

Jahresbericht 2002, 9. Dezember 2002

Projekt Druckluft – Ein Energiespeicher der Zukunft

Autor und Koautor beauftragte Institution	Ivan Cyphelly, Les Brenets, Philipp Brückmann, Davos Cyphelly & Co, Les Brenets
Adresse	Case postale 18, 2416 Les Brenets
Telefon, E-mail, Internetadresse	026 677 24 43 cyphe@ran.es cmr@ran.es brueckmanelektronik@bluewin.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	45375
Dauer des Projekts (von – bis)	1. April 2002 – 31. März 2004

Zusammenfassung

Die zwei ersten Phasen A und B (von sechs) sind abgeschlossen, d. h. dass das einfache 1,5 kW-„Kraftpaket“ inkl. Hydrosteuerung, Schwungrad, Elektronik und Elektro-Motor/Generator (Bürstenlos) konstruktiv ausgestaltet wurde und zwecks Prüfläufen mit klassischen Hydraulik-Akkumulatoren (Blasenspeicher) versehen in Davos im Betrieb besichtigt werden kann.

Im Sinne der Arbeitsplanung liegen schon Entwürfe für die Hydroeinheit-Auskoppelung in den Schaltintervallen vor, was die Wirkungsgradoptimierung einleitet, die durch Verminderung der Leerlaufverluste fortgesetzt werden soll: hier sind vor allem die Wirbelverluste des Schwungrades und die Eisenverluste des Elektro-Motor/Generators im Visier.

Die begleitende Untersuchung der Gaslöslichkeits-Effekte hat schon bei den ersten Testreihen mit einer ungünstigen Paarung (Stickstoff/Hydrauliköl auf Mineralbasis) gezeigt, dass die Lösungsdynamik die Löslichkeit (Bunsen/Ostwald) überschattet (das Lösen kann durch die Gestaltung des Flascheneinlasses und der Frischölführung derart stark beeinflusst werden, dass schon jetzt ein Probebetrieb mit dieser Paarung möglich ist!), allerdings hat bisher die Literatur-Auswertung hier nur magere Resultate gebracht und muss verstärkt werden.

Durch aktive Teilnahme an Energiespeicherungs-Kolloquien und EU-Netzwerken hat sich ein unmittelbares Anwendungsfeld für die einfache Flüssigkolben-Speichertechnik herauskristallisiert, und zwar die Domäne kleiner Speicherkapazitäten mit grosser Leistung, ein Gebiet in das Bleibatterien kaum eindringen können, da deren Nennleistung fest an die Nennkapazität gebunden ist; diese Tatsache soll im weiteren Verlauf des Projektes mitberücksichtigt werden, ebenso wie die Eignung der Interface-Lösung für grössere Ausgleichssysteme bis hin zum Langzeitspeicher.

Projektziele

Die Vorteile, die das Speichern von Energie durch Verdichten von Gasen gegenüber Bleibatterien verspricht (s. Anhang I) – insbesondere dank des Kraftübertragungssystems **BOP** (Batterie mit Ölhydraulik und Pneumatik) – sollen anhand des einfachen Flüssigkolbenspeichers (Speicher Typ A) nachgewiesen werden, und zwar insbesondere hinsichtlich des erreichbaren **Wirkungsgrades** und der **Anpassungsfähigkeit** an jedwelches Last- und Speisekollektiv: erst die Erhöhung der Berechnungen durch Messdaten wird die Skepsis überwinden können, die logischerweise einem aus Uralt-Bausteinen zusammengefügten System ohne Hightech-Glamour entgegengebracht wird, nach dem Motto, dass sicher etwas so altertümliches schon lange auf dem Markt wäre falls nicht versteckte Mängel existierten! Der erfolgreiche Abschluss dieses Projektes würde also einer Weiterentwicklung über das Interface-System (Speicher typ B) das Tor öffnen, deren Machbarkeit durch die in Anhang II zusammengestellten Bedingungen logisch begründet wird. Die Umsetzung dieser Konzepte führt dann zu einer ganz neuen Energiekette mit erstaunlichen Eigenschaften wie die Möglichkeit einer augenblicklichen Aufladung bzw. Aufteilung der gespeicherten Energie, einer genauen und alterungsunabhängigen Ladezustandserfassung und vieles mehr, wobei die Konkurrenzfähigkeit der Kostenstruktur durch die Verwendung von Behältern der eingespielten Gasindustrie recht verlässlich voraussehbar ist.

