

Der Schwungrad- Energiespeicher in Vision und Praxis

Vortrag 07.September 2016
Physikalische Gesellschaft zu Berlin
im Magnus-Haus

Dr.rer.nat. Frank Täubner
Derenburg

Kapitel

1 – Stand der Technik

Einsatzbeispiele für Energiespeicher

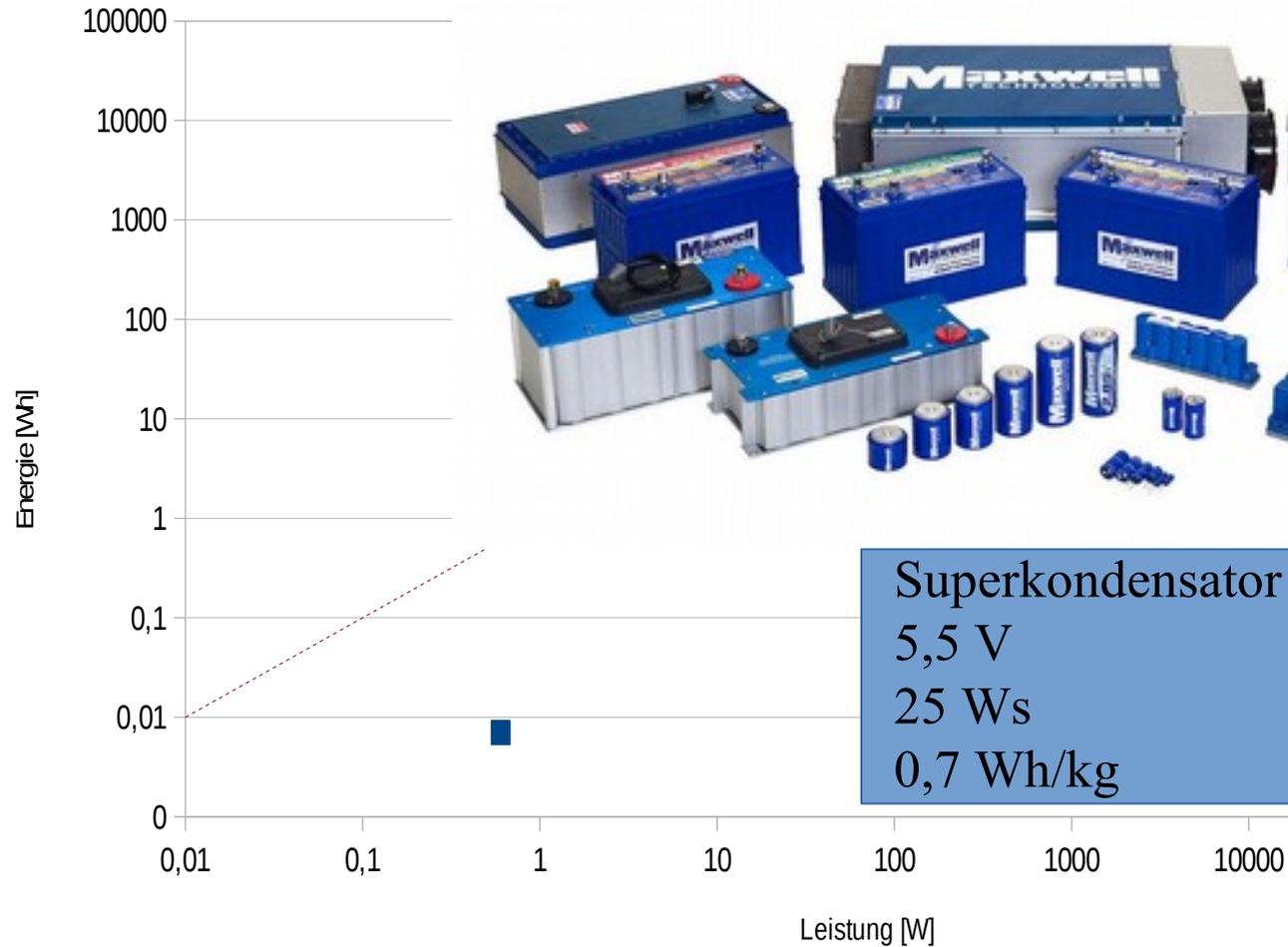
2 – Blick in die Zukunft:

Was dürfen wir von Schwungrädern erwarten?

