

Jahresbericht 2003, 12. Dezember 2003

Einsatz von Druckluftspeichersystemen

Autor und Koautoren	Ivan Cyphelly, Les Brenets, Alfred Rufer EPFL, Philipp Brückmann, Davos Armin Reller, Augsburg, Walter Menhardt, Passau/Wien
beauftragte Institution	Cyphelly & Co, Les Brenets
Adresse	Case Postale 18, 2416 Les Brenets
Telefon, E-mail, Internetadresse	026 677 24 43 cyphelly@ran.es
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	100406/150504
Dauer des Projekts (von – bis)	1.10.2003 – 28.2.2004

ZUSAMMENFASSUNG:

Um die „systemtechnischen Vor- und Nachteile, die möglichen Anwendungsgebiete sowie das Interesse der potentiellen Industrie, auszuloten, wurde die natürliche Gliederung der Technologie in Aufgabenkreise umgeformt, so dass folgende Themen entstanden, die als erste Resultate von Zusammenkünften im Rahmen dieses sich im Anlauf befindlichen Projektes bewertet werden können:

1. Druckbehälter, Materialfragen und Umweltverträglichkeit (Prof. Reller): da die erforderlichen Druckspeicher schon für andere Technologien eingesetzt werden (Industriegase, Tauchgeräte, Erdgasspeicher) ist hier die Lage ziemlich übersichtlich (auch was Preise und graue Energie betrifft). Es bleibt als Hauptthema die Gasdiffusion in Flüssigkolben.
2. Der Transformator (zwischen Flüssigkeit und operativer Energie), der je nach Ausführung 1 bis 2 Sekundärspeicher aufweist (Schwungrad, Supercaps etc), ist immer um das Herzstück „Hydroeinheit“ (Motor/Pumpe) angeordnet. Die sechs Haupttypen der Auslegung werden in Zusammenarbeit von Cyphelly & Co. und der EPFL analysiert und bewertet, wobei die Hydroeinheit lediglich in Sachen „Lebensdauer“ und „Topologische Auslegung“ überarbeitet werden muss, zumal neueste Entwicklungen maximale Wirkungsgrade von 97 % angeben.
3. Das „Interface“ zwischen Luft und Flüssigkeit, das durch Ankoppelung an den Transformator (B) den quasi-isothermen Kompressor/Entspanner der BOP B bildet und im Gegensatz zur BOP A (Transformator mit Hydroakku) zehn Mal weniger Speicherraum beansprucht. Die Thermodynamik und das Schaltmanagement sind die Themen für Menhardt KG, Cyphelly & Co., Brückmannelektronik und EPFL.
4. Der elektrische Motor/Generator verursacht einiges Kopfzerbrechen, da dessen Wirkungsgrade mitnichten die Werte der Hydraulikeinheit erreichen; für Abhilfe sorgen Brückmann, EPFL und Fachleute aus diesem Felde.
5. Die Synthese aus diesem „Brainstorming“ samt der Positionierung in technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht gegenüber anderen Speichertechnologien wird von Cyphelly & Co. wahrgenommen, aufbauend auf schon bestehenden EU-Netzwerkaktivitäten und Anwenden von Speichersystemen.

Projektziele

Dieses Projekt soll nicht nur die Potentialitäten der Druckluftspeicherung dokumentieren, sondern auch die technischen Hürden analysieren, die dieses System bis zur Markteinführung überwinden muss, **insbesondere im Vergleich zu konkurrierenden Lösungen**, denn, wem ist schon bewusst, dass z. B. die Herstellung von Bleibatterien Energien in der Grössenordnung vom Energieumsatz im gesamten Leben dieses besagten Speichers verschlingt [1] oder dass Brennstoffzellen-Speicher bisweilen mit Wirkungsgraden unter 30 % aufwarten (Elektrolyse – Speicherung – Verstromung mit allen Hilfsaggregaten, [2]), bei fraglicher Lebensdauer und ausufernden Kosten: das Verfolgen der genannten Projektziele führt also auch unweigerlich zu einer Untersuchung über Sinn und Zweck von Speicherungen, allerdings beschränkt auf Langzeit-Systeme, was reine Spitzenlastabdeckungen oder kurze Überbrückungen mit Schwungrädern, Supercaps, SMES oder gar „warmer Druckluft“ als Sekundenreserve (rein adiabatischer Zyklus, [3]) ausschliesst. So gesehen ist die Auswahl, der gemäss Pflichtenheft zu vergleichenden Technologien, relativ bescheiden: vorab alle elektrochemischen Lösungen (von der Bleibatterie über NiCd, Li-Ion, Zebra usw.), dann der Wasserstoff-Zyklus mit Verbrennung oder Brennstoffzelle, alle Druckluftsysteme mit „kalter“ Speicherung ob Typ A oder B, (s. Synoptisches Bild 1 und [4]) und schliesslich die Pumpspeicherwerke, die dem Typ A zuzuordnen sind (sie weisen als A-Kennzeichen ein Auffangbecken für die verschobene Flüssigkeit auf, meist in Form eines Flusses).