Neben vielen der klassischen Anwendungen der Speichertechnik, die durch BOP meist besser und preiswerter wahrgenommen werden könnten sind auch bisher nicht realisierbare Konzepte in Reichweite, so insbesondere die sog. *split storages* für autonome Regalsysteme und Querlifte, bis hin zu originellen Transportsystemen wie der *ZEBRALIFT* der Fa. *Horlacher/Möhlín* : hier wäre zudem die hohe **Energiedichte** des B-Typs entscheidend, die durch den hohen Reifegrad der standard-Gasflaschen ermöglicht wird, ganz zu schweigen von den Kohlefaser-Vollkunststoff-Behältern für CNG nach *ISO11439*. Hier könnte die BOP einen grossen Teil der *SUPERCAP*-Anwendungen wegschnappen, da deren Energiedichte mit ca. 2 Wh/l noch unter dem A-Typ liegt.

Ziel des Projektes ist also die fundierte Darstellung der BOP-Potentialitäten als **Energiespeicher mit Zukunft**, belegt durch Erhebungen am 1,5-kW –Funktionsmuster.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Vier Aufgaben wurden in diesem ersten Monaten parallel verfolgt, wovon die ersten drei direkt Hardware produzieren und die letzte die wissenschaftliche Basis erweitert, wozu auch eine Auseinandersetzung mit anderen Speichertechnologien gehört, die teilweise die Züge einer vorgezogenen Marktanalyse annimmt:

- 1) **Der Aufbau des Transformators**, in der vereinfachten Version (ohne Kupplung und ohne Optimierung des Wirkungsgrades, aber schon mit angepasstem Funktionsblock) erfolgte bei der Fa. *Brückmann Elektronik*, Davos (siehe Fig. 1), wobei die Hauptteile von den Firmen *Prime*, *La Bresse* (Funktionsblock), *RHW*, *Baume-les-Dames* (Schwungrad mit Trommel), *Volvo/Parker* (Hydraulik-Motor/Pumpe) und *Bosch/Rexroth*, *Buttikon* (4-Wege-Schieberventil NG 10) stammen. Die Regie für die Hydraulik-Auslegung samt Verrohrungen wurde von der Fa. *Heldstab*, Davos unter Anleitung von *Cyphelly & Co* ausgeführt, mit Koordinierung seitens *Brückmann Elektronik*. Der Entwurf und die Umsetzung der elektronischen Steuerung des Transformators (Ansteuerung der Schieberventil-Spulen zwecks Drehzahlregelung des Schwunggrades) bildet den Schwerpunkt dieser Phase, wobei schon gegenüber den käuflichen Elementen beträchtliche Einsparungen an der Steuerleistung erreicht wurden. (ca. 7W bei schneller Schaltung <20 ms). Diese Transformator im Rohbau nimmt ca. 330W auf (schätzungsweise 80W für das Schwungrad, 150W für die Hydraulik und 100W für den Generator/Motor von *Bartholdi, Koblenz*): hier muss die Verlustminderung einsetzen.

