



# **Energiespeicher für Systeme zur autarken Energieversorgung**

(Stand 08/2006)

rosseta Technik GmbH

Karl-Liebknecht-Straße 38  
06862 Roßlau / Elbe

Tel. 034901 52040  
Fax 034901 949471

[www.rosseta.de](http://www.rosseta.de)  
[post@rosseta.de](mailto:post@rosseta.de)



## **Inhaltsverzeichnis**

### **1 Einleitung**

### **2 Wirkungsweise des Energiespeichers**

2.1 Energieerzeugung ohne Energiespeicher

2.2 Energieerzeugung mit Energiespeicher

### **3 Das Energiespeichersystem**

3.1 Aufbau

3.2 Funktionsweise

3.3 Sicherheitskonzept

3.4 Wartung

3.5 Wirtschaftlichkeit

### **4 Referenzen**

### **5 Technische Daten**

### **6 Technische Details**



## 1 Einleitung

Die rosseta Technik GmbH fertigt einen Energiespeicher, der durch ein innovatives Konzept und die Anwendung neuartiger Technologien ein besonders hohes Leistungsvermögen erreicht.

Der Einsatz solcher Energiespeicher in Systemen für autarke Energieversorgung oder in Inselnetzen bietet sich an, sofern in solchen Netzen hohe Leistungsschwankungen auftreten. Der Energiespeicher kann diese Leistungsspitzen abdecken und es ergeben sich mehrere Vorteile:

Der üblicher Weise verwendete Dieselgenerator kann in seiner Leistung verkleinert werden.

Da der Dieselmotor nur noch die durchschnittlich erforderliche Energiemenge liefern muss und nicht mehr als Leistungsreserve fungiert, ergibt sich eine erhebliche Einsparung von Diesel. Eine Verbrauchsreduzierung bis zu 40 % kann erwartet werden.

Es erhöht sich die Standzeit des Dieselmotors, da die Lastspitzen wegfallen.

Die Bremswiderstände können wegfallen, die Bremsenergie der Motoren kann durch den Energiespeicher zwischengespeichert und zeitlich versetzt wieder genutzt werden.

Der Energiespeicher der rosseta Technik GmbH ist optimal an die Anforderungen des automatischen Betriebs angepasst worden. Er verfügt über eine vollautomatische Betriebsführung und ein internes Sicherheitssystem. Der Schwungradspeicher besitzt eine Leistung von 500 kW, diese kann kurzzeitig auf 750 kW erhöht werden. Sein Energieinhalt ist ausreichend für die Speisung von beispielsweise 250 kW über 50 s lang. Bei der Erhöhung der Leistung reduziert sich die Zeit dem entsprechend.

Der Energiespeicher hat nur einen geringen Platzbedarf und ein geringes Gewicht. Er kann sowohl für die Aufstellung in geschlossenen Räumen oder Maschinenständen geliefert werden als auch in einem eigenem Schaltschrank.

In den folgenden Abschnitten wird näher auf die Wirkungsweise und den Aufbau des Energiespeichersystems eingegangen. Weitere Erläuterungen finden sie unter der Internet-Seite [www.rosseta.de](http://www.rosseta.de), die monatlich aktualisiert wird.