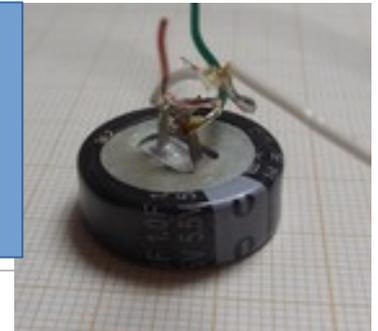
3 – Auf der Suche nach der Idealform

4 – Die Energiespeicher der rosseta Technik GmbH

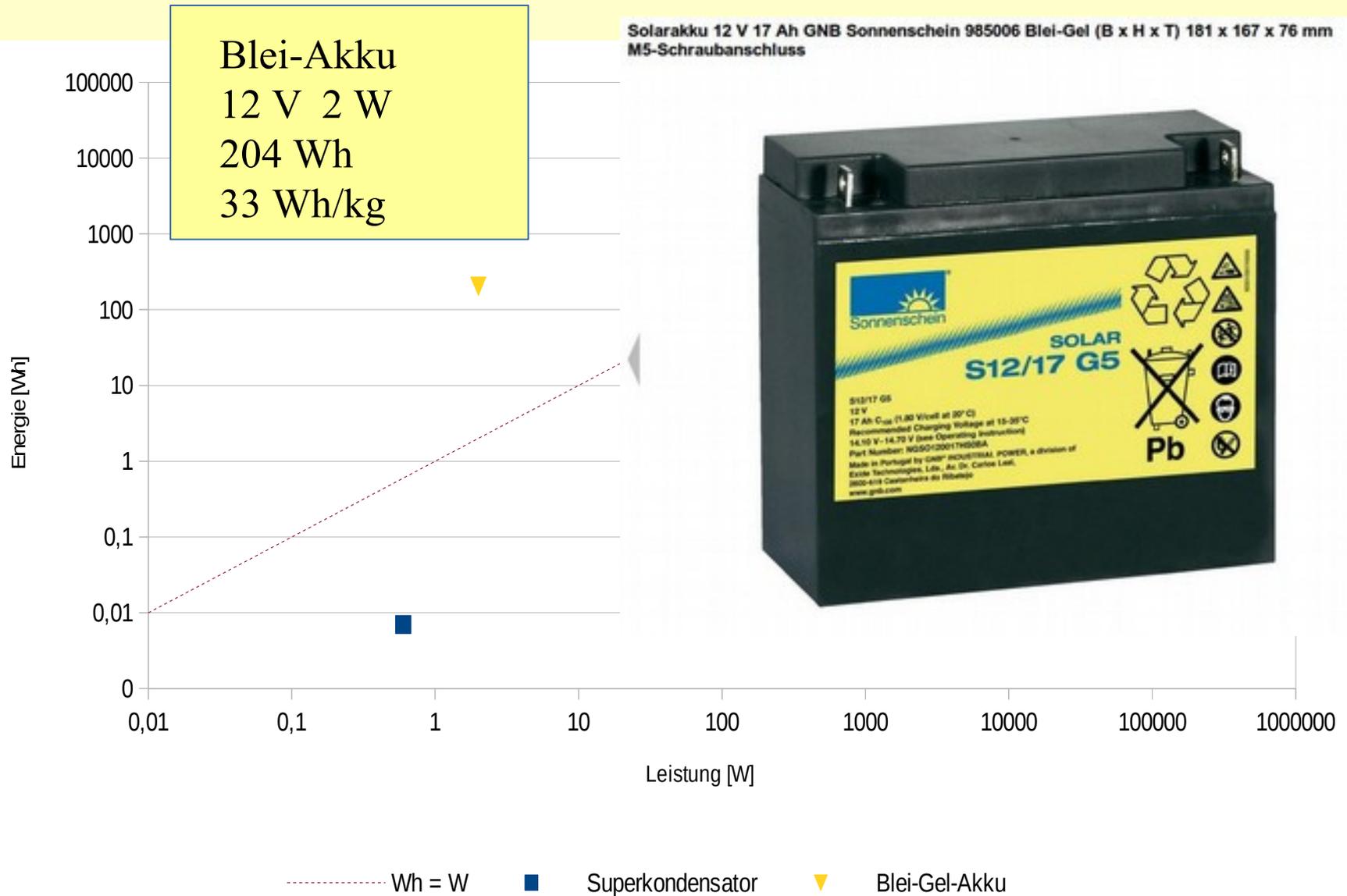
5 – Neue Ideen für Schwungradspeicher



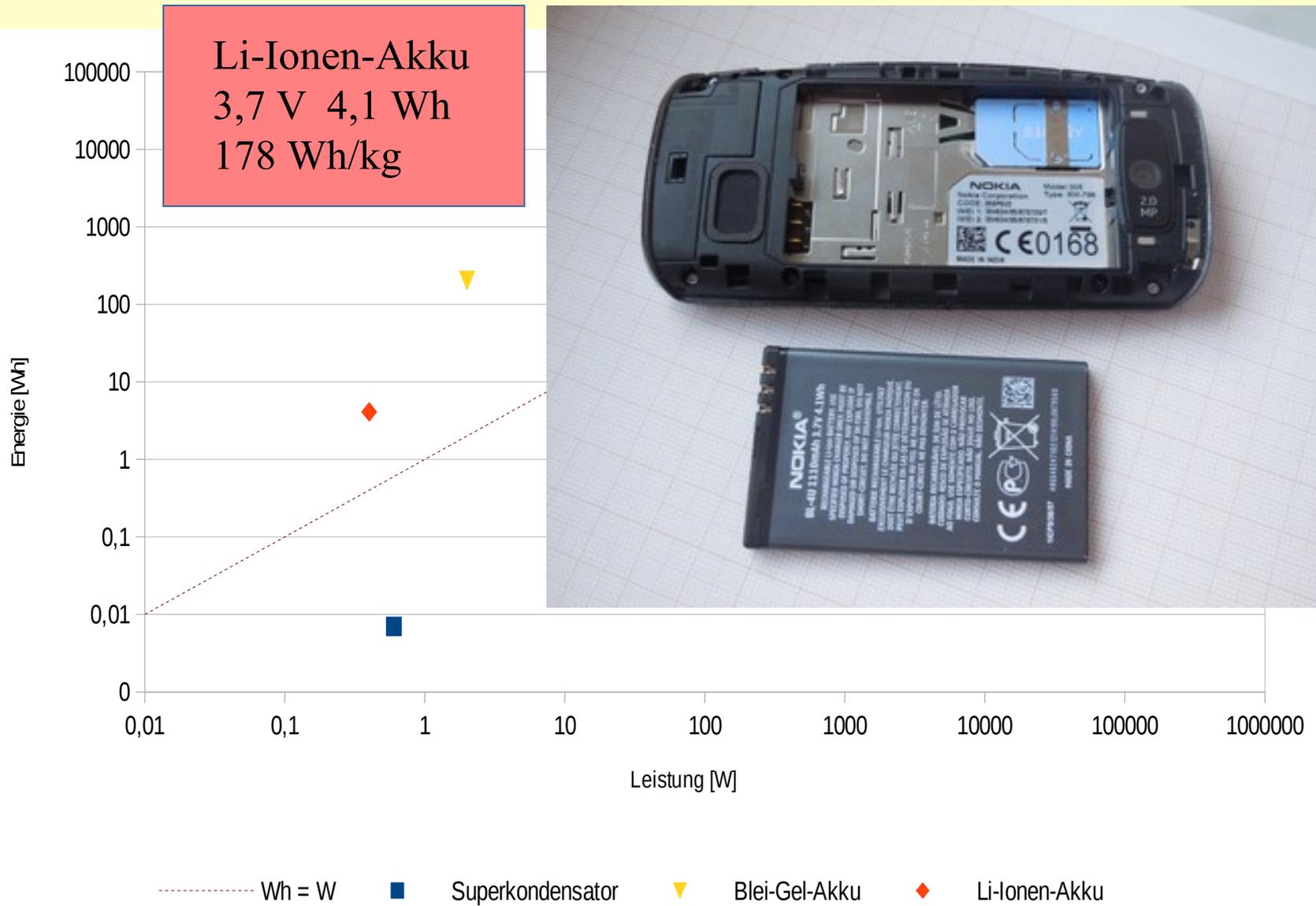
Superkondensator
5,5 V
25 Ws
0,7 Wh/kg

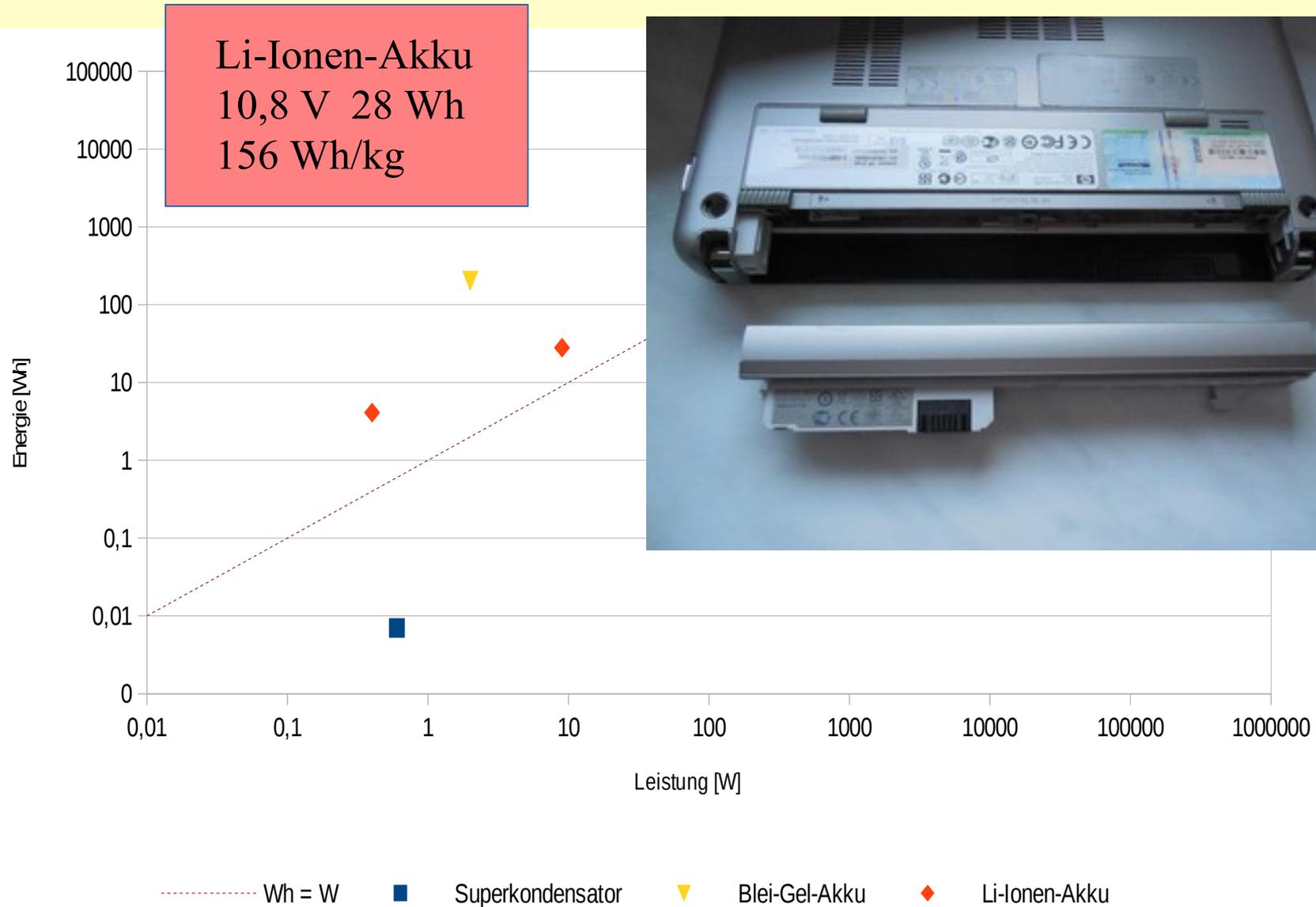


Kapitel 1 – Stand der Technik

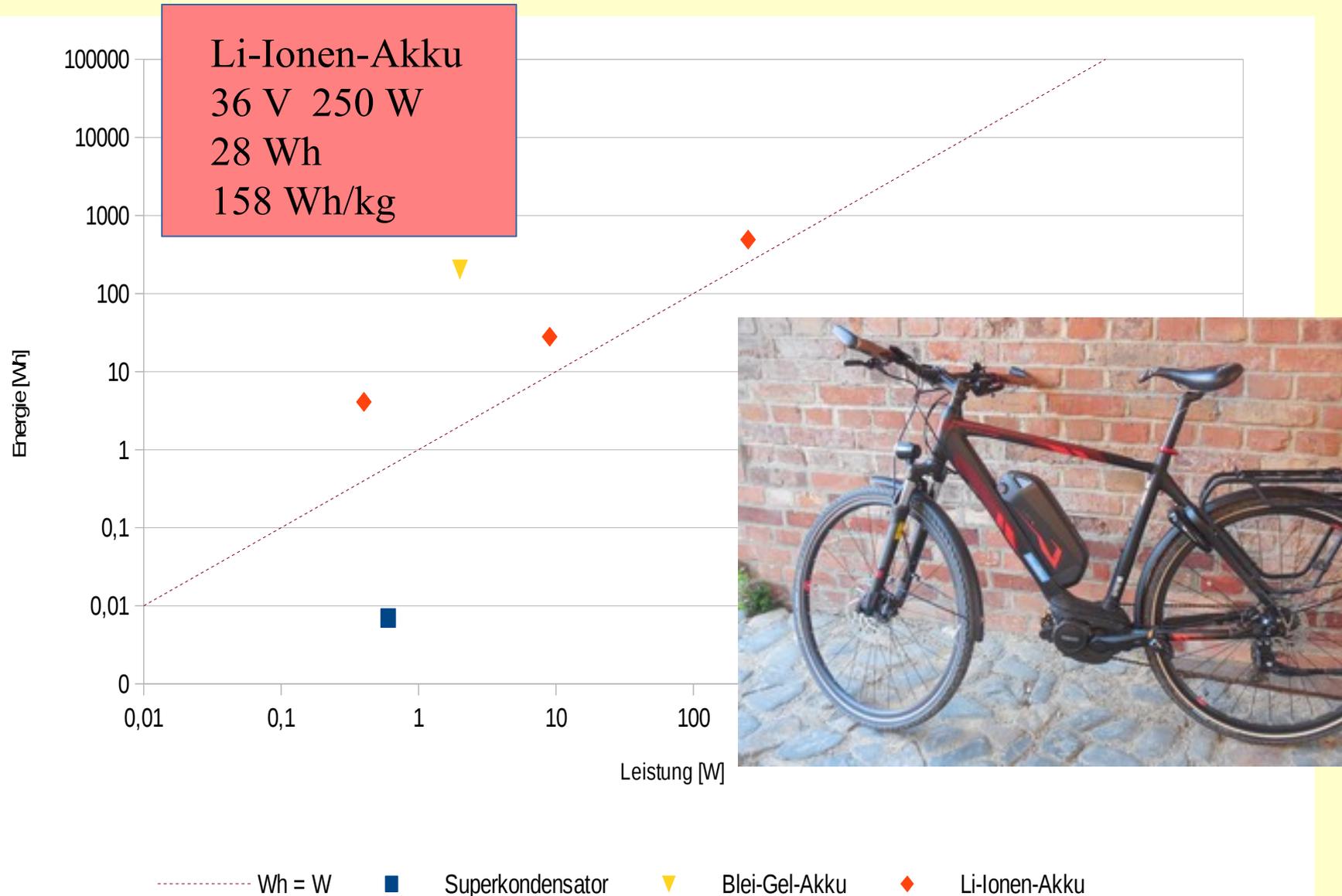


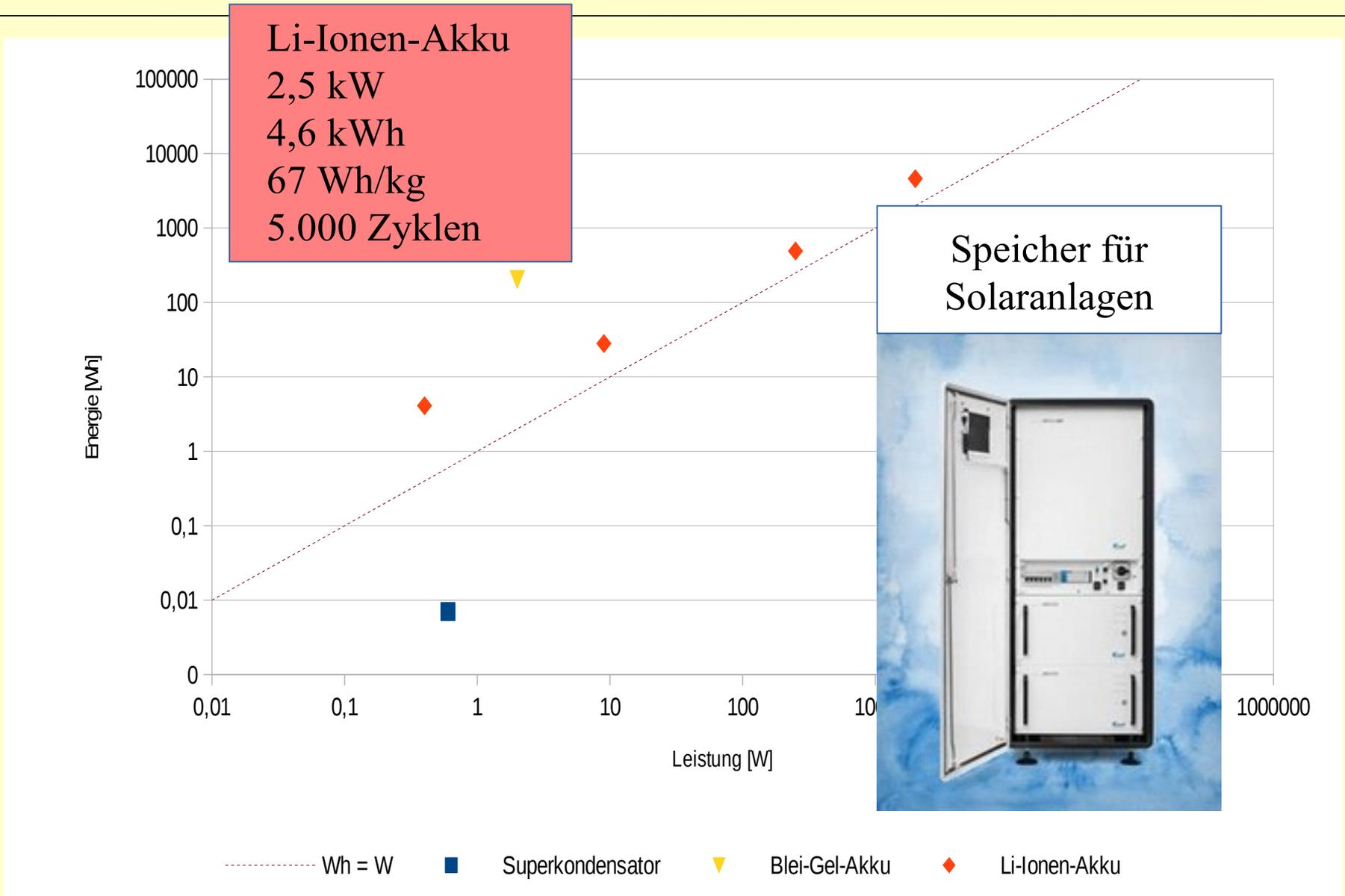
Kapitel 1 – Stand der Technik



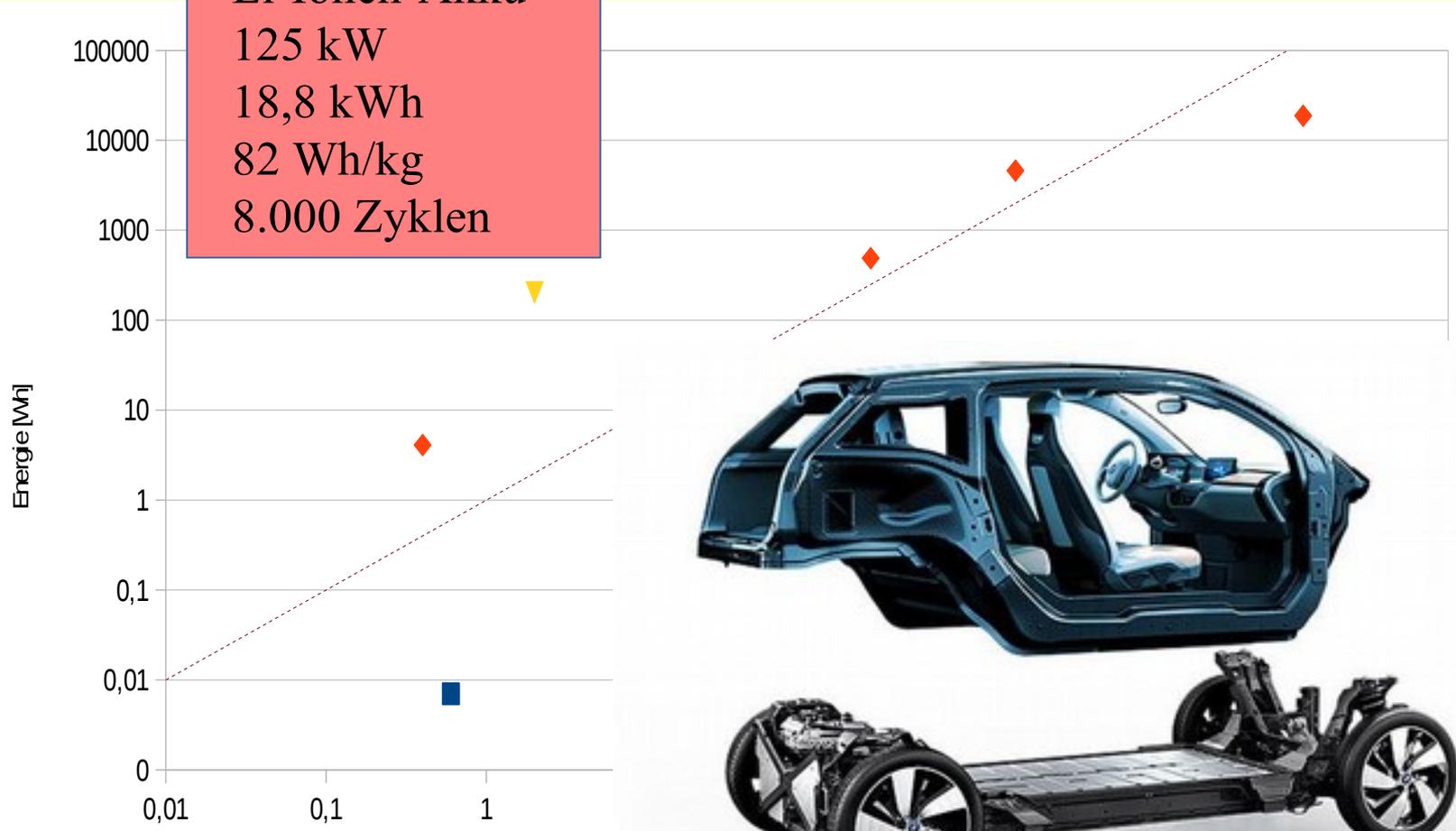


Kapitel 1 – Stand der Technik





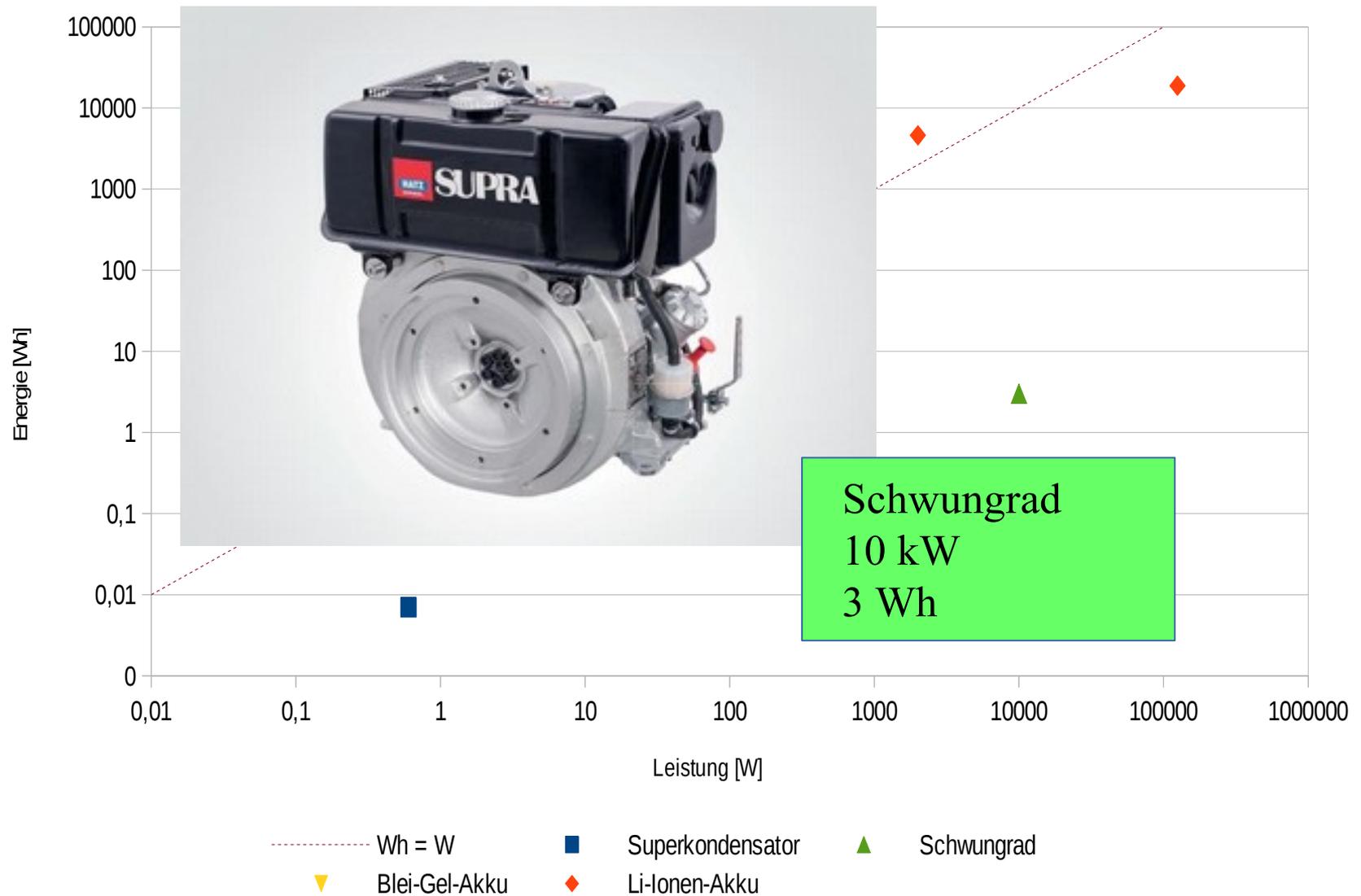
Li-Ionen-Akku
 125 kW
 18,8 kWh
 82 Wh/kg
 8.000 Zyklen