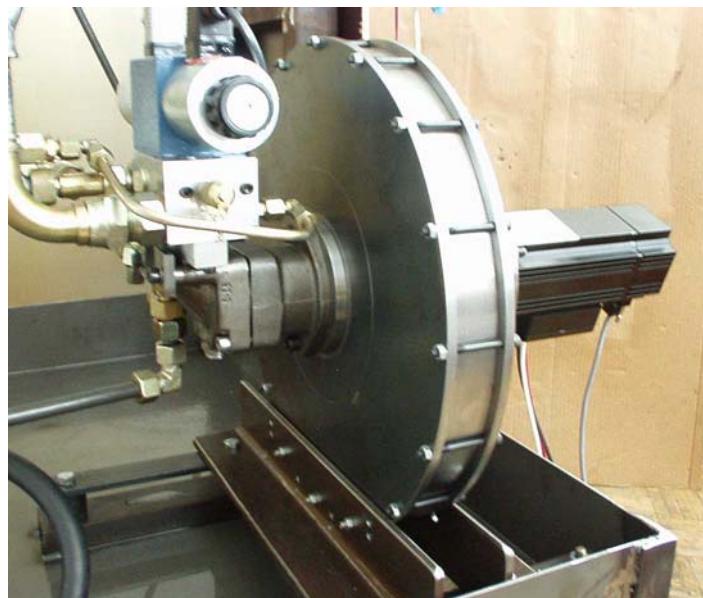


Bild 1: Prüfaufbau mit Schwungrad (in der Trommel), bürstenlosem Motor/Generator (schwarz) und 4-Wegeschieber auf Hydromotor/pumpe

- 2) **Die Suche nach dem optimalen Motor/Generator** wurde von *Cyphelly & Co* in direkter Zusammenarbeit mit *Brückmann Elektronik* vorangetrieben, wobei schon jetzt vier Möglichkeiten geprüft werden (elektronisch kommutierte Einheit der Fa. *Bartholdi*, Koblenz, der 4-Bürsten-Motor *Leeson* aus dem Projekt „schnelle Füllung“, ein Bürsten-Scheibenläufer sowie ein Bürstenloser Scheibenläufer der Fa. *Perm-Motor, Breisach*), die mit wenigen Handgriffen auf dem Prüfstand ausgewechselt werden können. Die optimale Parameter-Paarung soll ein Minimum an Leerlaufverlusten mit einem höchstmöglichen Wirkungsgrad bei Nennleistung vereinen, der Stand ist vorläufig auf 30W/85% (*Bartholdi*) und 50W/92% (*PermMotor*); die Wunschvorstellung liegt bei 10W/92%, die vermutlich nur mittels Huckepack mit einer kleinen eisenlosen Maschine oder durch variablen Spalt erreicht werden kann.
Die Suche nach einem guten Motor/Generator dient den „Wire-to-Wire“-Anwendungen, wogegen oft „Wire-to-Shaft“ (z.B. Photovoltaik zu Mühlenantrieb) oder „Shaft-to-Shaft“ (z.B. Windrad zu Kühltank) gesucht werden, bei denen sich die Wirkungsgrad-Problematik ganz anders darstellt, meist mit überwältigendem Vorteil zugunsten von BOP.
- 3) **Die Untersuchung von günstigen Paarungen Gas/Flüssigkeit** als Daueraufgabe im Rahmen dieses Projektes wird versuchsmässig von der Fa. *Newrock, Zruc* betreut, die hierfür Teile ihrer Hochdruckbehälter-Prüfeinrichtung umgebaut hat. Die ersten Resultate zeigen, dass die Diffusion des Gases in der Flüssigkeit (hier Stickstoff in Hydrauliköl) sehr langsam ist und von der Füllart abhängt: bei günstigem Vorgehen schwimmt offensichtlich ein wenig durchlässiger Schaumpropfen auf der Öl-Oberfläche und bleibt extrem stabil während Tagen oder sogar Wochen, das entnommene Öl bleibt klar solange der Spiegel nicht allzustark sinkt, hier ist ein weites Forschungsfeld zu betreten, das den Umfang dieses Projektes vermutlich überschreitet. Die dazugehörende Literatur-Recherche wurde von der UNI Augsburg übernommen.
- 4) **Der Erfahrungsaustausch und der Vergleich mit anderen Speichersystemen** wurde durch Teilnahme an verschiedenen Konferenzen vorangetrieben, wobei auch die Beiträge über BOP kritisch durchleuchtet und eingehend diskutiert wurden, insbesondere an zwei VDI-Tagungen in Würzburg (*VDI-Berichte 1681 (1) und 1734 (2)*); außerdem erlaubt die Beteiligung an einem EU-Speichertechnologie-Netzwerk (*INVESTIRE*) über die Fa. *Alternativas CMR, Spanien* und mit Unterstützung der Fa. *Dynatex, Morges* die klare Orientierung der Ausgestaltungen und eine begründete Positionierung der BOP-Technologie gegenüber Elektrochemischen Speicher, Schwungradspeicher, Supercaps,