## 2 Wirkungsweise des Energiespeichers

### 2.1 Energieerzeugung ohne Energiespeicher

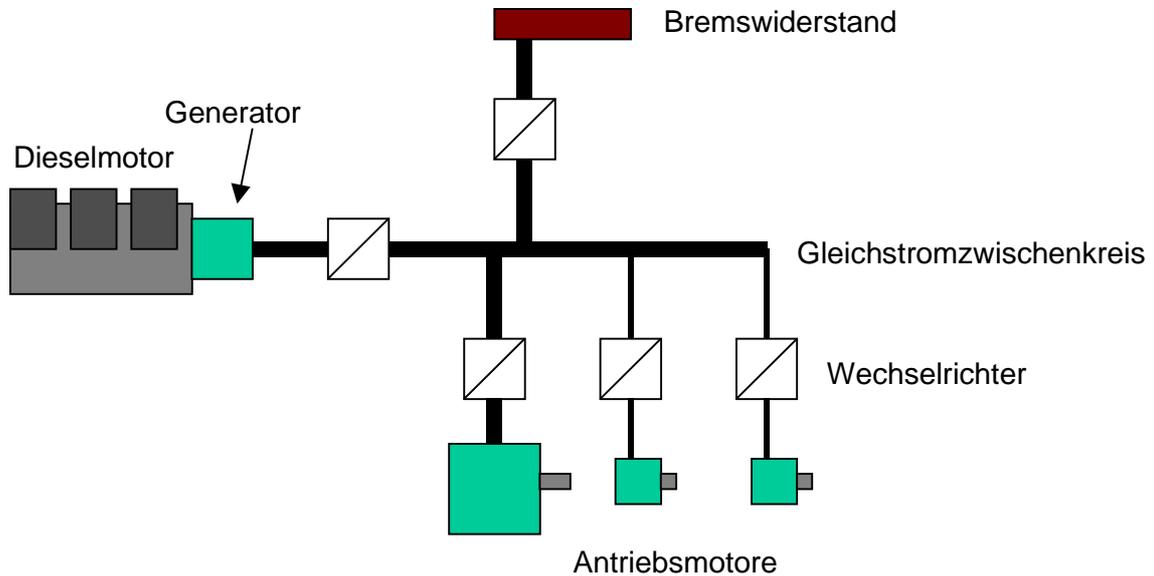


Abbildung 1 : Schema für ein netzunabhängiges Antriebssystem

In einer Reihe von Großgeräten werden elektrische Antriebslösungen realisiert, die unabhängig vom Netz durch einen Dieselmotor mit Generator arbeiten. Diese sind in der Abbildung 1 schematisch dargestellt. Es ist klar, dass der Dieselmotor und sein Generator auf die größte Leistung ausgelegt werden müssen, die im System wenn auch nur kurzzeitig benötigt wird.

Während des Betriebes wird der Dieselmotor ständig mit einer gewissen Kraftreserve gefahren, so dass schnelle Lastanstiege verkraftet werden können, ohne dass das Netz zusammenbricht.

Sofern mit den Motoren gebremst wird, wie zum Beispiel bei Kränen, kann die Energie in den Bremswiderständen vernichtet werden.

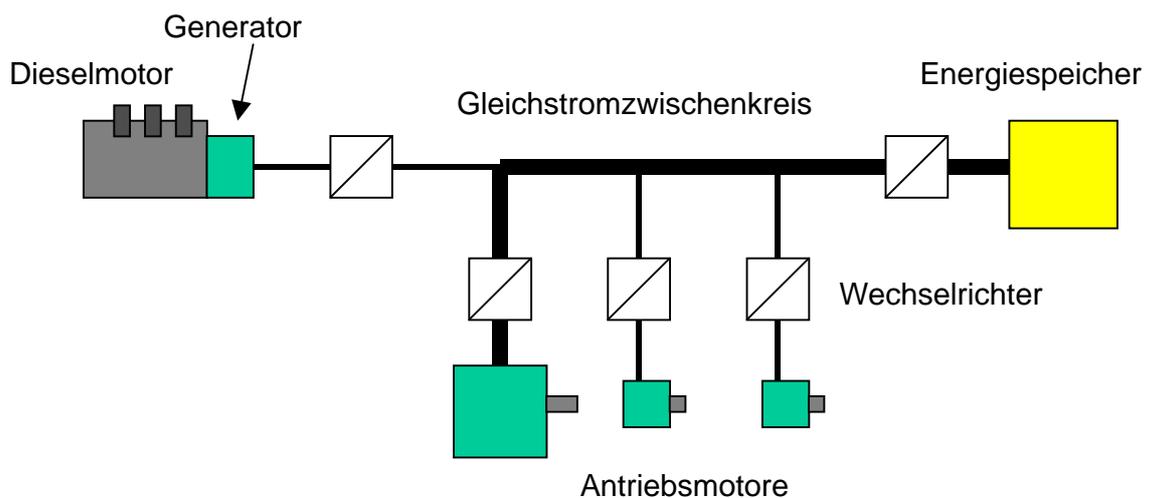


Abbildung 2 : Netzunabhängiges Stromversorgungssystem mit Energiespeicher



## 2.2 Energieerzeugung mit Energiespeicher

Wenn ein Energiespeicher in das Stromversorgungssystem integriert wird, ergibt sich eine Konfiguration wie in Abbildung 2 dargestellt.