Wohl wird heute Wasserstoff in grossen Mengen gespeichert, aber komplette Zyklen mit Elektrolyse und Verstromung sind in grossen Anlagen nicht bekannt; dies müsste ja gemäss dem Stand der Dinge (Lebensdauer!) mit Gasturbinen oder Kolbenmotoren gewandelt werden, mit entsprechend niedrigen Wirkungsgraden (solche Systeme wurden bislang nur im Fahrzeugwesen erprobt, so z.B. bei BMW für PKW und bei Tupolew für Flugzeuge): bei so tiefen Wirkungsgraden taucht sinngemäss die Frage nach der thermischen Speicherung als Alternative auf, da die Wärmeisoliertechnik gewaltige Fortschritte macht und die Wandlung durch Stirlingmotoren oder Dampfaggregate durch laufende Verbesserungen auch in die 30 %-Wirkungsgrade vorstösst, wie auch angeblich Thermoelemente neuester Bauart (die Strom-Wärme-Wandlung am Eingang ist ja mit fast 100% anzusetzen und in der Solartechnik sind Kollektor-Wirkungsgrade von 70 % gebräuchlich, auch für höhere Temperaturen um die 200 °C, wogegen die photovoltaische Wandlung ja kaum 20 % erreicht): zu untersuchen, ob **in der Zukunft** und in welchem Leistungs- bzw. Energiebereich diese Technologien der Druckluft die Stirn bieten könnten, ist eben auch eines der wichtigen Projektziele, denn es fällt auf, dass zu diesem Zeitpunkt nur die Wahl zwischen Elektrochemie (Golden Valley, 30 MWh NiCd [5]) und CAES-Druckluft (nach Huntorf und McIntosh ist nun die Anlage in Norton ausgeschrieben, wobei unsere Badener Alstom in aussichtsreicher Lage bietet [6]) besteht.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Durch mehrere Reisen und Zusammenkünfte wurde die in der Zusammenfassung dargestellte Gliederung in 5 Themenkreise festgeschrieben und die Prioritäten und „hot spots“ in den jeweiligen Gebieten aufgelistet; hier die Kurzbeschreibung der Arbeiten pro Themenkreis:

1 Materialien, Umweltverträglichkeit

Diese Problematik wird an der *UNI Augsburg* untersucht, es bahnt sich auch eine Zusammenarbeit mit der Fa. *Rosseta – Rosslau / Elbe, Dr. Täubner* an bezüglich der Gasdiffusions-Problematik die hauptsächlich die BOP-A Systeme berührt, an denen diese Firma z.Zt. arbeitet. Es sollen unter anderem die physikalisch-chemischen Vorgänge an Flüssigkolben untersucht werden um optimale Flüssigkeiten definieren zu können, unter besonderer Berücksichtigung der Umweltverträglichkeit und des Preises.

There are two main Families of CAES Technologies:

- **Volumetric machines with Vessel storage**
- **Kinetic machines with Underground storage**

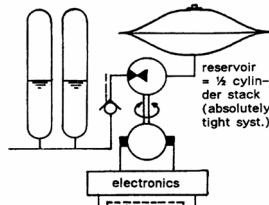


1 2 3

Type A: Premium efficiency compensated by low specific energy (< 3Wh/l)

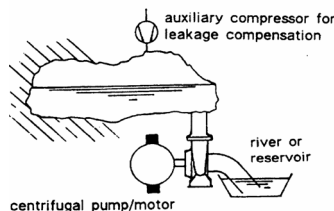
V
o
l
u
m
e
t
r
i
c

Standard accumulator stack with PWM power adaptor (BOP-A: Battery with Oilhydraulics & Pneumatics)