Supraleiter, Brennstoff-Zellen usw. Ein diesbezüglicher Bericht seitens des Netzwerkes wird im ersten Halbjahr 2003 erscheinen, aber in grober Zusammenfassung kann schon jetzt gesagt werden, dass in den Hauptkriterien für stationäre Wire-to-Wire Speicher (Zyklusfestigkeit, Energieerfassung, Preis, Lebensdauer und Umweltbelastung > Grauernergie-Analyse seitens Newrock in Anhang III) oberste Bewertungen erreicht werden und dank Sondereigenschaften wie schnelles Laden, grosse Auswahl an Behältertypen (ultra-leichte Kohlenfaserzylinder bis zu preiswerten Stahlflaschen) und fast unendliche Lagerbarkeit sicherlich schnell Teilmärkte erobern kann (eine detaillierte vergleichende Darstellung der Speichertechnologien mit Hydraulik ist auch auf Seite 188 von (3) zu finden, wo schon bestehende Anwendungen erwähnt werden; im gleichen Werk auf Seite 85 ist die Methode zur Spaltverlustbestimmung in drehenden Hydraulikmaschinen aufgeführt, ein entscheidendes Kriterium bezüglich des Herzstückes des BOP-Konzeptes).

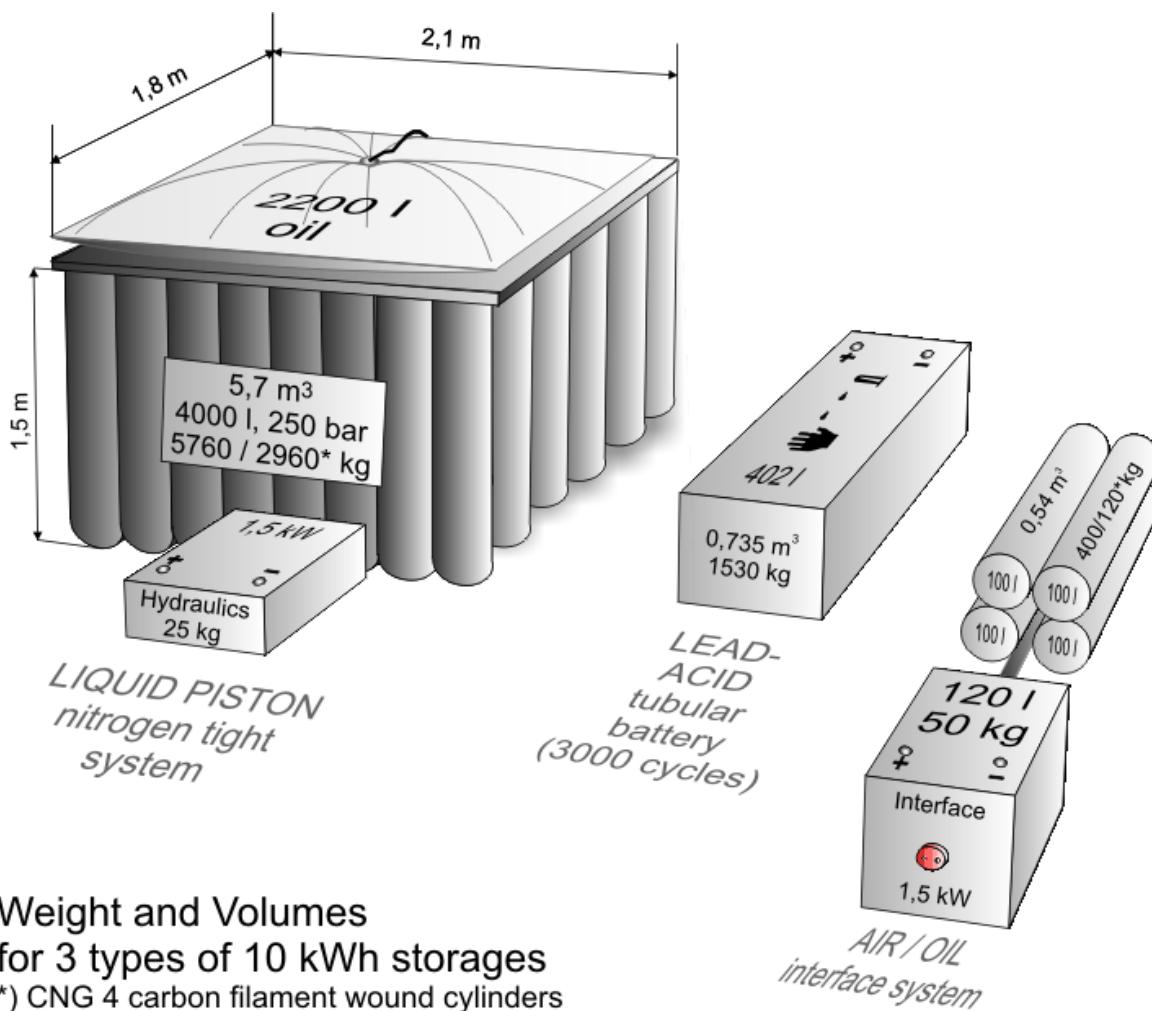


Bild 2: Vergleich zwischen BOP und Panzerplattenbatterien; Supercaps, SMES und langsamlaufende Schwungradspeicher sind in der Baugröße dem Flüssigkolben (A) ähnlich, Faser-Schwungradspeicher liegen zwischen Panzerplatten-Batterie und Interface-BOP (B). (> (2))

Nationale Zusammenarbeit

Der inländische Beitrag zum BOP – Projekt besteht vor allem aus der Beratungsarbeit der verschiedenen Zulieferfirmen im Hydraulikbereich und dem Einsatz in einem vertraglichen Rahmen von *Brückmann Elektronik*, der bis zur kreativen Begleitung von Teilentwicklungen reicht.

