



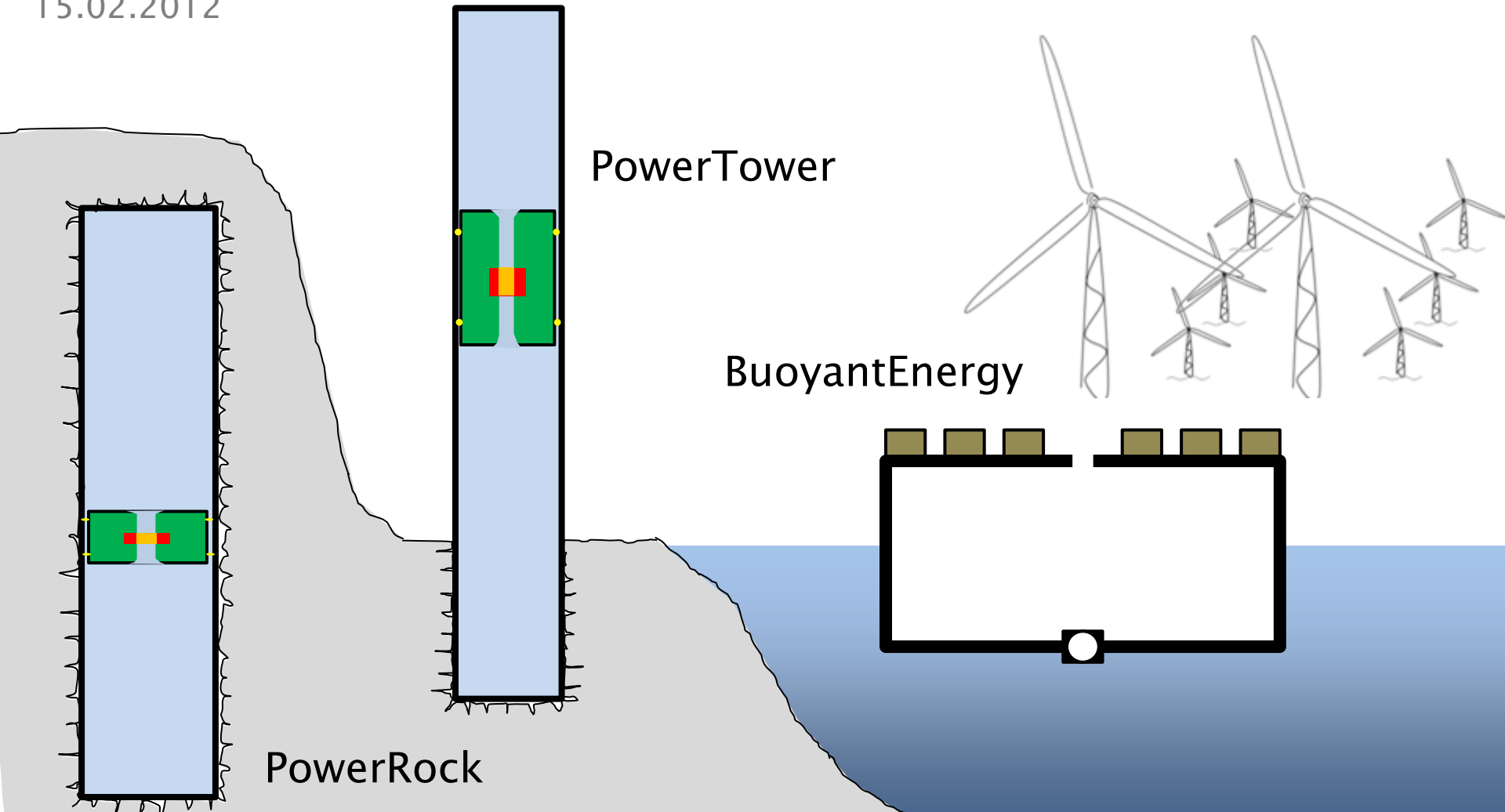
Universität Innsbruck
Arbeitsbereich Wasserbau