Der Dieselmotor und der Generator können etwa auf die Hälfte verkleinert werden, da sie nur zu Arbeitsbeginn den Energiespeicher aufladen und dann den Durchschnittswert des Energieverbrauchs liefern. Daher kann der Dieselmotor in seinem optimalen Arbeitspunkt betrieben werden und der Dieserverbrauch reduziert sich um 30 bis 40 %.

Der Bremswiderstand kann entfallen, da der Energiespeicher die Bremsenergie zwischenspeichern kann.

## 3 Das Energiespeichersystem

Das Schwungradspeichersystem der rosseta Technik GmbH

- ist für den automatischen Dauereinsatz entwickelt worden und wird direkt an den Gleichstromzwischenkreis angeschlossen
- regelt seine Leistungsaufnahme und -abgabe automatisch nach der Höhe der Zwischenkreisspannung
- hat nur ein geringes Gewicht von 1,5 t
- ist weitestgehend unempfindlich gegen Schwingungen und Stöße
- benötigt nur eine Grundfläche von 2 x 1 m
- hat einen geringen Wartungsbedarf und eine Lebensdauer von 20 Jahren bis zur ersten Generalüberholung

### 3.1 Aufbau

Das Energiespeichersystem setzt sich aus folgenden vier Einheiten zusammen:

**Mechanischer Aufbau Schwungrad mit dem Grundrahmen** (links auf Abb. 3) mit dem Schwungrad, Motorgenerator, Schwungradgehäuse, dem Vakuumsystem, der Wasserpumpe für den Kühlkreislauf, der Ölpumpe für den Schmierölkreislauf, einem Öl-Wasser-Wärmetauscher.

**Leistungselektronik** mit dem Wechselrichter, der Stromvorgabesteuerung, der Zwischenkreisdrossel, den Motordrosseln und der Aufladeschaltung. Je nach Kundenwunsch können Wechselrichter der Firmen Siemens, Conrol Techniques (mit Luftkühlung) oder aeras (mit Wasserkühlung in Abb. 3 rechts) verwendet werden.

**Steuerschrank** (vorn unten auf Bild 3) mit den Bedientasten, den Messgeräten für die Spannung des Zwischenkreises, die Spannung des Schwungradmotors, den Strom in oder aus dem Speicher, mit der SPS zur Überwachung des Schwungradspeichers und zur automatischen Steuerung, Zähler für gespeicherte kWh, der Leittechnik und der Mitnahmeeinrichtungen.

**Luft-Wasser-Wärmetauscher** für den Kühlkreislauf (oben in Abb. 3). Dieser kann unabhängig an einer geeigneten Stelle angebracht werden.