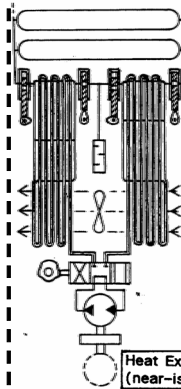


K
i
n
e
t
i
c

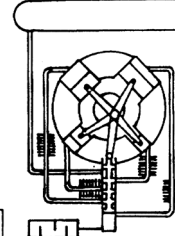
Water Cavity / Aquifer Storage



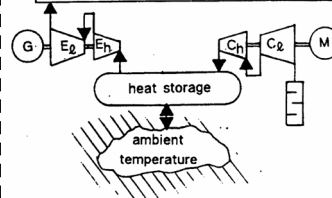
Type B: Lower efficiency but higher specific energy (Up to 35Wh/l @ 300bar)



Multi-Stage Intercooled Piston (direct acting volumetrics)



Advanced Adiabatic CAES with TES (Thermal Energy Storage in separated unit)



Adiabatic CAES with Isolated Storage (heat is stored in the compressed air)

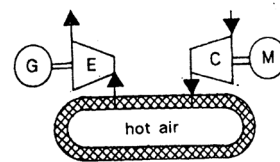


Bild 1) Synoptik Druckluft

2 Der Transformator

Gespräche mit führenden Instituten (z.B.: IFAS an der RWTH Aachen, Prof. Backé) bestätigen, dass die Hydroeinheiten mit wenigen Anpassungen dem Pflichtenheft entsprechen können, ja sogar weit übertreffen, wie im Falle des *Floating Cup Positive Displacement Concept* [7], das höchste Wirkungsgrade bei hervorragenden Standzeiten verspricht. Komplexer ist die Frage der Einsatzform dieser Hydroeinheit, die das Verhalten, die Wirkungsgrade und den Preis der Anlage bestimmt; es sollen die 5 bekannten Lösungen charakterisiert und auf Anwendbarkeit untersucht werden, im vollen Bewusstsein, dass die optimale Lösung oft erst durch die Anwendung bestimmt werden kann, wobei z.B. eine erste Forderung nach Spannungserhalt bei Leerlauf oder bei geringer Leistungsentnahme einige Einsatzformen von vornherein eliminiert.

A) Direkte Kopplung Hydroeinheit-Motgen-elekt. Wandler (wire-to-wire ohne Hilfspespeicher)

Diese Lösung ist sicherlich die einfachste, der Motgen und der elektronische Wandler müssen jedoch das Drehmoment der Hydroeinheit bei höchstem Druck verarbeiten (z.B. 250 bar) und noch im guten Wirkungsgradbereich bleiben bei ca. halbem Druck, somit muss die Drehzahl dauernd verändert werden, auch zum Erhalt einer konstanten Leistung. Dieses System wird von der Fa. Rosseta bearbeitet, die mit dem BOP Typ A Netzkoppelung betreiben will, wo keine grosse Regelbarkeit gebraucht wird. Spannungserhalt nur mit erheblichen Verlusten.

B) Direkte Kopplung mit veränderlicher Hydroeinheit (wire-to-wire od. shaft-to-shaft ohne Hilfsspeicher.)

Diese Standardlösung aus dem klassischen Hydraulikprogramm genannt „Wandler für eingepprägten Druck“ (Common Pressure Rail) wurde für Konstantdrucknetze mit servogesteuerter Schrägscheibe entwickelt, wird aber von keinem Hersteller mehr angeboten, da sich dieser Markt infolge des Eindringens der Leistungselektronik nicht entwickeln konnte. Durch seine Flexibilität und Kompaktheit wird die CPI-Technologie sicherlich ein willkommenes Abtriebsselement ab BOP-Hydraulikteil sein, möglicherweise in Form einer Kombination mit dem Hydrotransformator der Fa. *Innas / Breda* oder als zerhackergesteuerter Festmotor gemäss der während Jahren produzierten Bauart durch die Fa. *Viscotherm / Egg(ZH)*. Alle diese Systeme könnten bei grösseren Serien den Elektroantrieb preislich und wirkungsgradmässig verdrängen, als genereller BOP-Transformator dürfte die begrenzte Verdrängerraum-Variabilität (3:1 bei gutem Wirkungsgrad) ohne wesentlichen Entwicklungsaufwand enge Grenzen setzen. Spannungserhalt mit Verlusten.