Eine Zusammenarbeit im *EPFL* mit *Prof. Favrat* vom *LENI* (*Laboratoire d'Energétique Industrielle*) wurde erwogen und mittels Korrespondenz-Austausch mit Besuch in Lausanne ausgelotet: die Arbeiten in Lausanne betreffen aber zurzeit die Ausstattung von Antriebssystemen mit Supercaps, (wobei auch ein Handwerkzeug-Pneumatiksystem mit einem Niederdruck-Behälter optimiert wurde), wogegen das BOP-Projekt das Wandlersystem zwischen Luft und Nutzenergie derart gestalten will, dass annehmbare Wirkungsgrade mit grosser Lebensdauer garantiert werden können. Eine Hilfestellung auf Universitätsebene wäre nur dann sinnvoll und willkommen, falls ein Institut sich dieser Problematik annehmen würde, die nur bedingt mit speziellen Optimisierungs-Algorithmen für Mikroprozessoren zu tun hat: es ist also ein weiteres Vortasten erwünscht.

Internationale Zusammenarbeit

Die Beteiligung über *Alternativas CMR* am INVESTIRE-Netzwerk (CONTRACT No ENK5-CT-2000-20336 Thematic Network) hat mit Hilfe von *Dynatex, Morges* – *Herr Michel Villoz* eine reichhaltige Ernte an Informationen eingebracht, insbesondere im Rahmen des *Work Package Storage Technology 8 (Pneumatic Storage / Compressed Air)*; als grenzüberschreitende Zusammenarbeit kann auch die Aufnahme der Fa. *Newrock, Zruc* in das Projekt bewertet werden, die insbesondere in der Faser-Behältertechnologie zu Hause ist (> Anhang III), ebenso wie die Beratung von *Prof. M. Guillot, Vernou-en-Sologne*, der u.a. durch die Integration von hydraulischen Speichertechnologien in Flugzeugen und Raketen bekannt ist (>3).

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Da das Projekt erst im 2. Semester anlief sind (noch) keine Rückschläge zu verzeichnen, allerdings fallen die Hürden auf, die beim quellenmässigen und intellektuellen Eindringen in die Dynamik der Gasdiffusion in Flüssigkeiten auftauchen, so dass man z.Zt. überspitzt feststellen muss, dass die Maschine läuft aber wir wissen noch nicht warum. Die erste Korrektur betrifft somit den erhöhten Einsatz in der diesbezüglichen Literatur-Aufbereitung.

