

# 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:

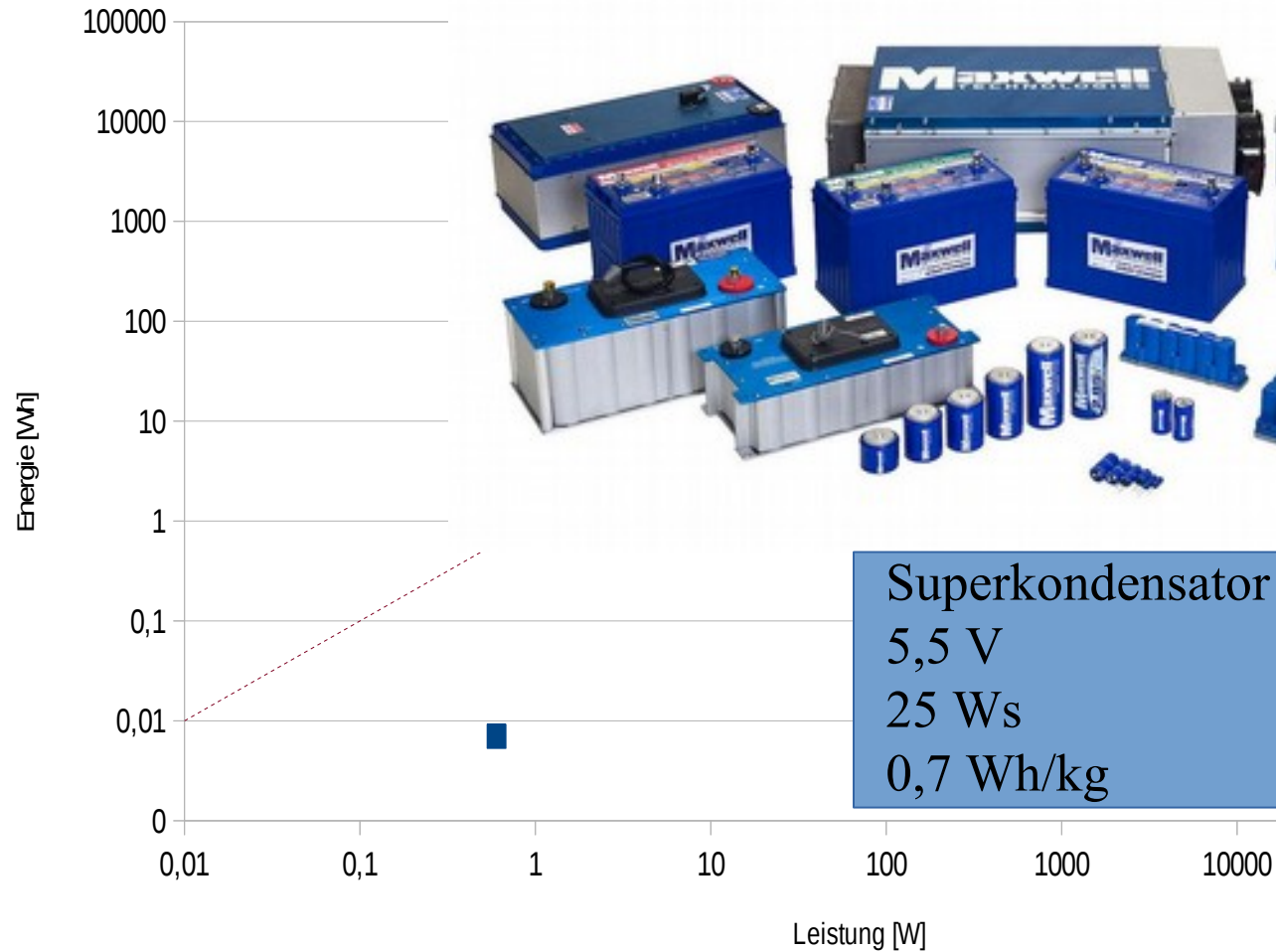
Was dürfen wir von Schwungrädern erwarten?

3 – Auf der Suche nach der Idealform

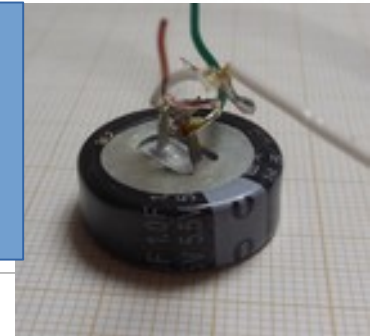
4 – Die Energiespeicher der rosseta Technik GmbH