C) Kopplung über Schwungrad (wire-to-wire od. shaft-to-shaft mit 1 Hilfsspeicher)

Der Umstand, dass das Drehmoment der Hydraulikeinheit mittels Schwungrad aufgefangen wird, erlaubt die Verwendung von kleineren An- bzw. Abtriebsselementen (elektr. Motoren, Wasserturbine usw.), da hier die Leistung durch hydraulische Pulsdauermodulation bei konstanter Drehzahl verwirklicht wird. Um gute Wirkungsgrade zu erzielen wird in den Schaltphasen die Hydraulik vom Schwungrad abgekoppelt, trotzdem bleibt bei Spannungserhalt ein nicht zu vernachlässigender Verlust bestehen, da das Schwungrad und der Motor mitlaufen. Die Wirkungsgrade sind jedoch über einen weiten Regelbereich sehr hoch.

D) Koppelung über Supercaps (nur wire-to-wire mit 1 Hilfsspeicher)

Hier ist der Hilfsspeicher eine Supercap-Bank die mittels Elektronik mit dem Motor (der hier wiederum der Maximalleistung des Hydromotors entsprechen muss) und dem Ein-/Ausgang verbunden ist: als Vorteil gilt die Möglichkeit der freien Wahl der Maximaldrehzahl während der Pulsdauermodulation (die somit immer mit dem besten Wirkungsgrad des Hydromotors arbeiten kann) und das Fehlen von Verlusten bei Spannungserhalt. Negativ wirkt sich der grosse elektrische Energiefluss über den Motor und zwei Silizium-Wandler), die bei grösseren Leistungen eine Begrenzung bedeuten können: hier wird noch über die interne Architektur nachgedacht, um die Auswirkung der Leistungsflüsse zu begrenzen.

E) Das zwei-Hilfsspeicher-System (wire-to-wire mit Schwungrad und Supercap)

Dies ist der Umbau der ersten Versuche (damals mit Batterien) auf Supercap, wobei hier praktisch alle Vorteile und Anforderungen vereint sind: es bleibt abzuschätzen, ob sich die Komplexität lohnt. Dabei stützt sich die Hydroeinheit direkt auf das Schwungrad ab, das wiederum fest verbunden ist mit dem Motor; zwischen Motor und Supercaps am Ein-/Ausgang befindet sich die Steuerelektronik, die wie alle Elemente zwischen Schwungrad und Ein-/Ausgang auf Nennleistung ausgelegt werden, und nicht auf die Spitzenleistung der Hydroeinheit (Faktor 5-10!). Die Pulsdauermodulation erfasst hier auch das Schwungrad, dessen kinetische Energie jeweils direkt von der Hydraulik verlustarm aufgenommen wird, wodurch auch die Kupplung entfällt; durch die kompensierende Elektronik zwischen Motor und Supercaps können grössere Drehzahlvariationen des Schwungrades toleriert werden, was zu kleineren Schwungrädern führt, die mittels Hydraulik in 10 – 15 s hochgefahren oder abgebremst werden können und somit die Zeitspanne definieren, in der die Supercaps die Nennleistung aufnehmen bzw. abgeben müssen.

Die Analyse dieser Transformator-Anordnungen dürfte die langwierigste Einzelaufgabe des Projektes sein, ohne die ein abschliessender Vergleich der verschiedenen Speichertechnologien pro Einsatzgebiet nicht stichhaltig sein kann; die Arbeiten für C und D sind schon weit fortgeschritten (EPFL, Cyphelly & Co.), so dass nach einer engeren Wahl die Modellierungen vertieft werden könnten.

