkopplungsdrosseln mit $U_k = 2\%$ an das Drehstromnetz angeschlossen.

2.5 Wechselrichter für eine Brennstoffzelle

Der netzgeführte Wechselrichter formt die von der Brennstoffzelle erzeugte Gleichstromleistung für das Drehstromnetz um. Es besteht aus:

- dem Eingangstrennschalter,
- dem Entladewiderstand von 6 Ohm zur Entladung der Ausgangskapazität der Brennstoffzelle,
- den Belastungswiderständen von insgesamt 16 kW als Mindestlast der Brennstoffzelle (bei plötzlichem Ausfall der Neueinspeisung müssen die Widerstände unabhängig vom nachgeschalteten Wechselrichter zum Herunterfahren der Brennstoffzelle als Notlast zugeschaltet werden,

- dem netzgeführten Thyristor-Stromrichtergerät (Simoreg), das die Eingangsgleichspannung in das vom Netz vorgegebene Drehspannungssystem umformt und über
- den Transformator (zur Hochsetzung auf die 400-V-Netzspannung) und
- das Netzschütz ins Netz liefert;
- der Glättungsdrösselspule im Gleichstromkreis, die den Eingangsstrom überlagerten Wechselstrom auf die von der Brennstoffzelle vorgegebenen Werte herabsetzt und zusammen mit
- dem Gleichstromschnellschalter das schnelle Abschalten (Verzögerung < 2ms) der speisenden Gleichspannung vom Wechselrichter bei einer Netzkurzunterbrechung (KU) ermöglicht.

Bei einem Netzausfall kippt der Wechselrichter, die Gleichspannung treibt einen Kurzschlußstrom über die ihn begrenzende Drosselspule, den Schnellschalter und zwei Thyristoren. Nach Überschreiten des eingestellten Stromgrenzwertes wird der Leistungsschalter über ein Kondensatorauslösegerät so schnell ausgelöst, daß bei entsprechend ausgelegter Drosselspule der für die Thyristoren zulässige $i^2 t$ -Wert nicht überschritten wird.

Die speisende phosphorsaure Brennstoffzellenanlage stammt von KTI BV Fuji Electric Co., Ltd. und hat eine elektrische DC-Leistung von 79,4 kW bei 620 A und 130 V [1]. Der elektrische Wirkungsgrad wird mit maximal 51% angegeben.

3. Steuer- und Regeleigenschaften

Die gesamte Anlage wird von einem übergeordneten Leitwerk (ÜL) gesteuert und überwacht, wobei jedoch jede Komponente in sich autarke Einrichtungen für Regelung, Steuerung und Schutz enthält und auch von Hand vor Ort betrieben werden kann. Bei Betrieb über die ÜL gibt diese entsprechende Vorgaben und Sollwerte an die einzelnen Komponenten und erhält von diesen Signale und Meßwerte. Über die ÜL sind statistische Auswertungen der Betriebsführung und der Datenerfassung für das umfangreiche Meßprogramm möglich.

Die Steuerung und Regelung wurde mit möglichst mehrfach einsetzbaren Baugruppen realisiert. So wurde für die jeweilige digitale zentrale Steuerung eine einheitliche Baugruppe mit programmierbarer Logik (Logic Cell Array) verwendet.