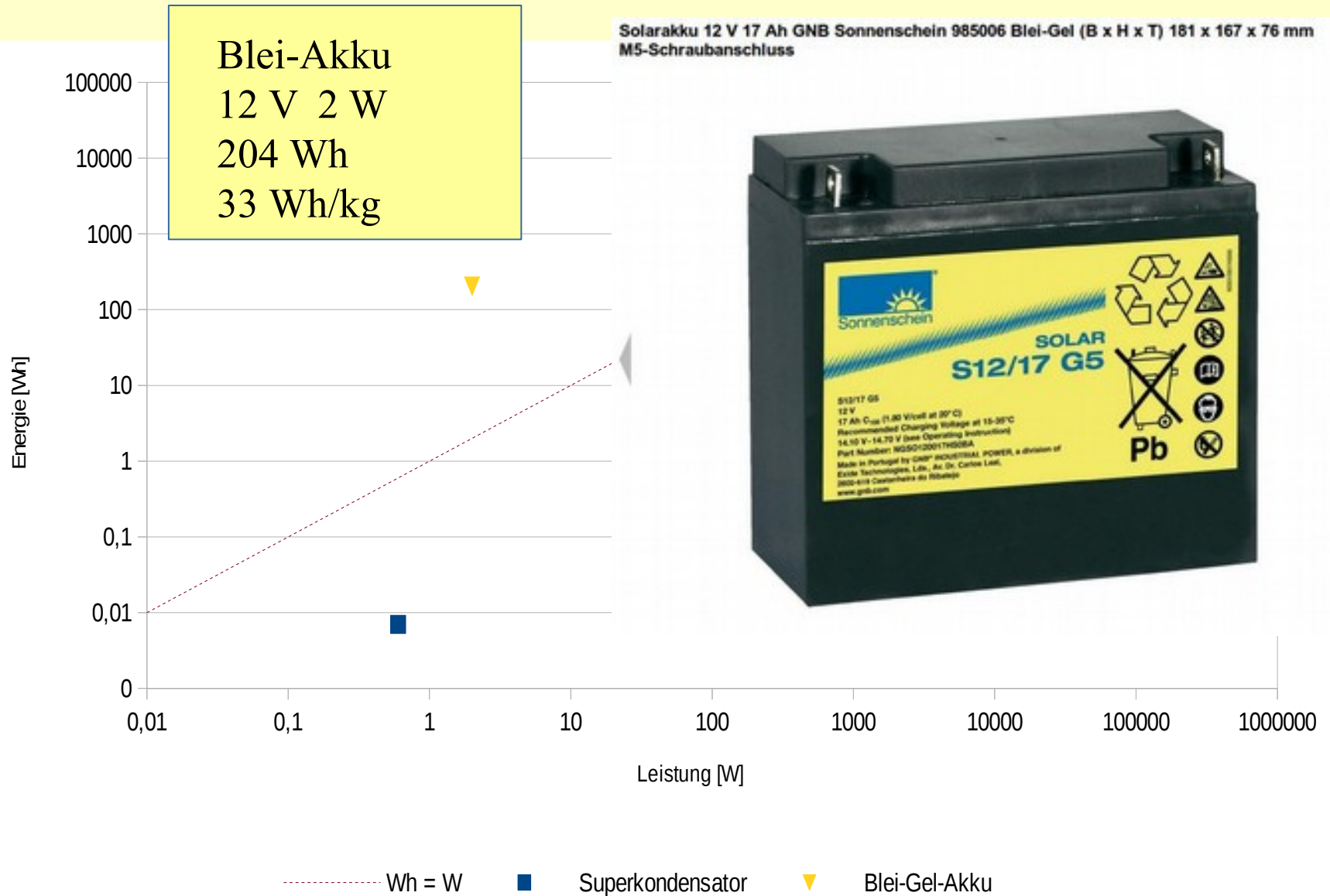
5 – Neue Ideen für Schwungradspeicher

# Kapitel 1 – Stand der Technik

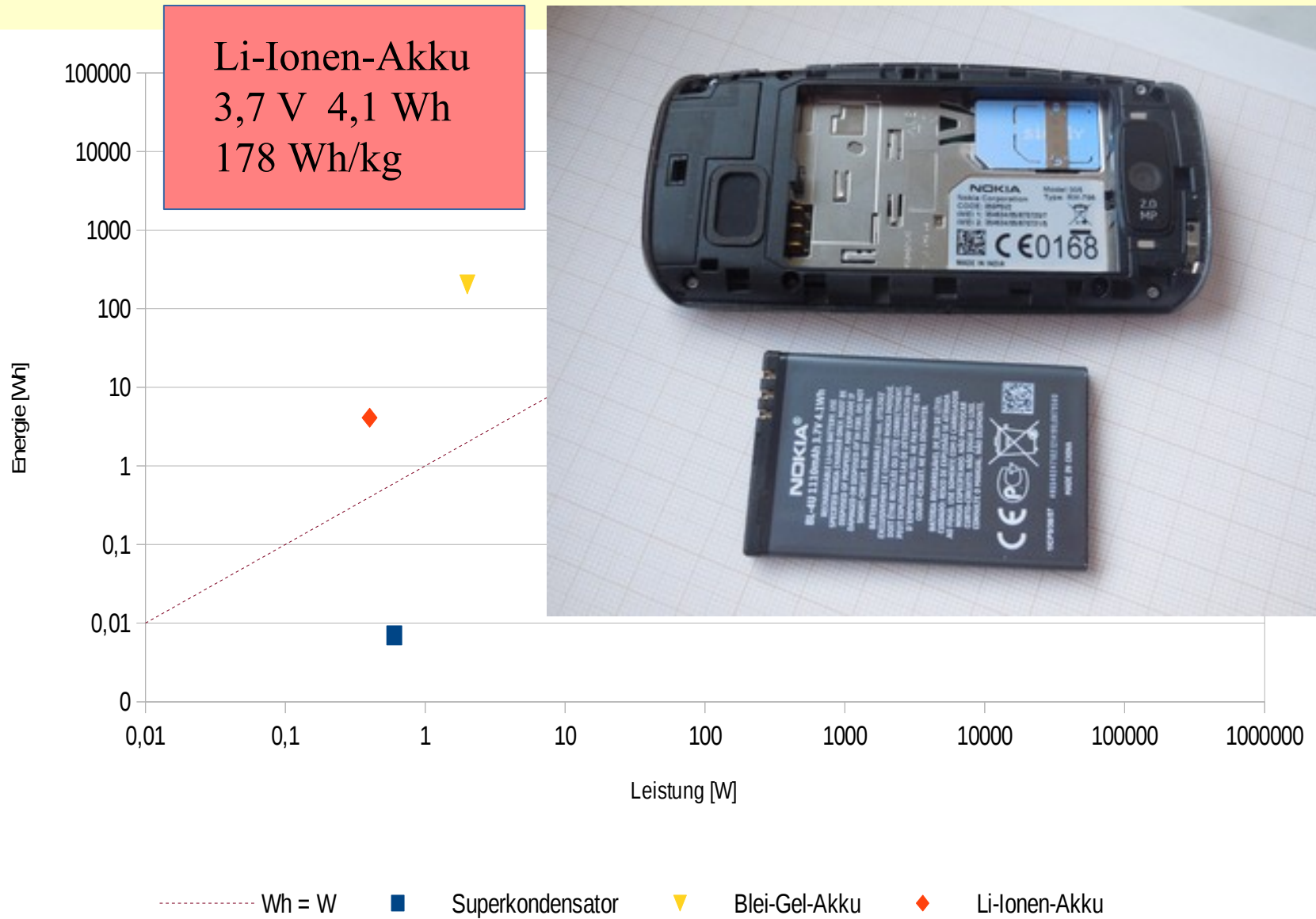


Superkondensator  
5,5 V  
25 Ws  
0,7 Wh/kg

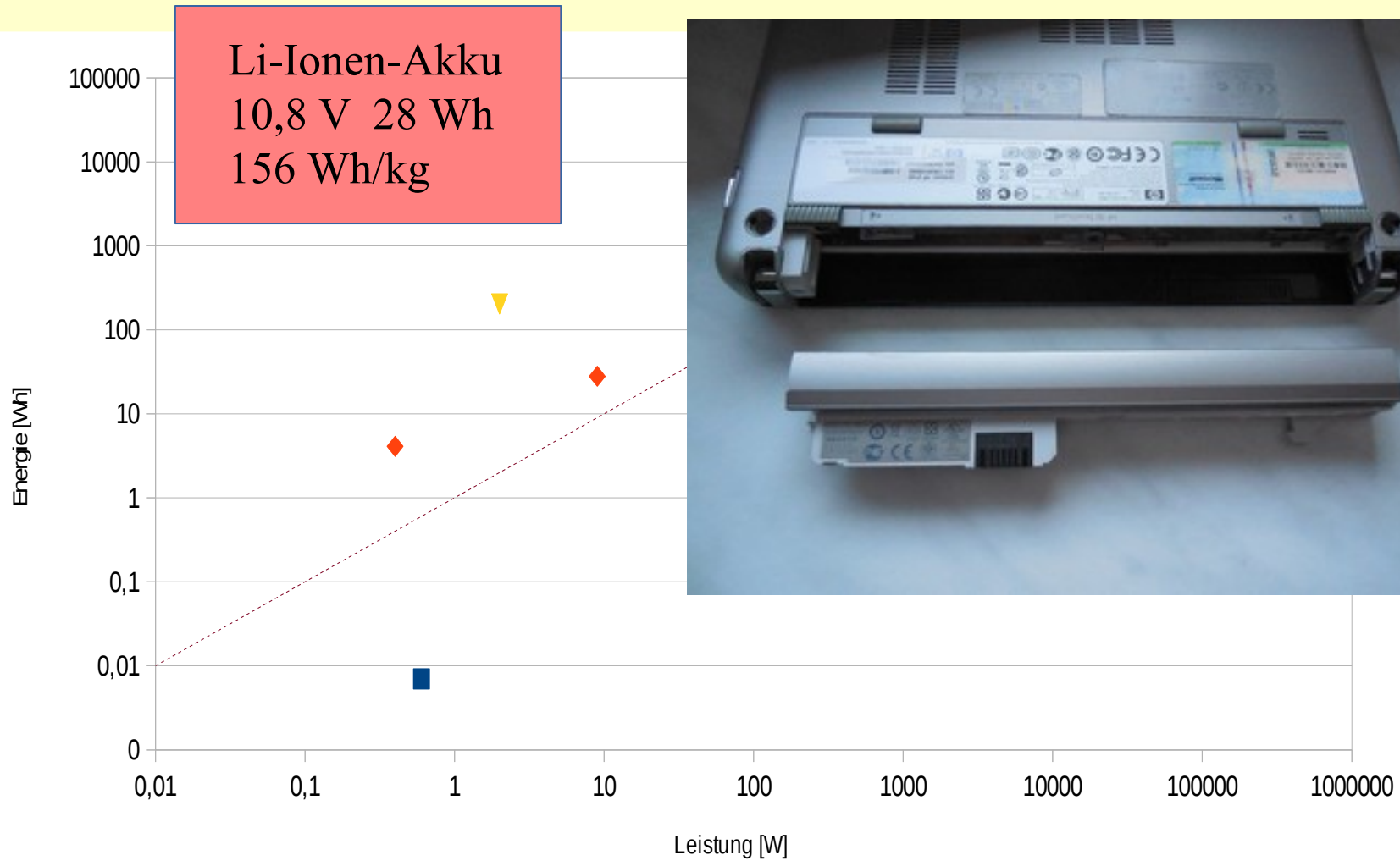




# Kapitel 1 – Stand der Technik

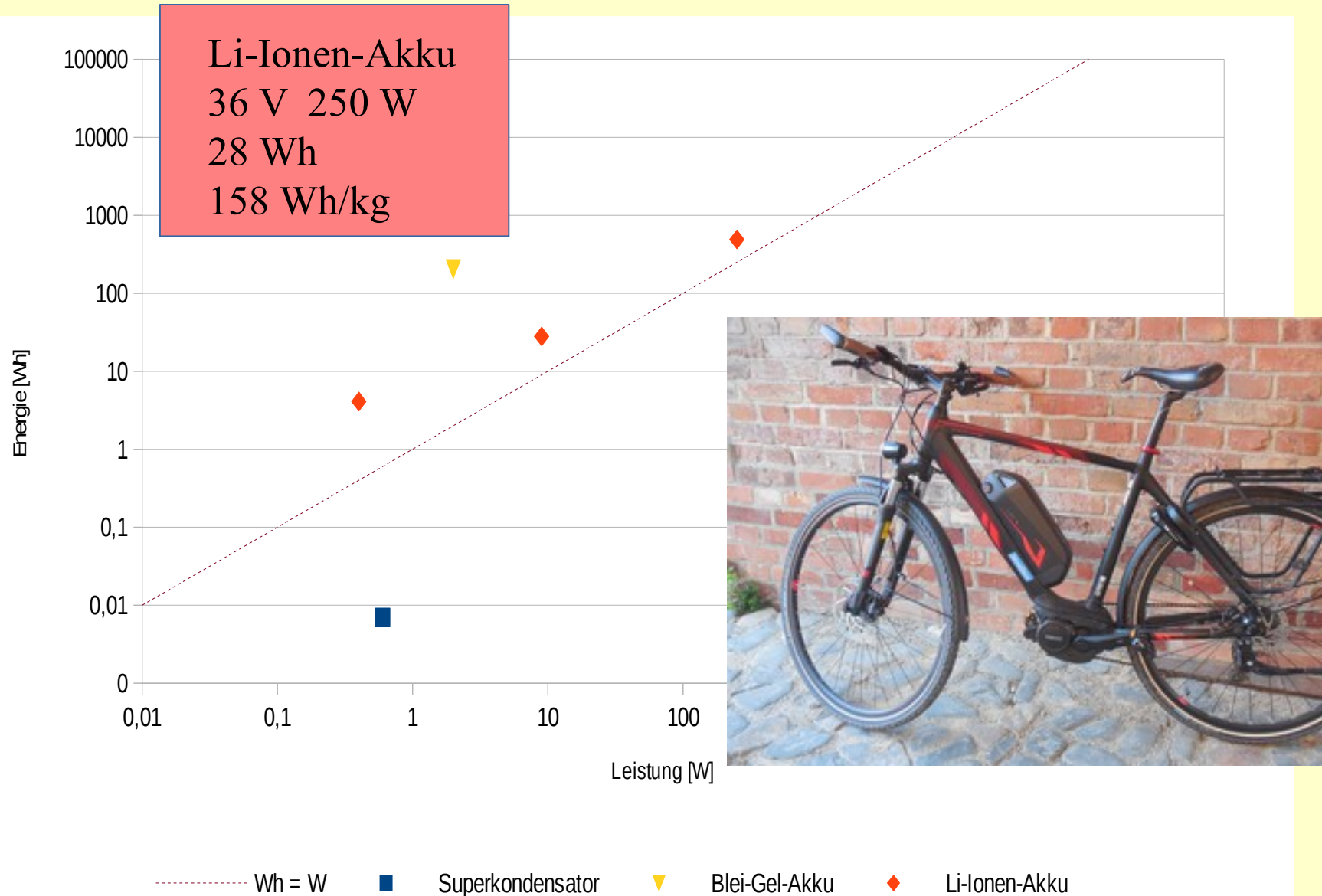


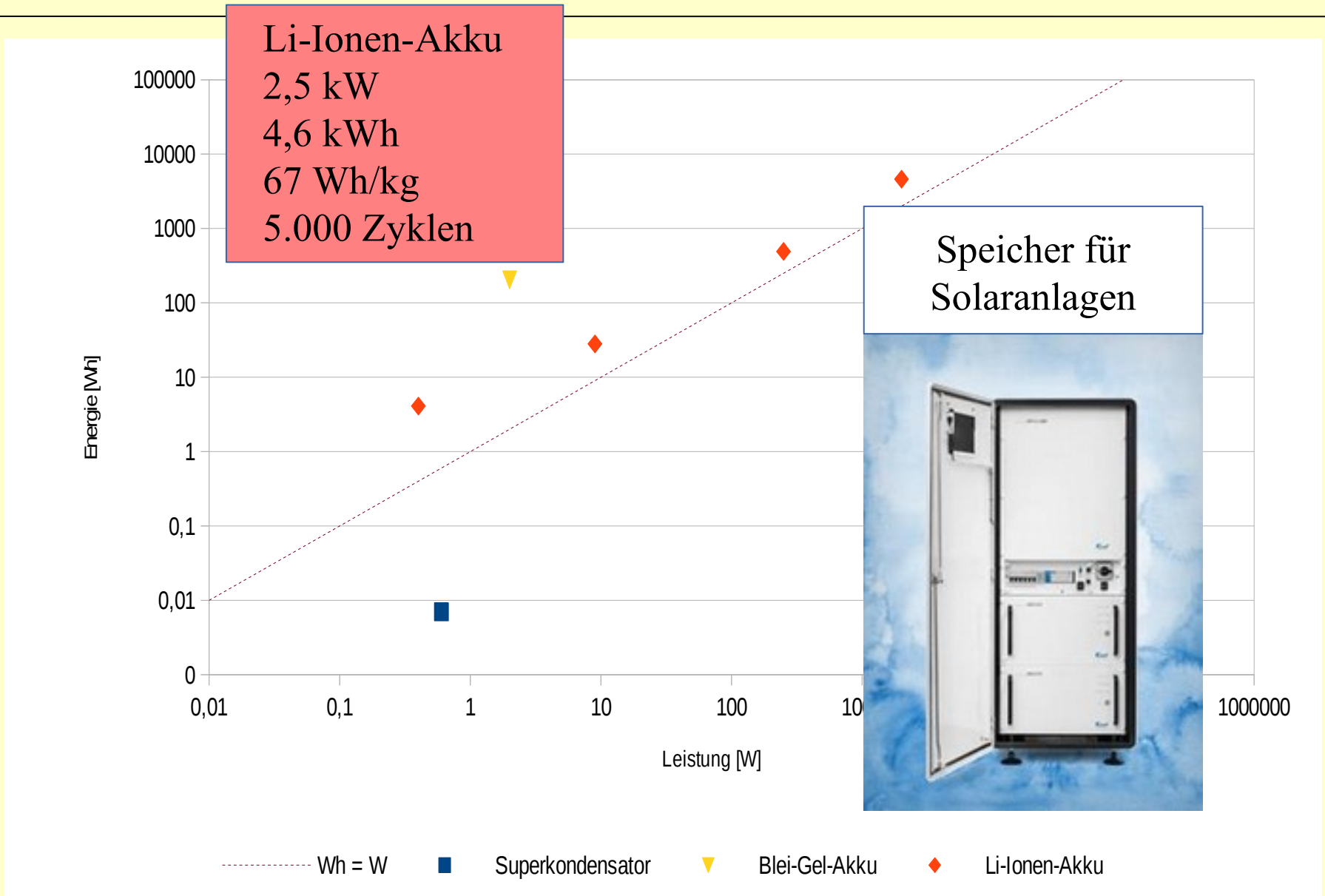
# Kapitel 1 – Stand der Technik



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