3 Das Interface (quasi-isothermer Luft-Öl-Wandler als Tor zur BOP-B für die Transformatoren)

Als anflanschbares Modul an die frei wählbaren Transformatoren besteht das Interface aus drei getrennten Elementen, die aber einwandfrei zusammenspielen müssen: der **Druckwandler** (ein klassisches Bauelement der Hydraulik, das jedoch in Details angepasst werden muss, vielleicht auch mit der Ausgestaltung als Flüssigkeitstrenner), die **Arbeitsräume mit integriertem Wärmetauscher**, deren Geometrie und topologische Auslegung den Schlüssel zu guten Wirkungsgraden des BOP-B-Systems beinhalten, und schliesslich das **Schaltmanagement**, das mittels Sensorik und spezieller Ventiltechnologie die hin- und hergehende Bewegung und die Kompressions/Expansions-Abschnitte korrekt koordiniert. Da die Arbeitsräume mit der Ventilanordnung aus Gründen der Totraumminimierung eng verzahnt sind, müssen beide konstruktiv und berechnungsmässig aufeinander abgestimmt werden, was in einer Zusammenarbeit mit *Menhardt KG*, *Cyphelly & Co.* und der *EPFL* vorgesehen ist. Die Arbeiten müssen sich auf Erfahrungen mit früheren Interface-Projekten stützen, deren Theorie und Modellierung auf diesen Fall übertragbar sind.

4 Der elektrische Motor/Generator

Die Mehrzahl der Anwendungen sehen elektrischen Ein- und Ausgang vor, somit kommt der rotierenden Elektromaschine zentrale Bedeutung zu; diese meist als Synchronmaschine mit rotierenden Permanentmagneten in der Paarung elektronische Steuerung / Hall-Sonden-Sensorik ausgeführten Maschinen weisen im allgemeinen unbefriedigende Wirkungsgrade auf (in der 1-kW-Grösse krebzen diese Systeme mühsam in Richtung der 90 % - Marke, wobei sich die Verluste ungefähr hälftig auf die Eisenverluste und die Schaltverluste verteilen): dies mündet sinngemäss in untragbaren Leerlaufverlusten bei Spannungserhalt die bis dato nur durch die Supercap-Lösungen D und E überspielt werden können, da die Maschine in den Pulspausen trotz Spannungserhalt steht. Obschon die Lösung dieser Thematik nicht ein Projektziel war, stiess das BFE-Projekt Nr. 45375 schon auf diesen Missstand, was *Cyphelly & Co.* und *Brückmann Elektronik* veranlasste, Vorarbeiten in Lösungsansätze zu investieren, deren Resultate nun in dieses Projekt einfließen werden, einerseits als Steuerung (deren Verluste auf 20 W tendieren, bei einer Nennleistung von 1 kW) und andererseits in Konzepten der internen Maschinenarchitektur die in Fachdiskussionen mit einschlägigen Firmen wie *Lindegger* und *Rosseta* besprochen werden sollen. Inzwischen wird die neue Steuerung mittels Einsatz auf einer Einheit von *Perm Motor/Breisach* unter rauen Bedingungen auf einer Hirsemühle in Afrika auf Herz und Nieren geprüft, mit Unterstützung der *UNI Dakar / LEA*, *Prof. Adj* und einer lokalen Dorfgemeinschaft, die solche Geräte auf Bürstenmotorenbasis betreibt und somit Vergleichswerte besitzt (Photovoltaik mit Bleibatterien: sicherlich einer der ersten Kundenanwärter für die BOP) [8].

5 Die BOP im Wettbewerb mit anderen Speichersystemen

Die erdrückende Mehrzahl von Speicheranwendungen werden im kleinen Energiebereich von elektrochemischen Batterien bestritten, grosse Energiewerte gehören dem Pumpspeicherwerk. Die einzigen Ausnahmen bilden einige CAES-Anlagen, vorab die bekannten Huntorf und McIntosh, aber auch kleinere Systeme, die den stark schwankenden Leistungsbedarf von Industrieanlagen ausgleichen (z.B. Walzstrassen in Indiana mit Pipe-Line-Rohrstücken als Speichervolumen, also ohne Kaverne). Dies zeigt, dass der Markt nicht von Speichersystemen her strukturiert wird, sondern von Fall zu Fall von der Anwendung – mit einem starken Schwerpunkt bei mobilen Anwendungen (Traktionsbatterien, Starterbatterien – es gibt noch nach wie vor Druckluftstarter in

gewissen Anwendungen von Brennkraftmaschinen!); dies sind auch die Hürden, die das *INVESTIRE-Network* bis jetzt nicht überwunden hat, so dass die endgültige Redaktion kaum vor Ende 2003 vorliegen wird, und zwar aus verschiedenen Gründen:

- es herrscht noch keine Einigkeit über die physikalischen Kriterien und deren Gewichtung
- die wichtigsten Querberichte werden von Technologievertretern gemacht, so z.B. die Beurteilung über die Anpassung der Systeme an die Anwendung, bei der unverfroren Li-Ion herauskommt, da der Verfasser Li-Ion vertritt! (s. Bild 2: hier sehen wir, wieviel Arbeit noch zu leisten ist)
- das Ausfüllen der Fragebögen schlampig ist, da die Einordnungen nur für Bleibatterien passen

... und vieles mehr.