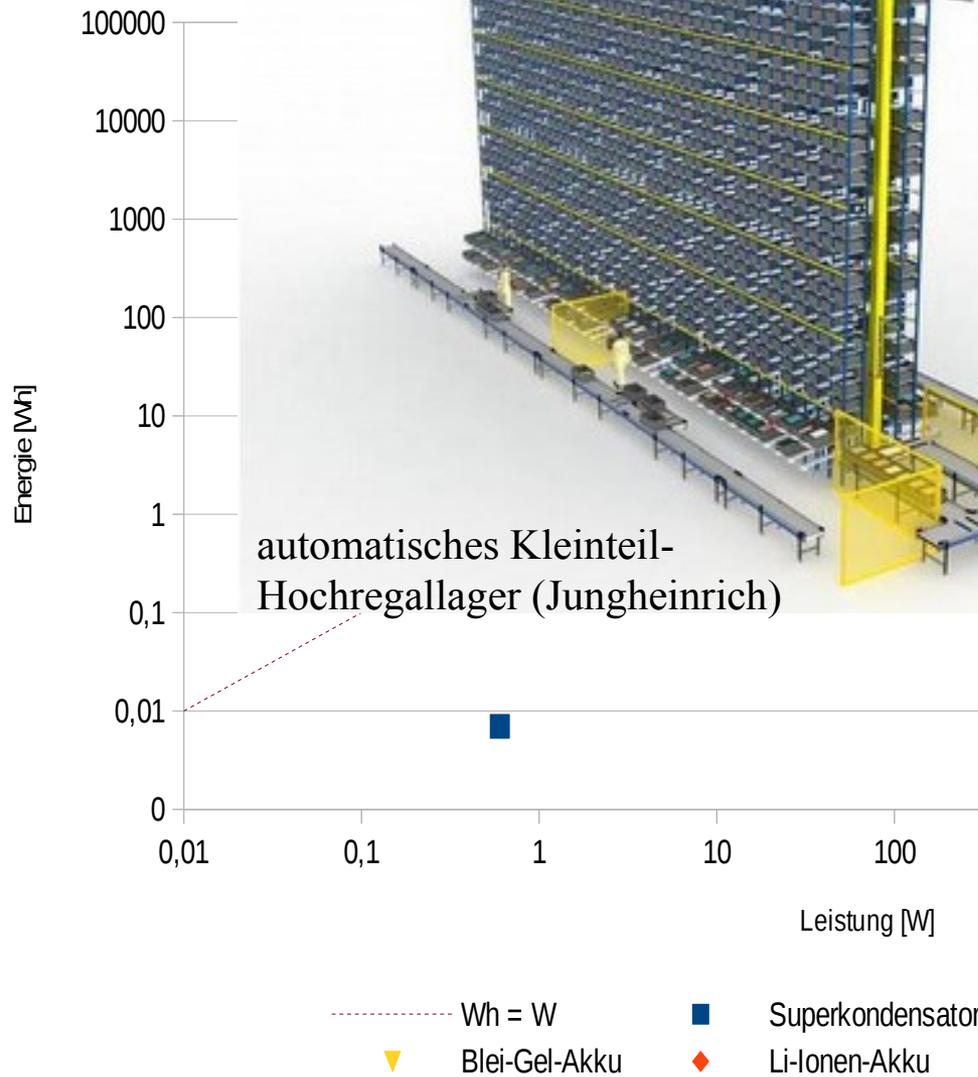


BMW i3

----- Wh = W ■ Superkondensator ▼ Blei-Gel-Akku ◆ Li-Ionen-Akku

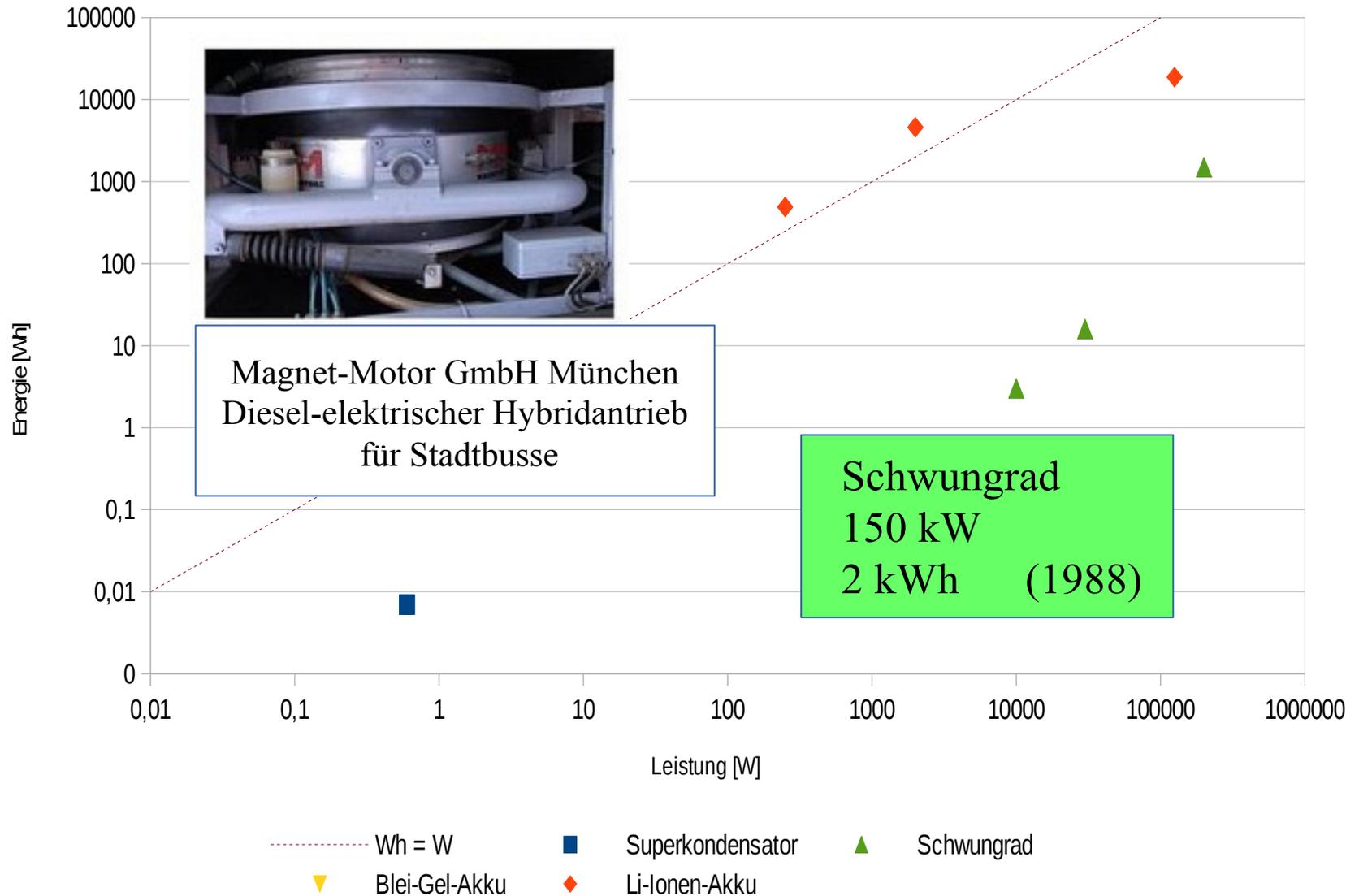
Kapitel 1 – Stand der Technik



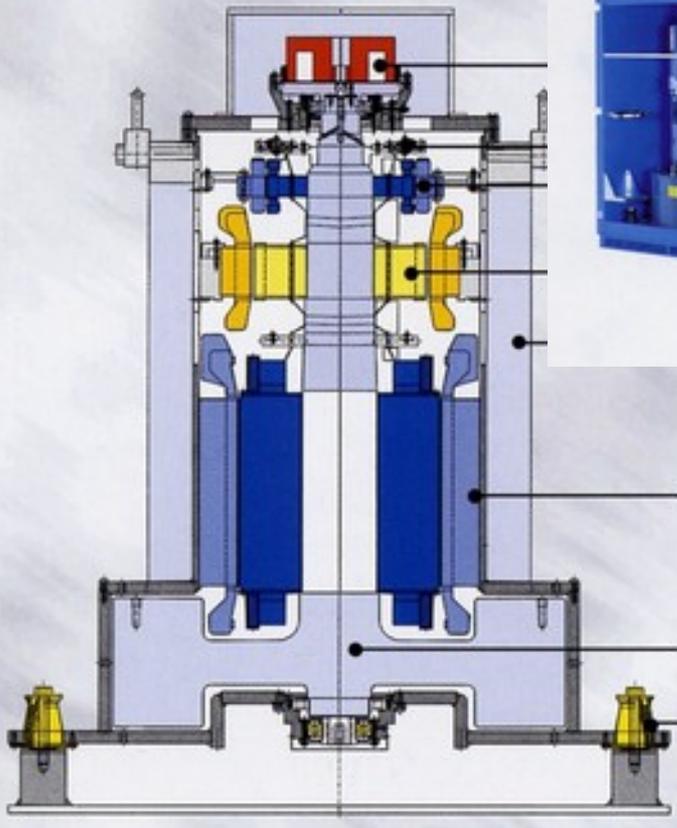


Schwungrad
30 kW
16 Wh

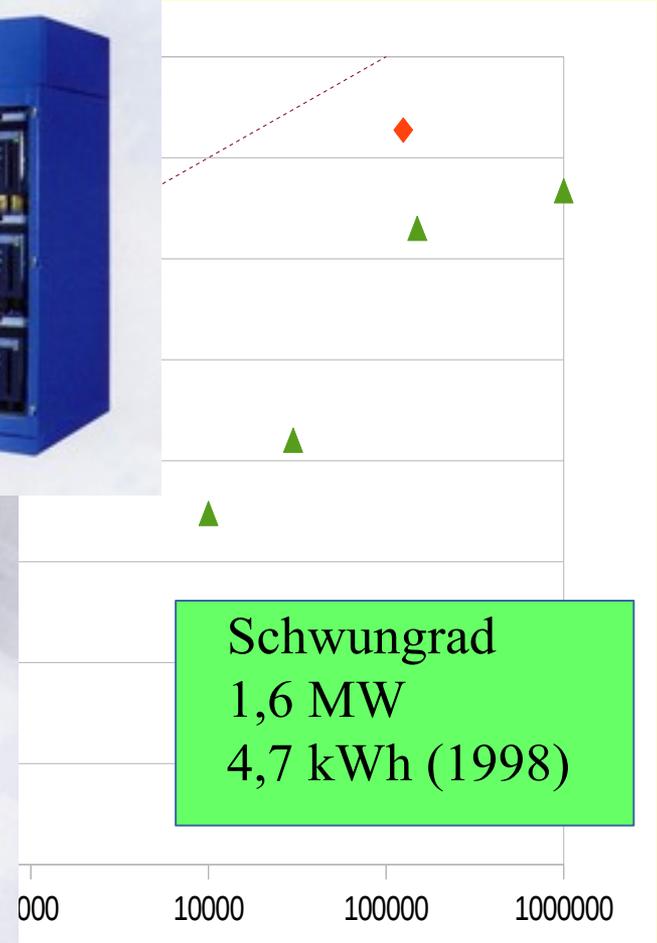
Diese Anwendung ist
bisher noch nicht
erschlossen.