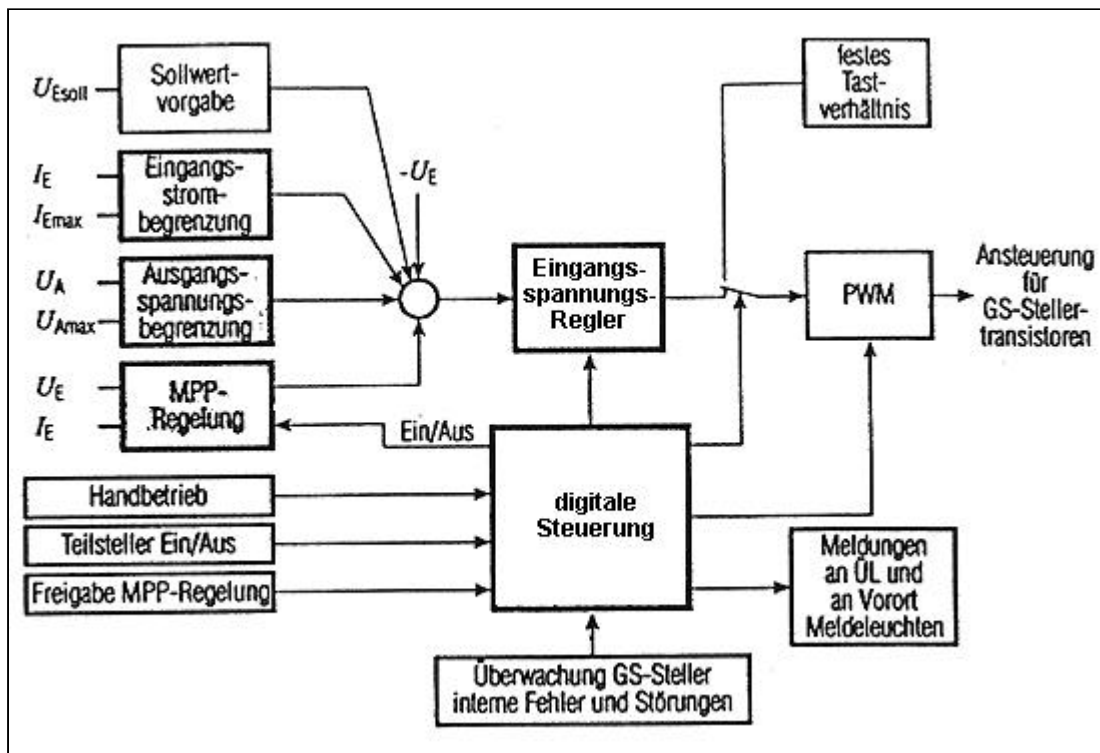


Bild 2. Gleichstromsteller Prinzipbild Steuerung und Regelung

I_{Emax} Sollwert maximaler Eingangsstrom
 U_{Amax} Sollwert maximale Ausgangsspannung
 U_E Istwert Eingangsspannung
 I_E Istwert Eingangsstrom
 U_A Istwert Ausgangsspannung
 MPP Maximum Power Point
 PWM Pulsbreitenmodulation

Die einzelnen Komponenten werden im folgenden hinsichtlich ihrer besonderen Steuer- und Regeleigenschaften erläutert:

3.1 Eingangsspannungsregelung im MPP beim Gleichstromsteller

Zur maximalen Energienutzung der Solargeneratoren ist jeder Teilsteller mit einer Maximum-Power-Point-Regelung ausgestattet. Der MPP (maximale Leistungspunkt) eines Solargenerators ist abhängig von der Einstrahlung, Modultemperatur und Technologie. Ziel des MPP-Reglers ist es, die Eingangsspannung des GS-Stellers so einzustellen, daß das PV-Feld maximale Leistung abgibt. Dazu wird in konstanten Zeitintervallen die Eingangsgleichspannung von einem Startwert aus stufenweise verändert. Fällt die Eingangsleistung des MPP-geregelten Stellers ab, wird die Richtung der Spannungsänderung gewechselt. Steigt die Leistung, wird die Richtung beibehalten. Die Ausgangsspannung des GS-Stellers wird auf einen einstellbaren Maximalwert ($< 435\text{ V}$) geregelt begrenzt, wenn die aus dem Solargenerator entnommene Leistung größer ist als die den Gleichstromstellern entnommene Leistung. Dabei wird durch Vergrößerung der Eingangsspannung die Leistung des Solargenerators aus dem MPP heraus verkleinert. Damit der GS-Steller vor Überlastung geschützt wird, wird der Eingangsstrom auf den vorgegebenen Nennwert geregelt begrenzt.

Die Steuerung (Bild 2) der GS-Teilsteller erhält von außen über die Wahlschalter am Gerät bzw. über Öl-Befehle Angaben über den gewünschten Betriebszustand. Die Überwachungseinrichtungen innerhalb des GS-Stellers melden Störungen und Fehler an die Steuerung, die dann den betroffenen Teilsteller sperrt und entsprechende Meldungen an die Öl weitergibt bzw. die Vor-Ort-Meldeleuchten am Gerät ansteuert. Der Sollwert der Eingangsspannung bestimmt den Betrieb bei abgeschalteter MPP-Regelung. Er wird nur verlassen, wenn die Begrenzungsregler für die Ausgangsspannung und den Eingangsstrom eingreifen. Alternativ zum geregelten Betrieb ist über einen Schalter ein festes Tastverhältnis

wählbar, wenn die Betriebsart »direkte Kopplung über GS-Steller und E'lyseSV« gewünscht ist.

Die Ansteuerung der Transistoren der Teilsteller findet nach dem Pulsbreitenmodulationsverfahren statt.

3.2 Steuerung und Regelung des Ausgangsstromes in der Elektrolysestromversorgung

Die Steuerung und Regelung (S & R) ermöglicht den autarken Vor-Ort-Betrieb der E'lyseSV und die Betriebsführung von der ÜL her.