Dezentrale offshore Stromspeicherung im europäischen Kraftwerkspark

Robert KLAR, Valerie NEISCH, Markus AUFLEGER

15.02.2012

buoyant-energy.com



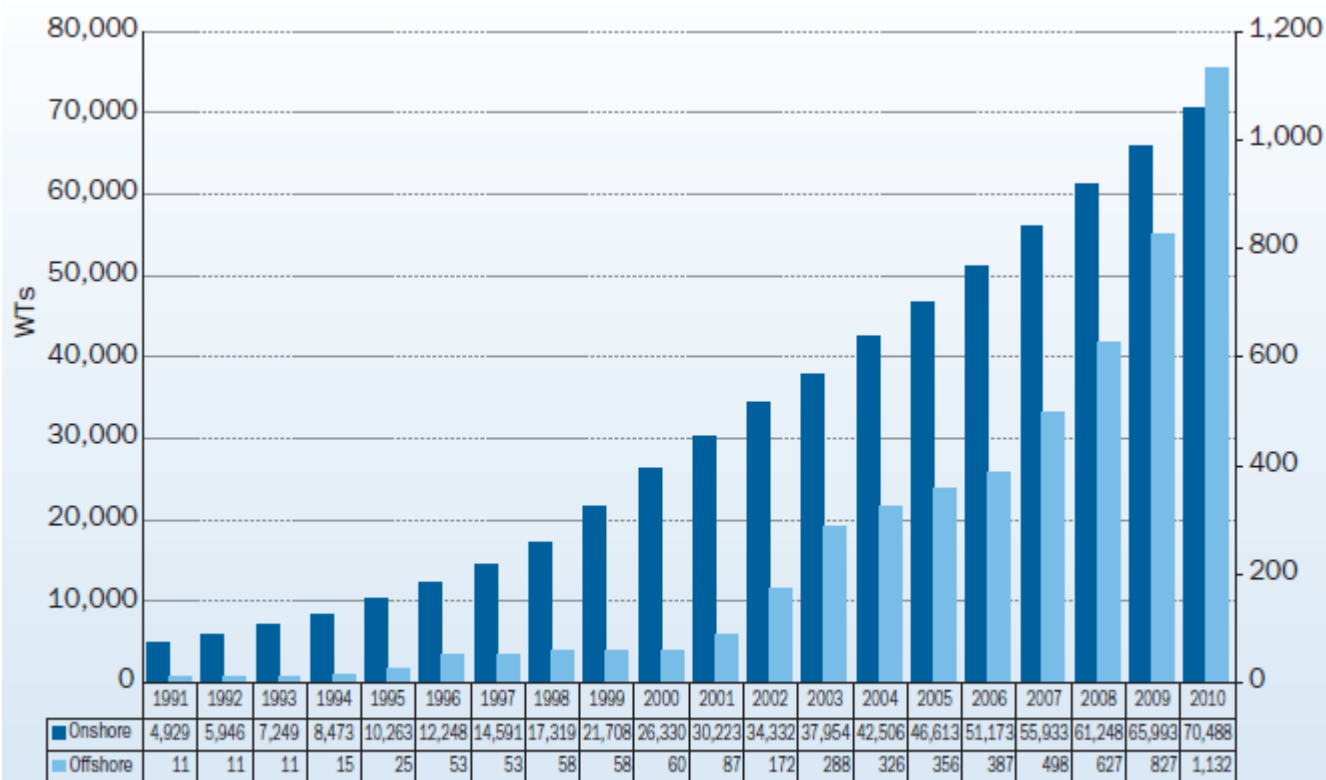
MOTIVATION

Was macht *dezentrale offshore*
Stromspeicher interessant?



Ausbau der Windenergie

Kumulative Anzahl der Windturbinen (1991 bis 2010) in der EU
(*onshore* – linke Achse; *offshore* – rechte Achse)

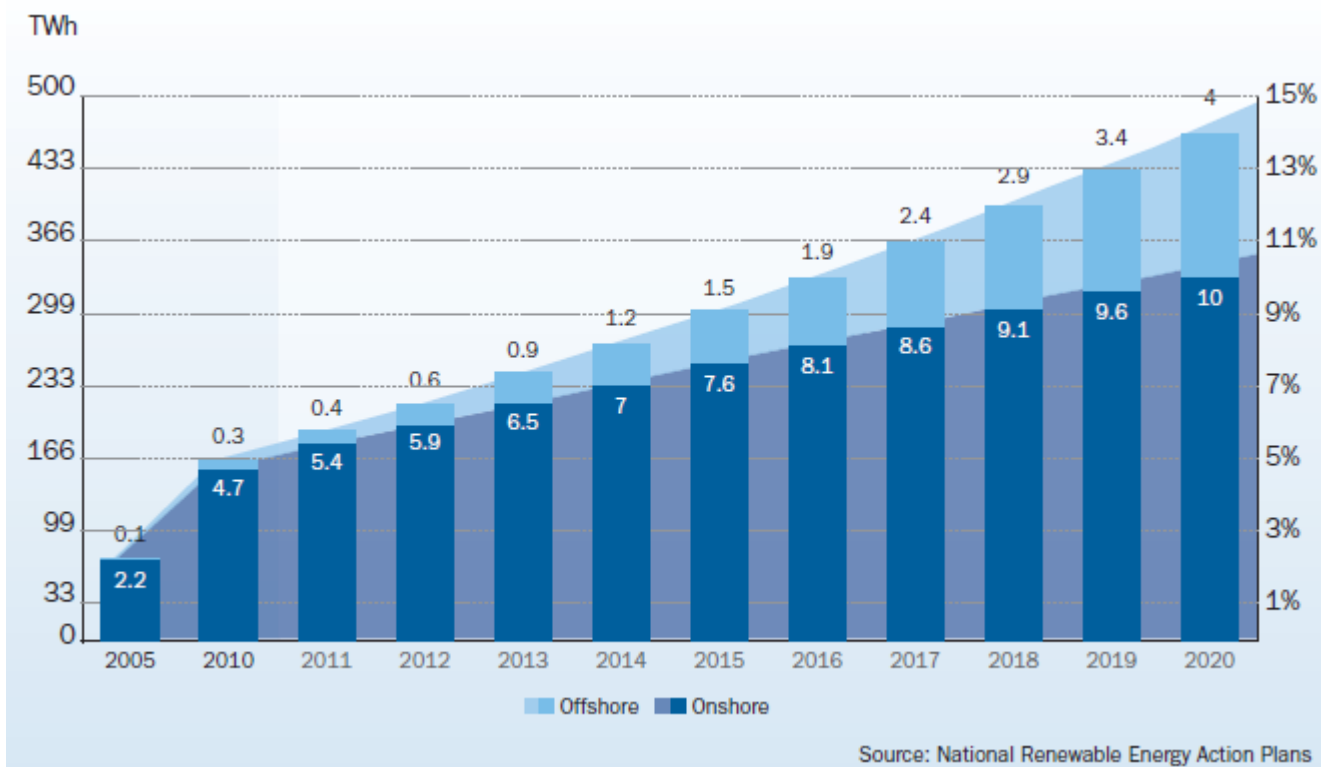


Source: EWEA 2011 and BTM Consult 2011



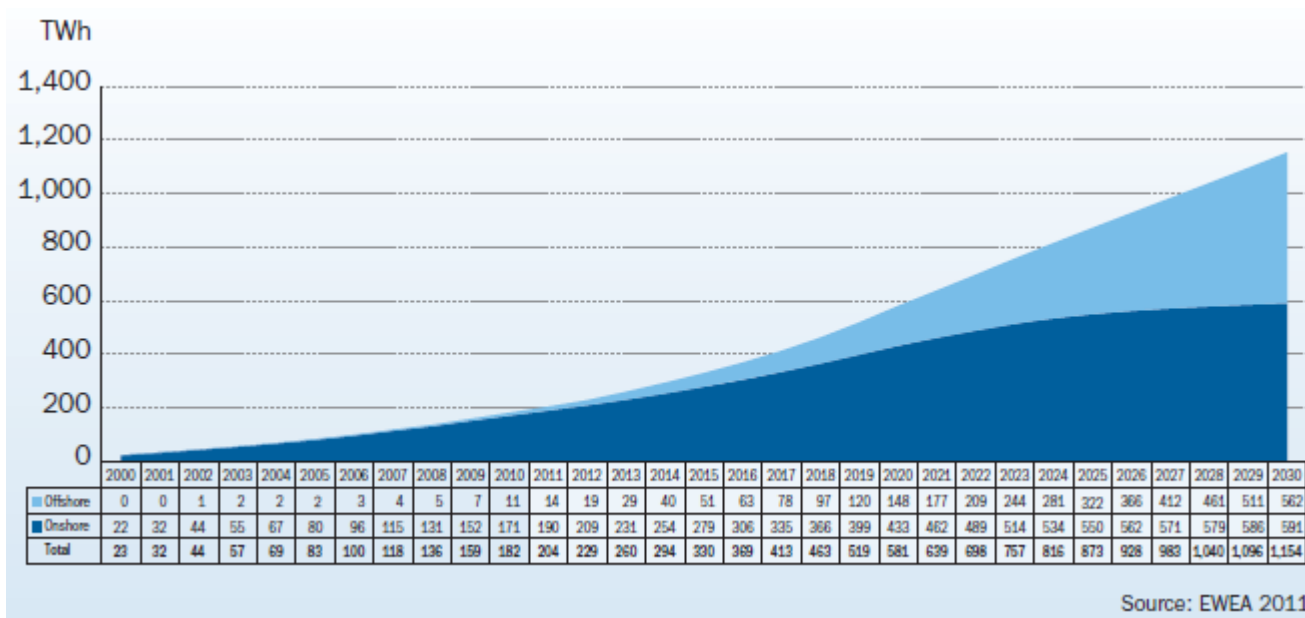
Ausbau der Windenergie

Prognostizierte Stromproduktion von *onshore* und *offshore* WEA gemäß den NREAPs (National Renewable Energy Action Plan)