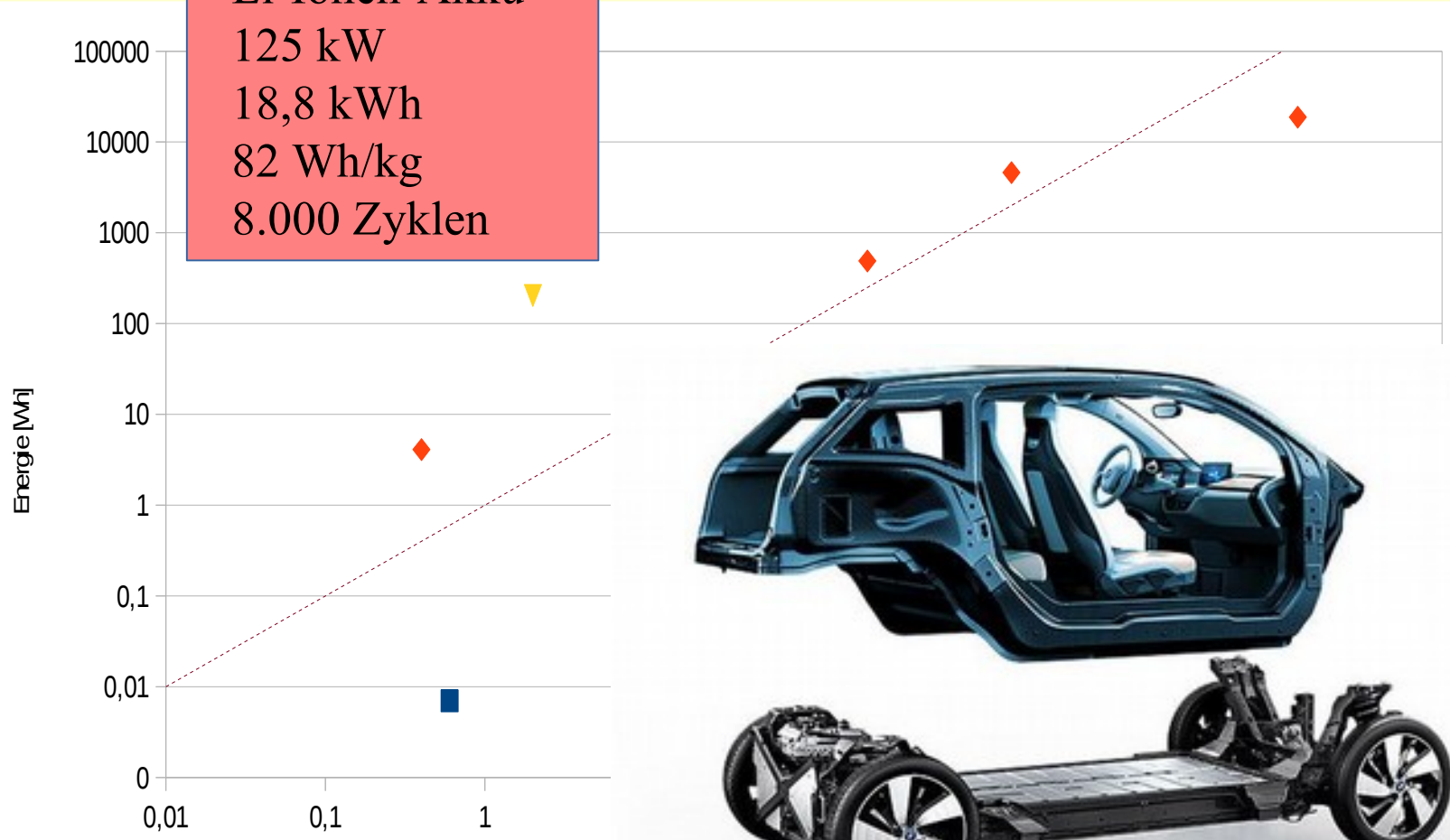
# Kapitel 1 – Stand der Technik







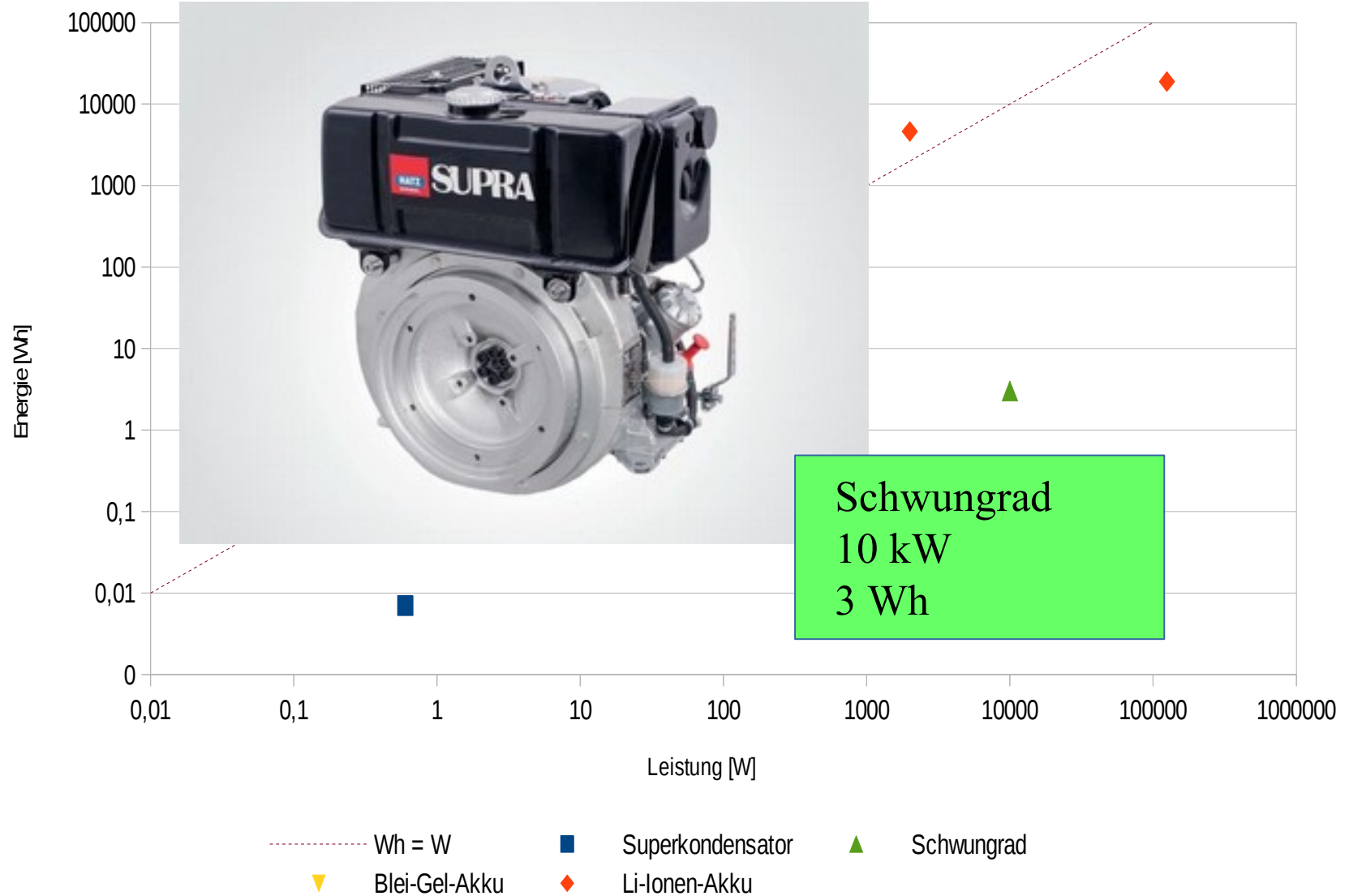
Li-Ionen-Akku  
 125 kW  
 18,8 kWh  
 82 Wh/kg  
 8.000 Zyklen

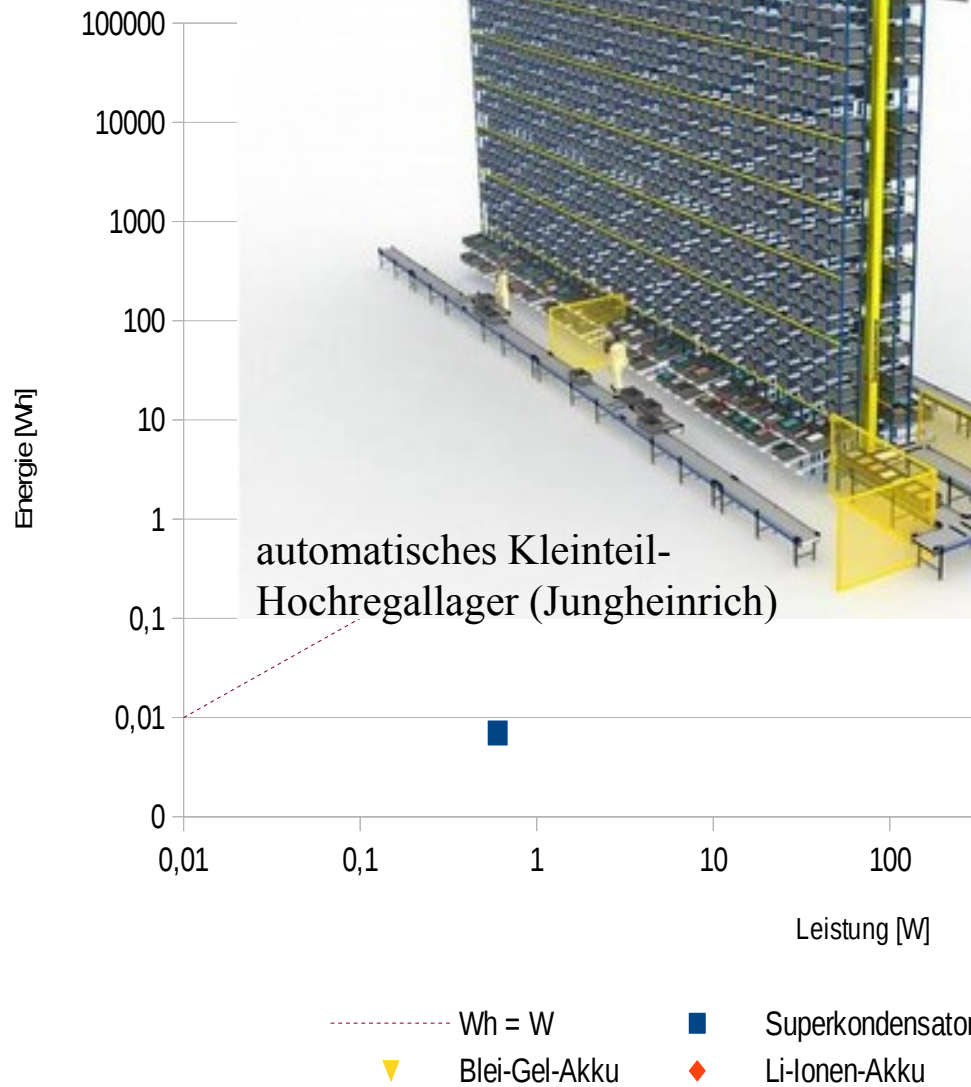


BMW i3

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

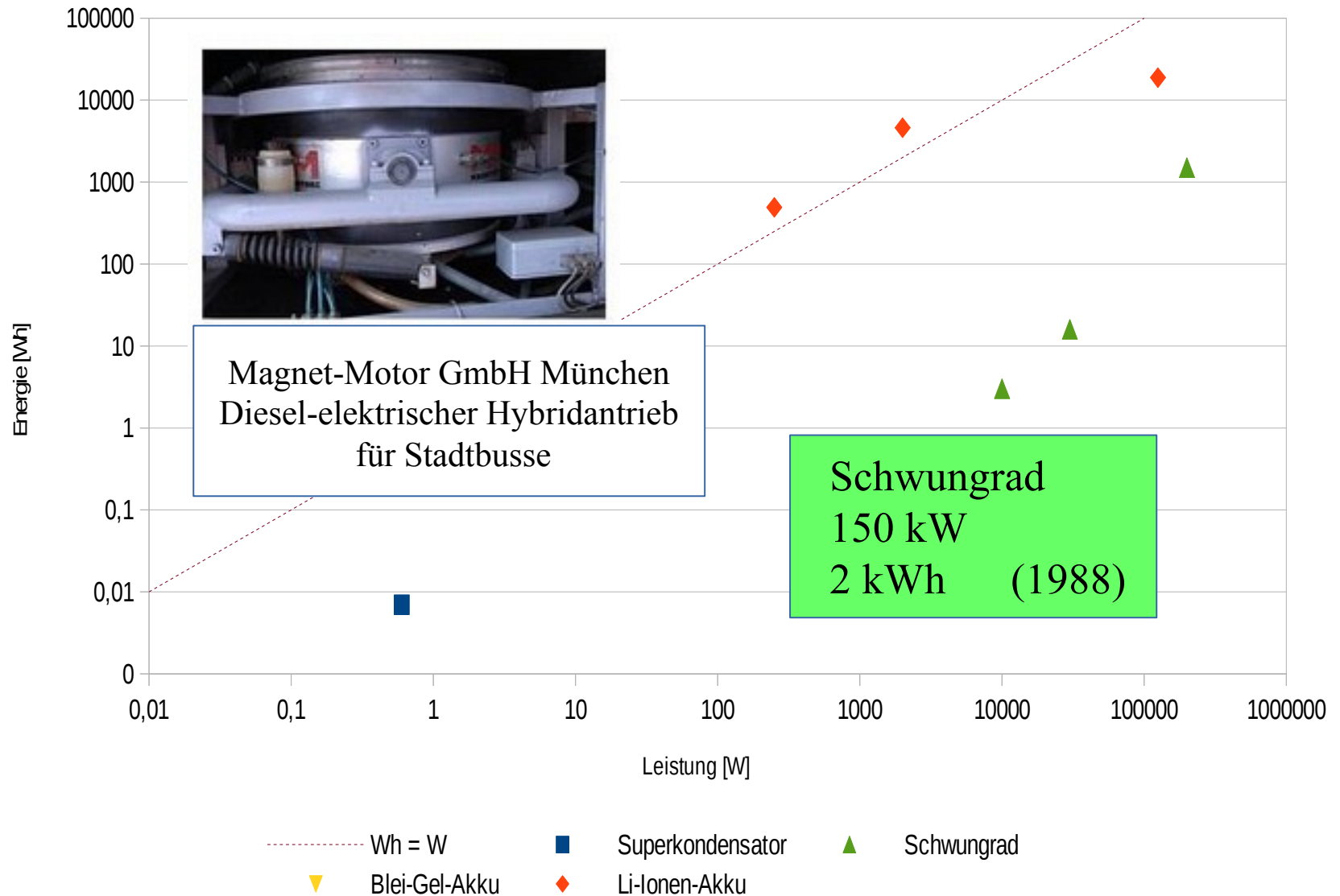
# Kapitel 1 – Stand der Technik



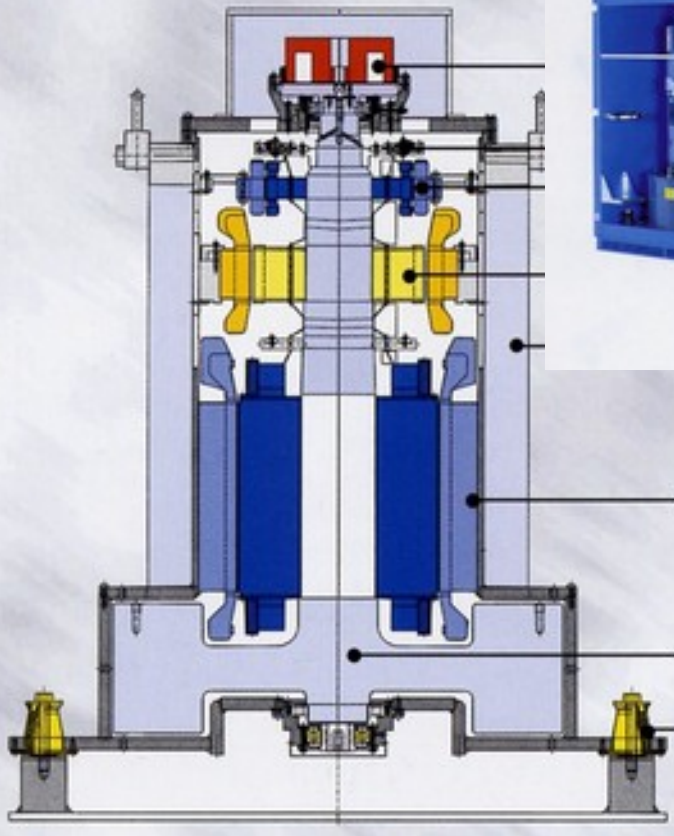


Schwungrad  
30 kW  
16 Wh

Diese Anwendung ist  
bisher noch nicht  
erschlossen.