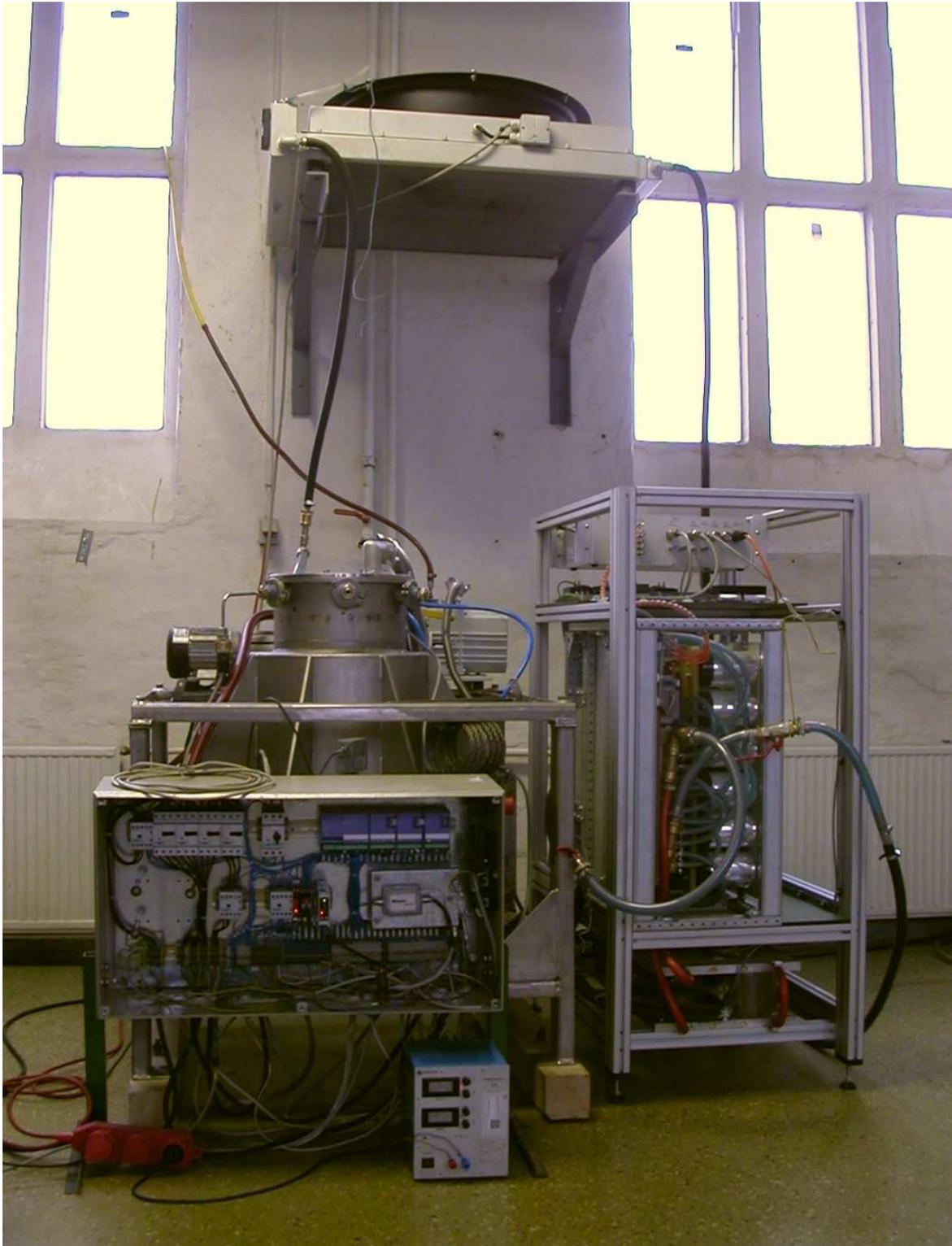


Abbildung 3 : komplettes Schwungradsystem während der Erprobung im Labor



## 3.2 Funktionsweise

Das Schwungradsystem nimmt bei der Beschleunigung Energie auf. Um eine hohe Leistung zu erreichen, wurde ein Synchronmotor mit starken Magneten auf der Welle des Schwungrads integriert. Die Motorspannung des Synchronmotors wächst proportional zur Drehzahl. Da der Wechselrichter den höchsten verfügbaren Strom vorgibt, steigt die maximale Leistung ebenfalls proportional zur Drehzahl.

Es wird ein Drehzahlbereich von 15.000 bis 25.000 Umdrehungen pro min als Arbeitsbereich ausgewählt. Damit sind je nach aktueller Drehzahl 60 bis 100 % der maximalen Leistung verfügbar. Für kurzzeitige Belastungen kann das System um den 1,4 - fach Wert überlastet werden, so dass für kurze Leistungsspitzen dann 84 bis 140 % der maximalen Leistung genutzt werden können.

Während der Speicherung läuft das Schwungrad im Leerlauf frei im Vakuum. Dabei ist der Leerlaufverlust gering. Ca. 2,1 bis 3,1 kW werden für die Zusatzaggregate benötigt und das Schwungrad selbst hat einen Leerlaufverlust von 2 bis 5 kW für den Drehzahlbereich von 15.000 bis 25.000 Umdrehungen pro min.

Die Regelung der Leistungsaufnahme und -abgabe erfolgt durch eine Stromvorgabekarte mit einem eingebauten Mikrorechner. Dadurch ist eine gute Anpassung an das gesamte Energiesystem möglich. Das Ziel der Regelung sind folgende Punkte:

- vollständige Nutzung der Bremsenergie
- Bereitstellung des Spitzenleistungsbedarfs
- möglichst geringe Leerlaufverluste

Dazu werden im Programm geeignete Kennlinien für jeden Anwendungsfall neu entwickelt und auf die zu erwartenden Energieregime abgestimmt. Auch die Berücksichtigung der zuvor stattgefundenen Ereignisse ist möglich.