Ausbau der Windenergie

Prognostizierte Stromproduktion von *onshore* und *offshore* WEA in der EU (2000–2030)



Ausgleich: Strombedarf \Leftrightarrow Stromproduktion

DIE ZEIT 8. September 2011

Stillstand bei sieben Beaufort. Die langen Rotorblätter der Windkraftanlage verharren starr trotz dieser frischer Brise. Weil jede weitere Kilowattstunde die Stabilität des Stromnetzes gefährden würde, wurde dieses sichtbare Symbol der Energiewende zwangsweise abgeschaltet. Ein widersinniger Zustand, der immer häufiger eintritt: **Vergangenes Jahr gingen laut Bundesnetzagentur fast 74 Millionen Kilowattstunden so verloren. Einzelne Betreiber im Norden**

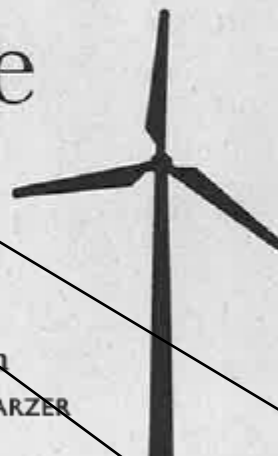
Schleswig-Holsteins mussten ein Viertel ihrer Gesamtproduktion abschreiben. »Ausfallarbeit« heißt das euphemistisch im Behördendeutsch. Nach Paragraph 12 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) wurden dafür gut sechs Millionen Euro Entschädigung gezahlt. Tendenz steigend.

Was fehlt, ist ein Speicher für den Strom. Einer, der so groß ist, dass er die Republik über Wochen versorgen kann, der überall verfügbar und kostengünstig ist. »Wir haben ihn schon«, sagt Stephan Rieke von Solar Fuel Technology, »Deutschlands größter Speicher ist das Erdgasnetz.« Statt wie bisher Erdgas in der Turbine eines Kraftwerks zu ver-

Windkraft in die Kaverne

Die Umwandlung überschüssigen Ökostroms in Gas könnte das Speicherproblem lösen

VON CHRISTOPH M. SCHWARZER



74 Millionen kWh „Ausfallarbeit“



Ausgleich: Strombedarf \Leftrightarrow Stromproduktion

VDI Nachrichten, 28.Oktober 2011

Die Suche nach dem großen Strompuffer

ENERGIE: Das Konzept der Energiewende gibt vor, bis 2050 mindestens 80 % des Stroms aus regenerativen Quellen zu erzeugen. Der gleichzeitige Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022 verlangt nach schnellen Weichenstellungen, wie das 43. Dresdner Kraftwerkskolloquium zeigte. Angesichts der hohen Volatilität und fehlender Großspeicher bleibt ein großer Bedarf an neuen konventionellen Kraftwerken

che in Dresden angesichts des sinkenden Grundlastbedarfs und geringerer Jahreslaufzeiten entsprechende Anreize für die Stromwirtschaft. Für konkrete Aussagen, wie dieser Kapazitätsmarkt ausgestaltet werden könnte, sei es jedoch noch zu früh.

Michael Beckmann, Leiter des Lehrstuhls für Verbrennung, Wärme- und Stoffübertragung der veranstaltenden