Der kinetische Energiespeicher



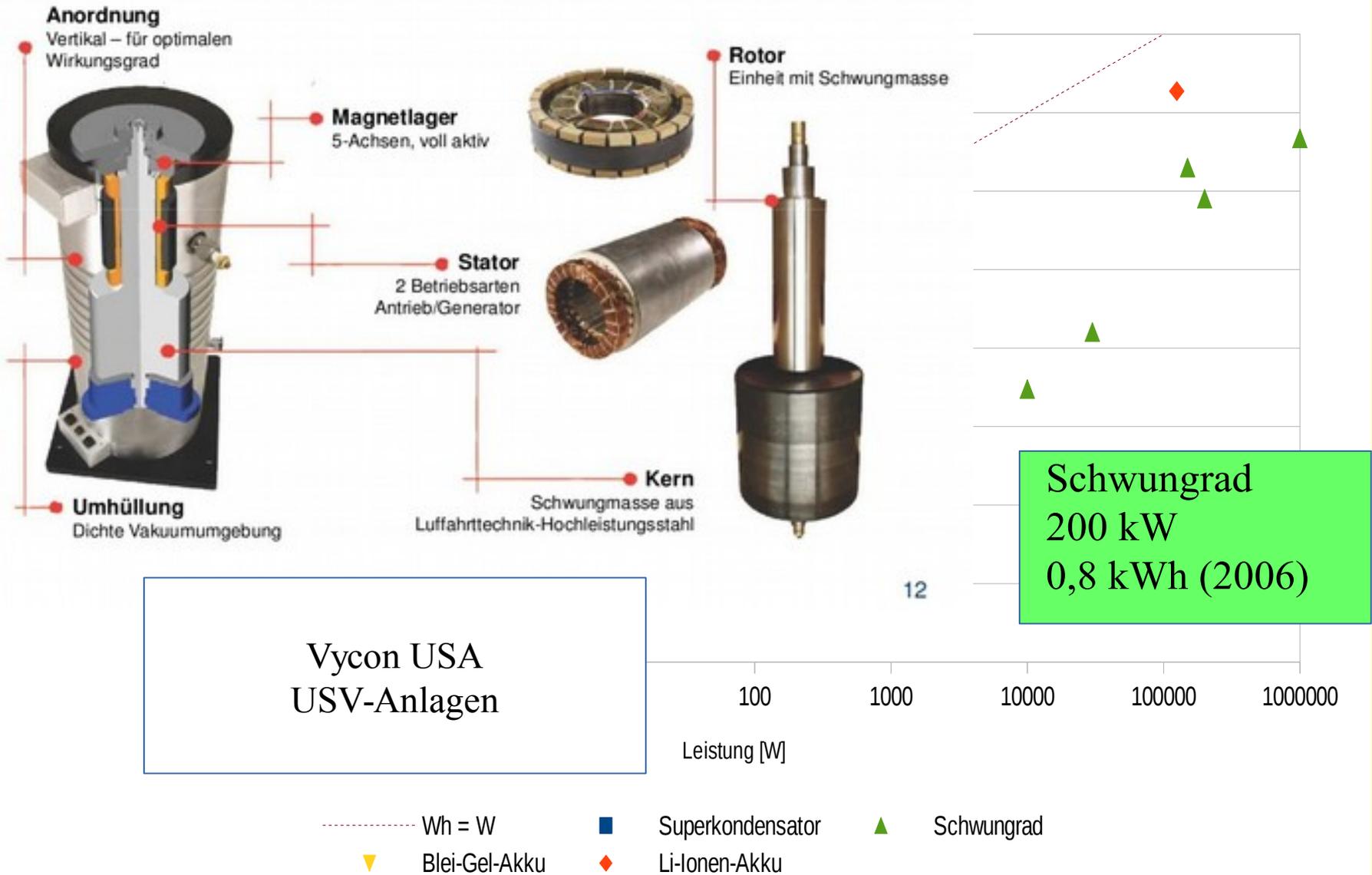
Hauptmaschine
Welle mit Schwungrad
Schwingungsdämpfer

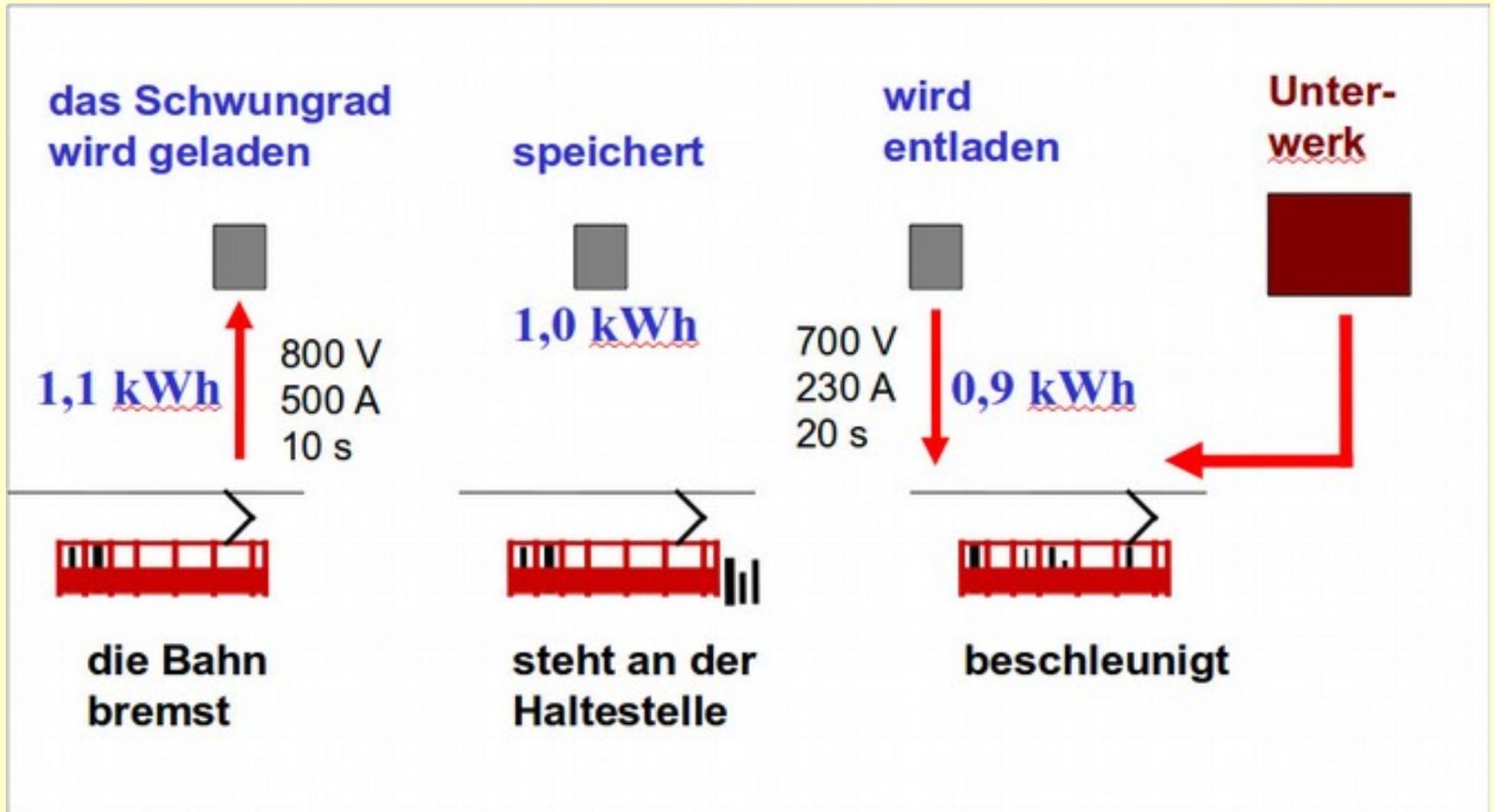


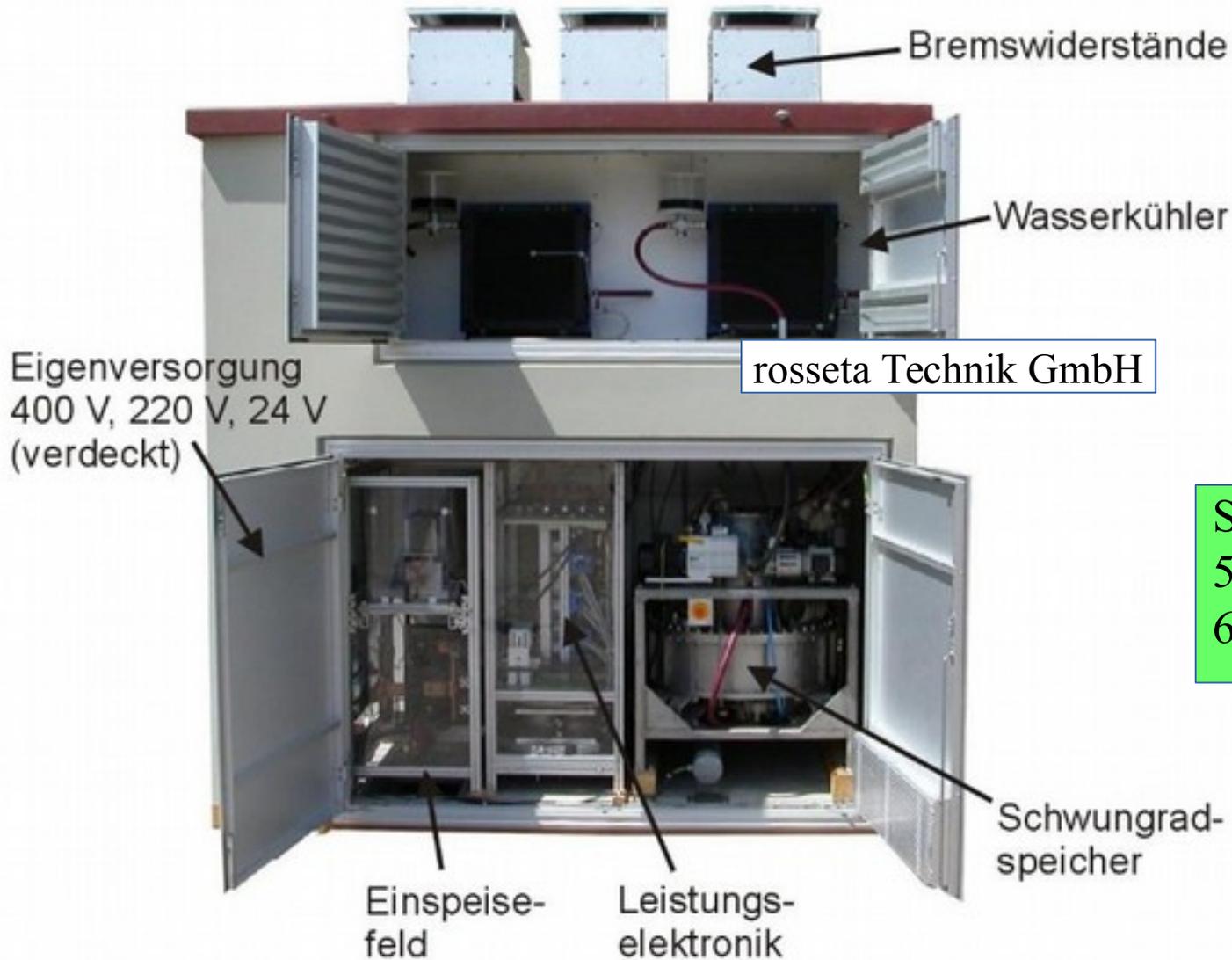
Schwungrad
1,6 MW
4,7 kWh (1998)

Piller GmbH Osterode
Anlagen zur unterbrechungsfreien
Stromversorgung (USV)

▲ Schwungrad

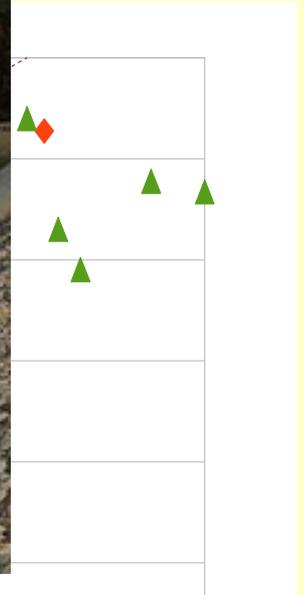






Schwungrad
500 kW
6 kWh (2006)

Kapitel 1 – Stand der Technik



Beacon Power (USA)
Netzstabilisierung
hier in Hazle Township

Schwungrad
100 kW
25 kWh (2014)

Leistung [W]

- Wh = W
- ▼ Blei-Gel-Akku
- Superkondensator
- ◆ Li-Ionen-Akku
- ▲ Schwungrad



Power Control Module

Cooling System

Foundation Cover

Flywheel Foundation

Flywheel Dessicant Tank

Flywheel Assembly Bolted to Foundation

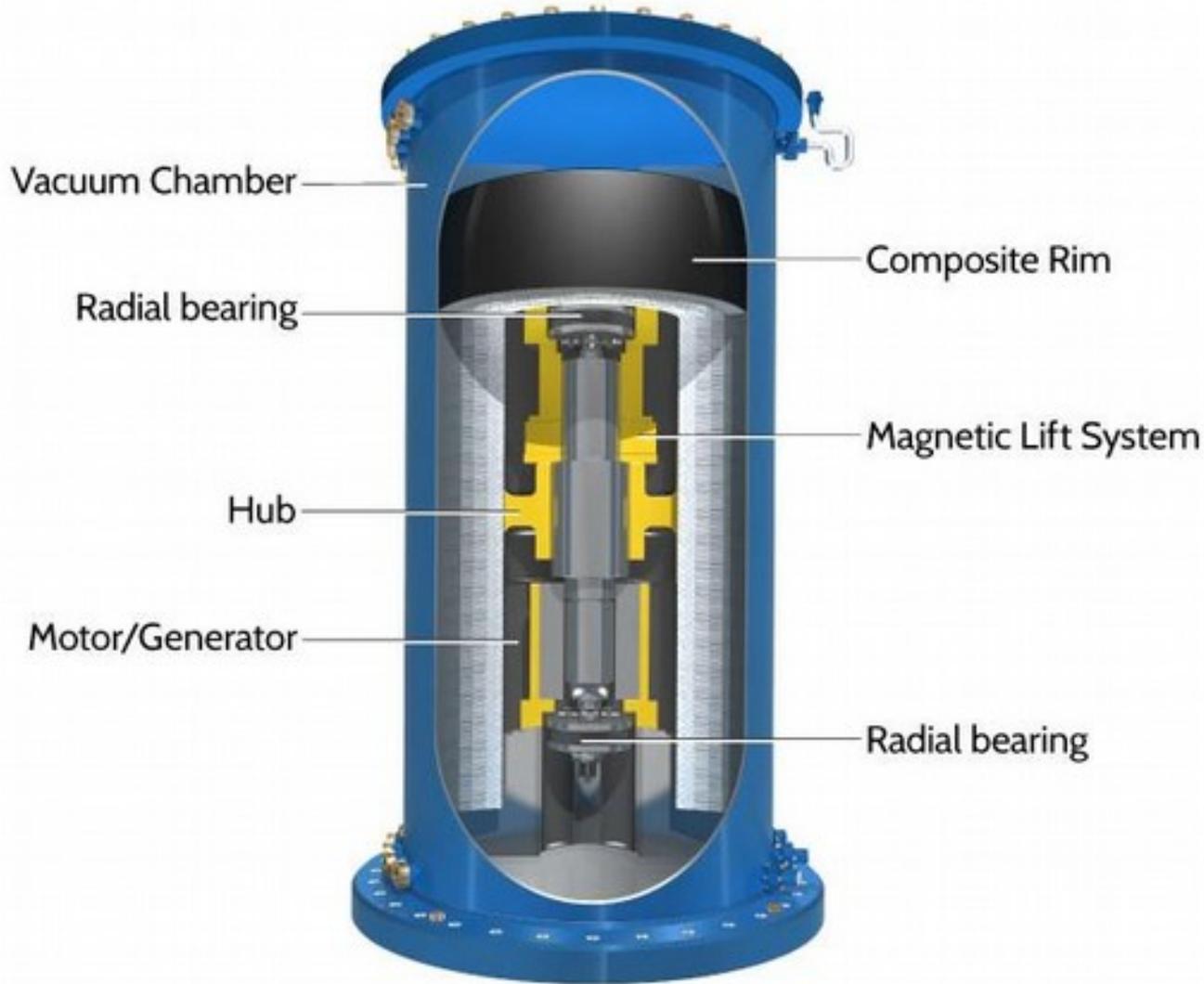


Schwungrad
100 kW
25 kWh (2014)