Table 13: Matching of storage technologies for given applications by WP2.

Category	Name of class	typical storage size [Energy]	relative discharge power [x C10]	relative maximum discharge power [x C10]	relative charge power [x C10]	average time of autonomy / days]	typical depth of discharge per cycle	typical number of cycles [1/day]	typical number of equivalent full cycles [1/year]	Recommended storage technology	
										first choose	second choose
1	Consumer product	< 1 Wh	0.005	0.005	0.05	20	0.5%	10	20	Li-Ion	Li-Metal
1	Telemetric and sensor power supply	10 - 1000 Wh	0.01	0.1	0.05	20	5.0%	1	20	Li-Ion	Lead-acid
1	Telecommunication	10 - 100 kWh	0.01	0.1	0.05	20	5.0%	1	20	Li-Ion	Lead-acid
2	Solar Home System	100 - 1000 Wh (typ. 1 kWh)	0.02	0.02	0.1	4.5	20.0%	1	75	Li-Ion	Lead-acid
2	Wind Home System	1 - 10 kWh (typ. 1 kWh)	0.02	0.02	0.2	4.5	10.0%	2	75	Li-Ion	Lead-acid
2	Technical power supply systems	10 - 100 kWh	0.02	0.02	0.05	7.5	15.0%	1	50	Li-Ion	Redox flow, Lead-acid
2	Application specific power supplies (consumer)	10 - 100 Wh	0.05	0.05	0.1	3	30.0%	1	100	Li-Ion	Lead-acid
2	Solar systems for community power supplies	10 - 100 kWh	0.05	1	0.1	3	30.0%	1	100	Li-Ion	Redox flow, Lead-acid
2	Hybrid system for stand-alone house	10 - 100 kWh	0.05	0.05	0.1	1.5	20.0%	3	200	Li-Ion	Redox flow, Lead-acid
2	Solar Home System for productive appliances	1 - 10 kWh	0.1	1	0.1	3	30.0%	1	100	Li-Ion	Lead-acid
2	Village power supply system	100 - 1000 kWh	0.1	0.1	0.2	1.5	20.0%	3	200	Li-Ion	Redox flow, Lead-acid
2	Large village power supply	10 - 100 kWh	0.1	0.1	0.2	0.3	10.0%	10	400	Li-Ion	Redox flow, Lead-acid
3	Levelling of power production	100 - 1000 kWh	0.5	0.5	0.5	0.04	50.0%	5	1000	Supercap	Oversized lead acid or Li-Ion)
3	Levelling of power production for weak grids	10 - 1000 kWh	0.5	0.5	0.5	0.2	80.0%	1	300		redox flow
3	Space satellite	10 - 100 kWh	0.5	0.5	0.2	0.1	80.0%	2	600	Li-Ion	Ni-MH
3	Solar pocket lamp	1-10 Wh	1	1	0.05	0.04	100.0%	0.5	200	Li-Ion	NiCd
3	Electric vehicles	0.1-10 kWh	1	10	1	0.04	80.0%	2	400	Supercap / Li-Ion	NiMH
3	Load levelling in low voltage grid	10 - 100 kWh	2	2	0.5	0.04	70.0%	2	500		
4	PG management in grids with renewables	1 - 100 kWh	100	100	100	0.0004	80.0%	500	100000	Flywheel	Supercap
4	PG management in grids with renewables	100 - 1000 Wh	100	100	100	0.0004	80.0%	500	100000	Supercap	Flywheel
4	Water pumping system	1 - 10 Wh	100	100	5	0.002	80.0%	10	3000	Supercap	Oversized Li-Ion

Bild 2) Matching of Storage Technologies: in 17 der 21 Kategorien soll Li-Ion die Lösung sein!