VDI Nachrichten, Dresden, 28. 10. 11, S. 5

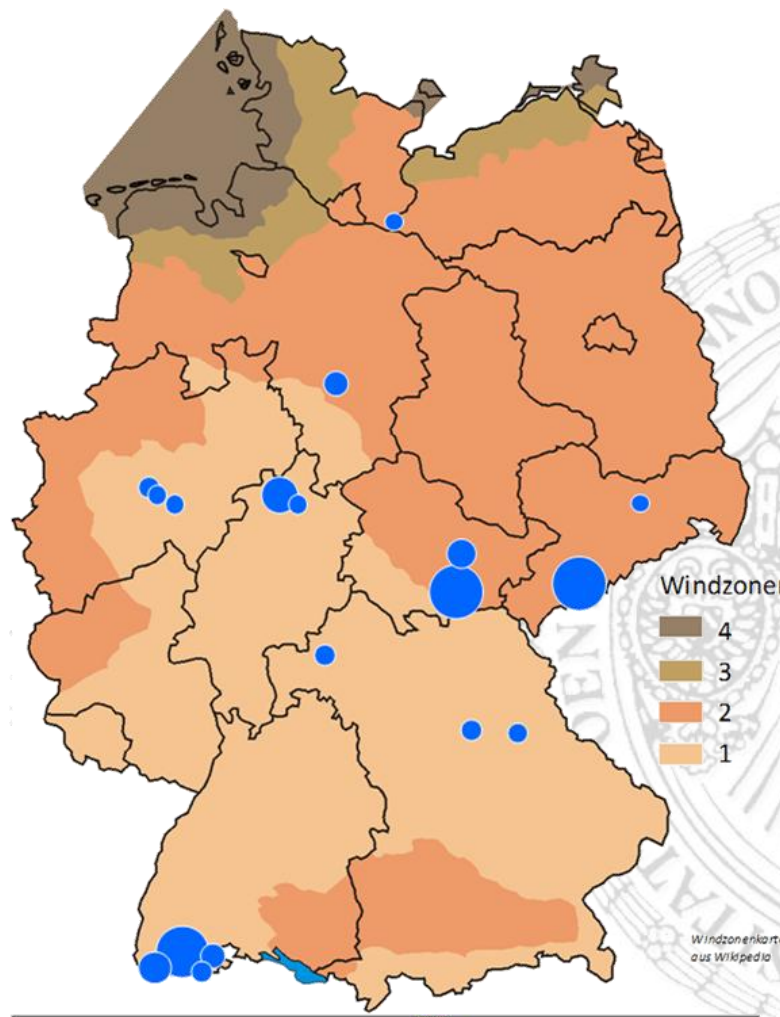
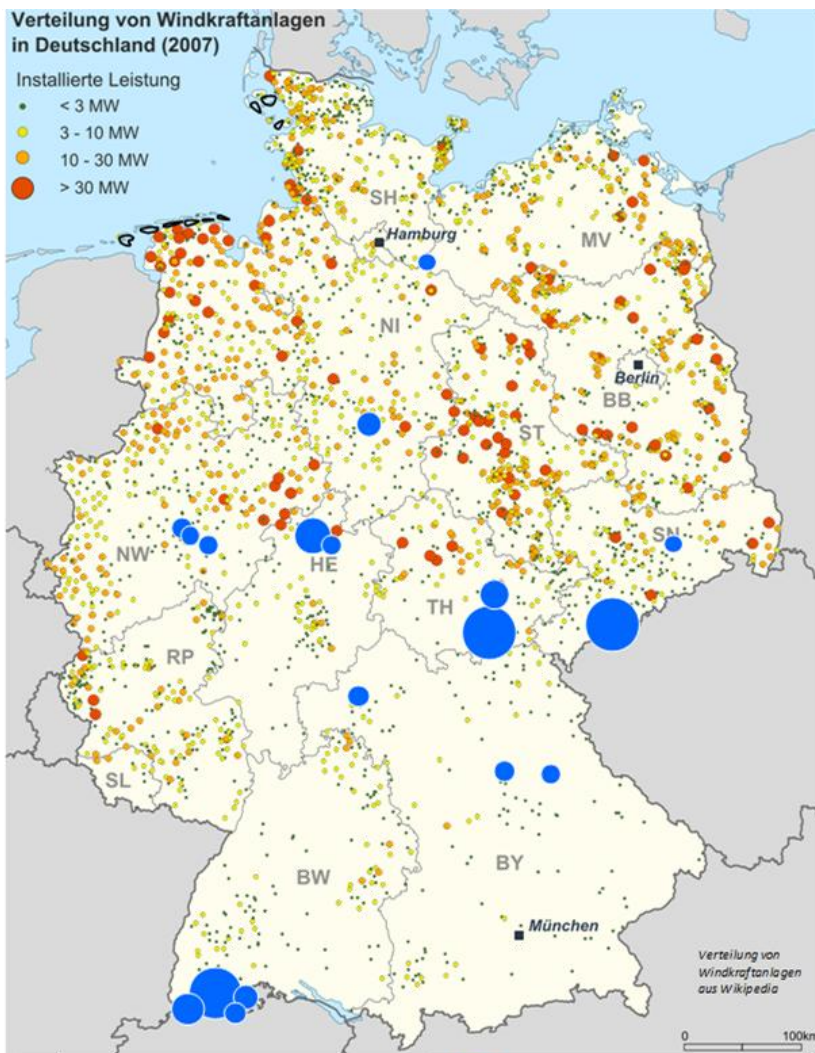
„Wir brauchen noch auf mehrere Jahrzehnte leistungsfähige konventionelle Kraftwerke, die mit schneller Regelbarkeit neben dem immer weiter wachsenden Anteil der erneuerbaren Energien

die Versorgungssicherheit Deutschlands garantieren können. Reiche, Parlamentarier im Bund (BMU), letzte Woche. Der Umbau der Kraftwerke in den nächsten Jahrzehnten

Ausstieg aus der Kernkraft
+ fehlende Großspeicher
➔ Bedarf an neuen konventionellen Kraftwerken



Ausgleich: Strombedarf \Leftrightarrow Stromproduktion



Pumpspeicherwerke (>100 MW) ● = 1000 MW ● = 1000 MW

Pumpspeicherwerke (>100 MW) ● = 1000 MW ● = 1000 MW

Ausgleich: Strombedarf \Leftrightarrow Stromproduktion

DIE ZEIT WISSEN – April/Mai 2011

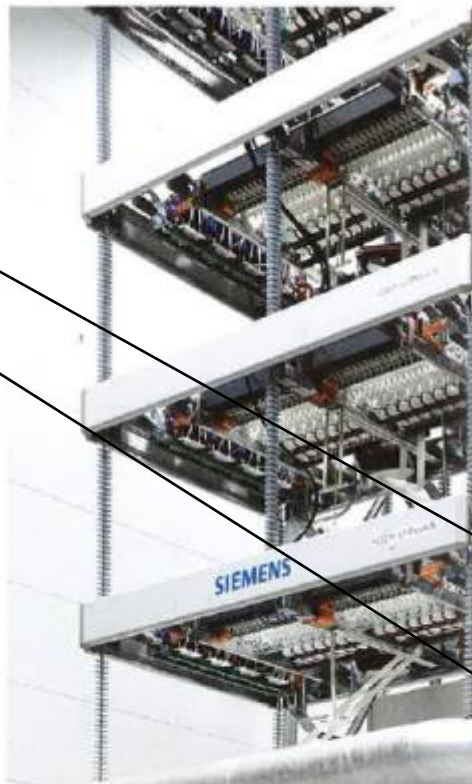
Verkabelt Europa!

Das größte Hindernis für den Atomausstieg sind die fehlenden Leitungen. EIN SUPERNETZ wäre die Lösung – mit Norwegen als Batterie.

Stinkende Nebel wabern übers Land, Rohre, Schornsteine, Tankanlagen, so weit das Auge reicht. In einem Riesenbecken gärt Faulschlamm aus der Flussbaggerei. Auf der Sandinsel Maasvlakte vor Rotterdam, einem Gebiet von der Größe Manhattans, konzentrieren die Niederländer alles, was stinkt und lärm und hässlich oder gefährlich ist. Maasvlakte ist ein Unort, doch in diesem April wird die Insel für einen Augenblick eine andere Bedeutung haben: Hier wird einer der Stützfäden des künftigen europaweiten Höchstspannungsnetzes angeheftet. Die stinkende Insel wird zum Innovationsstandort.

Es geht um das Supergrid. Das Netz der Netze aus besonders verlustarmen Höchstspannungsleitungen ist eine wesentliche Voraussetzung für die europäische Energiewende. Und seit den Reaktorunfällen in Japan steht das Supergrid auch für die Hoffnung, den Atomausstieg zu beschleunigen.