100 100000 1000000

ad

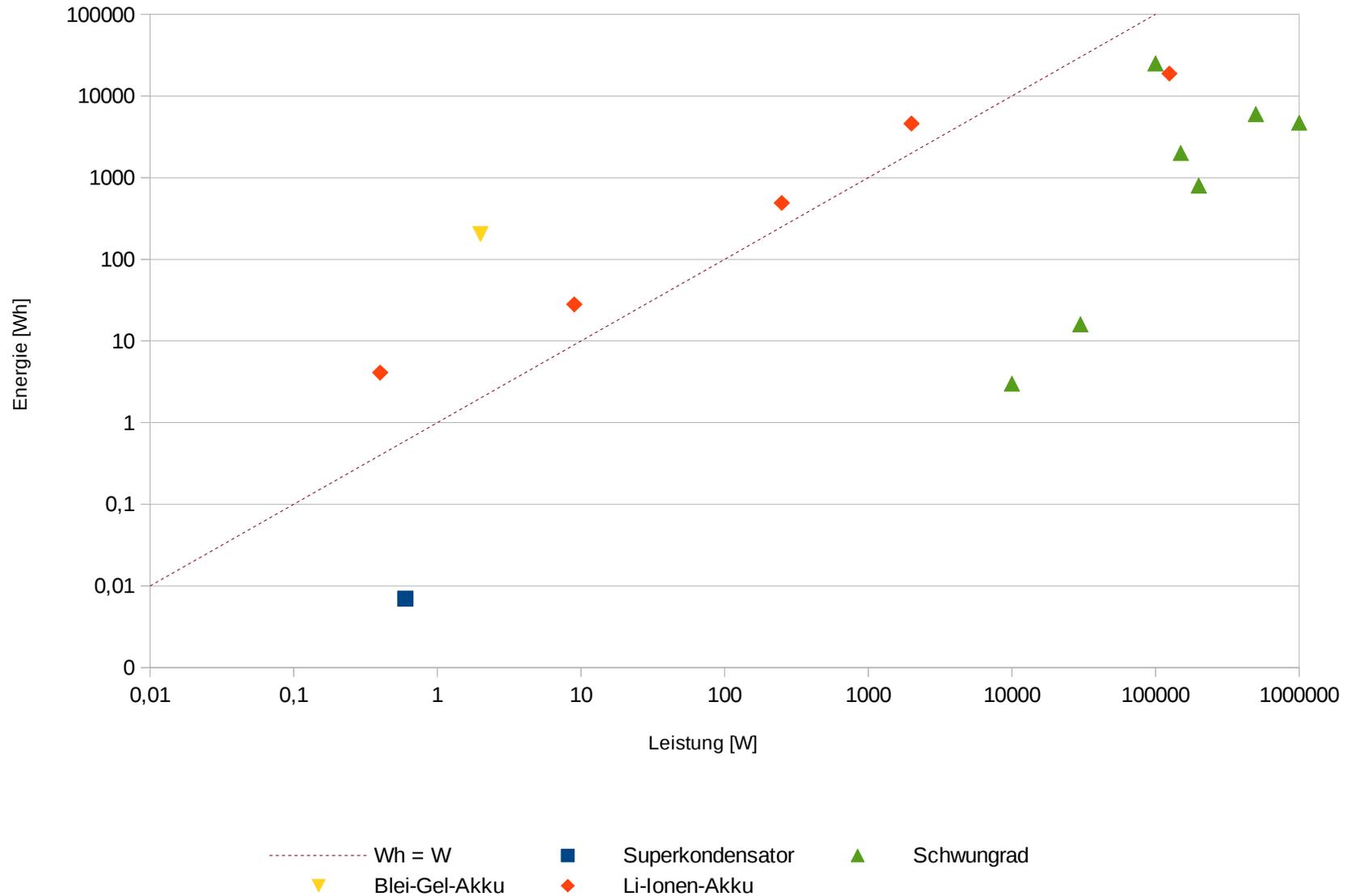
Cutaway View of Flywheel in Foundation



Schwungrad
100 kW
25 kWh (2014)

ad

Kapitel 1 – Stand der Technik



Kapitel 1 – Stand der Technik

	Superkondensator	Schwungrad	Blei-Akku	Li-Ionen-Akku
spezifische Energiespeichervermögen	1 .. 4 Wh/kg	... 10 Wh/kg	30 .. 40 Wh/kg	60 .. 180 Wh/kg
spezifisches Leistungsvermögen	3 .. 10 kW/kg	.. 2 kW/kg	0,03 kW/kg	0,3 .. 5 kW/kg
Temperaturbereich	-20 .. 70 °C		-20 .. 40 °C	0 .. 40 °C
Lebensdauer	5 .. 10 Jahre	unbegrenzt	3 .. 5 Jahre	5 .. 8 Jahre
zulässige Zyklenzahl	1.000.000	unbegrenzt	1.000	8.000
Selbstentladung	Wochen	Stunden	Monate	Monate
Preis		15.000 €/kWh	380 €/kWh	600 €/kWh

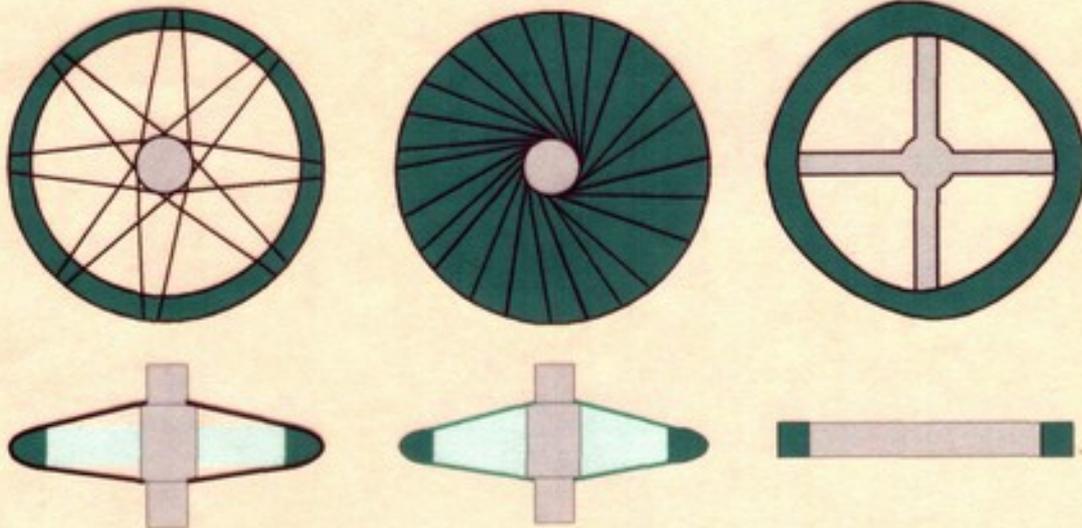
Material	Energie einer Scheibe Durchmesser d und Höhe h	maximale Spannung
isorop (z.B. Stahl)	$\rho \pi d^4 h \omega^2 / 32$	$\rho \omega^2 d^2 / 9,7$
anisotrop (z.B. Faserverbund)	$\rho \pi d^4 h \omega^2 / 32$	$\rho \omega^2 d^2 / 4$

Material	Energiespeicher- Vermögen Wh/kg	Preis €/kWh
Kohlenstofffaser hochfest	31	1800
normal	22	1200
Glasfasern	1,9	1600
Stahl	6,4	1500

Neue Anwendungen für Schwungradspeicher können auch in Zukunft nicht erschlossen werden.

Konstruktion der Schwungmasse

1. Ring mit Speichen

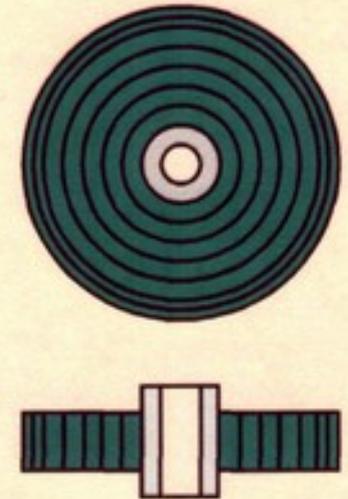


Speichen aus Fasern

Kokontyp

Speichen aus Metall
(subzirkuläre Form)

2. Multiring-Varianten



Ringe mit Interferenzfittung
oder
Ringe aus unterschiedlichem
Material
Ziel: Dichteänderung
E-Moduländerung

Konstruktion der Schwungmasse

Programm zur Berechnung der Spannungen in einer rotierenden Scheibe

Randbedingungen: innen und außen kräftefrei

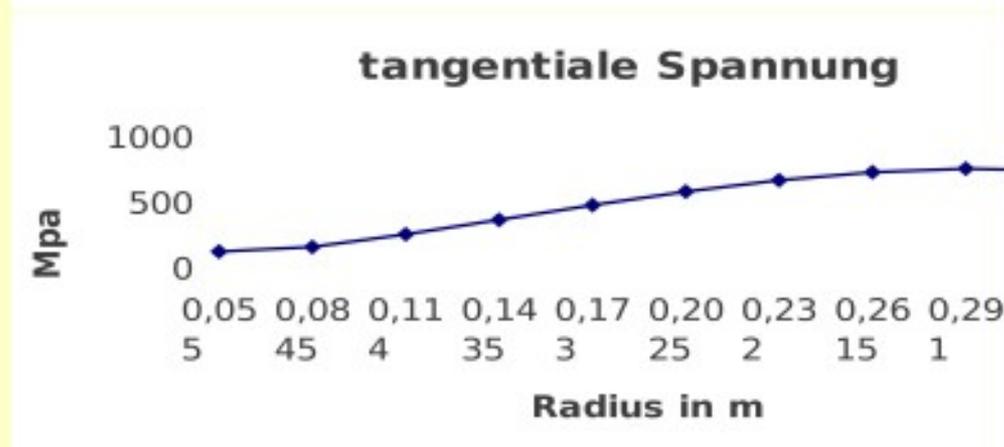
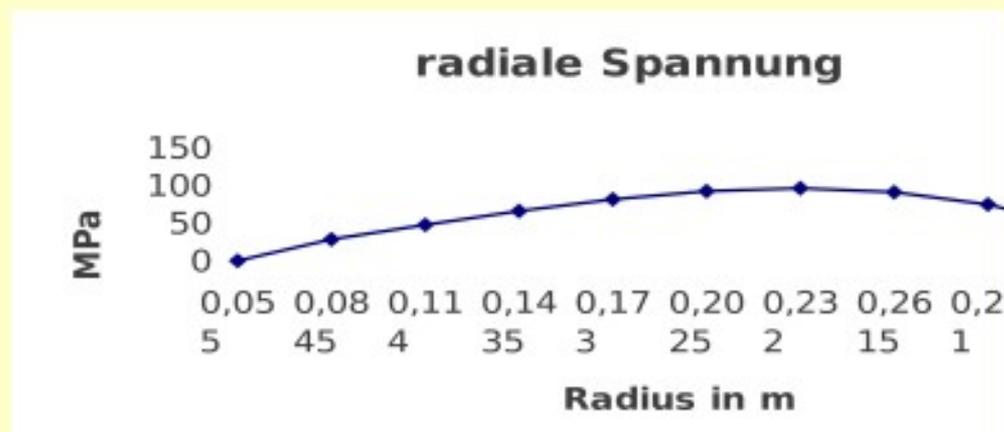
Material: C-Faser

Eingabe:

Außenradius [m]	0,35
Innenradius [m]	0,055
Scheibenhöhe außen [m]	0,17
Anstieg der Höhe [-]	0
Dichte [kg/m ³]	1573
Drehzahl [U/min]	25000
E-Modul tangential [GPa]	142
E-Modul radial [GPa]	9,5
Querkontraktionszahl [-]	0,3

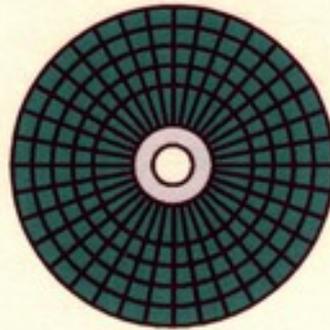
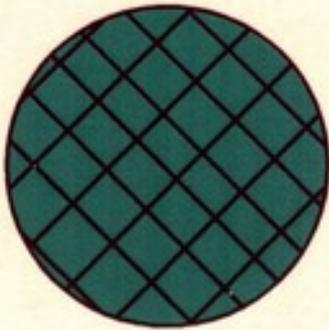
Ergebnisse:

Energie [Wh]	5987,55
Masse [kg]	100,32
spez. Energie [Wh/kg]	59,68
Maximum von	
Spannung radial [MPa]	96,37
Spannung tang. [MPa]	762,84
Höhe innen [m]	0,17
Versch. außen U _o [mm]	1,689
Verschiebung innen U _i	0,050



Konstruktion der Schwungmasse

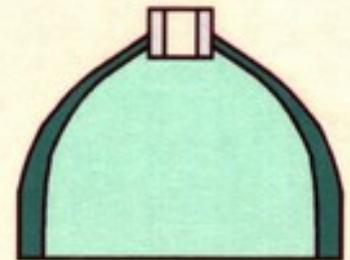
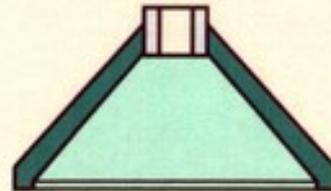
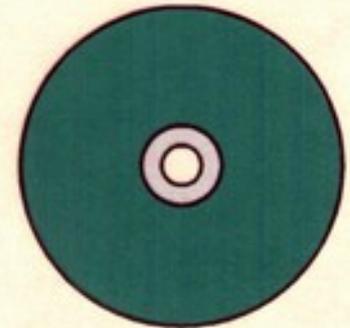
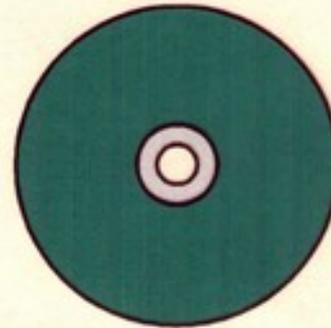
3. Schwungräder mit radialer und tangentialer Faserrichtung