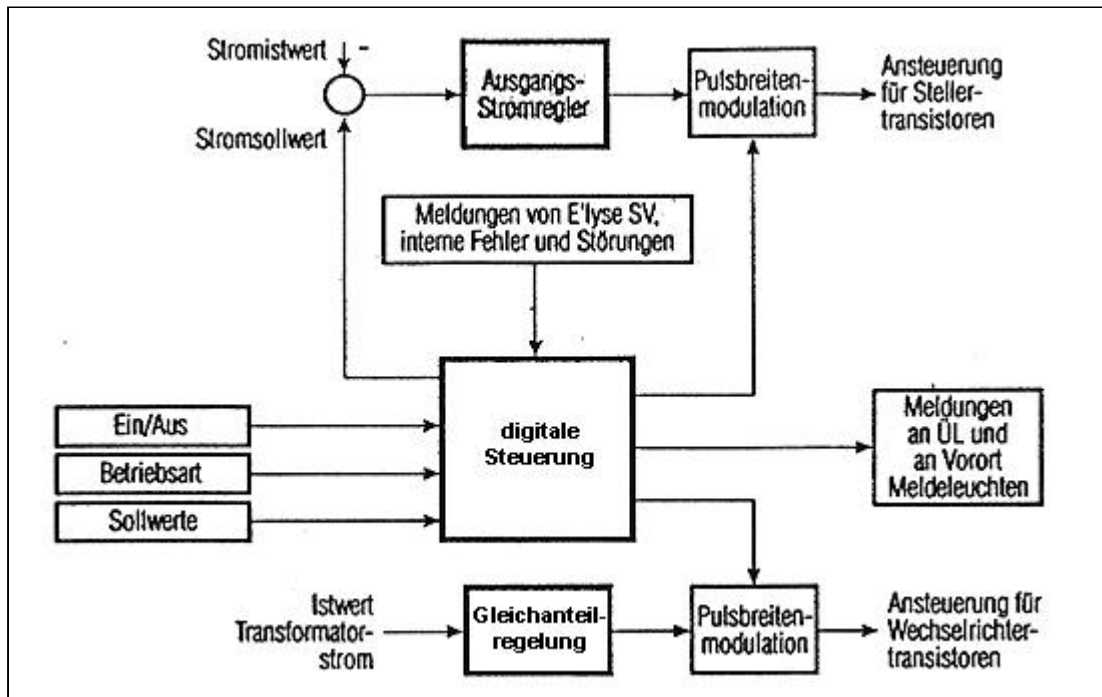


Bild 3. Elektrolysestromversorgung; Prinzipschaltbild Steuerung und Regelung

Bild 3 stellt in einer grafischen Übersicht die Funktionsblöcke der S & R dar. Über die Wahlschalter am Gerät oder über ÜL-Vorgaben erhält die Steuerung Angaben über die gewünschte Betriebsart, den Ein- und Ausschaltbefehl und die erforderlichen analogen Sollwerte. Regelungstechnisch gesehen übernimmt der Stellertransistor die Funktion des Stellgliedes für die E'lyseSV-Ausgangsstromregelung. Anhand der Vorgaben über Betriebsart und Sollwert wird die Sollwertbestimmung für den E'lyseSV-Ausgangsstrom über die Steuerung vorgenommen. Dazu wird

- in der Betriebsart »Sollwertbetrieb« der Sollwert von der ÜL oder über ein Potentiometer am jeweiligen Gerät vorgegeben,
- in der Betriebsart »Statikbetrieb« abhängig von der Eingangsspannung ein Sollwert anhand einer vorgegebenen Kennlinie gebildet,
- in der Betriebsart »gesteuerter Betrieb« die E'lyseSV mit einem festen Übersetzungsverhältnis betrieben.

Der Stromregler der PI-Struktur hat, steuert über Pulsbreitenmodulation das Tastverhältnis des Stellertransistors.

Die Ansteuerung der Wechselrichter-Transistoren wird ebenfalls nach dem Pulsbreitenmodulationsverfahren durchgeführt. Sie werden im Vollblock angesteuert und die Pulsbreiten nur zur Gleichanteilregelung leicht verändert. Diese dient dazu, von Unsymmetrien und Nichtlinearitäten im Steuersatz verursachte Gleichanteile im Eingangsstrom des Transformators anzuregen.

Die E'lyseSV wird von ihrer Steuerung auf Störungen überwacht, die selektiv angezeigt und

gemeldet werden und im Fehlerfall zum Abschalten des Gerätes führen.