## 3.3 Sicherheitskonzept

Das Ziel des elektrischen Sicherheitskonzeptes ist es, Fehler in der Funktion des Schwungradspeichersystems zu erkennen und eine Gefährdung des gesamten Energiesystems auszuschließen. Das Sicherheitskonzept verfügt über Bauteile, die für die elektrischen Einrichtungen zwingend vorgeschrieben sind und darüberhinaus zusätzliche Bestandteile, die den Besonderheiten des Schwungradspeichersystems entsprechen:

### **Motorschutzschalter**

Die Motore der Hilfsaggregate sind durch Motorschutzschalter abgesichert.

### **Schutzerdung**

Die Gehäuse, Metallrahmen und Schaltschränke sind geerdet, so dass sich keine Berührungsspannung aufbauen kann. Die Funktion der Schutzerde wird vor Inbetriebnahme überprüft.

### **Prüfung des Wirkungsgrades des Schwungradmotors**

Wenn durch den Stromfluss im Motor nicht die zur erwartete Beschleunigung des Schwungrads erreicht wird, liegt ein Fehler im Schwungradmotor vor. Durch die Messung von Eingangsstrom und Drehzahl wird dieser Fehler von der Stromvorgabekarte erkannt und das System ebenfalls abgeschaltet.



### **Messung der Phasenspannung des Schwungradmotors**

Wenn ein Fehler in der Motorwicklung auftritt, äußert sich das in unterschiedlichen Wicklungswiderständen und damit in unterschiedlichen Phasenspannungen. Sobald eine Spannung um mehr als 20% abweicht, erfolgt die Abschaltung des gesamten Schwungradspeichersystems.

### **Defekt des Wechselrichters**

Wenn der Wechselrichter ausfällt, wird das von der SPS erkannt und ebenfalls das System abgeschaltet.

### **Sicherheit des Schwungrads**

Das Schwungrad wird durch Sensoren mittels der Betriebsführungs-SPS überwacht. Sofern bei einem Sensor sich eine Grenzwertüberschreitungen andeutet, wird ein Signal "Wartung erforderlich" ausgegeben. Der Betrieb des Systems ist dabei jedoch weiter möglich. Erst wenn die Messwerte so stark abweichen, dass eine Gefährdung für das System zu erkennen ist, wird das Schwungrad mit dem Signal Störung heruntergefahren.

Im Schwungradgehäuse befindet sich ein Berstschutz, der bei Havarien verhindert, dass das Gehäuse durch das Schwungrad zerstört werden kann. Daher sind keine weiteren Schutzmaßnahmen in Form von Einhausungen oder ähnlich erforderlich.

Das Gehäuse ist mit nachgiebigen Drahtseilfedern am Rahmen befestigt, so dass ein Abreißen des Gehäuses in jedem Fall verhindert wird.

Ein Überdruckventil und ein Wasserreservebehälter sind weitere wichtige Sicherheitselemente des Systems.

## **3.4 Wartung**

Der Schwungradspeicher ist für eine Lebensdauer von 20 Jahren bis zur ersten Hauptuntersuchung entwickelt worden.

Es werden nur Pumpen mit Magnetkupplung eingesetzt. Die Kugellager des Schwungrades sind Präzisionslager mit Öl-Innenschmierung, die durch eine doppelt elastische Aufnahme und eine Präzisionsauswuchtung bei voller Drehzahl nahezu belastungsfrei arbeiten. Dadurch wird eine Lagerlebensdauer von über 20 Jahren erwartet.