Im direkten Bezug auf die eingangs erwähnten Projektziele galt es auch, das Fehlen an Hightech-Glamour abzubauen, und zwar über eine didaktisch wirkende und schnell nachvollziehbare Begründungskette deren vorläufiger Ansatz in Anhang II festgehalten ist, wobei im Anhang IV die Entwicklungsaufgaben aufgeführt sind, die sich aus dieser Wirkkette ergeben, sowie die Hürden, die zu erwarten sind. Hierfür ist die Bestandesaufnahme von *Prof. M. Dehli, Esslingen* ausserordentlich hilfreich, zumal hier die Wirkung einer vervielfältigung der Kompressionsstufen bis hin zur reversiblen Isothermen Verdichtung (die einer unendlichen Stufenzahl von isoentropen Verdichtungen entspricht) eindrücklich beschrieben und begründet wird. (siehe (1), Seite 179): hier knüpft ja das BOP-Prinzip an, das auf einen Wärmeaustausch während der Kompression/Entspannung beruht und dies dank einer topologischen Ausgestaltung ohne erheblichen Steuerungsaufwand ermöglicht.

Im Jahr 2003 steht sinngemäss die Verlustverminderung des Transfornators auf dem Programm, die vor allem das Schwungrad (Umbau der Topologie? Heliumhülle? Lagerung?) und die Hydraulik (Entkoppelung, Druckabfälle, Steuerung, Lärm) betrifft.

Referenzen

- [1] **Druckluft-Erzeugung, Aufbereitung, Verteilung, Anwendung, Planung** VDI- Bericht 1681, Tagung Veitshöchheim 23/24 April 2002, insbesondere M. Dehli: *Untersuchungen zur energiesparenden Drucklufterzeugung mit ein- und mehrstufigen Verdichtern*, Seite 179, **ISBN 3-18-091681-8**
- [2] **Energiespeicher-Fortschritte und Betriebserfahrungen** VDI- Bericht 1734, Tagung Veitshöchheim 5/6 November 2002, insbesondere *Vergleich der Speicherenergien SMES / Schwungrad / Batterie / Kondensator*, Seite 68, **ISBN 3-18-091734-2**

- [3] Marcel GUILLOU: ***Commande et Asservissement Hydrauliques et Electro-hydrauliques***, insbesondere Energieinhalte von Druckspeichern (Seite 184), Berechnung von Verlusten in rotierenden Spaltsystemen (Seite 84) und Vergleich von Energiespeichern mit Hydraulik (Seite 188). Tec-Doc Lavoisier, 1992, **ISBN 2-85206-756-0**

ANHANG I

VERGLEICH ZWISCHEN BOP & PANZERPLATTEN-BLEIBATTERIEN

Eigenschaft / Bezeichnung	BOP – Speicher	Bleibatterie
Erfassung des Ladezustandes	<u>genau mittels Manometer</u>	über Spannung: ungenau da altersabhängig, Messung bedeutet Betriebsunterbruch.
Gefahrenpotential	<u>Leckstrahl, ansonsten ExSchutztauglich</u>	Knallgas am Ende des Ladevorganges / Säure
Maximale Lade- bzw. Entladeleistung	<u>beliebig, hängt von der Hydraulikauslegung ab</u>	Speicherkapazität begrenzt Strom auf 0,1Ah
Korrosion durch Stratifizierung der Säure	<u>keine, kann überdimensioniert werden</u>	sehr stark, falls Volladung nicht erreichbar
Spannungsschwankungen	<u>5%, durch Schwingradregelung gegeben</u>	- 11,5 % / + 20% (Standard-Ladungen)
Selbstentladezeit mit Erhalt der Spannung (40C,10kWh,1kW)	14 Tage	<u>ca. 180 Tage</u>
Selbstentladezeit ohne Erhalt	<u>Jahre</u>	ca. 180 Tage
Andauernde Vollentladung	<u>kein Schaden</u>	Totalschaden
Erhalt der Speicherkapazität	<u>Dauerfest</u>	Abnahme mit Alter & Entladegeschw.
Geräuschbildung	intermittierend 70dB	<u>kein Geräusch</u>
Zyklenfestigkeit	<u>>15000 (ISO 11439)</u>	stark begrenzt, die folgenden Angaben gelten bei 3000 Zykl. / 5h
Wirkungsgrade (Welle-Welle) (Strom-Strom)	A: <u>84%</u> B: <u>68%</u> A: <u>68%</u> B: <u>60%</u>	65% (neu), 50% (alt) <u>80% (neu)</u> , 60% (alt)
Grosshandelspreis bei 10 kWh in EUR / Wh	A: 1,0 B: <u>0,1</u> / 0,4	0,3 – 0,5
Energie pro Gew. (Wh/kg)	A: <u>1,75</u> B: <u>23</u> / <u>50</u>	6-9
Energie pro Vol. (Wh/l)	A: <u>1,6</u> B: <u>24</u>	13-14