3.3 Netzparallelbetrieb und Lastaufteilung der Umrichter

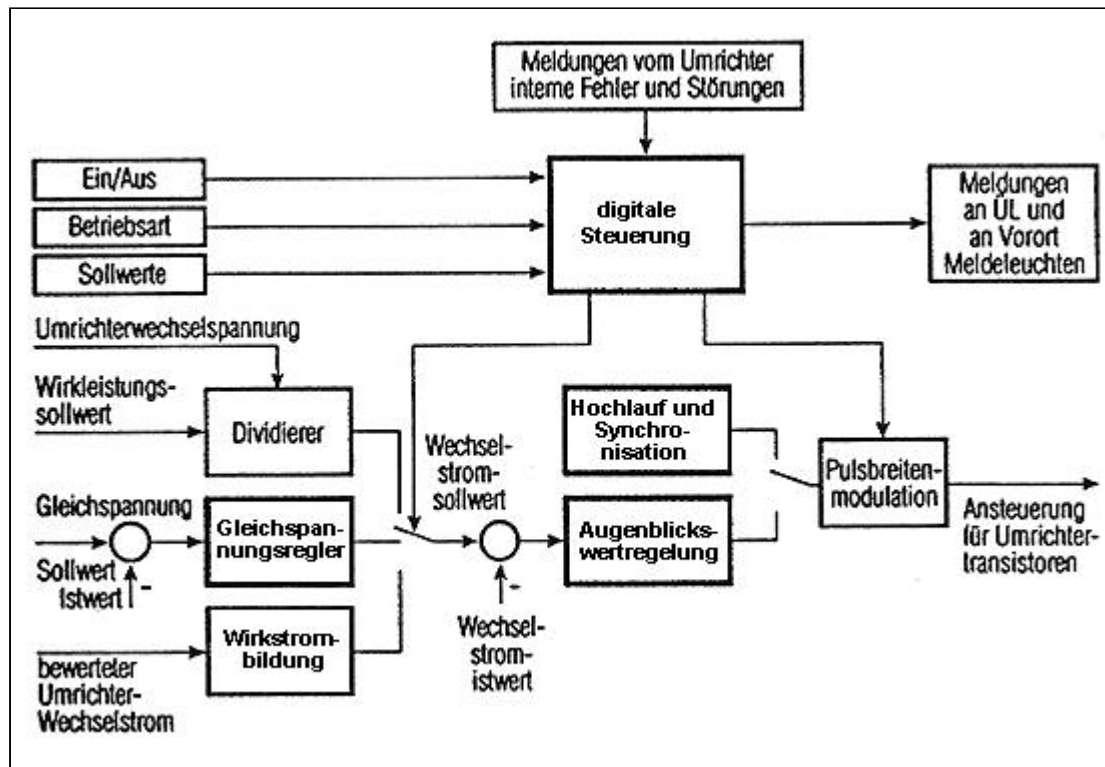


Bild 4. Umrichter; Prinzipschaltbild Steuerung und Regelung

Die Steuerung und Regelung (S&R) ermöglicht innerhalb der gewünschten Betriebsart den autarken Vor-Ort-Betrieb des Umrichters oder die Betriebsführung durch die UL. Bild 4 stellt eine Übersicht der Funktionsblöcke der S&R dar. Von außen über die Wahlschalter oder von der UL erhält die Steuerung die gewünschte Betriebsart, den Ein/Aus-Befehl und die erforderlichen analogen Sollwerte. Die Überwachungseinrichtungen innerhalb der Umrichter melden Störungen und Fehler an die Steuerung, die den betroffenen Umrichter sperrt, den Zustand an die UL meldet und die Vor-Ort-Meldeleuchten ansteuert.

Der Umrichter erzeugt eine sinusförmige Spannung, synchronisiert diese auf das Drehstromnetz und schaltet sein Ausgangsschütz ein. Meldet sich das Ausgangsschütz »eingeschaltet« zurück, wird der Umrichter auf Stromregelung umgeschaltet und regelt die Ströme auf der Drehstromseite. In der Betriebsart »Leistungsregelung« werden die Zeitverläufe der Sollwirkströme, die in Phase bzw. in Gegenphase (Wirkleistungslieferung ans Drehstromnetz oder Wirkleistungsbezug vom Drehstromnetz) zum angeschlossenen Drehspannungssystem sind, aus den Wirkleistungsvorgaben errechnet. In der Betriebsart »Spannungsregelung« soll die Spannung der Gleichstromschiene geregelt werden. Dazu wird dem oben beschriebenen Stromregler von einem überlagerten Spannungsregelkreis der Stromsollwert vorgegeben. Zum Schutz des Umrichters vor Überlast wird der Sollwert des Stromreglers auf einen Maximalwert begrenzt.

Bei eingeschränktem Leistungsaustausch mit dem Netz wird durch einen zusätzlichen Eingriff in die unterlagerte Stromregelung die Gleichspannung der GS-Schiene in ihrem zulässigen Bereich gehalten.