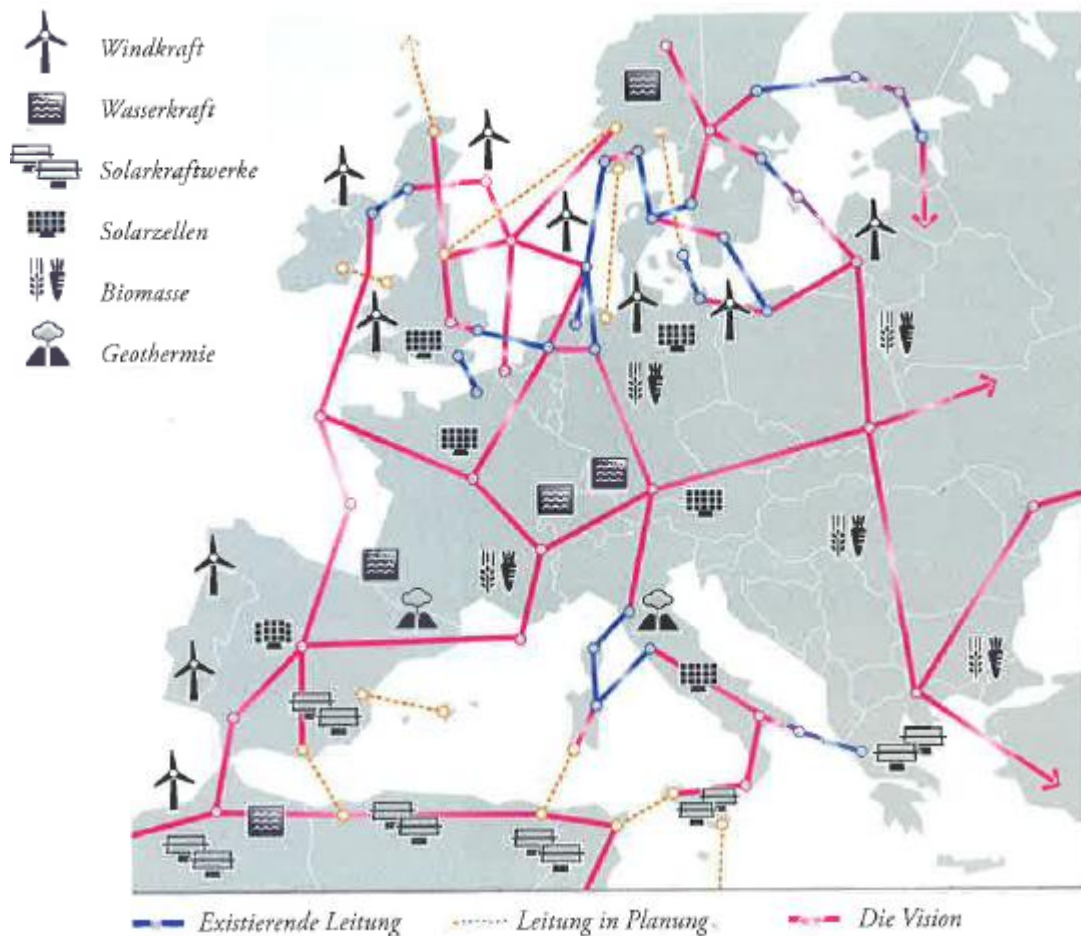
In dieser Halle bei Rotterdam wird Strom für den Transport nach England umgewandelt: Von Wechselstrom an Land in Gleichstrom für das Seekabel. Über diese Verbindung könnte man die Leistung eines ganzen Atomkraftwerks übertragen.



EIN SUPERNETZ wäre die Lösung – mit Norwegen als Batterie



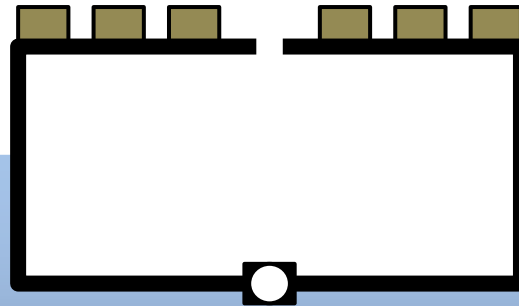
HGÜ – Hochspannungs–Gleichstrom–Übertragung



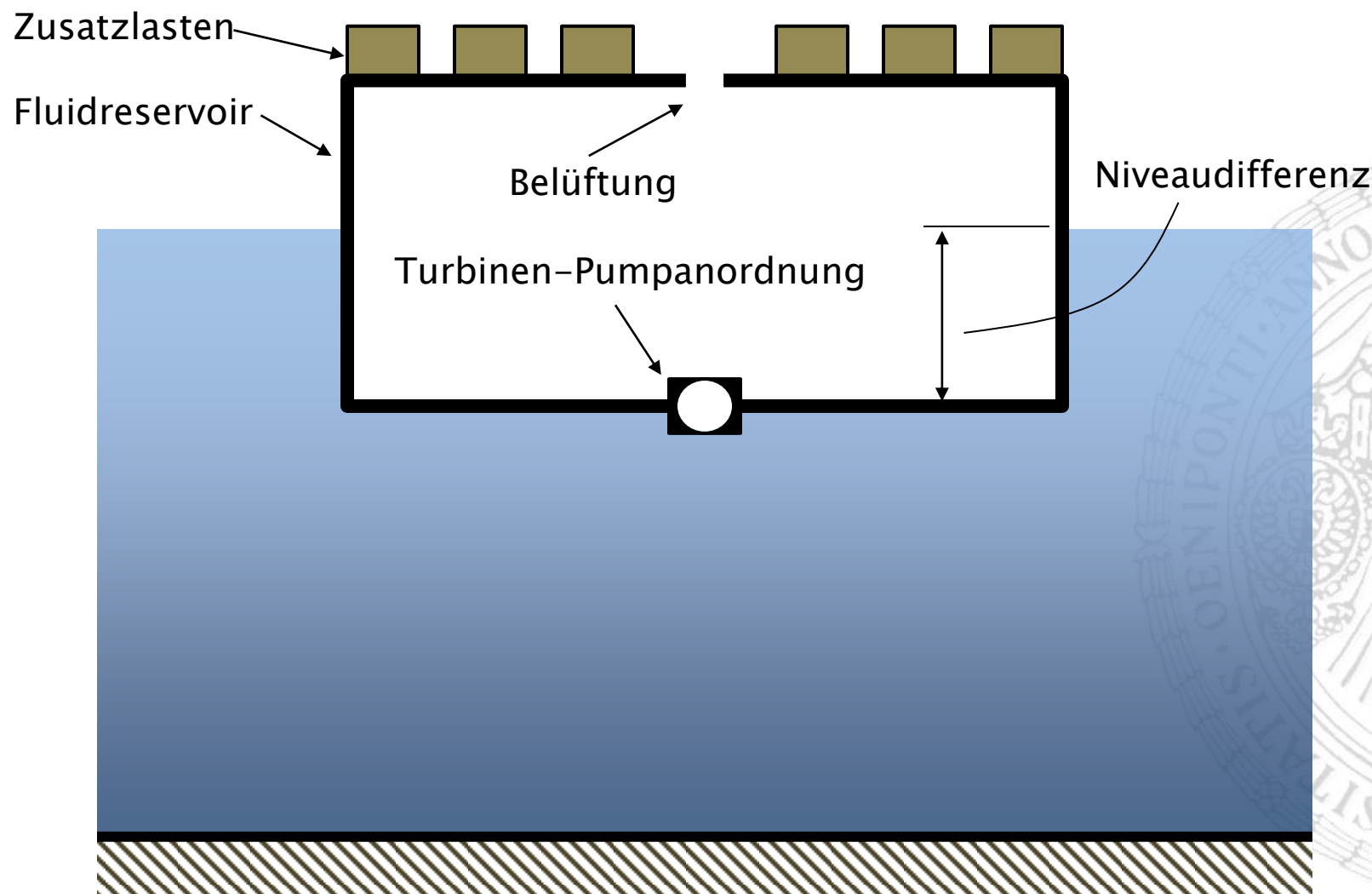
- 800 bis 1100 kV Spannung
- allein in Deutschland fehlen 3600 km Höchstspannungsleitungen
- geschätzte Kosten 10 Milliarden Euro (Deutschland)