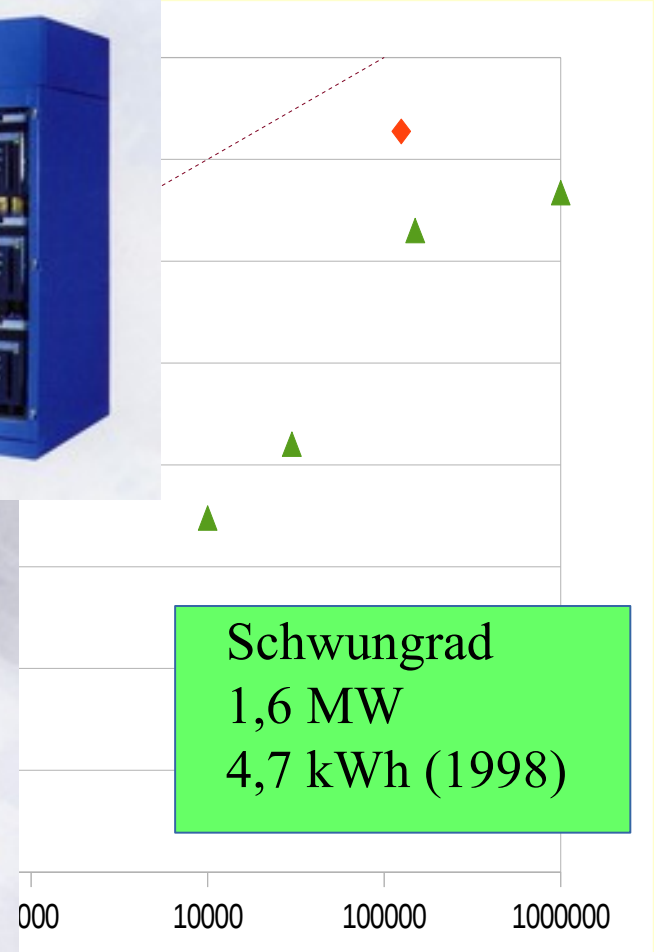


### Der kinetische Energiespeicher



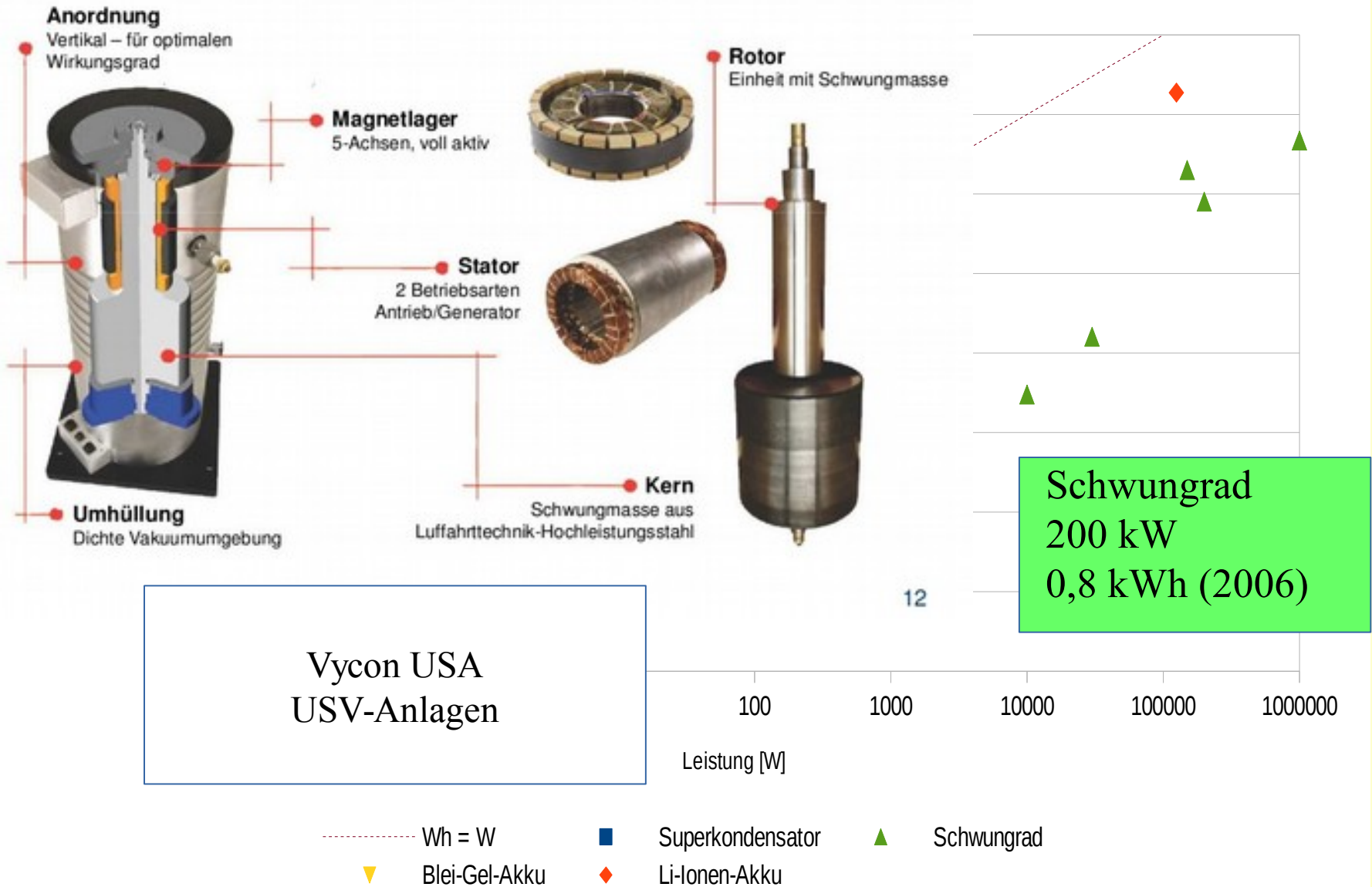
Hauptmaschine  
Welle mit Schwungrad  
Schwingungsdämpfer

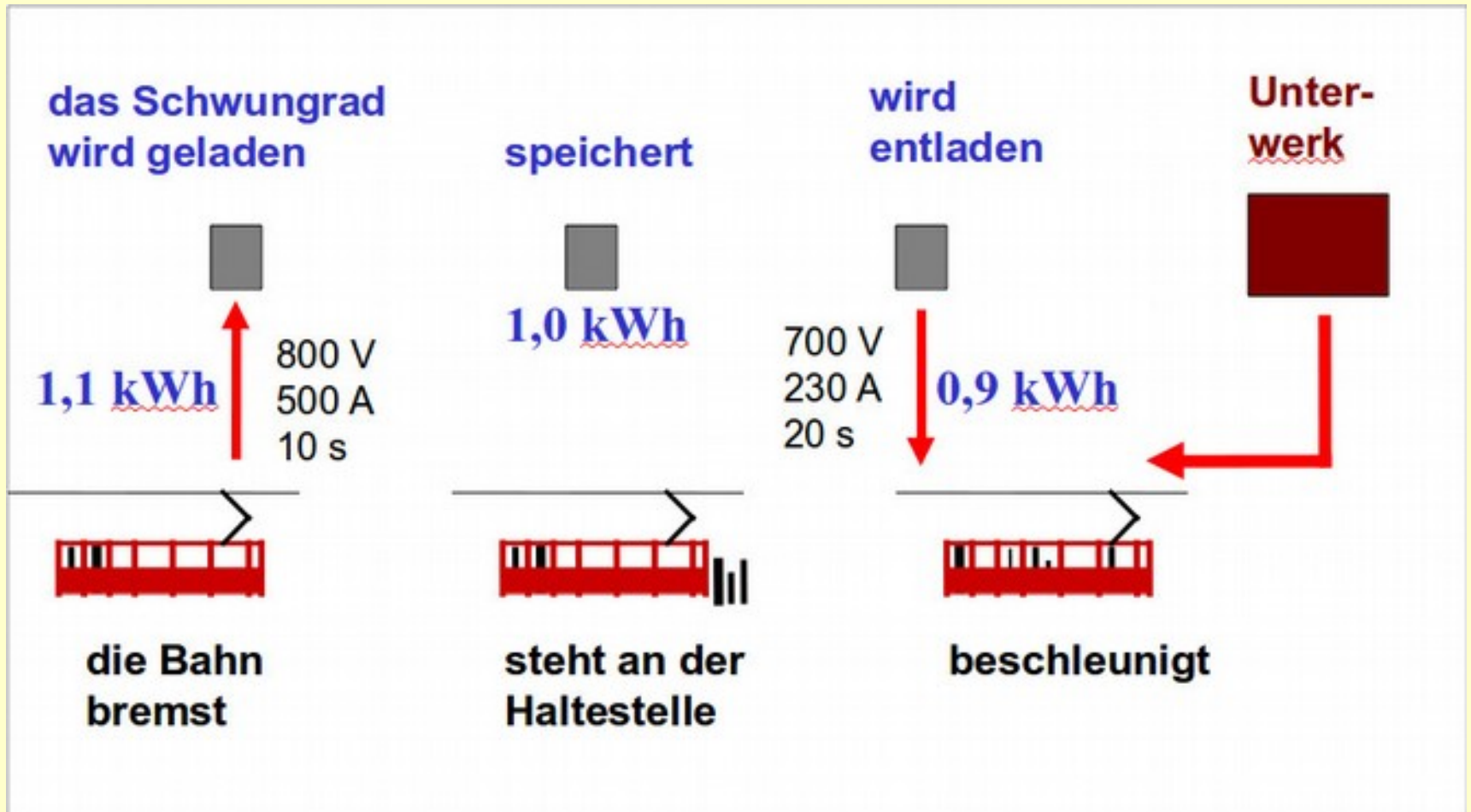
Piller GmbH Osterode  
Anlagen zur unterbrechungsfreien  
Stromversorgung (USV)

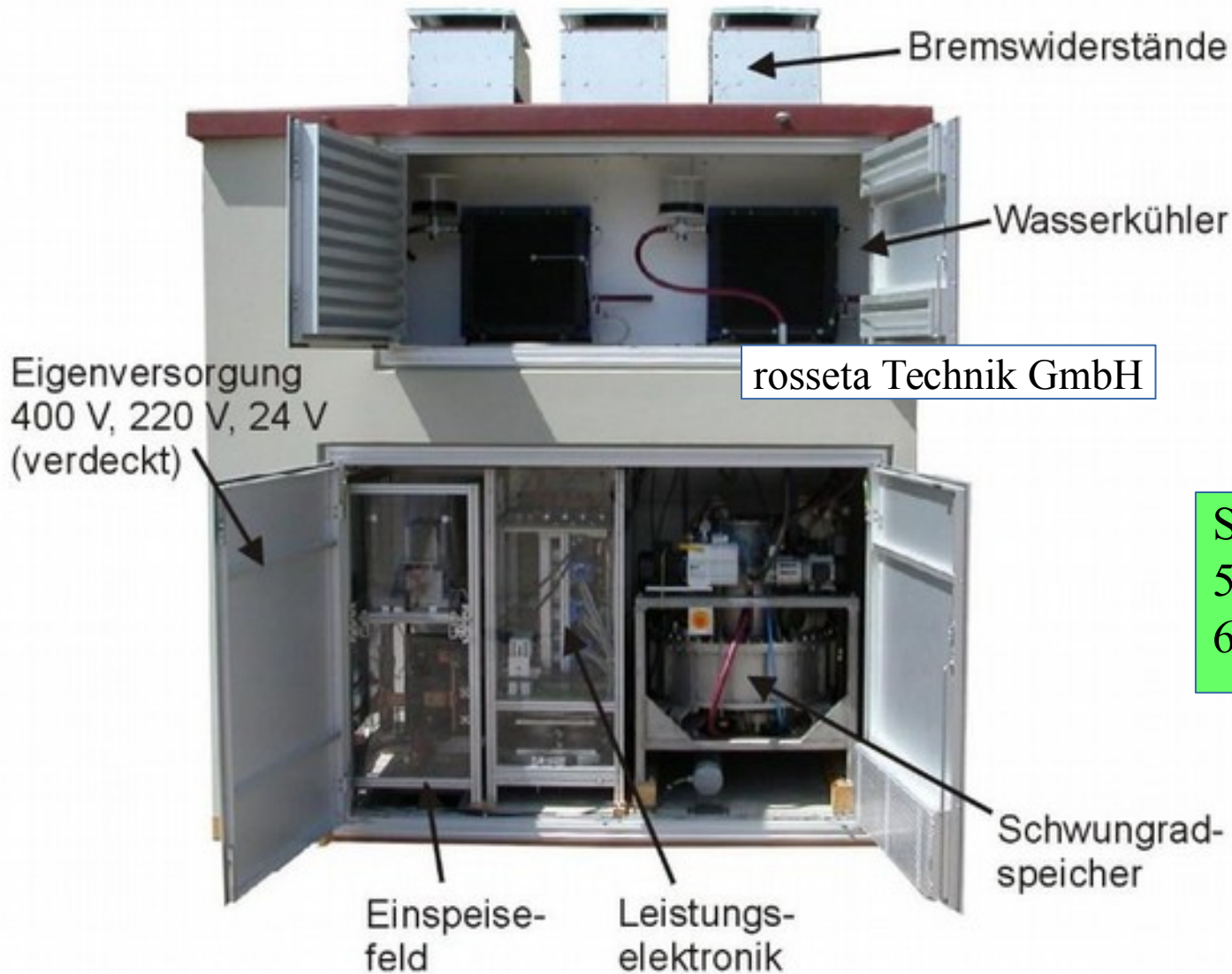


Schwungrad  
1,6 MW  
4,7 kWh (1998)