### **jährliche Wartungsarbeiten**

- Ölwechsel der Vakuumpumpe
- Ölwechsel der Lager
- Reinigung des Wärmetauschers des Wasserkühlkreislaufs
  
- Diagnosemessung durch die rosseta Technik GmbH zur Prüfung des Gesamtzustandes des Systems und zur Früherkennung möglicher Fehler durchgeführt



## 3.5 Wirtschaftlichkeit

### Energieeinsparung

Das System kann mit kalibrierten Energiezählern der Firma LEM ausgerüstet werden. Es kann abgelesen werden, welche Energiemengen vom Schwungradspeicher in das Netz zurückgespeist werden. Auf der Basis der kWh-Zähler kann genau berechnet werden, wie groß der Effekt der Energieeinsparung durch das Schwungrad ist. Nach den bisher vorliegenden Abschätzungen kann ein Schwungradspeicher der rosseta Technik GmbH eine Energiemenge von 200.000 kWh und mehr pro Jahr je nach Standort und Auslastung einsparen.

### Reduzierung der Leistungsspitzen

Durch die Reduzierung der Leistungsspitzen kann der Dieselmotorsatz in seiner Leistung kleiner ausgelegt werden. Weiterhin können die Bremswiderstände weggelassen oder zumindest in der Größe reduziert werden. Dadurch ergibt sich eine Kostenreduzierung für die Investitionen. Im Betrieb mit Energiespeicher verringern sich die Anforderungen an schnelle Lastwechsel des Dieselmotors. Der Motor kann stets im optimalen Arbeitsbereich betrieben werden. Dadurch kann weiterhin Diesel gespart werden und die Standzeit des Dieselmotors erhöht sich.

### Kosten

Die Kosten für den Kauf und die Wartung des Energiespeichers nennen wir gern auf Anfrage. Abhängig vom Einsatzfall kann auf preiswerte Standardlösungen zurückgegriffen werden oder es können zusätzliche Entwicklungen erforderlich sein.

Auch Anpassungsarbeiten auf spezielle Lösungen können von uns erfolgen. Wir unterbreiten Ihnen gern konkrete Angebote, wenn Sie uns Ihren Einsatzfall schildern.

## 4 Referenzen

### IMG gGmbH Nordhausen

Ein Schwungrad T1 mit einer Leistung von 150 kW wurde im Jahr 2002 an das Institut für Maschinen, Antriebe und elektrische Gerätetechnik verkauft. Es wird dort auf Motorprüfständen für die Entwicklung einer Straßenbahn ohne Oberleitung eingesetzt.

### aeras GmbH Clausthal-Zellerfeld

Ein Schwungradspeicher wurde im Zeitraum von September 2004 bis März 2006 auf einem Prüfstand für die Entwicklung der Leistungselektronik getestet und nur mit einer einmaligen Überprüfung durch die rosseta Technik GmbH betrieben. Die Testläufe dienten der Entwicklung einer speziellen angepassten Leistungselektronik.

### Städtische Verkehrsbetriebe Zwickau GmbH

Anfang Januar 2006 erteilte die Planungsgesellschaft der rosseta Technik GmbH den Auftrag zum Aufbau eines Energiespeicherwerkes mit einem Schwungradspeicher an der Neubaustrecke nach Neuplanitz. Anfang Juni erfolgte bereits die Lieferung und Aufstellung des fertig ausgerüsteten Betoncontainers. Mitte August wurde das System an das Bahnnetz geschaltet und die Erprobung



begonnen (Abb. 4). Ab Oktober 2006 arbeitet der Speicher im Dauerbetrieb am Bahnnetz. Die erwartete Energieeinsparung beträgt 200.000 kWh pro Jahr.



Abbildung 4 : Schwungradspeicher am Bahnnetz Zwickau während der Inbetriebnahme

#### Dessauer Verkehrs GmbH

Auf dem Betriebshof der Dessauer Straßenbahn wurde im Frühjahr 2004 ein Betoncontainer für die Erprobung von Schwungrädern am Bahnnetz auf eigene Kosten der rosseta Technik GmbH aufgebaut. Im Frühjahr 2006 erfolgte die Installation der erforderlichen Elektronik. Die Inbetriebnahme eines Schwungradspeichers ist für Ende 2006 vorgesehen. Die erwartete Energieeinsparung beträgt 154.000 kWh pro Jahr.