Buoyant Energy

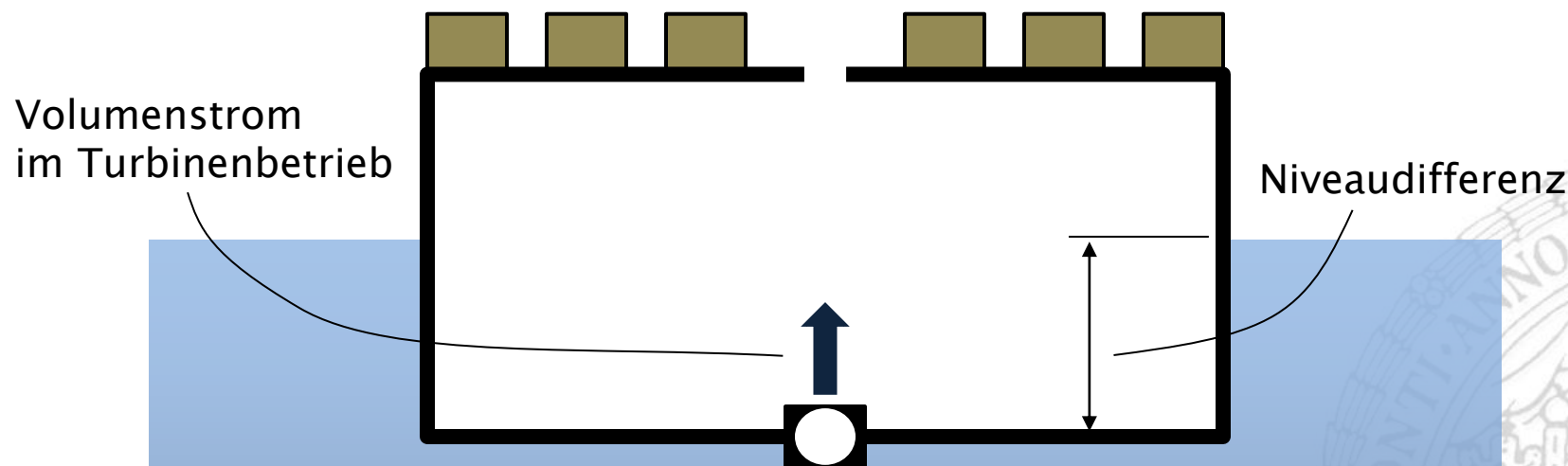
Hydraulische Großenergiespeicher



Konzept „Hydraulischer Energiespeicher“



Konzept „Hydraulischer Energiespeicher“