▲ Schwungrad

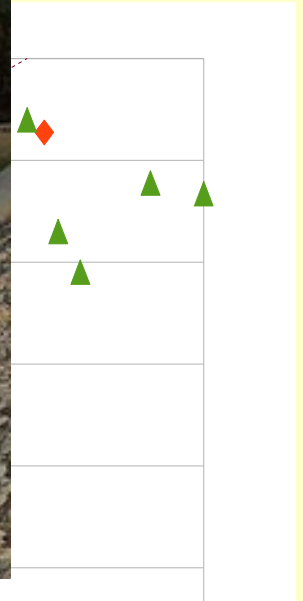






Schwungrad  
500 kW  
6 kWh (2006)





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

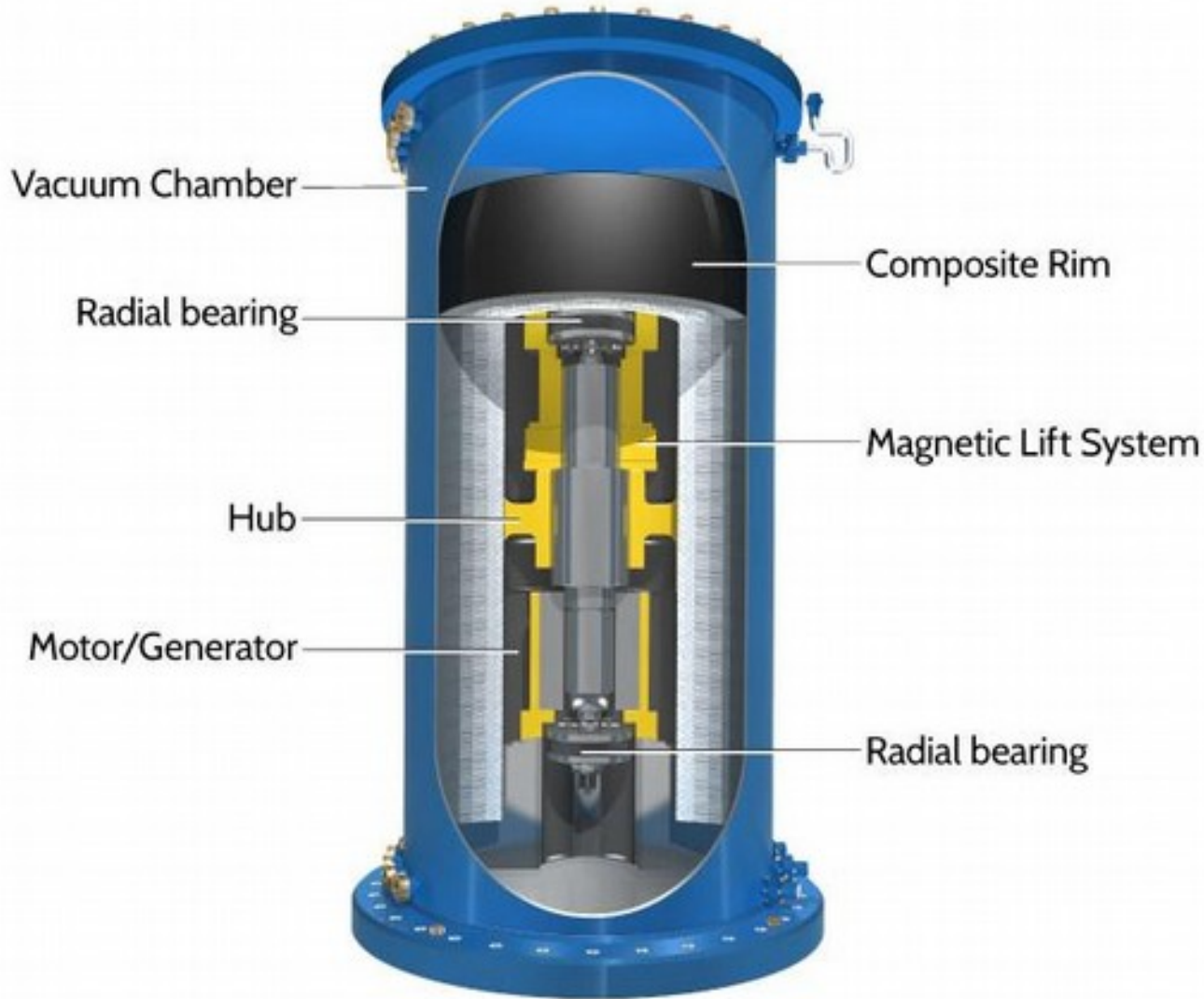
Flywheel Assembly Bolted to Foundation



Schwungrad  
100 kW  
25 kWh (2014)

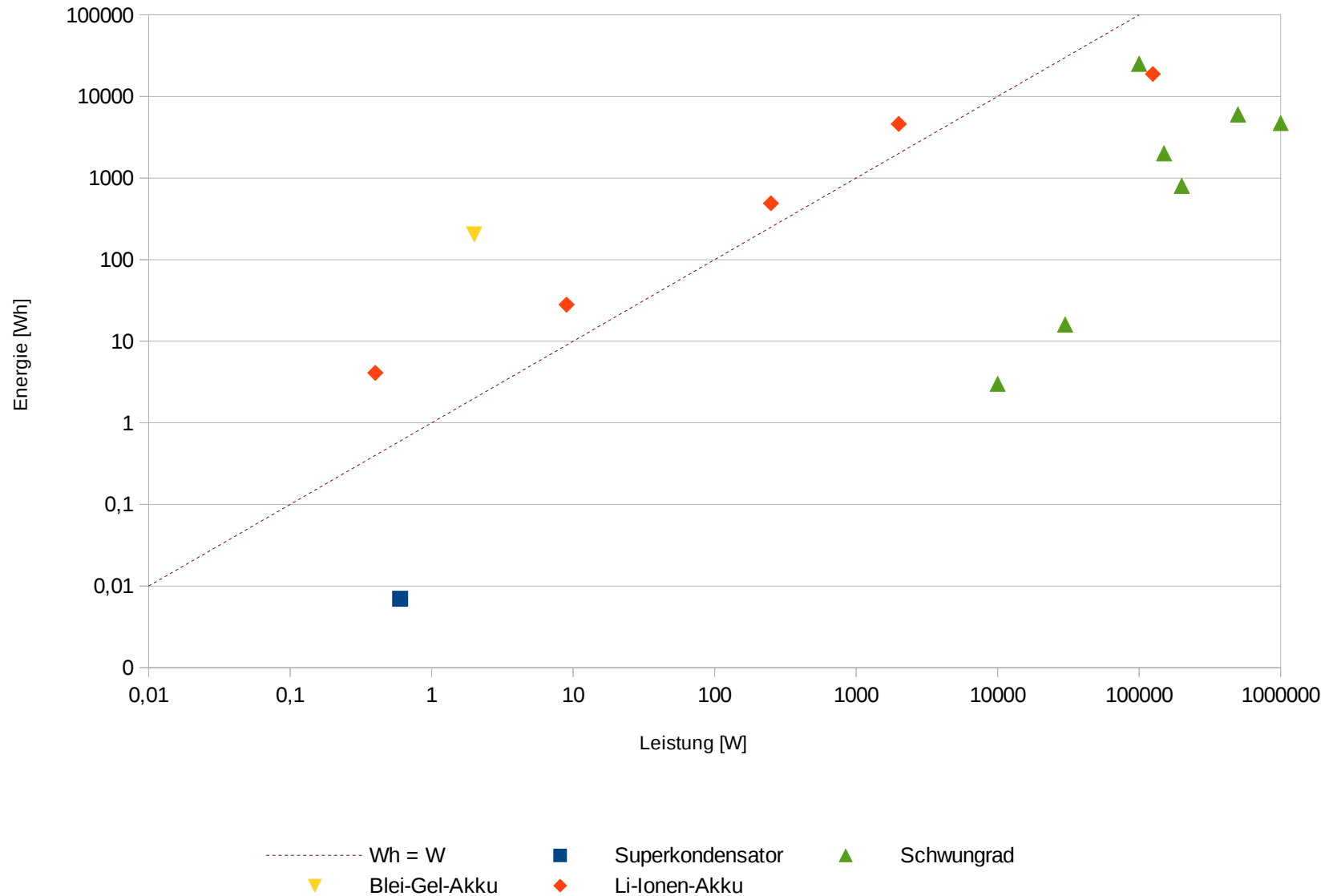
ad

Cutaway View of Flywheel in Foundation



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

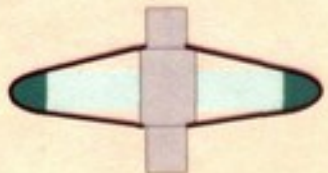
Material	Energie einer Scheibe Durchmesser d und Höhe h	maximale Spannung
isorop (z.B. Stahl)	$\rho \pi d^4 h \omega^2 / 32$	$\rho \omega^2 d^2 / 9,7$
anisotrop (z.B. Faserverbund)	$\rho \pi d^4 h \omega^2 / 32$	$\rho \omega^2 d^2 / 4$

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

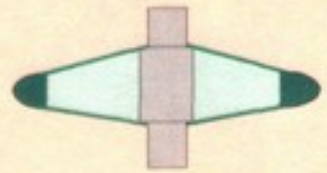
Neue Anwendungen für Schwungradspeicher können auch in Zukunft nicht erschlossen werden.

# Konstruktion der Schwungmasse

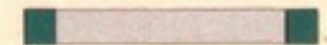
## 1. Ring mit Speichen



Speichen aus Fasern

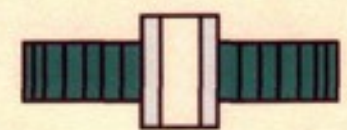


Kokontyp



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

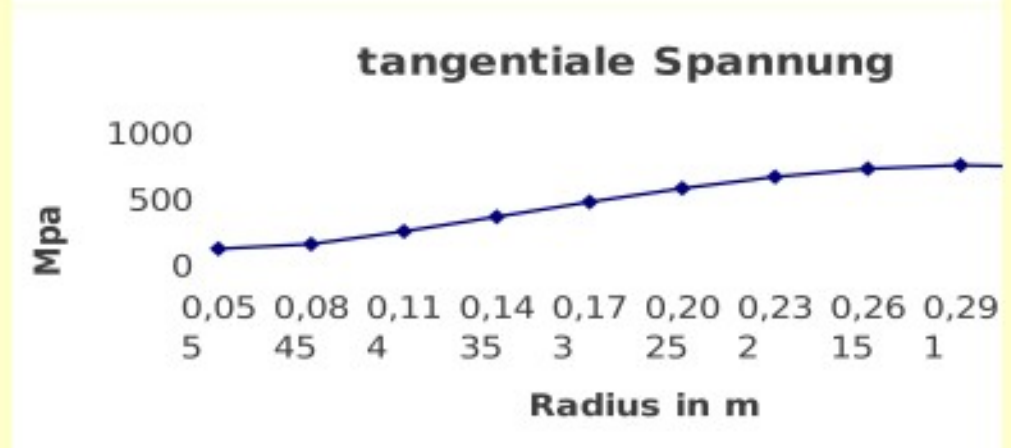
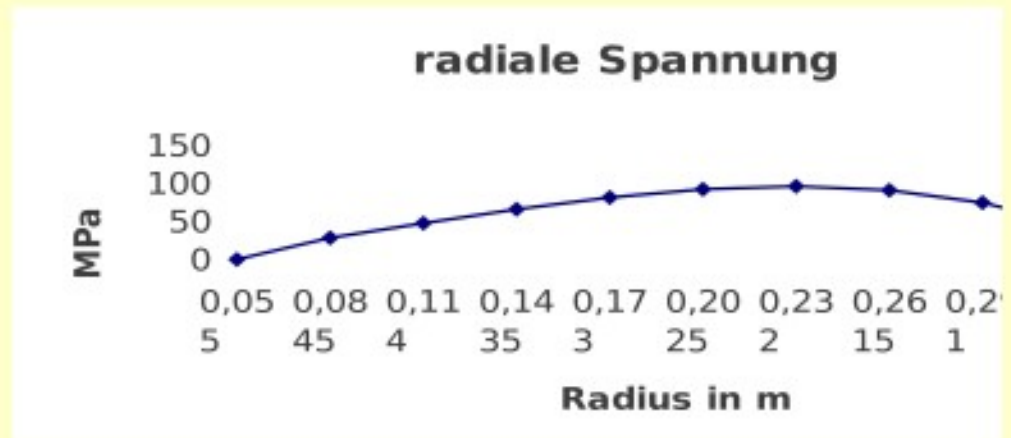
Material: C-Faser

Eingabe:

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

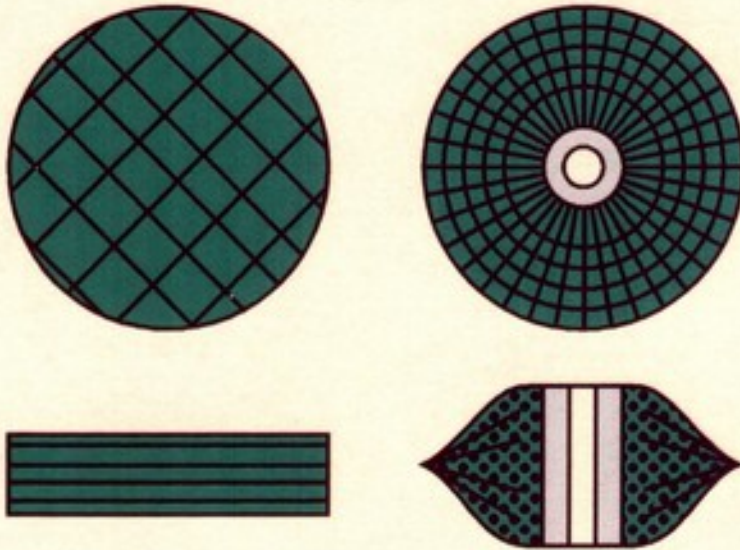
Ergebnisse:

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 Uo [ mm ]	1,689
Verschiebung innen Ui	0,050



## Konstruktion der Schwungmasse

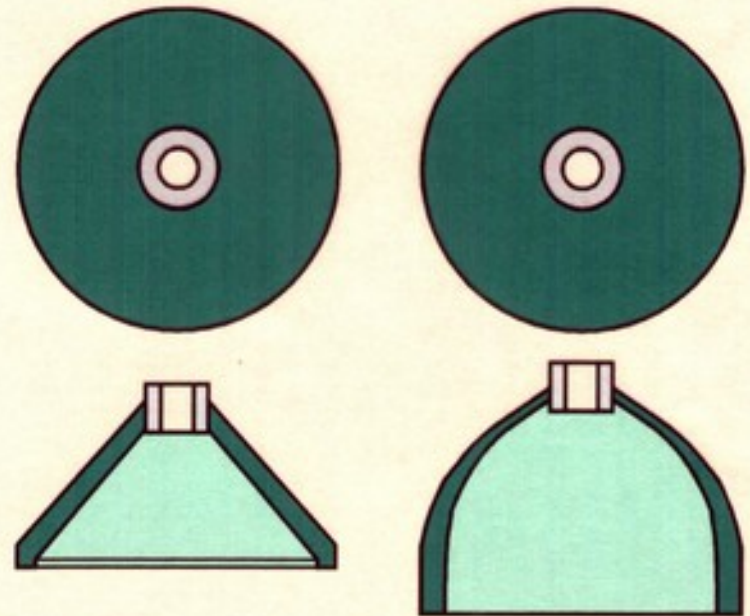
### 3. Schwungräder mit radialer und tangentialer Faserrichtung