## 5 Technische Daten

Abmessungen	
Länge	2,00 m
Breite	1,00 m
Höhe	1,60 m <sup>1</sup>
Gewicht	1,5 t
Spannung	450 bis 1000 V
Strom	- 1000 bis + 1000 A
Leistung	500 kW
max. Drehzahl	25.000 Umdrehungen/min
Energieinhalt	6 kWh
Wirkungsgrad	95 % (für das Aufladen oder Entladen)
Leerlaufverlust	
Schwungrad	2 bis 5 kW je nach Drehzahl
Zusatzaggregate	2,1 bis 3,1 kW

---

<sup>1</sup> ohne Bremswiderstände



## 6 Technische Details

Der Schwungradspeicher wurde von 1995 bis 2005 zunächst im Wissenschaftlich-Technischen Zentrum Roßlau und danach in der rosseta Technik GmbH entwickelt und hat eine Reihe von neuen technischen Lösungen. Diese waren die Voraussetzung für die hohe Leistungsfähigkeit bei geringem Gewicht, für die lange Lebensdauer und den geringen Wartungsaufwand.

### Schwungrad

Es wird ein Kohlenstofffaser-Epoxidharz-Verbund verwendet, der auf speziell entwickelten Anlagen hergestellt und montiert wird. Dadurch gelingt es, die theoretisch möglichen Festigkeitsgrenzwerte in der Fertigung erstmalig fast vollständig auszunutzen. Der verwendete Faserverbund hat ein Gewicht von 100 kg und einen Durchmesser von 700 mm. Bei der höchsten Drehzahl beträgt die Umfangsgeschwindigkeit 915 m/s, das sind 3.480 km/h und damit etwa die dreifache Schallgeschwindigkeit. Es versteht sich von selbst, dass im Schwungradgehäuse Vakuum herrschen muss, damit die Energie nicht durch Luftreibung verbraucht wird.

Die Verwendung eines Faserverbundes hat zwei Vorteile im Vergleich zu Stahlschwungrädern. Zum einen lassen sich bei ähnlichen Abmessungen wesentlich größere Mengen Energie speichern, da die erreichbaren Drehzahlen wesentlich höher sind.

Zum zweiten haben Faserverbundschwungräder ein gutmütiges Berstverhalten. Im Gegensatz zu Stahlschwungrädern sind hier die größten Belastungen außen in den Nähe des Schwungradrandes. Daher lösen sich bei einer Havarie nur Faserbündel aus dem äußeren Bereich der Schwungradscheibe. Im Gegensatz dazu sind die Spannungen bei Metallschwungrädern in der Mitte am höchsten, was bei einer Havarie zum Zerreißen in große Stücke mit sehr hoher Energie führen kann.

### Lagersystem

Die Konstruktion einer geeigneten Lagerung war eine zweite große Herausforderung. Obwohl Kugellager für diese Rotorenmasse von 165 kg und Drehzahl eigentlich überfordert sind, wurde erfolgreich ein Lagersystem mit Keramikugellagern entwickelt. Das hatte drei Besonderheiten. Es erfolgt eine Schmierung von innen, so dass auch bei hohen Drehzahlen die Kugeln immer mit Öl versorgt werden. Ein Hubmagnet hält den Rotor in der Schwebe, so dass die Lager nur radiale Kräfte aufnehmen müssen. Der Rotor wird überkritisch gefahren, wodurch die Lagerkräfte mit steigender Drehzahl abnehmen.

### Motorgenerator

Um einen möglichst leistungsstarken Motor auf der Welle des Schwungrads anordnen zu können, werden NdFeB-Magnete aufgeklebt und mit einer Kohlenstofffaser-Bandage an die Welle gepresst. Die dazu erforderliche Technologie wurde in der rosseta Technik GmbH neu entwickelt und wird nun auch anderen Firmen für den Aufbau von super schnellen Motoren mit Bandagen der rosseta zur Verfügung gestellt. Die Kühlung der Welle erfolgt durch einen Ölkreislauf im Vakuum, mit dem gleichzeitig die Lager geschmiert werden.

### Aufhängung

Die mechanische Befestigung des Systems an dem Grundrahmen erfolgt durch Drahtseilfedern elastisch. Dadurch können Schwingungen und Stöße wirksam abgebaut werden und der Schwungradspeicher kann funktionsfähig mit einem Fahrzeug transportiert werden. In dem Fall eines Blockierens von Motor oder Lager verhindern die Drahtseilfedern ein Losreißen des Schwungradgehäuses von der Befestigung, da die stoßartige Belastung wirksam gedämpft wird.