Die drei Umrichter arbeiten nach dem Master/Slave-Prinzip. Der Masterumrichter regelt je nach gewählter Betriebsart die Gleichspannung bzw. die Drehstromleistung. Die Slaveumrichter bilden aus den bewerteten Augenblickswerten des Gesamtstroms ihren Wirkstromanteil und regeln unabhängig vom Betriebszustand auf diesen Sollwert. Bei Lastwechsel werden nach der Höhe des Leistungsüberschusses bzw. Leistungsbedarfs der Gleichstromschiene einzelne Slaveumrichter zu- oder abgeschaltet. Überschreitet die geforderte Leistung 80% der verfügbaren Umrichternennleistung, wird über einen digitalen Kommunikationskanal vom Masterumrichter ein weiterer Slaveumrichter zugeschaltet.

Unterschreitet die geforderte Leistung 30% der verfügbaren Umrichternennleistung, wird ein Slaveumrichter abgeschaltet. Durch dieses Verfahren wird ein hoher Wirkungsgrad des Gesamtsystems im Teillastbereich erreicht (günstigster Wirkungsgrad des Umrichters im Teillastbereich von 60% bis 80% der Nennlast). Ist der Masterumrichter nicht in Betrieb (z. B. Service), kann der Slaveumrichter die freigewordene Masterposition übernehmen.

3.4 Regelung und Schutzkonzept des Wechselrichters für die Brennstoffzelle

Der Regelung des netzgeführten Wechselrichters wird als Sollwert die ins Netz abzugebende Wirkleistung vorgegeben (Bild 5).

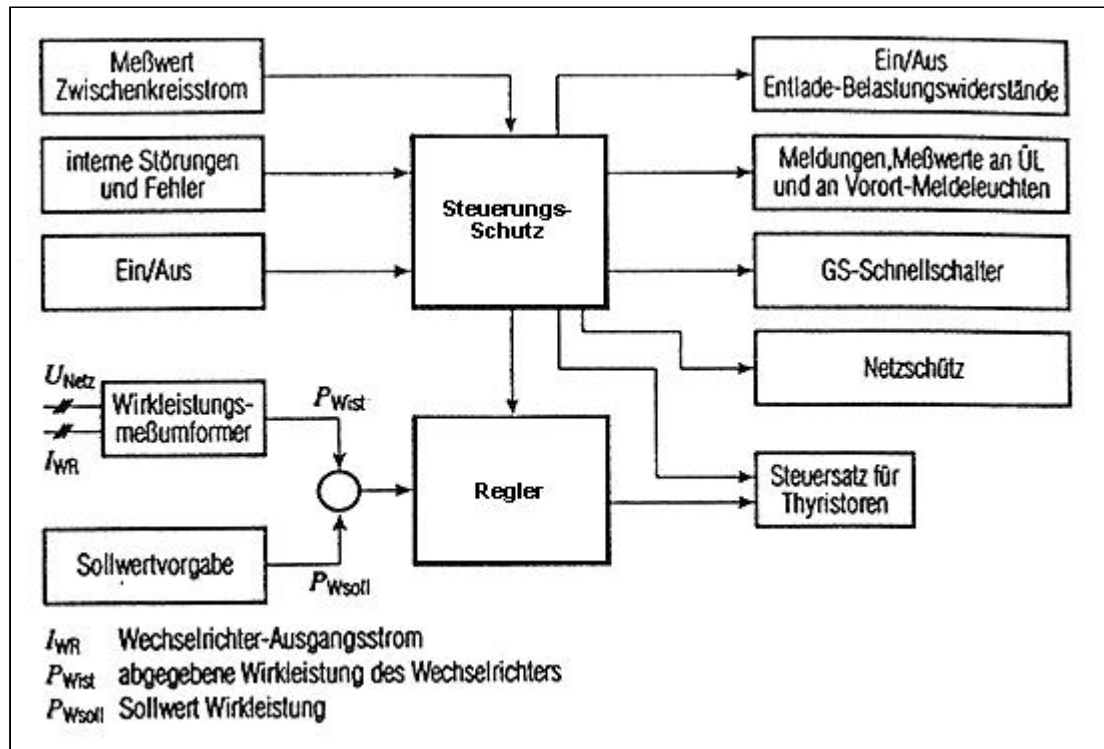


Bild 5. Wechselrichter für die Brennstoffzelle
Prinzipschaltbild Steuerung und Regelung

Dem im Simoreg-K-Thyristorsatz integrierten digitalen Steuer- und Regelteil mit Thyristorsteuersatz muß von außen nur noch der Istwert der Wirkleistung über einen Meßumformer zugeführt werden.