NB.: die erste Zahl beim B-Speicher bezieht sich auf Stahlspeicher, die zweite auf Vollkunststoff-Kohlefaserspeicher

ANHANG II

ENERGIESPEICHERUNG IN GASEN

CYPHELLY & Cie

Bedingungen für konkurrenzfähige Energiespeicherung in verdichteten Gasen	Lösungsansatz für beide BOP – Systeme	
	Flüssigkolben (Syst.A)	Interface (Syst.B)
Höchste Wirkungsgrade mittels Isothermer Verdichtung und Entspannung	Dank Wärmeaustausch mit der Umgebung während des Prozesses	
	Der Arbeitskolben und das Speichervolumen sind identisch, daher vorzüglicher Wärmeaustausch bei langsamem Vorgang.	Wärmetauscher im Arbeitskolbenraum kombiniert mit Ljungström-Effekt (thermischer Haut-Effekt)
Genaue Steuerung der Entspannung (bei mehrstufigen Kompressoren zu kompliziert)	Fliessender Übergang ohne Verschiebungsphase, daher keine Steuerung erforderlich	Nur 1 Ventil im Strang steuert den Übergang von Verschiebung zu Entspannung dank der 2-Stufen-Topologie, die erst durch den Wegfall der thermischen Begrenzung möglich wird
Anpassung der Leistung beim Laden und bei der Entnahme (Ziel: 1 : 100)	Pulsdauermodulierung im Hydraulikteil mit Glättung durch Schwungrad; dies ist möglich dank der winzigen Trägheit zwischen Motor/Pumpe und Gas in beiden Versionen.	
... und entsprechender Verringerung der Leerlaufverluste	Durch Trennung der Hydraulik vom Schwungrad während den Schaltpausen.	
Grosse Lebensdauer bei annehmbaren Kosten	Die Ausgestaltung als geschlossenes System mit Stickstoff-Füllung sichert Korrosionsfreiheit.	Das kleine Speichervolumen gefüllt mit Luft erlaubt den Einsatz von hochwertigen Materialien.
... und grosser Betriebssicherheit	Die grösste Panne ist durch das Auswechseln der steckbaren Hydraulik-Baugruppe zu beheben, die nur einen Bruchteil des Preises und des Gewichtes ausmacht.	

ANHANG III

COUT ENERGETIQUE DE LA FABRICATION DE RESERVOIRS DE TYPE CNG4
Réservoirs haute pression réalisé par bobinage filamentaire verte/époxy ou carbone/époxy
sur liner polyéthylène

Volume 100l Pression de travail 200bars

2^o Cas Réservoir CARBONE/EPOXY Pression d'éclatement supérieure à 600bars
 Liste des matières premières, masse, et coût énergétique par poste

fabrication polyéthylène 9kg (1)	198kWh
rotomoulage du liner	9kWh
laiton (pour valve) 3kg (avant usinage)	????
usinage valve	3kWh
bobinage filamentaire	1kWh
époxy+durcisseur 13kg (2)	286kWh
acétone de nettoyage 1l (3)	1kWh
fibres de carbone 21kg (4)	892kWh
étuvage	1kWh
essais réservoirs (dont essai hydraulique)	1kWh
déplacements pour livraison (5)	12kWh
"Frais Généraux" énergétiques (6)	1kWh
sous-total	1405kWh
+7% pertes diverses (7)	98kWh
total	1503kWh