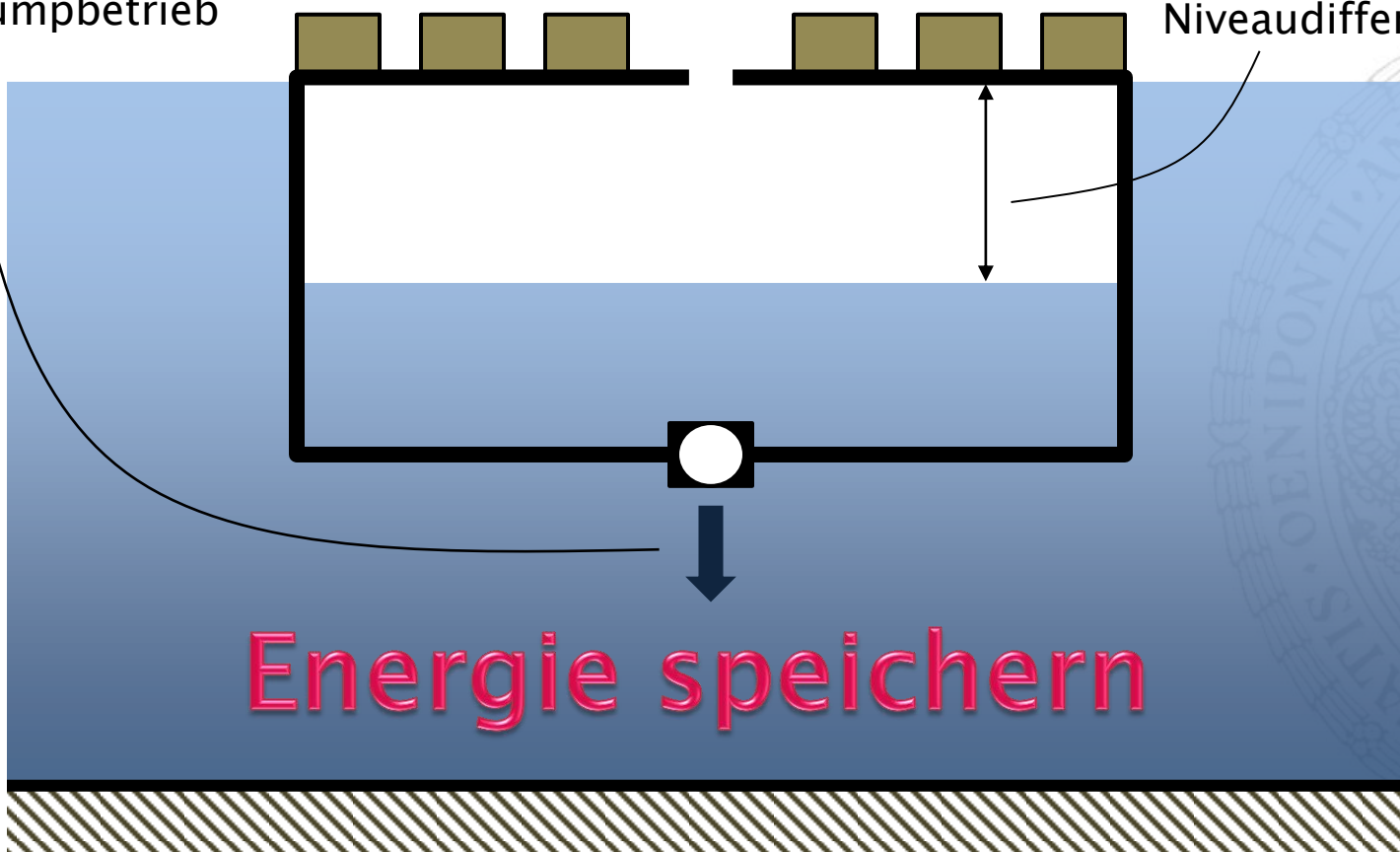
Energie gewinnen



Konzept „Hydraulischer Energiespeicher“

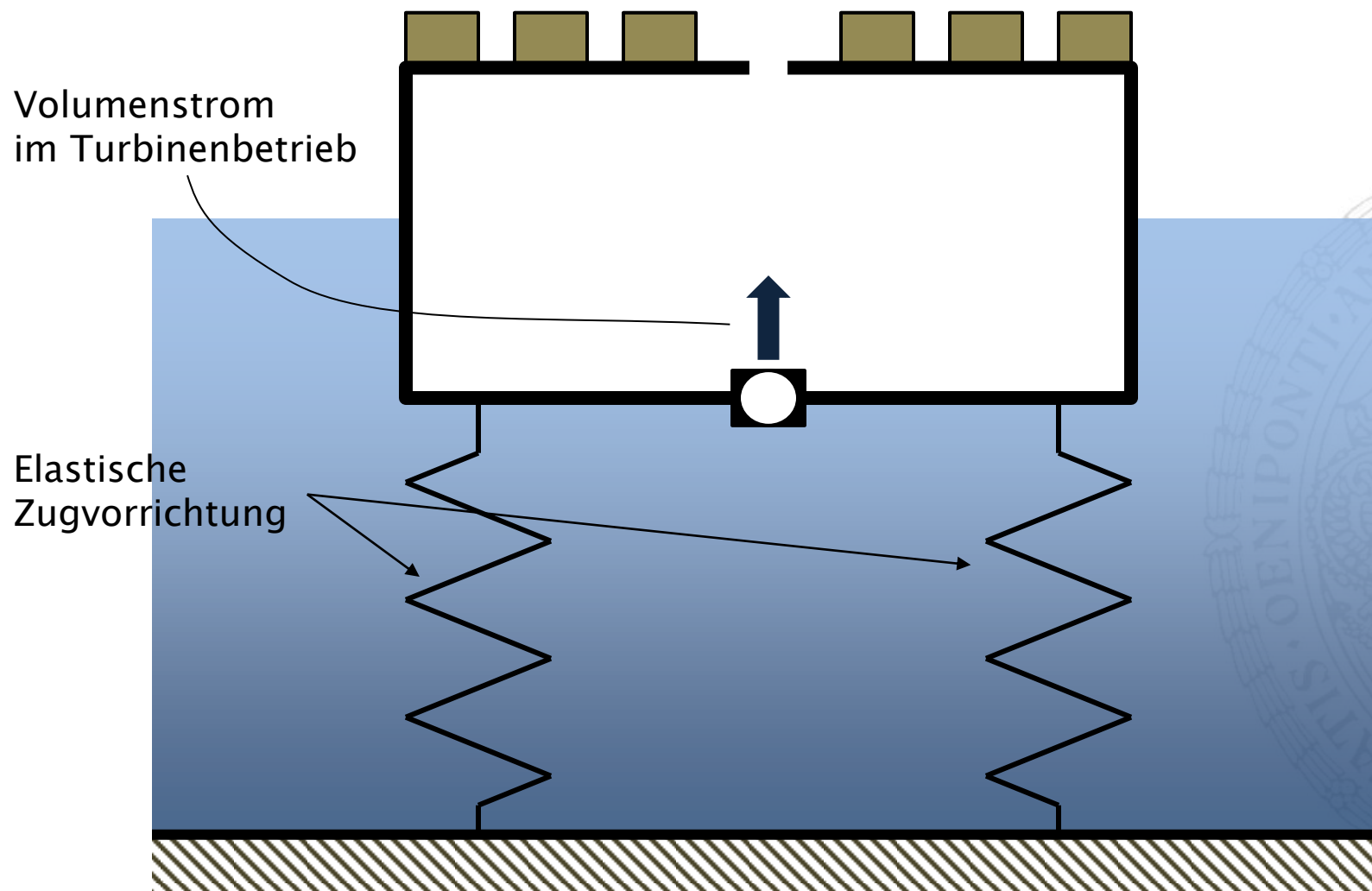
Volumenstrom