Die Steuer- und Schutzfunktionen des Wechselrichters für die Brennstoffzelle wie:

- Auslösen des GS-Schnellschalters bei Überstrom im DC-Zwischenkreis,
- Ein/Ausschalten der Widerstände,
- Ein/Aus des Netzschutzes,
- sicheres Ausschalten des Gerätes bei internen Störungen und Fehlern können über eine Relaisanordnung ausgeführt werden. Dadurch war es möglich, auf Elektronikbaugruppen zu verzichten.

4. Betriebsführung

Die Betriebsführung der Anlage ist charakterisiert durch eine Vielzahl von möglichen Betriebsarten. Bewußt wurde bei der Konzipierung und Realisierung der Gesamtanlage auf einen flexiblen Aufbau, unterschiedliche, umschaltbare Steuer- und Regelmethode der einzelnen Komponenten und verstellbare Parameter Wert gelegt.

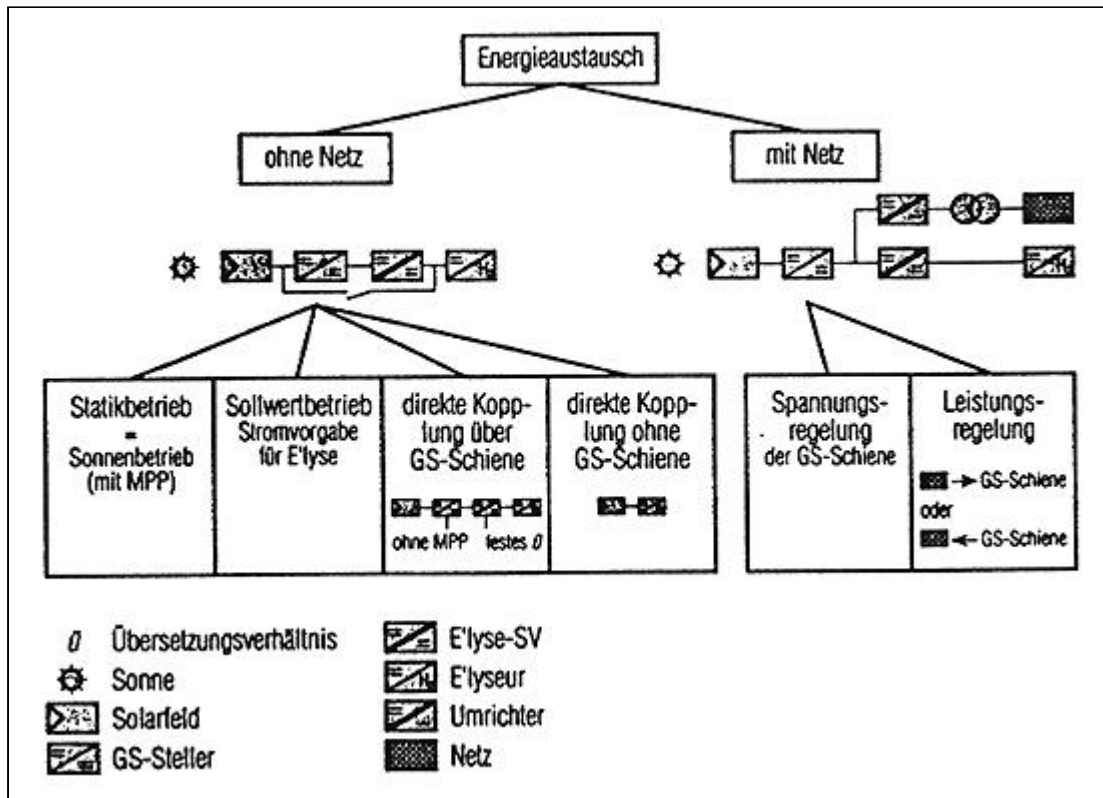


Bild 6. Betriebsarten der elektrischen Leistungsaufbereitung

In Bild 6 wird ein grober Überblick über die Betriebsarten der elektrischen Leistungsaufbereitung gegeben. Die Wahl der geeigneten Betriebsart wird bestimmt von den Anforderungen des gewünschten Meß- und Untersuchungsverfahrens.