quasi-isotrope
Scheibe

spezielle Strickform

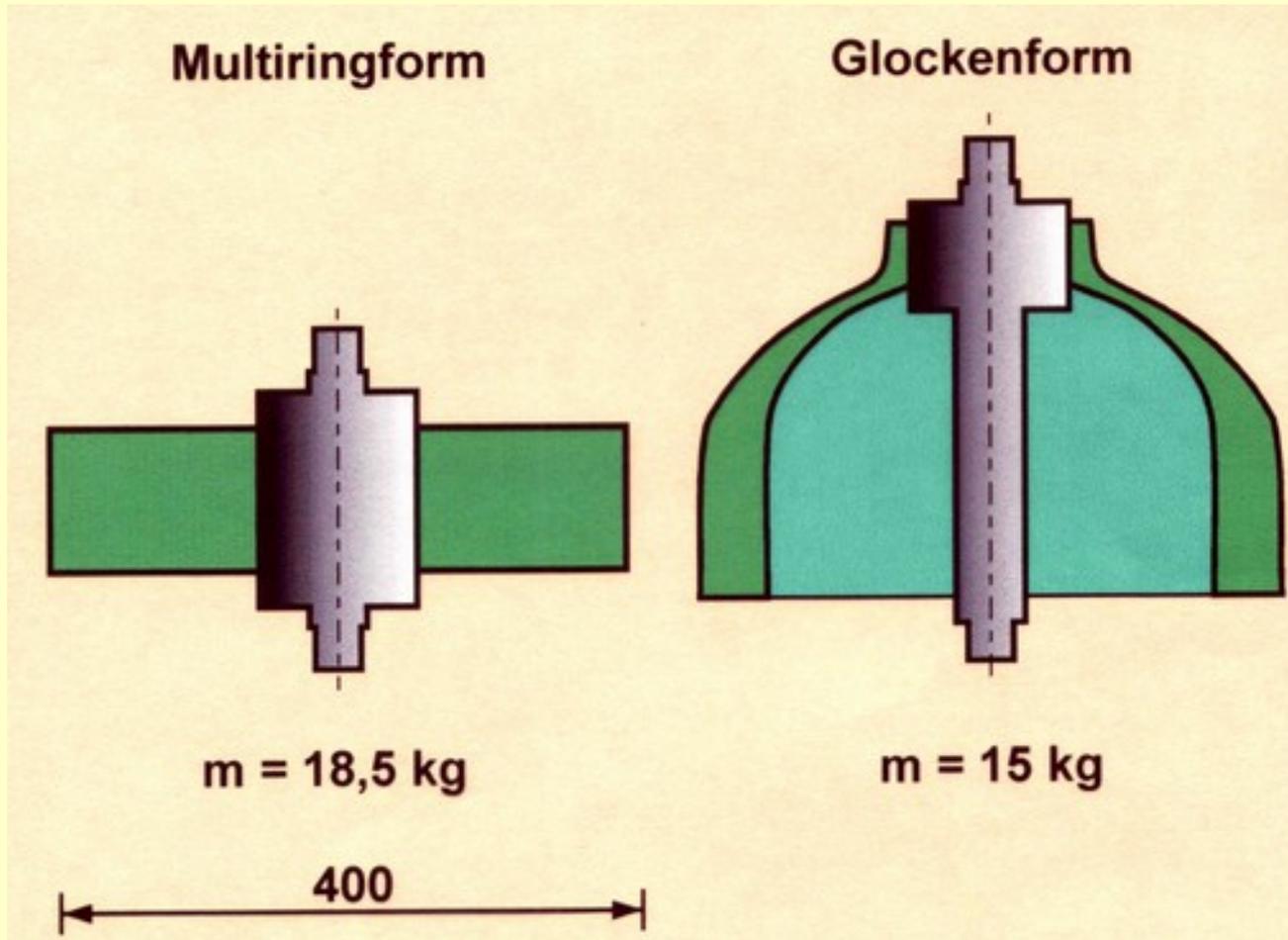
4. dreidimensionale Formen



Kegelmantelform

Ellipsoidform

Konstruktion der Schwungmasse



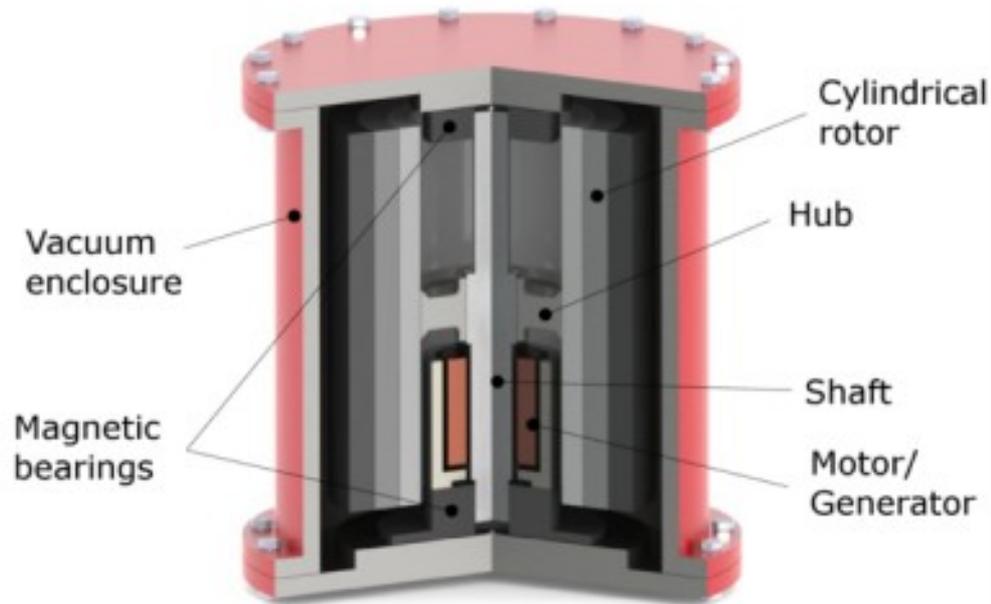
Konstruktion der Lagerung

	Magnetlager	Spindellager
Lagerreibung	keine	0,5 bis 2 kW
Platzbedarf	erheblich	sehr gering
Steifigkeit	nur für stationären Einsatz	sehr gut, auch für Stöße in Fahrzeugen geeignet
Zubehör	aufwendige Elektronik und Sensoren und Notlauflager	Ölkreislauf mit Pumpe und Filter
Betriebs-sicherheit	bei Steuerungsausfall Totalverlust	sehr sicher

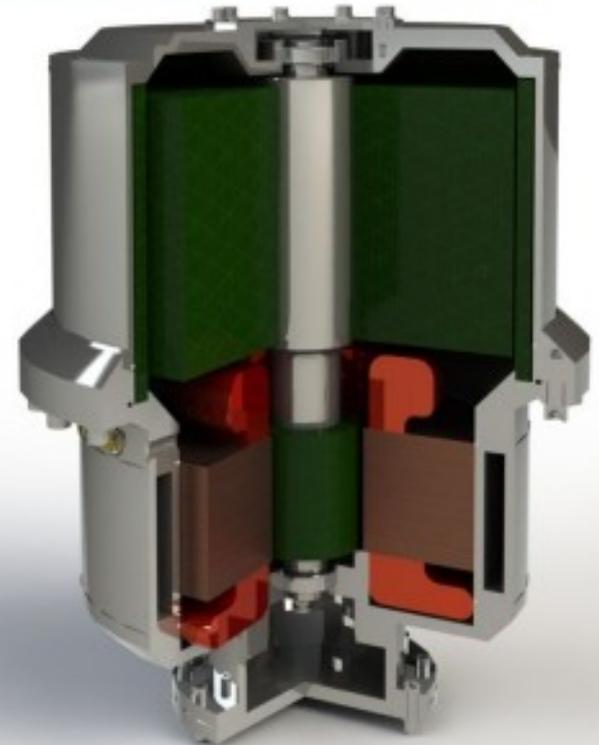
Anordnung von Motor und Schwungmasse

integriert

getrennt



Quelle: Wikipedia



Anordnung von Motor und Schwungmasse

	integriert	getrennt
Platzbedarf	etwas geringerer	
Nutzung der Faserfestigkeit	nur zu 30 %	100 %
Energiespeicherung des Faserverbundes	22 Wh/kg	65 Wh/kg
Fertigung	einfacher	mechanisch aufwendiger
Sicherheit	hoch belastete Stahlteile	sehr sicher