quasi-isotrope  
Scheibe

spezielle Strickform

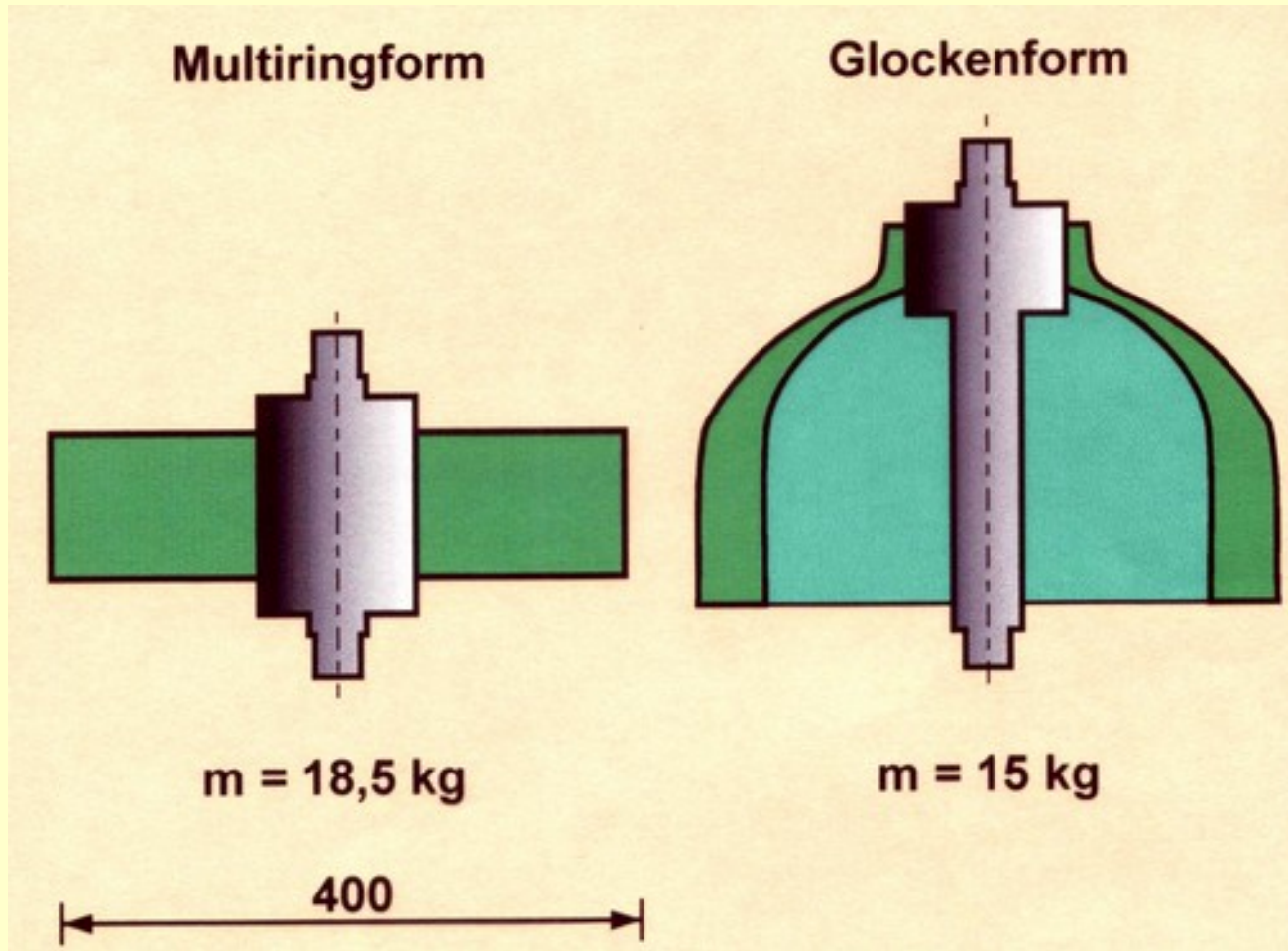
### 4. dreidimensionale Formen



Kegelmantelform

Ellipsoidform

## Konstruktion der Schwungmasse



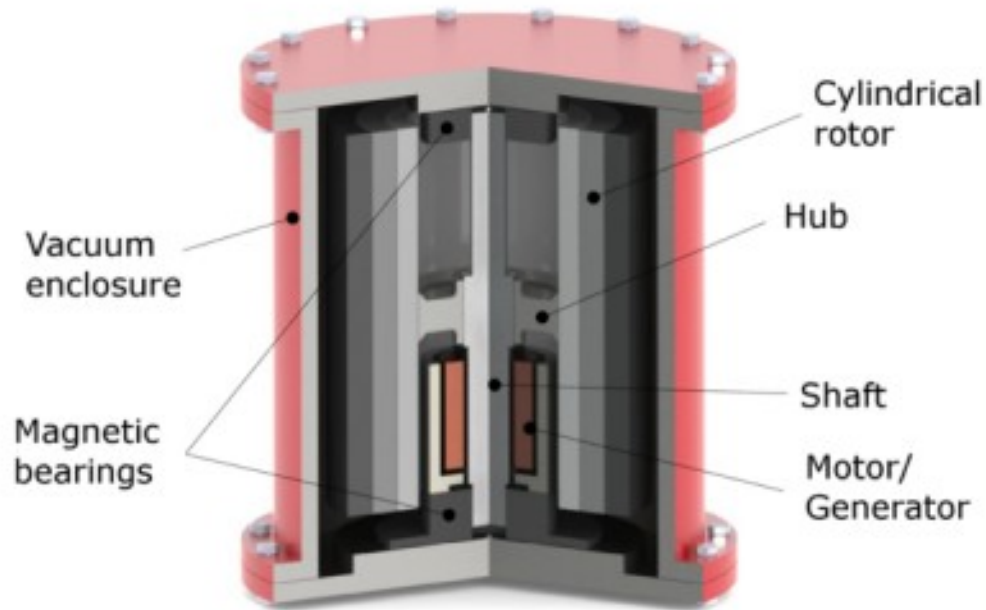
## Konstruktion der Lagerung

	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

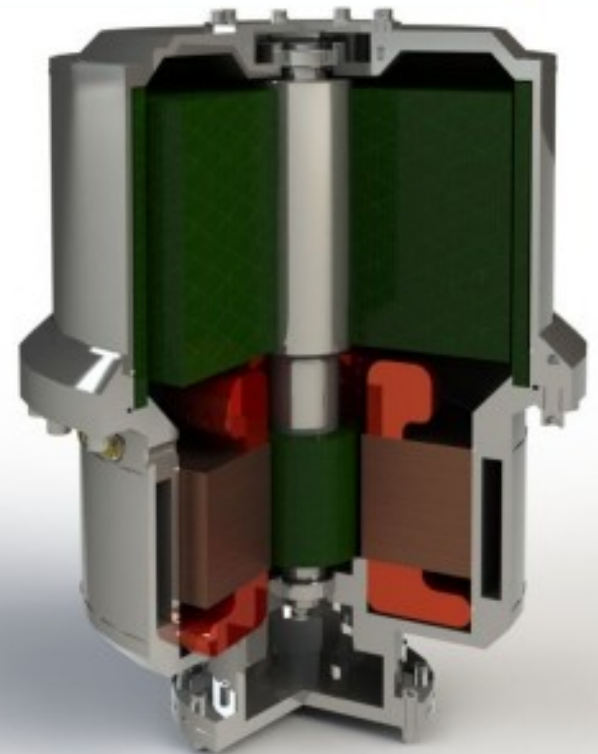
## Anordnung von Motor und Schwungmasse

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

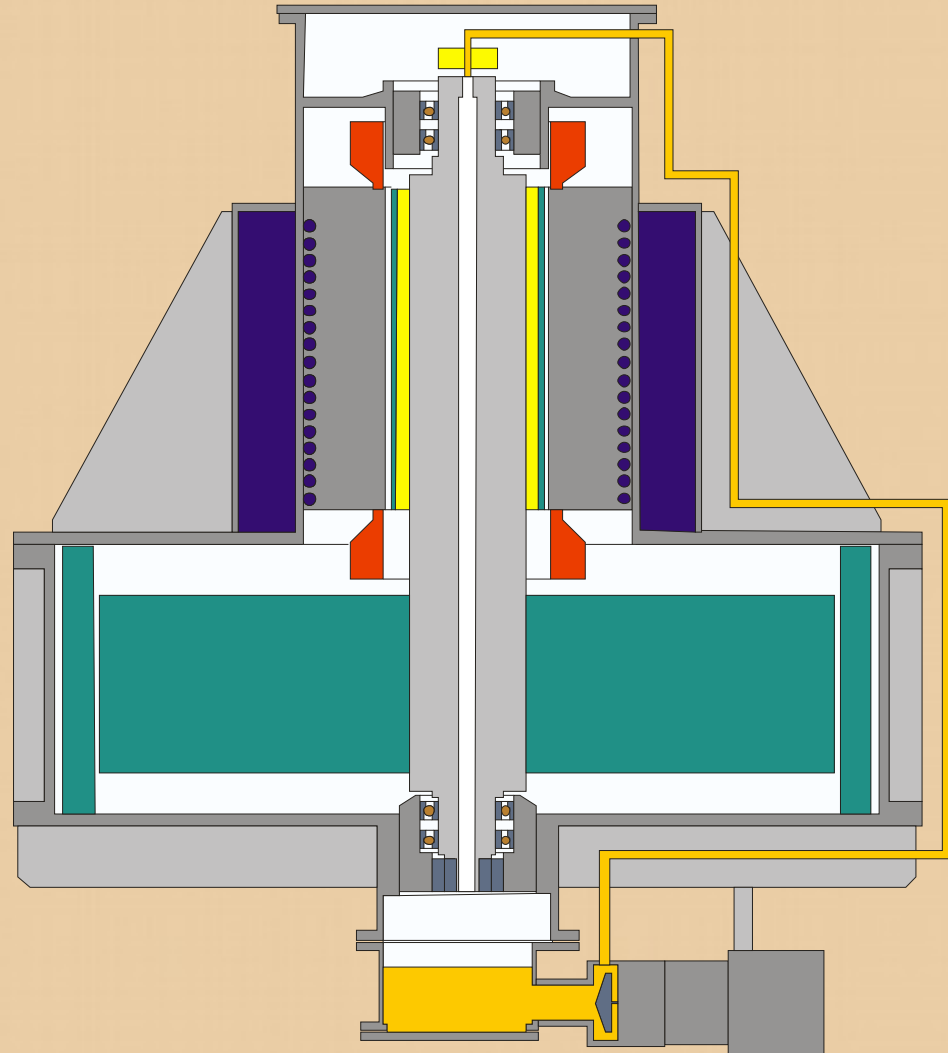
Verkauf 4 Stück

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

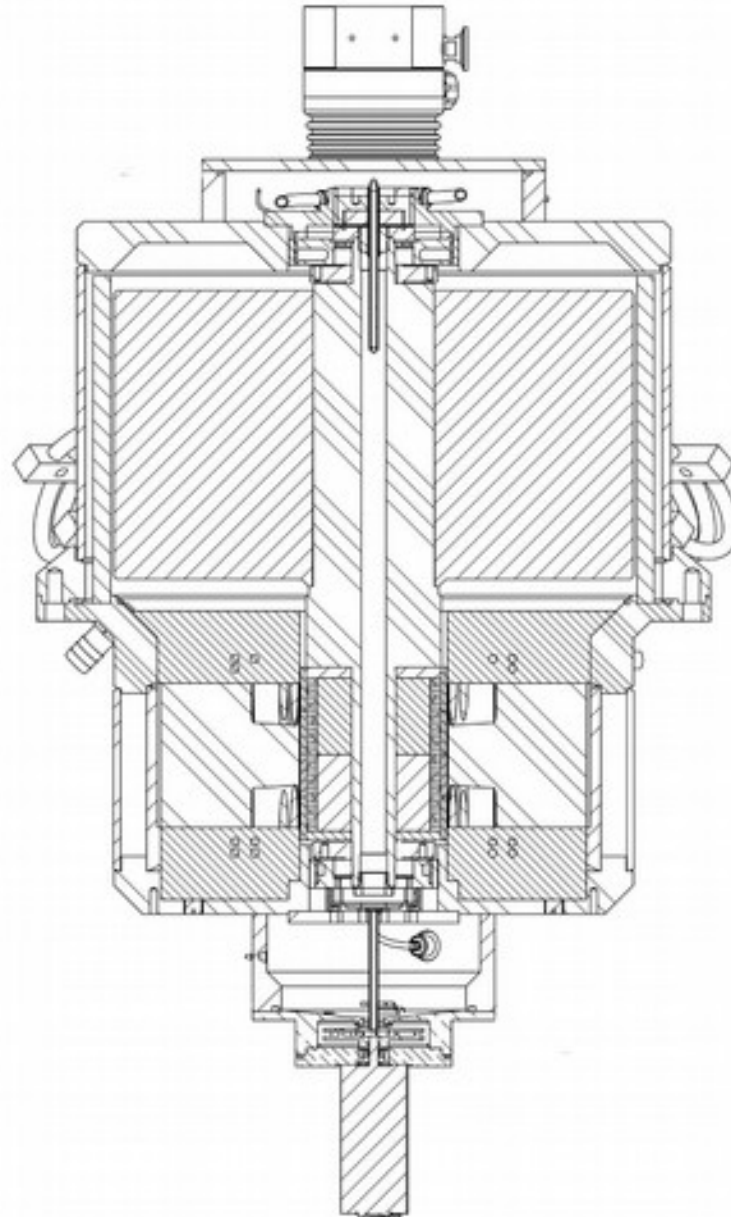
Verkauf -

Leistung bis 200 kW

Energieinhalt 2 kWh

Drehzahl 50.000 U/min

Rotordurchmesser 360 mm



## T4

Zeitraum der Entwicklung  
2010 bis 2013

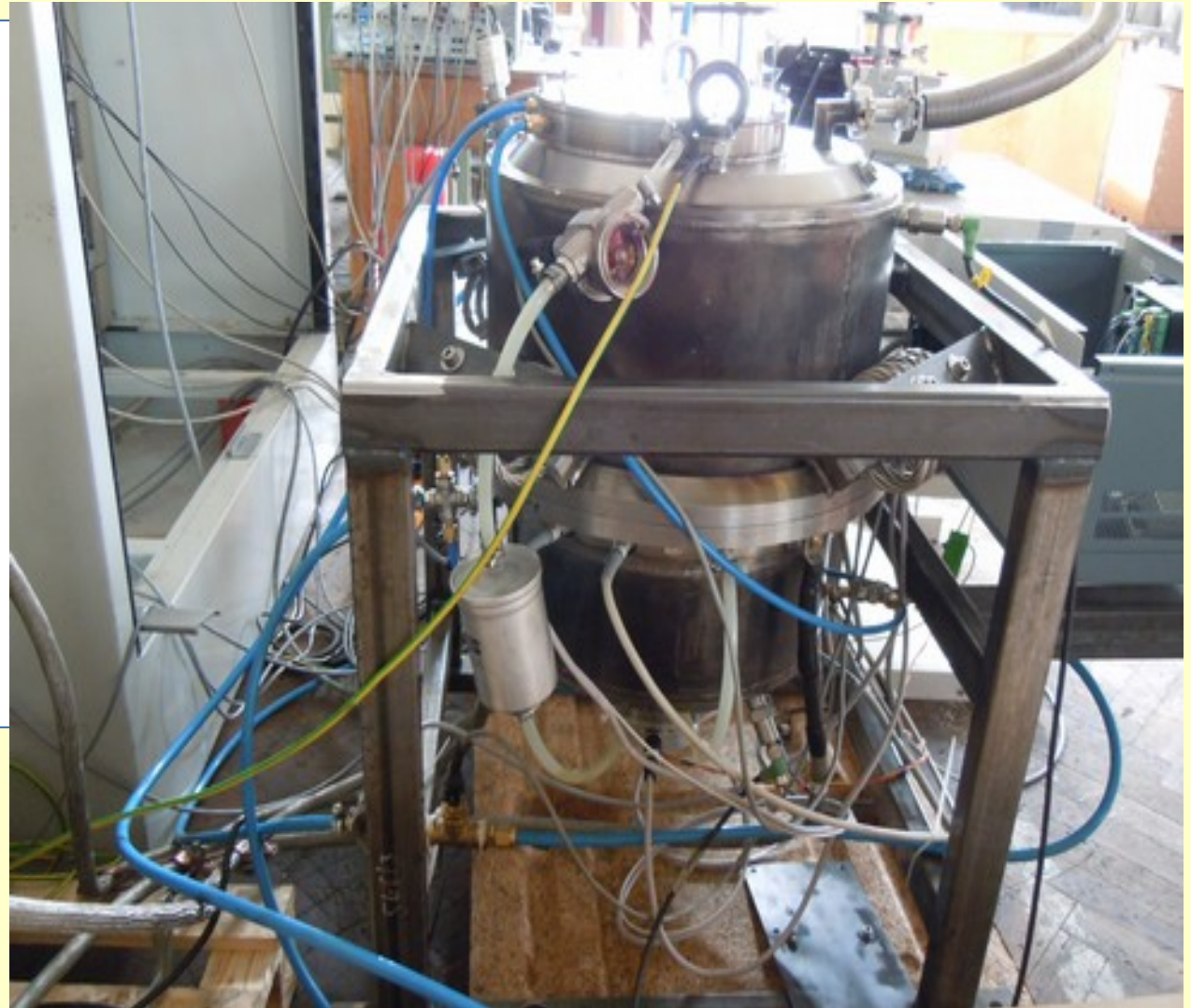
Verkauf -

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

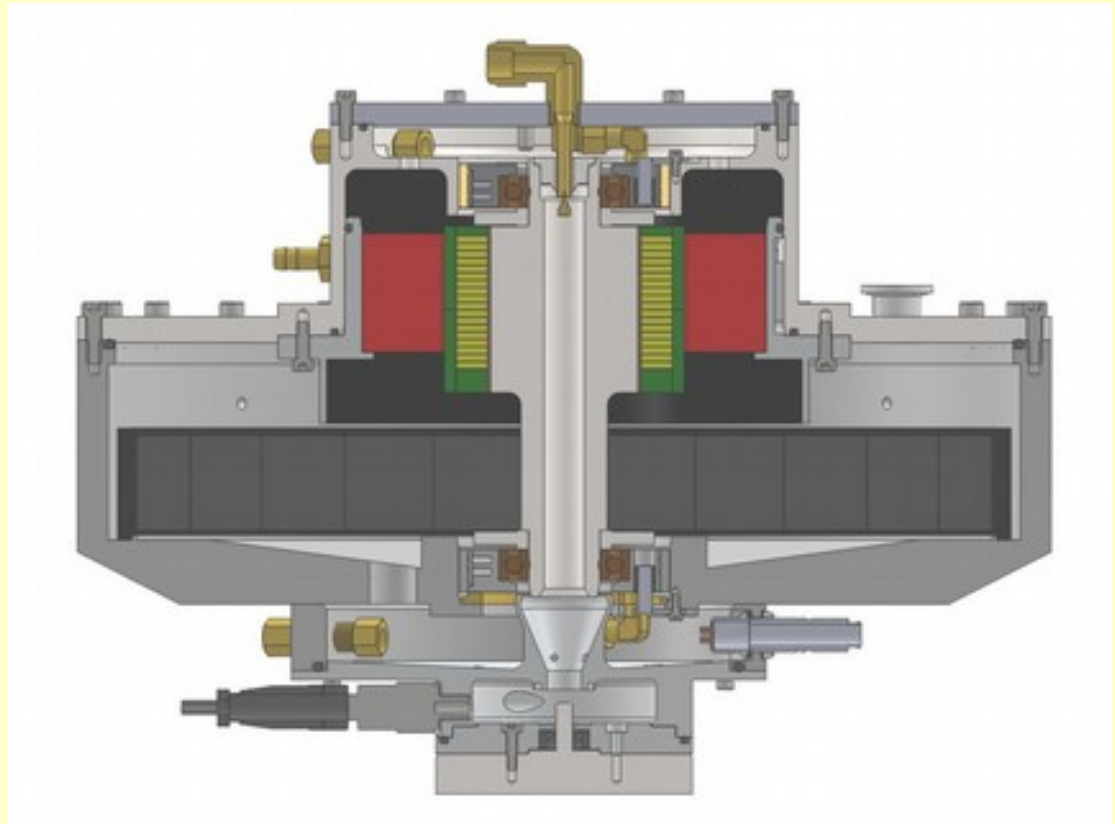
Energieinhalt 680 kWs

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 kWs

Drehzahl 50.000 U/min

Rotordurchmesser 360 mm

Anwendung Rennsport

Entwicklung angebrochen



# T3

Zeitraum der Entwicklung  
2006 bis 2008