Eine weitere wichtige Eigenschaft der Anlage ist die wirkungsgradoptimierte Leistungsaufteilung. Sie wird erreicht durch:

- ein automatisches lastabhängiges Zu- und Abschalten von Umrichtereinheiten,
- eine gleiche Leistungsaufteilung paralleler Umrichter,
- eine automatische Weiterschaltung der »Masterfunktion« im Fehlerfall,
- lastabhängiges Zu- und Abschalten der Lüfter,
- die Verwendung aktueller Transistortechnik mit zweifach-Darlingtontransistoren, die eine geringe Durchlaßspannung aufweisen [11]

Im Laboratorium wurde der Wirkungsgrad der einzelnen Komponenten vermessen und erreichte die in Tafel 1 aufgeführten Werte:

Komponente	Wirkungsgrad	
	Nennpunkt	Teillast
GS-Steller	97,1%	95,8% (10%)
E'lyseSV 460 A	93,0%	87,8% (10%)
E'lyseSV 1060 A	90,2%	83,9% (10%)
Umrichter	93,8%	91,1% (20%)
Wechselrichter	92,9%	91,6% (25%)

5. Ausblick

Mit der Demonstrationsanlage sind verschiedene Konzepte solarer Energienutzung nachbildbar. Sie konzentrieren sich im Prinzip auf zwei Gruppen:

- Erzeugung und Anwendung von Wasserstoff und
- Einspeisung von Solarenergie ins öffentliche Stromversorgungsnetz.

Es können die einzelnen Anlagenkomponenten im Hinblick auf unterschiedliche Konzepte genauer untersucht werden. Die Komponenten zur Wasserstoffherzeugung und Anwendung (z. B. Elektrolyse-Stromversorgung, Elektrolyseur, Speichertechnik, Brennstoffzellen, Gasheizkessel) werden unter den verschiedenen Betriebszuständen getestet.

Weiterhin können Erfahrungen über das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten gesammelt werden. Neben der beschriebenen solaren Wasserstoffanlage, in der als transportabler Energiespeicher das Medium Wasserstoff im Brennpunkt von Untersuchungen steht, gibt es Projekte wie [12], die die Photovoltaik allein zum Thema haben. Sie wird als additive Quelle zur Erzeugung elektrischer Energie betrachtet. Die Solarenergie wird dabei direkt ins öffentliche Netz eingespeist ohne zusätzliche Energiespeicher (Netzkopplung).

Die Aufgaben der Leistungselektronik reduzieren sich bei diesen Projekten aufgrund der eingeschränkten Betriebsart »Netzkopplung« im Vergleich zur Demonstrationsanlage in Neunburg auf MPP-Regelung des Solarfeldes und Energieeinspeisung der Gleichspannung ins Drehstromnetz. Die Realisierung kann in einem Gerät zusammengefaßt werden (Bild 7).

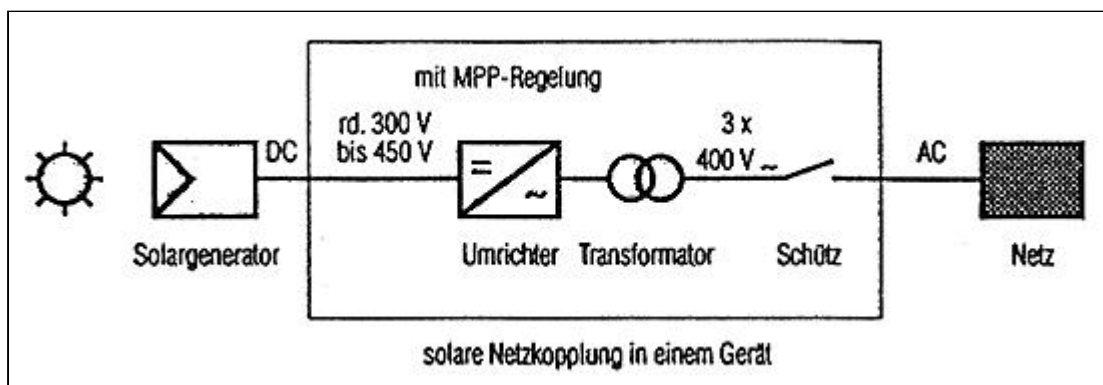


Bild 7. Solare Netzkopplung ohne Energiespeicher

Dazu bieten sich selbstgeführte bzw. netzgeführte Wechselrichter an. Aufgrund des günstigen Blindleistungs- und Oberschwingungsverhaltens bietet der Einsatz selbstgeführter Wechselrichter Vorteile [12]. Für den Leistungsbereich > 10 kW ist es aufgrund der derzeit noch geringen Stückzahlen der Anlagen vorteilhaft, vorhandene Serienkomponenten, z. B. unterbrechungsfreie Stromversorgungen, zu verwenden. Diese Technik bietet wirkungsgradoptimierte selbstgeführte dreiphasige Wechselrichter, die die wesentlichen Regelungsfunktionen erfüllen, an. Der zulässige Gleichspannungsbereich dieser Geräte liegt üblicherweise zwischen 300 V bis 450 V. Ein nachgeschalteter Netztransformator paßt die Wechselrichterspannung auf das Netzniveau an und sorgt für eine Potentialtrennung zwischen Gleichstromkreis und öffentlichem Netz. Die Geräte, z.B. die USV-B42-Reihe von Siemens, müssen lediglich um eine MPP-Regelung, Selbstlaufschutz (bei Ausfall des öffentlichen Netzes) und Blitzschutz auf der Gleichstromseite erweitert werden. Mit einer solchen Lösung können Kostenziele für die Leistungselektronik von 0,5 bis 1 DM/W im Leistungsbereich 10 bis 500 kW auch in geringen Stückzahlen erreicht werden.