T2

Zeitraum der Entwicklung
2000 bis 2006

Verkauf 4 Stück

Leistung bis 500 kW

Energieinhalt 6 kWh

Drehzahl 25.000 U/min

Rotordurchmesser 700 mm



T2

Zeitraum der Entwicklung
2000 bis 2006

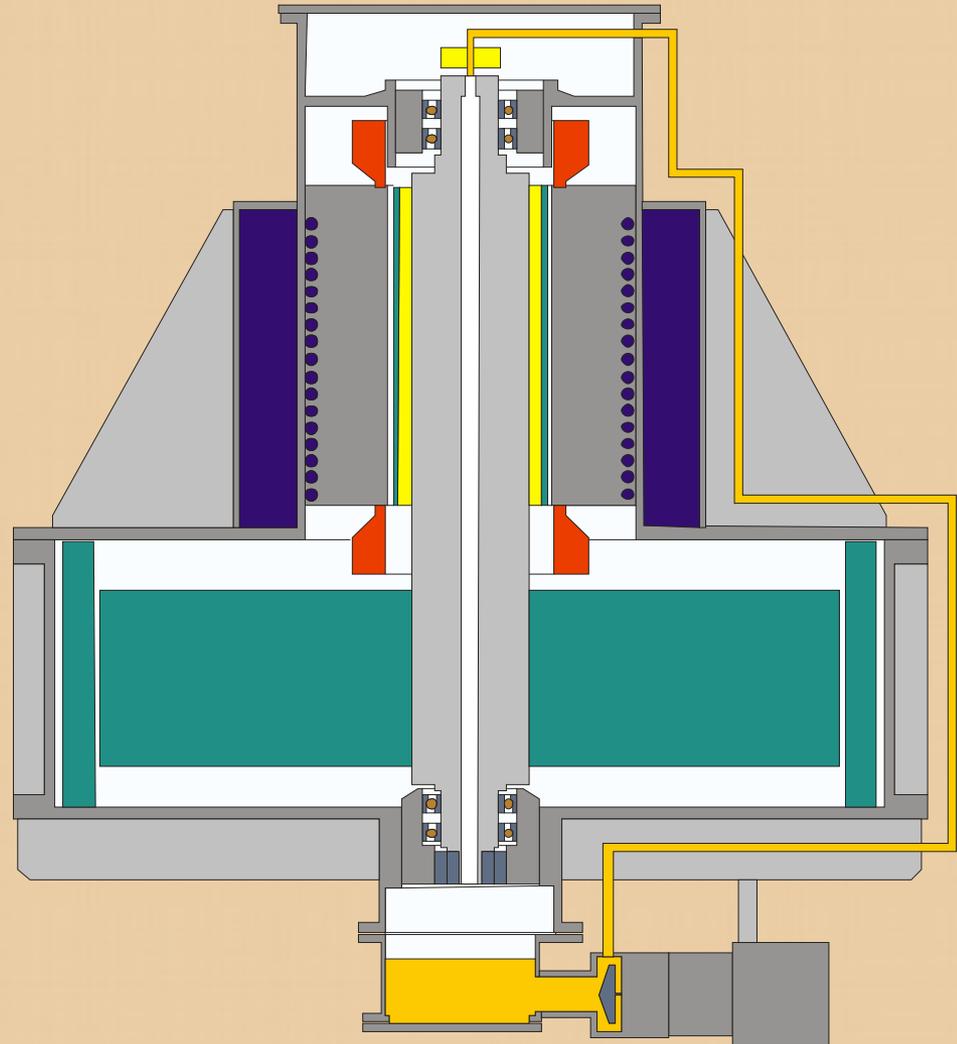
Verkauf 4 Stück

Leistung bis 500 kW

Energieinhalt 6 kWh

Drehzahl 25.000 U/min

Rotordurchmesser 700 mm



T2

Zeitraum der Entwicklung
2000 bis 2006

Verkauf 4 Stück

Leistung bis 500 kW

Energieinhalt 6 kWh

Drehzahl 25.000 U/min

Rotordurchmesser 700 mm



T4

Zeitraum der Entwicklung
2010 bis 2013

Verkauf -

Leistung bis 200 kW

Energieinhalt 2 kWh

Drehzahl 50.000 U/min

Rotordurchmesser 360 mm



T4

Zeitraum der Entwicklung
2010 bis 2013

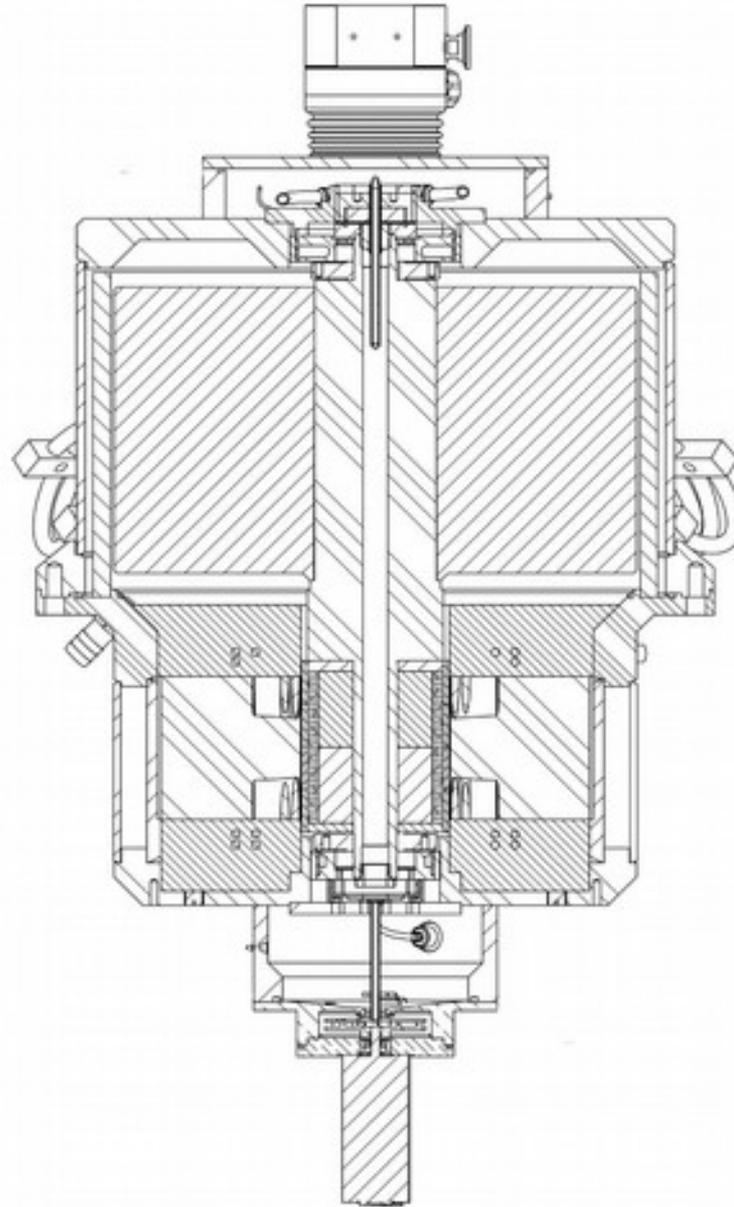
Verkauf -

Leistung bis 200 kW

Energieinhalt 2 kWh

Drehzahl 50.000 U/min

Rotordurchmesser 360 mm



T4

Zeitraum der Entwicklung
2010 bis 2013

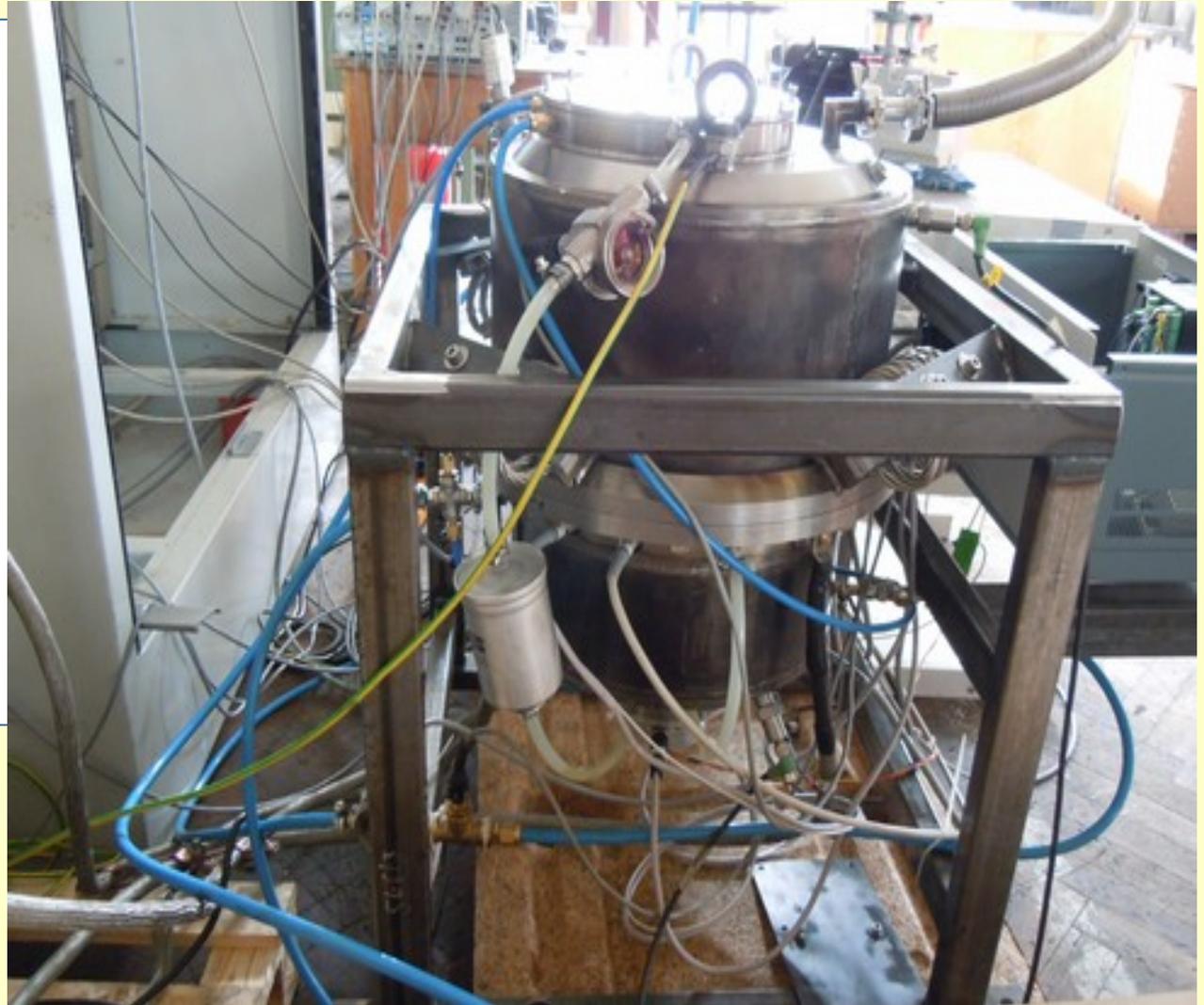
Verkauf -

Leistung bis 200 kW

Energieinhalt 2 kWh

Drehzahl 50.000 U/min

Rotordurchmesser 360 mm



T5

Zeitraum der Entwicklung
2010 bis 2013

Verkauf -

Leistung bis 100 kW

Gewicht 30 kg

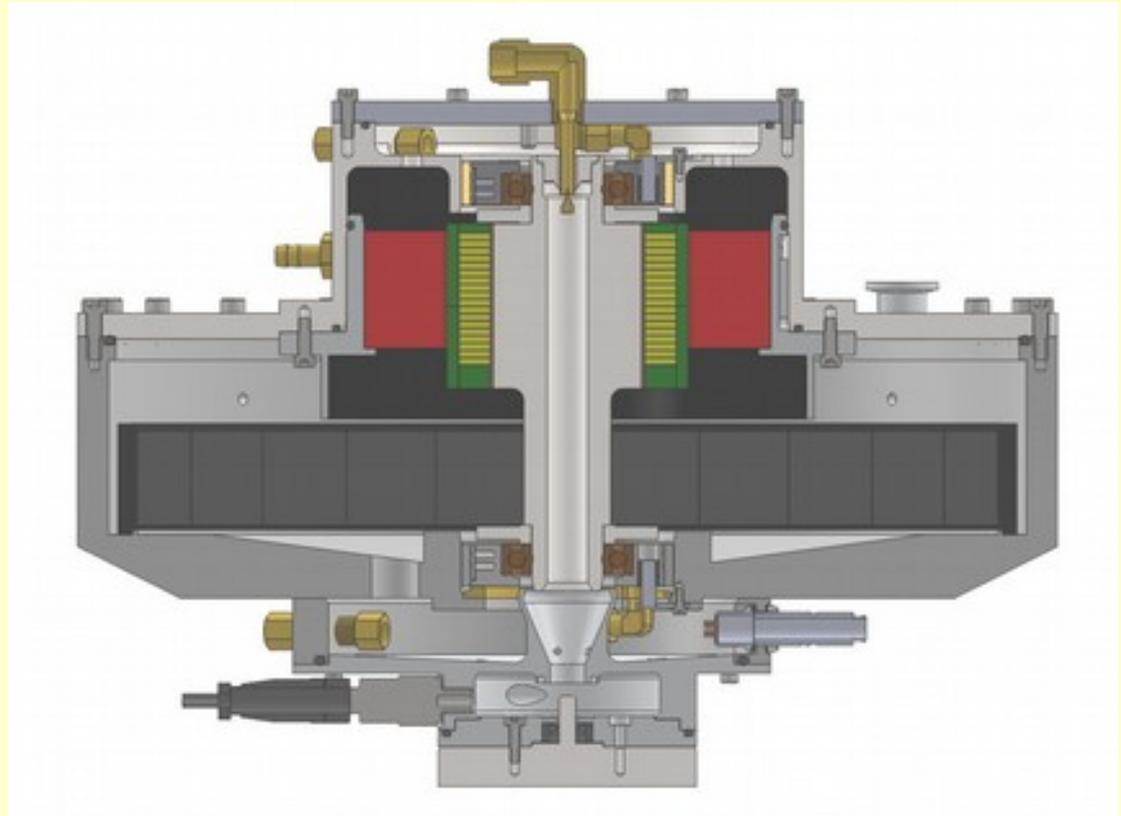
Energieinhalt 680 kWs

Drehzahl 50.000 U/min

Rotordurchmesser 360 mm

Anwendung Rennsport

Entwicklung angebrochen



T5

Zeitraum der Entwicklung
2010 bis 2013

Verkauf -

Leistung bis 100 kW

Gewicht 30 kg

Energieinhalt 680 kW_s

Drehzahl 50.000 U/min

Rotordurchmesser 360 mm

Anwendung Rennsport

Entwicklung angebrochen



T3

Zeitraum der Entwicklung
2006 bis 2008

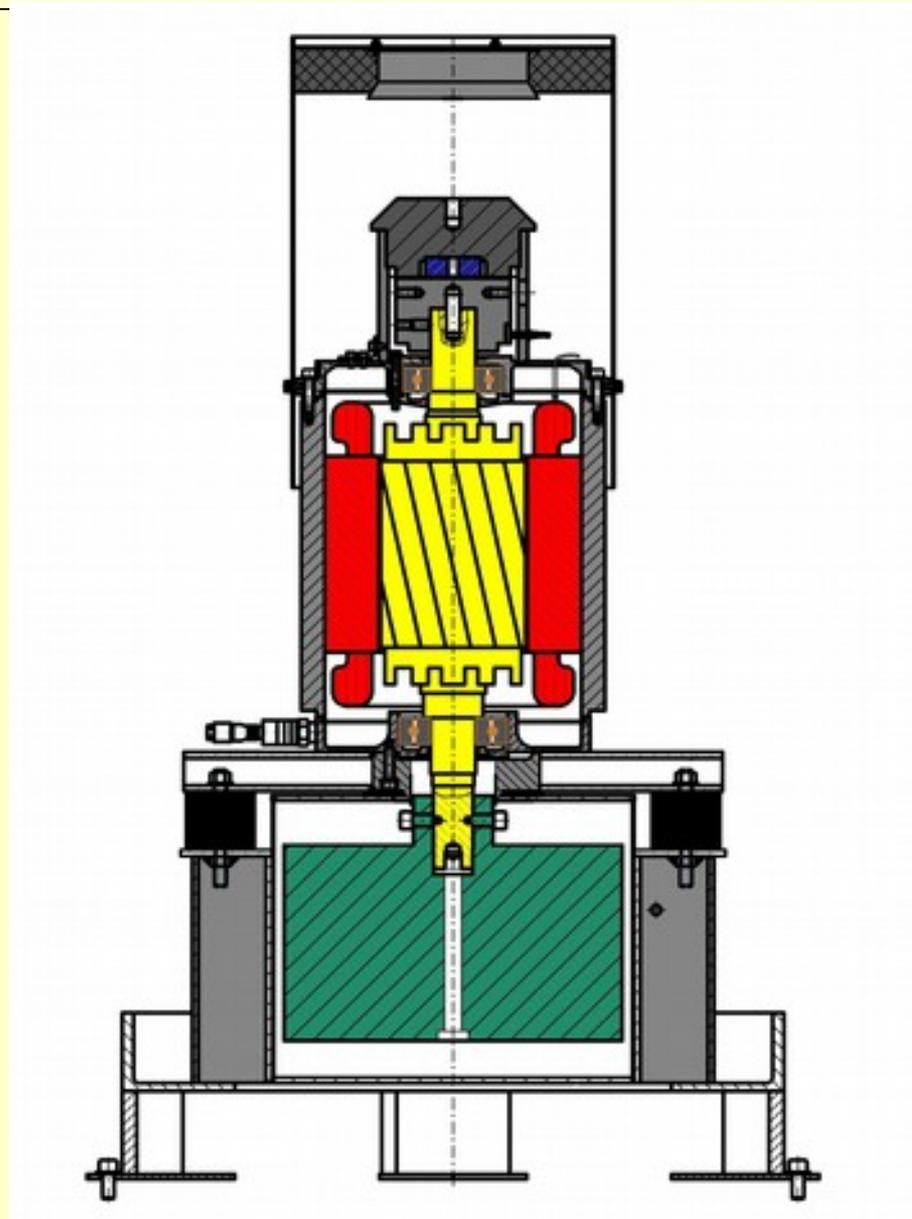
Verkauf 6 Stück

Leistung 3 bis 15 kW

Energieinhalt 420 kWh

Drehzahl 6.000 U/min

Rotordurchmesser 340 mm



T3

Zeitraum der Entwicklung
2006 bis 2008

Verkauf 6 Stück

Leistung 3 bis 15 kW

Energieinhalt 420 kWh

Drehzahl 6.000 U/min

Rotordurchmesser 340 mm