(1) 22kWh/kg PE

(2) 22kWh/kg époxy et durcisseur (= 2fois l'équivalent pétrole ??) A préciser

(3) 16kWh/kg soit 12kWh/l acétone, comptée 1,2kWh/l car supposée recyclée 10 fois

(4) 42,5kWh/kg fibre de carbone (ordre de grandeur)

(5) Nous avons pris 1litre d'Équivalent Pétrole à titre indicatif

(6) Consommations énergétiques chauffage, ventilation, bureautique, bloc sanitaire, évaluées 10000kWh amortis sur 10000 réservoirs (annuels)

(7) (4% pertes matières premières en cours de fabrication,

2% rebut de fabrication,

1% réservoirs ayant subis essais destructifs, donc non commercialisables)

P.S. Les coûts énergétiques des postes mineurs sont seulement indicatifs!

Par exemple la consommation de l'étuve dépend de ses dimensions, de son isolation thermique, de son taux de remplissage, du taux d'avancée de la réaction (exothermique) au moment de l'entrée en étuve,...

Newrock HIWIND
 Tel/fax 00 420 327 531 418

P.S. 58

28522 ZRUC

Tchèque
 newrock@pvt.net.cz

ANHANG IV

ENTWICKLUNGSAUFGABEN und WICHTIGSTE HÜRDEN

Problembeschreibung	Lösung A (Flüssigkolben)	Lösung B (Interface)
Effizienter HYDRAULIKTRANSFORMER Gas / Drehzahl	Überschaubar, da käufliche Elemente eingesetzt werden ohne grosse Änderungen <i>Läuft auf Prüfstand</i>	Komplex, da stark abgewandelte Hydraulikelemente zu erarbeiten sind <i>In der Entwurfsphase</i>
SCHWUNGRAD mit aut. Kupplung zum Transformer hin.	Iterativer Vorgang mit vielen kleinen Verbesserungen um unter 10 W bei 3000 Upm und 0,5 kgm ² zu kommen <i>Läuft auf Prüfstand in erster Version</i>	
Geeignete HYDRAULIK-FLÜSSIGKEIT	Umfangreich und ungewiss soll bei freier Oberfläche kleinstmögliche Gaslösung (Bunsenkoeff.) aufweisen, damit Speichergas mit einfachen Mitteln zurückgefördert werden kann.	Nur ca. 5 Möglichkeiten: soll bei freier Oberfläche zündhemmend sein (Dieseleffekt), hier ist der Bunsenkoeff. zweitrangig; da das Ölvolume klein ist, ist die Auswahl nicht Preisrelevant
Anzuwendendes NORMENWERK & rechtliche Aspekte	Der Einsatz von Industrie-Gasflaschen muss TÜV-geprüft werden; mittlerweile können Geräte mit Hydro-Akkus (Blase/Kolben) in Betrieb gehen (hoher Preis)	Hier können die Industrie-Gasflaschen bedenkenlos gebraucht werden (Saugtrocknung). Bei Einsatz von CNG 4: BAM-Verträglichkeitsprüfung des Liners .
MOTOR/GENERATOR für „wire-to-wire“ Betrieb	Befriedigende Wirkungsgrade (>90%) werden mit mehreren Produkten erreicht, jedoch mit unannehbaren Leerlaufverlusten (Leistungsaufwand bei Spannungserhalt); es werden einige Lösungswege untersucht, entweder durch inneren Umbau oder durch Zuschalten. <i>Stand: 35W bei 4500 Upm bei Spannungserhalt</i>	
ANWENDUNGEN mit Anpassungen	Als Konkurrenzprodukt zur Bleibatterie braucht die BOP kaum besondere Ausgestaltungen, vorausgesetzt die oben aufgeführten Aufgaben werden bewältigt. Die erwähnten Eigenschaften der BOP erlauben jedoch –insbesondere dank der schnellen Aufladbarkeit– eine Fülle von Anwendungen im Bereich grosser Leistungen bei kleiner Speicherkapazität, so der Querlift der Fa. HORLACHER, der für eine Leistung von 10 kW mit einer Speicherung von 0,5 kWh auskommt, mit Aufladung an den Endstationen: dies ist eine Sonderkonstruktion!	