6. Zusammenfassung

In Neunburg vorm Wald / Oberpfalz wurde eine Anlage zur Erforschung von Solar-Wasserstoff-Systemen errichtet. Das offengestaltete Konzept der Anlage ermöglicht eine variantenreiche experimentelle Untersuchung der gesamten Wirkungskette von der solaren Stromerzeugung über die Herstellung und Speicherung von Wasserstoff bis hin zu unterschiedlichen H₂-Anwendungen. Die Komponenten zur elektrischen Leistungsaufbereitung der 500-kW-Anlage werden im einzelnen beschrieben. Bei der Darstellung liegt der Schwerpunkt im Einsatz der Leistungselektronik in zukunftssträchtigen Solar-Wasserstoff-Systemen.

Durch Verwendung von Standardteilen aus Serienprodukten konnte die Versuchsanlage kostengünstig aufgebaut werden. Die drei am Netz angeschlossenen Umrichter werden mit einem Master-Slave-Konzept parallel betrieben und optimieren den Wirkungsgrad des Systems durch automatisches lastabhängiges Zu- und Abschalten einzelner Umrichter. Ein Energieaustausch zwischen allen Komponenten findet direkt über die verbindende Gleichstromschiene statt. Dabei ist die Regelung der einzelnen Komponenten so abgestimmt, daß auch bei dynamischen Vorgängen die Spannung der Gleichstromschiene ohne eine zentrale Spannungsstützung, z. B. eine Batterie, im zulässigen Toleranzbereich bleibt.

Neben der Beschreibung des Leistungsteils wird das Regel- und Schutzkonzept der Komponenten erläutert. Die Möglichkeiten der Betriebsführung der Gesamtanlage werden umrissen und erste Ergebnisse zum Wirkungsgrad der einzelnen Komponenten angegeben.

Abschließend wird von den Autoren der Einsatz von Umrichterleistungsteilen aus Geräten zur unterbrechungsfreien Stromversorgung zur Netzankopplung des Solargenerators vorgeschlagen.

7. Schrifttum

- [1] *Meggle, R.*: Das Solar-Wasserstoff-Projekt in Neunburg vorm Wald. VDI-Berichte Nr. 725, 1989 S. 15-36
- [2] *Szyszha, A.*: Realisierung des Solar-Wasserstoff-Projekts Neunburg vorm Wald. Elektrizitätswirtschaft 89 (1990), S. 205-212
- [3] *Meggle, R.*: Das Solar-Wasserstoff-Projekt der Solar-Wasserstoff-Bayern GmbH Dechema-Monographien Band 112, VCH Verlagsgesellschaft 1988 S. 525-534
- [4] Solarer Wasserstoff - die Energie-Alternative? Interview mit Klaus Förster Siemens-Zeitschrift (1990), S. 31 -34
- [5] *Hassmann, K; Meggle R.*: Erzeugung und Nutzung von solarem Wasserstoff wird erprobt Siemens-Zeitschrift (1990), S. 34 - 36.
- [6] *Förster, K.* : Das Solar-Wasserstoff-Projekt in Bayern Jahrestagung Kernenergie '88, 1988 S. 156-180
- [7] Grundsteinlegung für Solar-Wasserstoff-Anlage in Neunburg vorm Wald. Elektrizitätswirtschaft 87 (1988), S. 704-705
- [8] *Förster K; Fuchs M.*: Solarenergie und Wasserstoff VGB Kraftwerkstechnik 68 (1988), S. 108-113
- [9] *Fuchs, M.*: Wasserstoff aus Sonnenenergie Elektrowärme im Technischen Ausbau elektrowärme international Edition A, 46 (1988), S. A38-A40
- [10] Der Grundstein ist gelegt Energie 40 (1988), S. 12- 18.
- [11] *Feilcke, F.; Duca Ch.*: Wirkungsgradoptimierte USV-Anlagen etz 111 (1990), S. 2-7.
- [12] *Hotopp, R.*: Auf dem Weg zum besten Konzept für Photovoltaik-Wechselrichter etz 111 (1990), H. 4 und H. 7/8.