Unsere erste Aufgabe wird sein, einen vernünftigen Katalog an Eigenschaften mit Gewichtungskriterien aufzubauen, die eine direkte Brücke zu den Anwendungsanforderungen öffnet, natürlich gestützt auf die Vorarbeiten von *INVESTIRE*, aber auch auf die Darstellungen in der *Wuppertaler Konferenz über erneuerbare Energien* und viele andere Kolloquien und Veröffentlichungen.

Nationale Zusammenarbeit

National wie International gibt es drei Sorten von Kontakten:

- 1) Zusammenarbeit in der Konzeption und Entwicklung des Systems; in der Schweiz ist dies ausserhalb der Projektteilnehmer die Fa *Lindegger / Gümligen (Motgen-Konzeption)*, *Leduc / Freiburg (Mikrohydraulik)* sowie Lieferanten mit Beratungsdiensten *Hydrel / Romanshorn (Hydroeinheit)*, *Rexroth / Buttikon (Hydraulikventile)*, *Flender / Lenzburg (Antriebsselemente)*, diese Liste -- wie auch die weiteren -- werden im Laufe des Projektes nach Bedarf erweitert.
- 2) Kontakte mit Anwendungspotential: *Horlacher / Möhlin (Zebbralift)*, *Eidg. Militärverwaltung (Nutzung der Kavernen mit explosionssicherem Beförderungsmittel oder als Speichervolumen)*, *Aventa / Winterthur (Koppelung an Windgeneratoren)*. Der Teilnehmer *Brückmann Elektronik* besitzt ein eigenes Anwendungspotential in abgelegenen Gehöften mit kombinierter Photovoltaik und Kleinhydraulik (Pelton).
- 3) Kontakte für wirtschaftliche Nutzung: hier sollte es erst gegen Ende des Projektes konkret werden, Kontakte bestehen schon mit *Alstom / Baden* und mit *Solaronix / Aubonne*.

Zu diesem Abschnitt müssen auch die guten Beziehungen zu Komponenten-Lieferanten erwähnt werden, mit dem Beispiel Montena-Maxwell im Bereich Superkondensatoren. Solche Synergien sind (und werden laufend) innerhalb von anderen Forschungsprojekten im Bereich Energiespeicher aufgebaut [9], [10], [11], [12]..

Internationale Zusammenarbeit

Hier wurden vorab bestehende Partnerschaften der einzelnen Partner aktiviert, es sind folgende Angaben hervorzuheben:

- 1) *IFAS-Prof. Backé / RWTH Aachen (Hydroeinheit)*, *Rosseta-Dr. Täubner / Rossau (Gasdiffusion)*, *Inst. f. Tribologie-Prof. Barth / TU Clausthal (Thermodynamik & Lagerungen)*, *Perm-Motor / Breisach (Elektromotor)*, *LEA-Prof. Adj / Uni Dakar (food-processing mit rotierenden Maschinen)*; hierzu gehört auch die Beteiligung von *Cyphelly & Co.* an EU-Projekten wie *INVESTIRE (ENK5-CT-2000-20336)* über seinen Lizenznehmer *Alternativas CMR*.
- 2) Hier sind vorab die in der dezentralen Elektrifikation tätigen Organisationen, so z.B. die *Weltbank in Dakar*, *ASER (Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale)*, ebenfalls in *Dakar* [8] und eine ganze Schar von *Nicht-Regierungs-Organisationen (NGO)*. Es sind Gespräche mit Fernmelde-Betreiber in Frankreich und Spanien vorgesehen, sowie Hersteller von Notstromaggregaten / UPS und von Manövriehilfen für Schiffe mit abgestelltem Motor. Auch hier sind mehrere Windgenerator-Hersteller an Konzepten interessiert, so z.B. *RePower / Husum-Hamburg*.
- 3) Auch hier gilt das Abwarten bis gegen Projektende; einige Energiefirmen bekunden Interesse an der Vorführung von Prototypen *GdF / Levallois*, *EnBW-Piller*, *Osterode*.
- 4) Die EPFL-LEI hat im Herbst 03 ein Gesuch für ein Kooperationsprojekt mit den Universitäten von Douala/Kameroun und Dakar/Senegal eingereicht, diese Beziehungen entstehen aus früheren und aktuellen Kontakten mit diesen Anstalten, sowohl von der Seite der EPFL als von der Seite von Cyphelly & Co. Dabei wurde das BFE als Drittpartner vorgeschlagen. Die Evaluation des Projektes ist für Anfang 2004 erwartet.