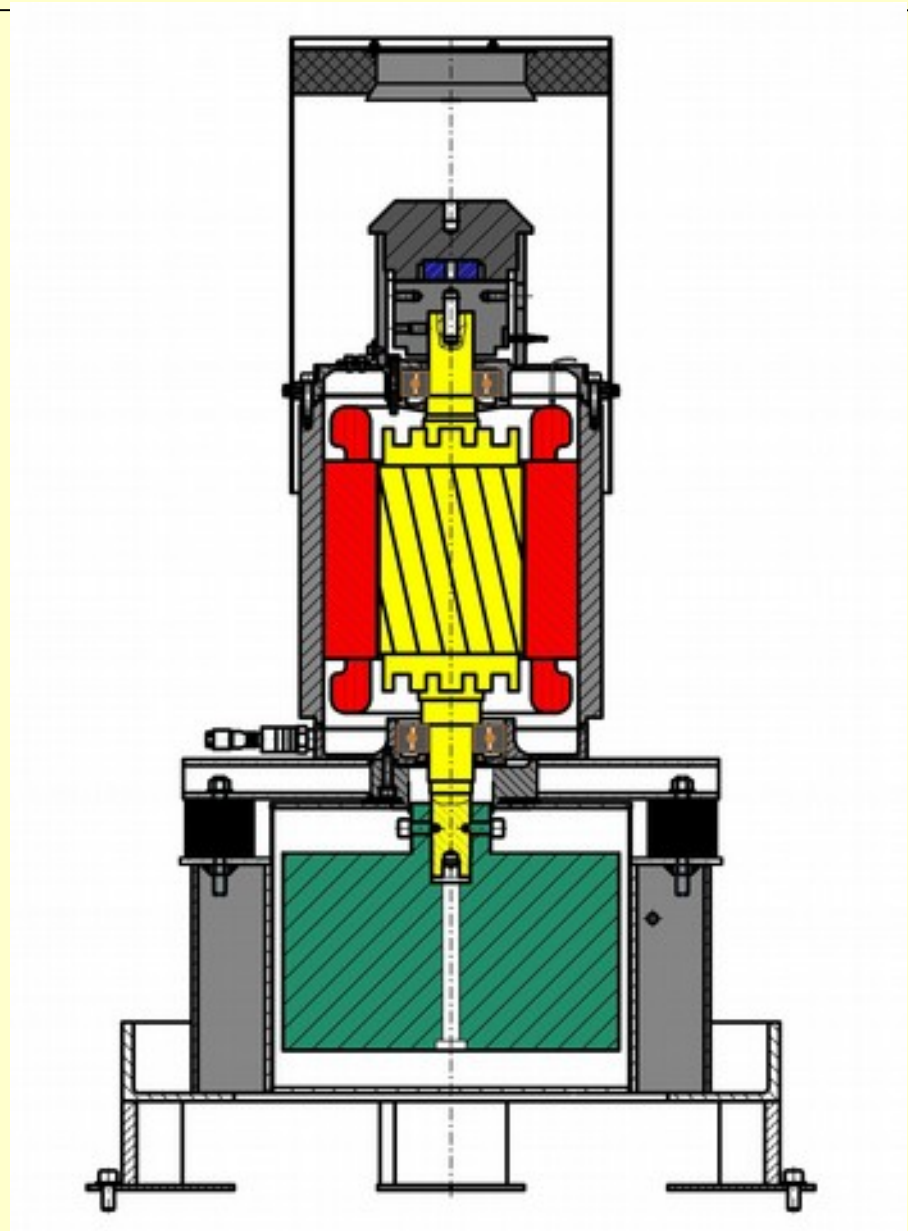
Verkauf 6 Stück

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

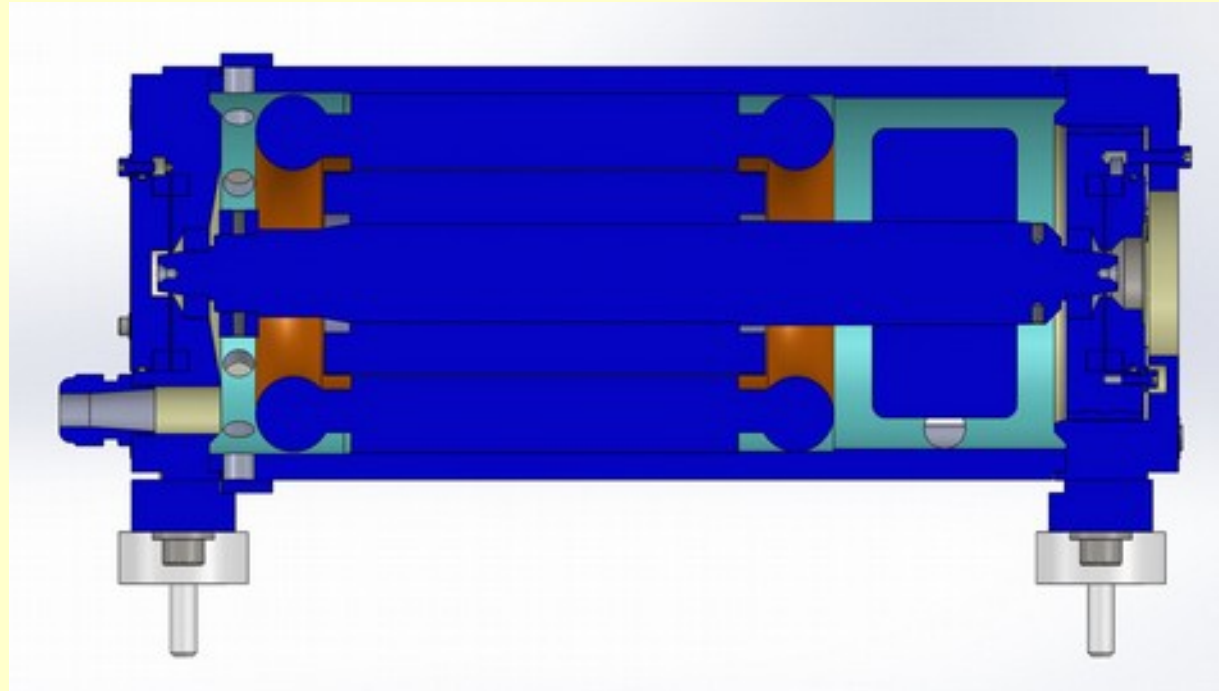
Verkauf 2 Stück

Leistung 10 bis 15 kW

Energieinhalt 45 kW<sub>s</sub>

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<sub>s</sub>

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

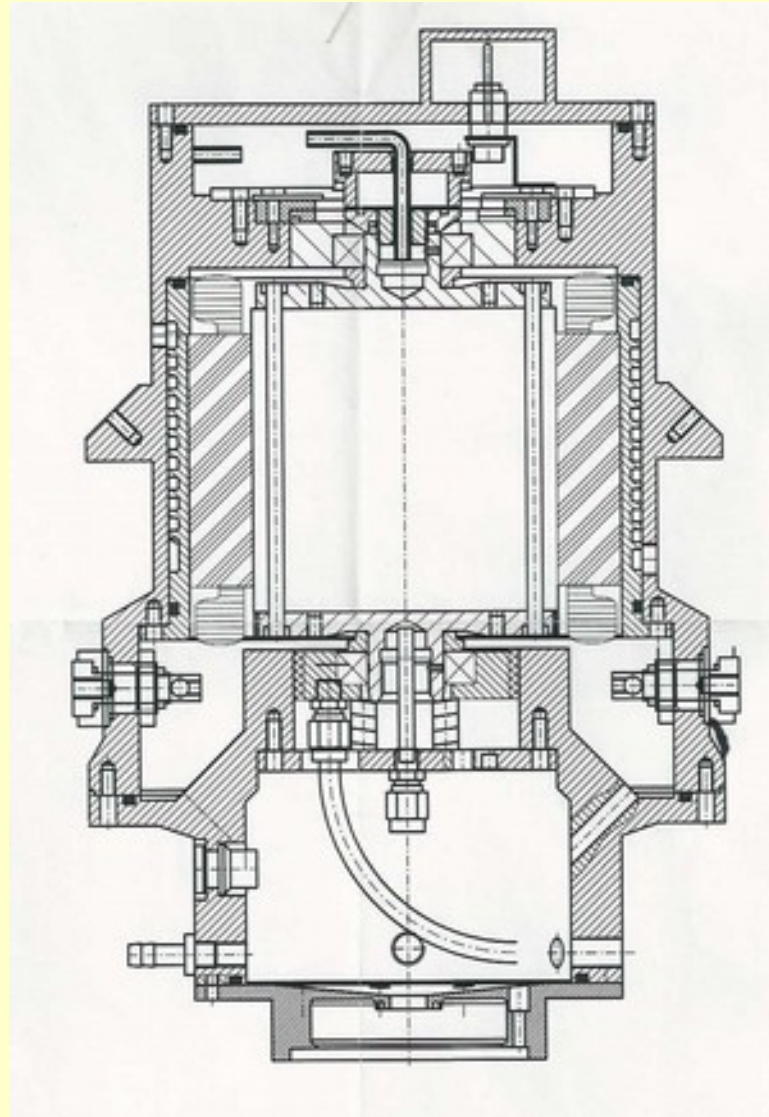
Leistung bis 60 kW

Energieinhalt 280 kWs

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

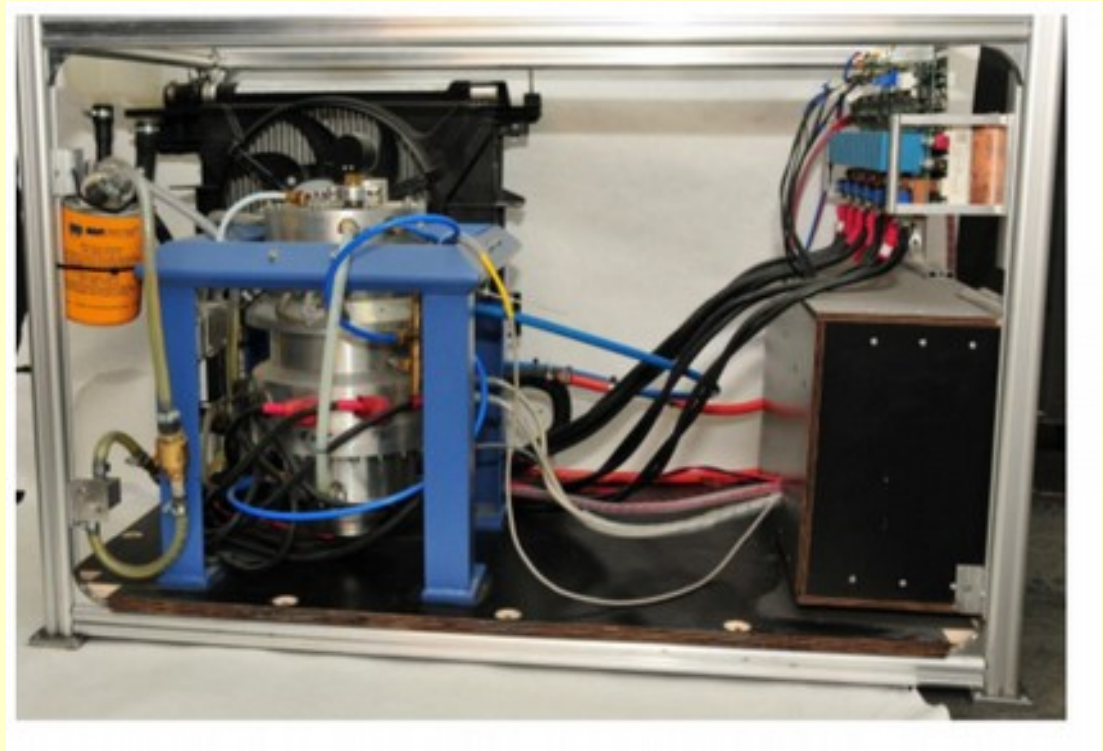
Leistung bis 60 kW

Energieinhalt 280 kWh

Gewicht 43 kg

Drehzahl 60.000 U/min

Rotordurchmesser 120 mm



Anwendung: Netzstabilisierung

Leistung bis 100 kW

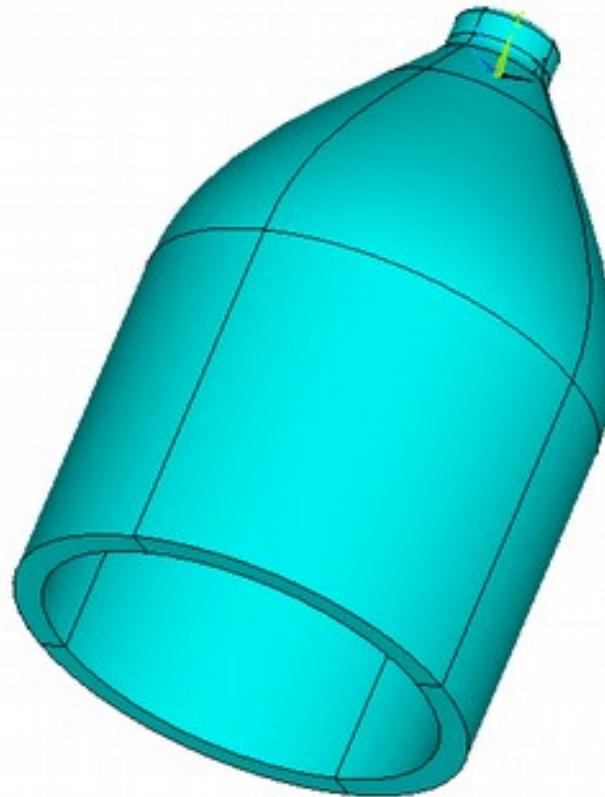
Energieinhalt 10 kWh

Faser-Gewicht 80 kg

Drehzahl 35.000 U/min

Rotordurchmesser 590 mm

Rotorhöhe 920 mm

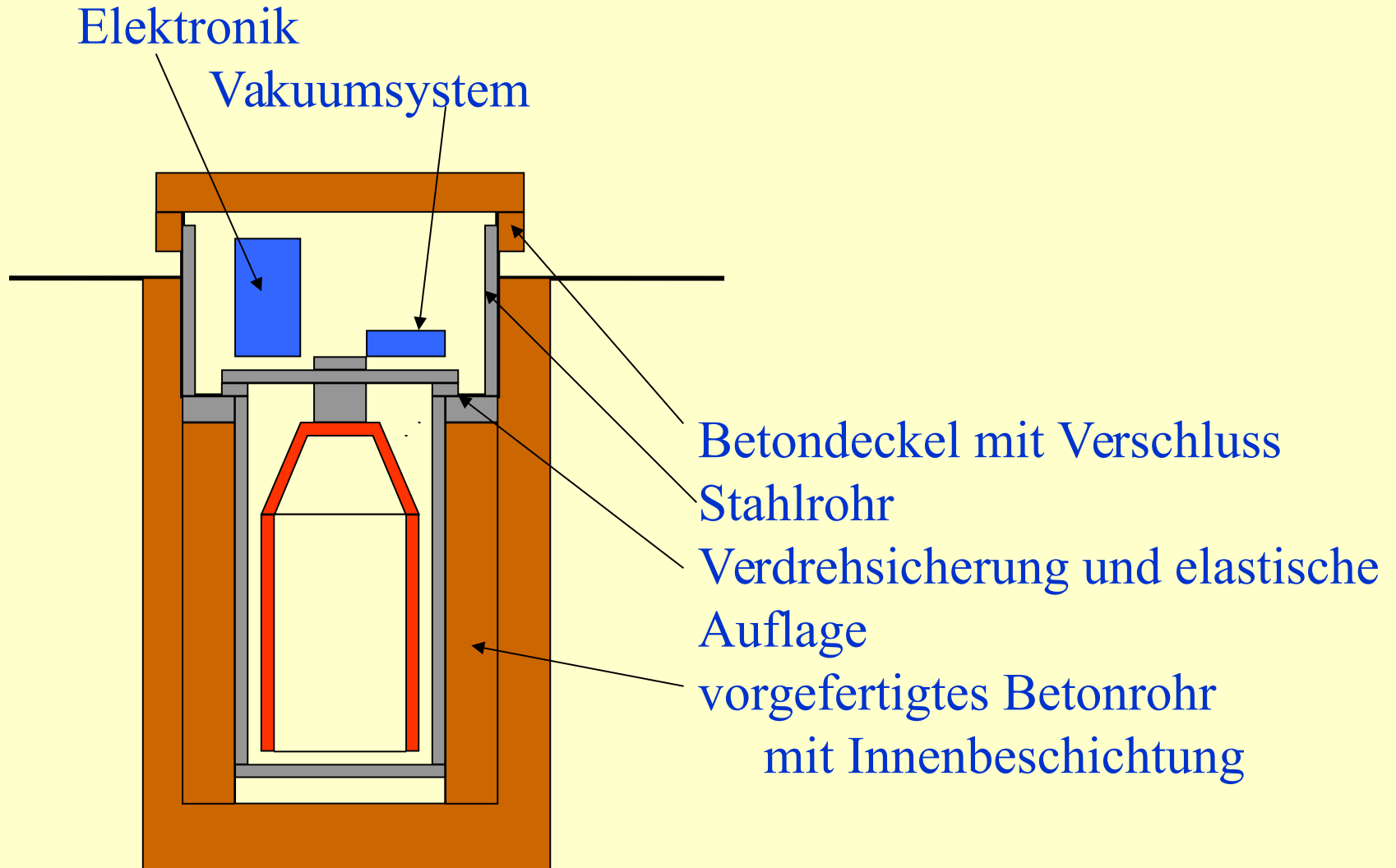


ANSYS

APR 19 2010

12:48:56

Anwendung: Netzstabilisierung



[www.kb-ft.de](http://www.kb-ft.de)

[www.rosseta.de](http://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](mailto: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