T6

Zeitraum der Entwicklung
2009 bis 2015

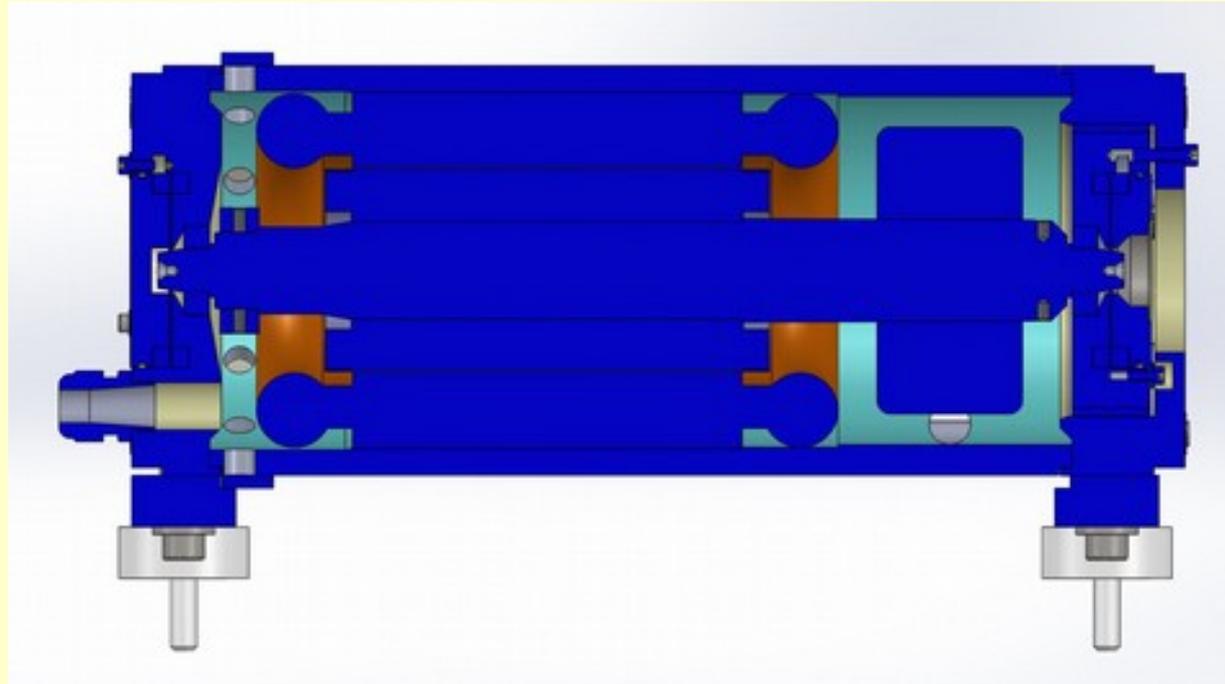
Verkauf 2 Stück

Leistung 10 bis 15 kW

Energieinhalt 45 kW_s

Drehzahl 25.000 U/min

Rotordurchmesser 112 mm



T6

Zeitraum der Entwicklung
2009 bis 2015

Verkauf 2 Stück

Leistung 10 bis 15 kW

Energieinhalt 45 kW_s

Drehzahl 25.000 U/min

Rotordurchmesser 112 mm



PKW-Modul

Zeitraum der Entwicklung
2012 bis 2013

Verkauf 1 Stück

Einsatz Versuche mit Pkw

Leistung bis 60 kW

Energieinhalt 280 kWh

Gewicht 43 kg

Drehzahl 60.000 U/min

Rotordurchmesser 120 mm



PKW-Modul

Zeitraum der Entwicklung
2012 bis 2013

Verkauf 1 Stück

Einsatz Versuche mit Pkw

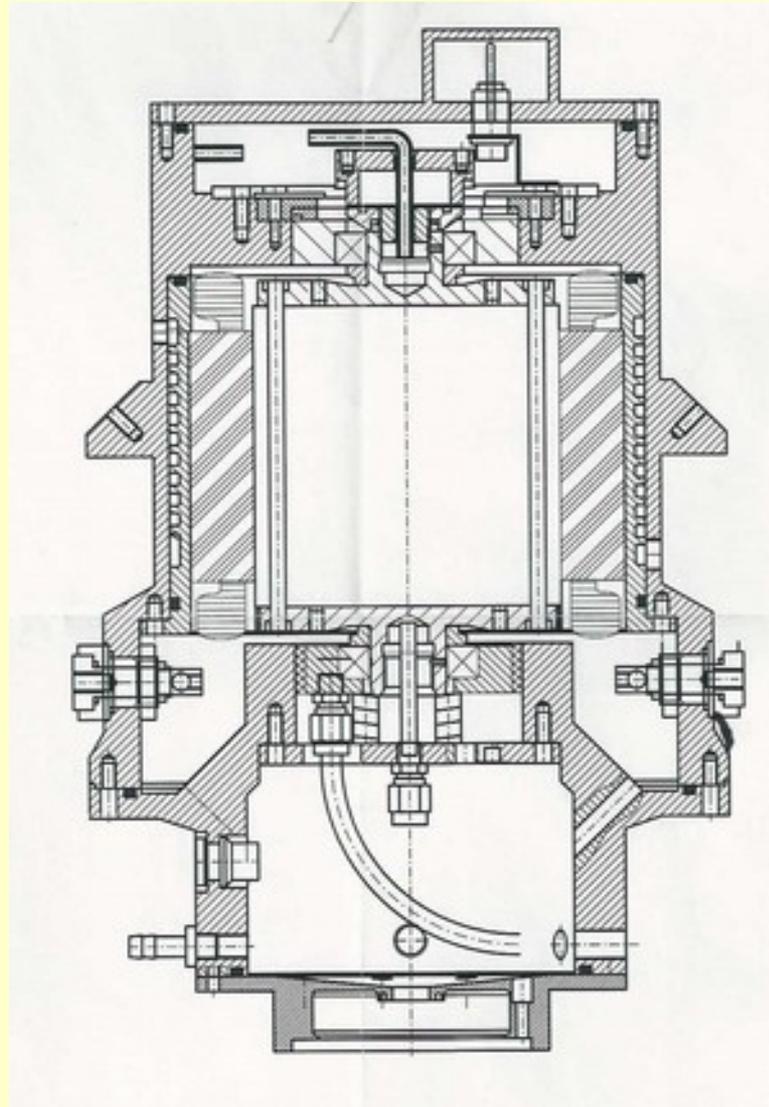
Leistung bis 60 kW

Energieinhalt 280 kW_s

Gewicht 43 kg

Drehzahl 60.000 U/min

Rotordurchmesser 120 mm



PKW-Modul

Zeitraum der Entwicklung
2012 bis 2013

Verkauf 1 Stück

Einsatz Versuche mit Pkw

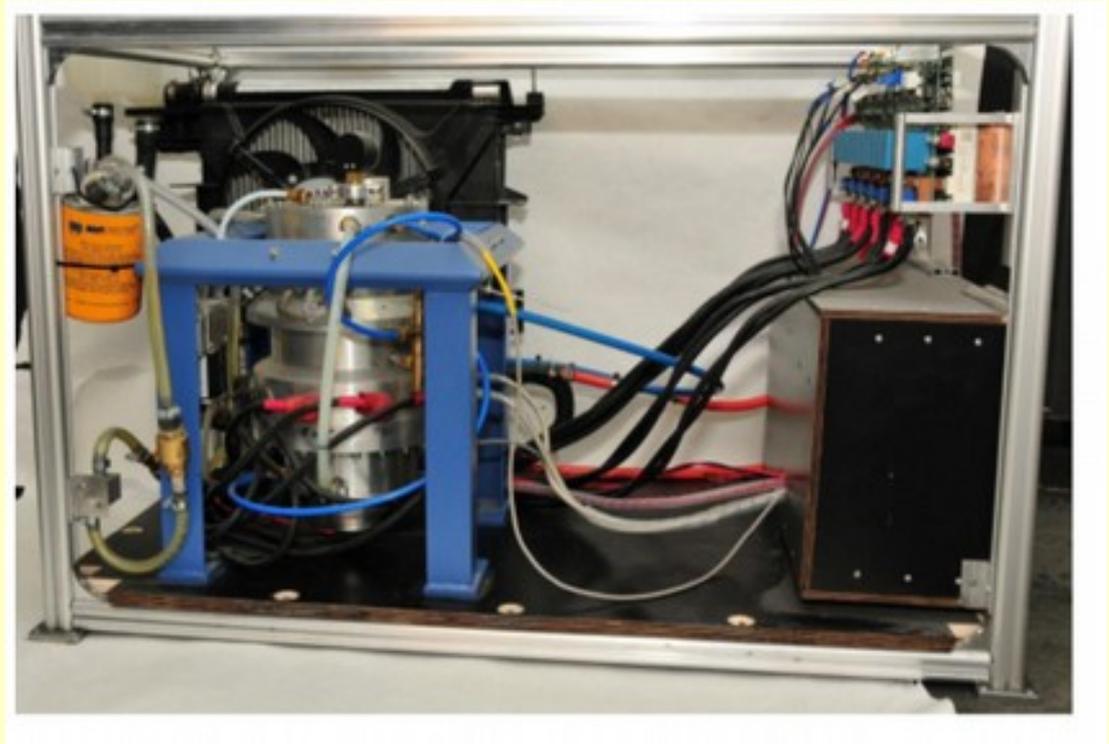
Leistung bis 60 kW

Energieinhalt 280 kWh

Gewicht 43 kg

Drehzahl 60.000 U/min

Rotordurchmesser 120 mm



Anwendung: Netzstabilisierung

Leistung bis 100 kW

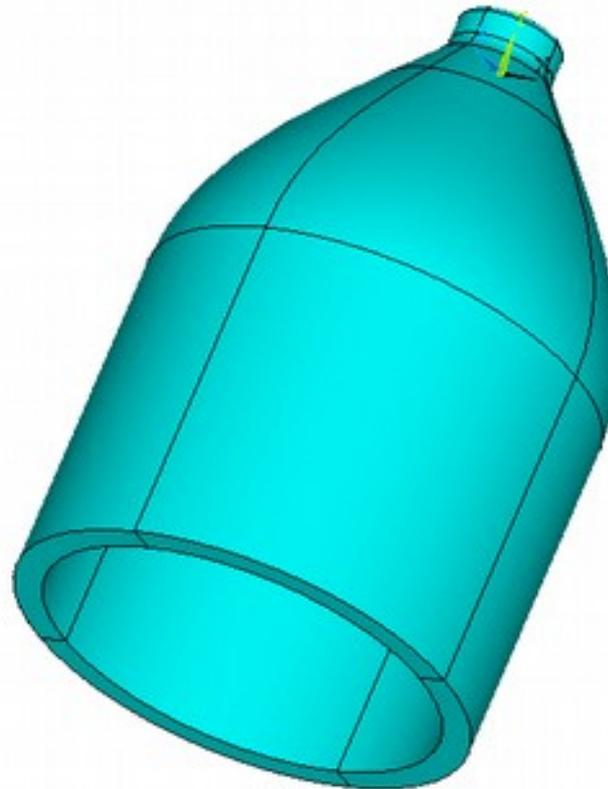
Energieinhalt 10 kWh

Faser-Gewicht 80 kg

Drehzahl 35.000 U/min

Rotordurchmesser 590 mm

Rotorhöhe 920 mm

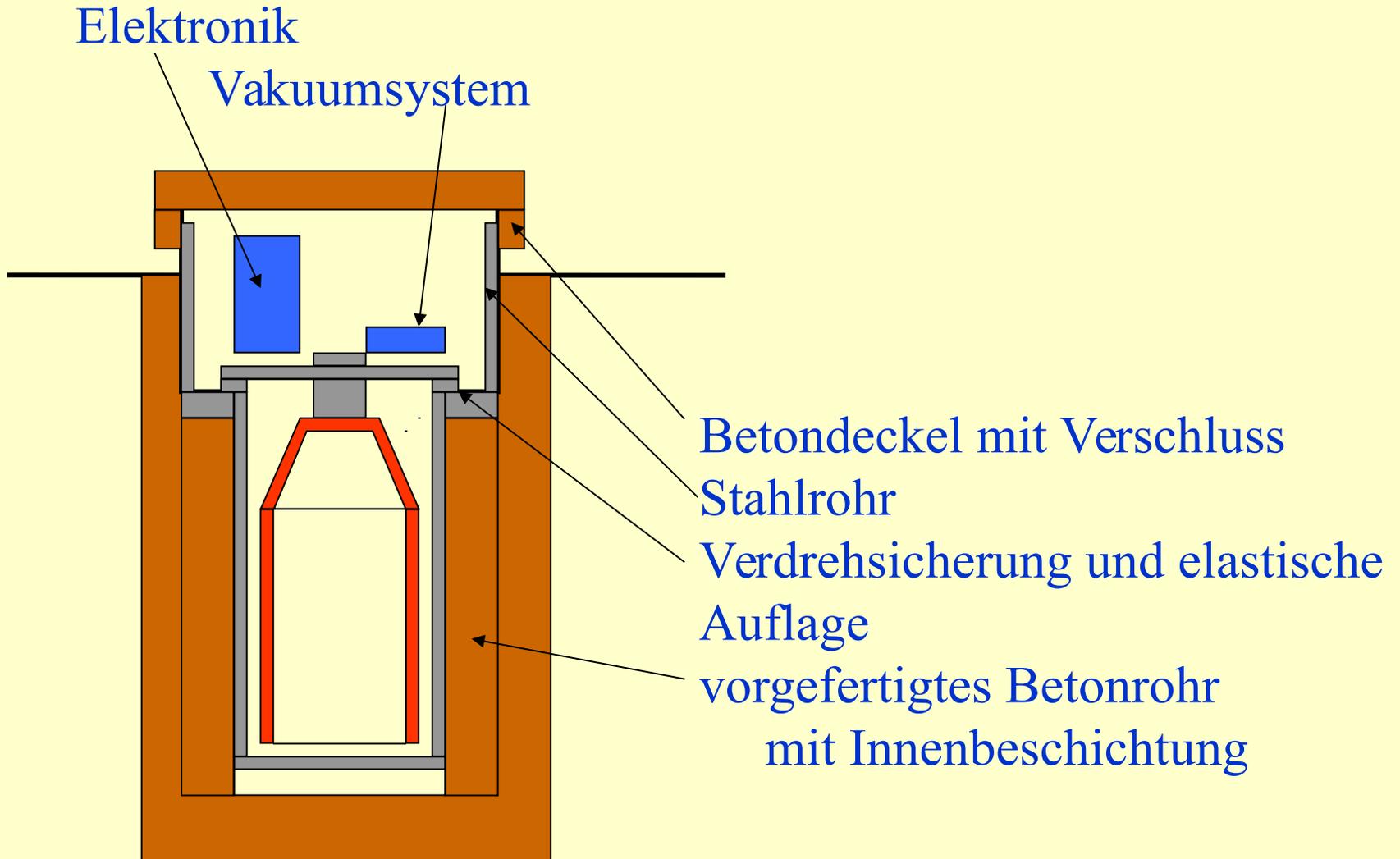


ANSYS

APR 19 2010

12:48:56

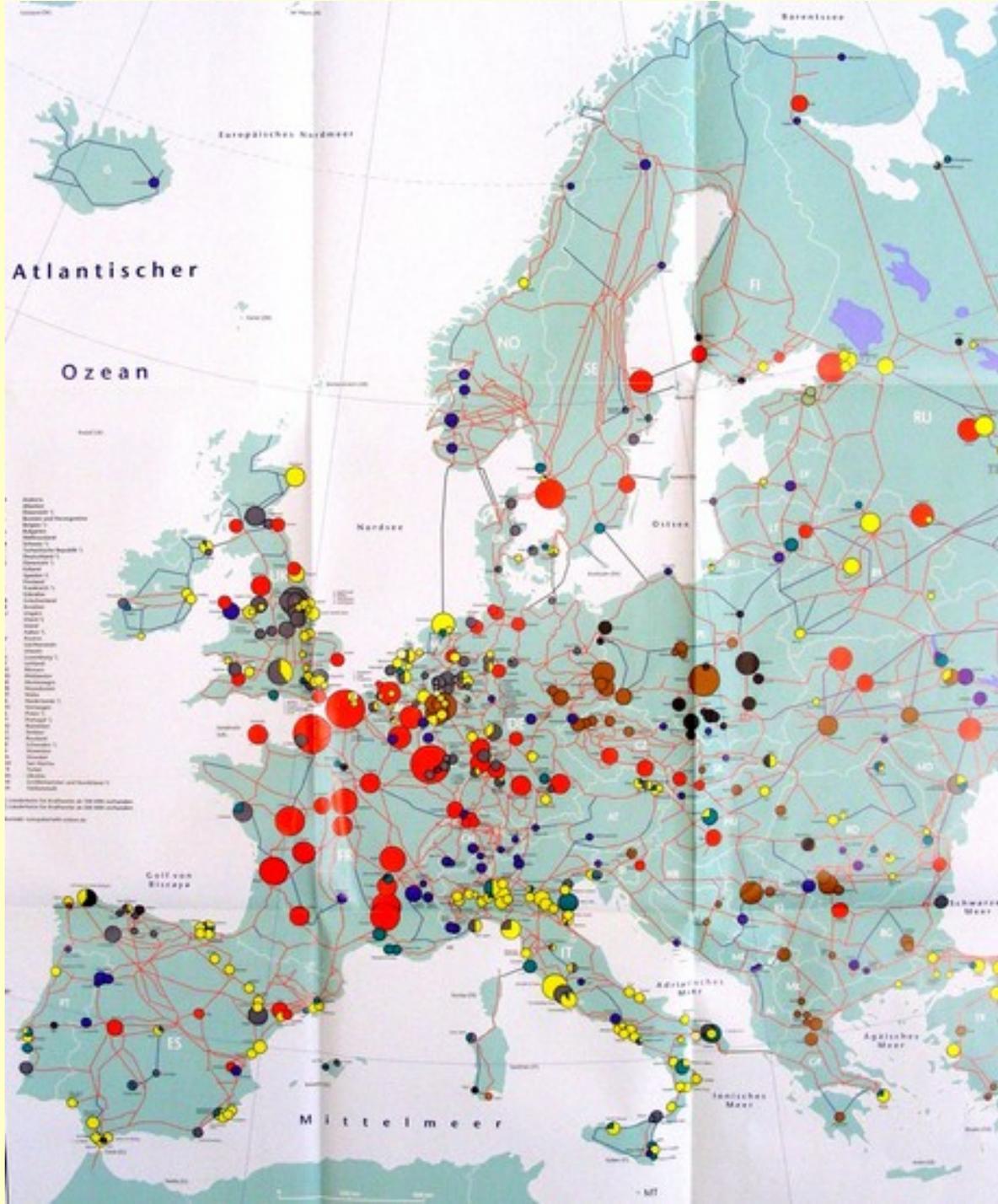
Anwendung: Netzstabilisierung



www.kb-ft.de

www.rosseta.de

Ich habe eine umfassende Beschreibung der Schwungradspeicher der rosseta Technik und ihrer Besonderheiten verfasst, wenn Sie daran Interesse haben, senden Sie mir eine email an post@kb-ft.de oder rufen mich an : 015117892399. Ich sende Ihnen dann ein Exemplar zu. Ich werde mich freuen, wenn die unter Mühen erarbeiteten Erfahrungen neue Nutzer finden.
Frank Täubner



- Uran
- Steinkohle
- Braunkohle
- Gas
- Wasser