- 5) Teilnahme an internationalen Tagungen und Peer-Reviews im Bereich Energiespeicher [13].

Bewertung 2003 und Ausblick 2004

Die allgemeine Stimmung für die Speicherproblematik ist ausserordentlich günstig, insbesondere nach den sich wiederholenden Blackouts, die die ganze Starrheit des heutigen Systems verrät, das gemäss Experten-Einschätzung ohne Speicherungen nicht mehr als 20 % stochastischen Anteils verträgt, was die erneuerbaren Energien in die Sackgasse führt.

Was die BOP-Systeme betrifft kann klar festgestellt werden, dass ohne verlässliche Funktionsmuster – insbesondere für den Typ B – kein handfester Zuspruch kommen kann, es muss also der Dreisatz *INTERFACE – TRANSFORMATOR – MOTGEN* entsprechend den Vorarbeiten und Projektionen gelöst werden, ohne die Ansammlung des notwendigen Wissens in Sachen *GASLÖSLICHKEIT* in Betriebsflüssigkeiten.

Referenzen

- [1] Patrick Jourde, **Battery Energy Payback Time**, CEA Cadarache 2002
- [2] Didier Mayer et Al. **Stand Alone Power System Coupling a PV Field and a Fuel Cell: First Experimental Results**, European PV-Hybrid and Mini-Grid, Kassel 2003 Germany
- [3] Hans-Jörg Barth. **Druckluftspeicherung**, C.F. Müller Verlag, Okt. 2002
- [4] S. Lemofouet, A. Rufer, I. Cyphelly, P. Barrade, F. Grasser, **Principle of a hybrid Compressed Air and Supercapacitors Energy Storage system with Maximum Efficiency Point Tracking**, STORE: Storage for Renewable Energies, 20-21 October 2003, Aix-en-Provence, France. EESAT: Electric Energy Storage Applications & Technologies, 27 October 2003, San Francisco, USA
- [5] Tim De Vries, **System Justification and Vendor Selection for the Golden Valley BESS (Battery Energy Storage System)**, Golden Valley Electric Association, Fairbanks, AK, EESAT Conference 2002, Electrical Energy Storage Applications and Technology, April 15-17n 2002, San Francisco
- [6] Septimus Van der Linden, **CAES for today's Market**, EESAT Conference 2002, Electrical Energy Storage Applications and Technology, April 15-17n 2002, San Francisco CA
- [7] P. Achten, T. Van Den Brink, **Design and Testing of an Axial Piston Pump Based on the Floating Cup Principle**. NL 4823 AE Breda, The Netherlands.
- [8] Michel Villos, Anne Labouret **Energie Solaire Photovoltaïque** Dunod 2003, ISBN 2 10 005610 7, pages 170 - 173
- [9] A. Rufer, P. Barrade, **Stockage d'énergie électrique par super-condensateurs**, Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Association des entreprises électriques suisses (ASE/AES), No 7, 28 March, page. 27-31.
- [10] A. Rufer, P. Barrade, **A Supercapacitor-Based Energy-Storage System for Elevators With Soft Commutated Interface**, IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 38, Issue: 5, September/October 2002, Pages: 1151-1159.

- [11] A. Rufer, P. Barrade, D. Hotellier, ***Supercondensateurs et stockage d'énergie, solution pour l'alimentation en bout de ligne des transports publics*** Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Association des entreprises électriques suisses (ASE/AES), No 7, 28 March 2003, pag. 21-24.
- [12] A. Rufer, D. Hotellier, P. Barrade, ***A Supercapacitor-Based Energy-Storage Substation for Voltage - Compensation in Weak Transportation Networks***, IEEE PowerTech Conference 2003, 23-26 June, Bologna, Italy
- [13] Susan M Schöning, William V Hassenzahl ***Long-vs. Short Term Energy Storage Technologies Analysis, A Life-Cycle Cost Study***, A Study for The DOE Energy Storage Systems Program", Sandia Report, SAND 2003-2783, Sandia National Laboratories, Albuquerque NM and Livermore CA