im Pumpbetrieb

Niveaudifferenz

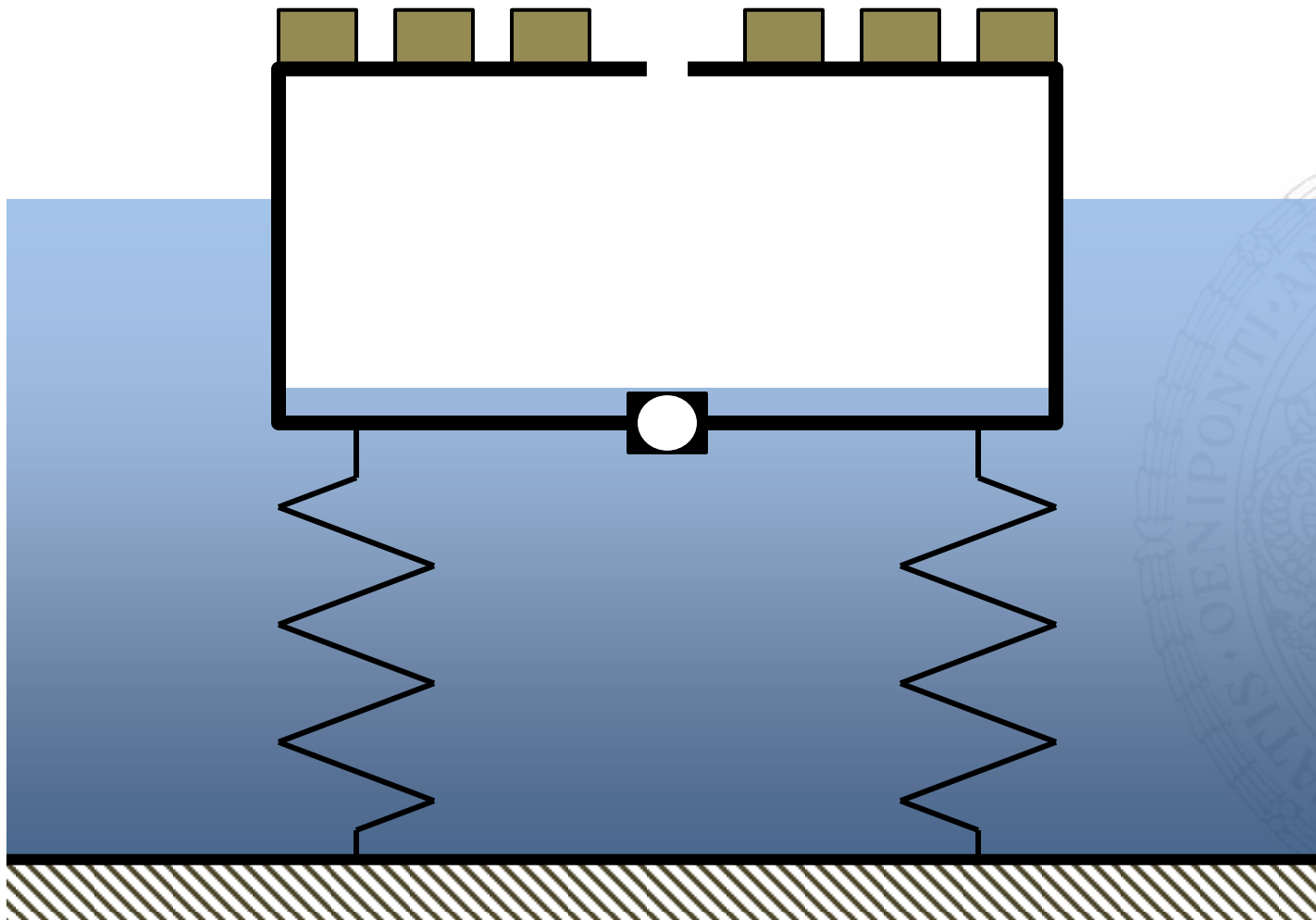


Energie speichern

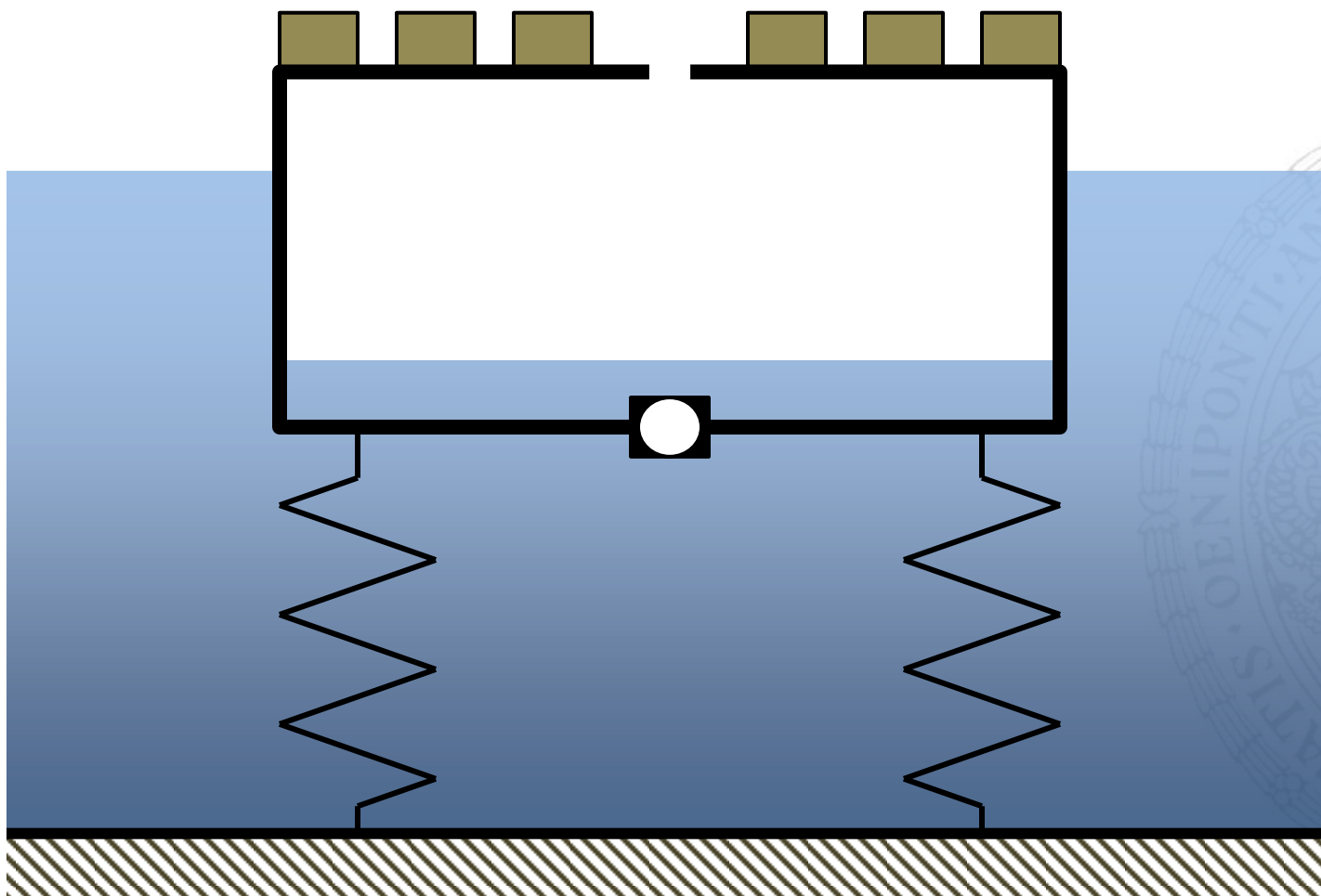
Variante 1: Elastische Zugvorrichtungen



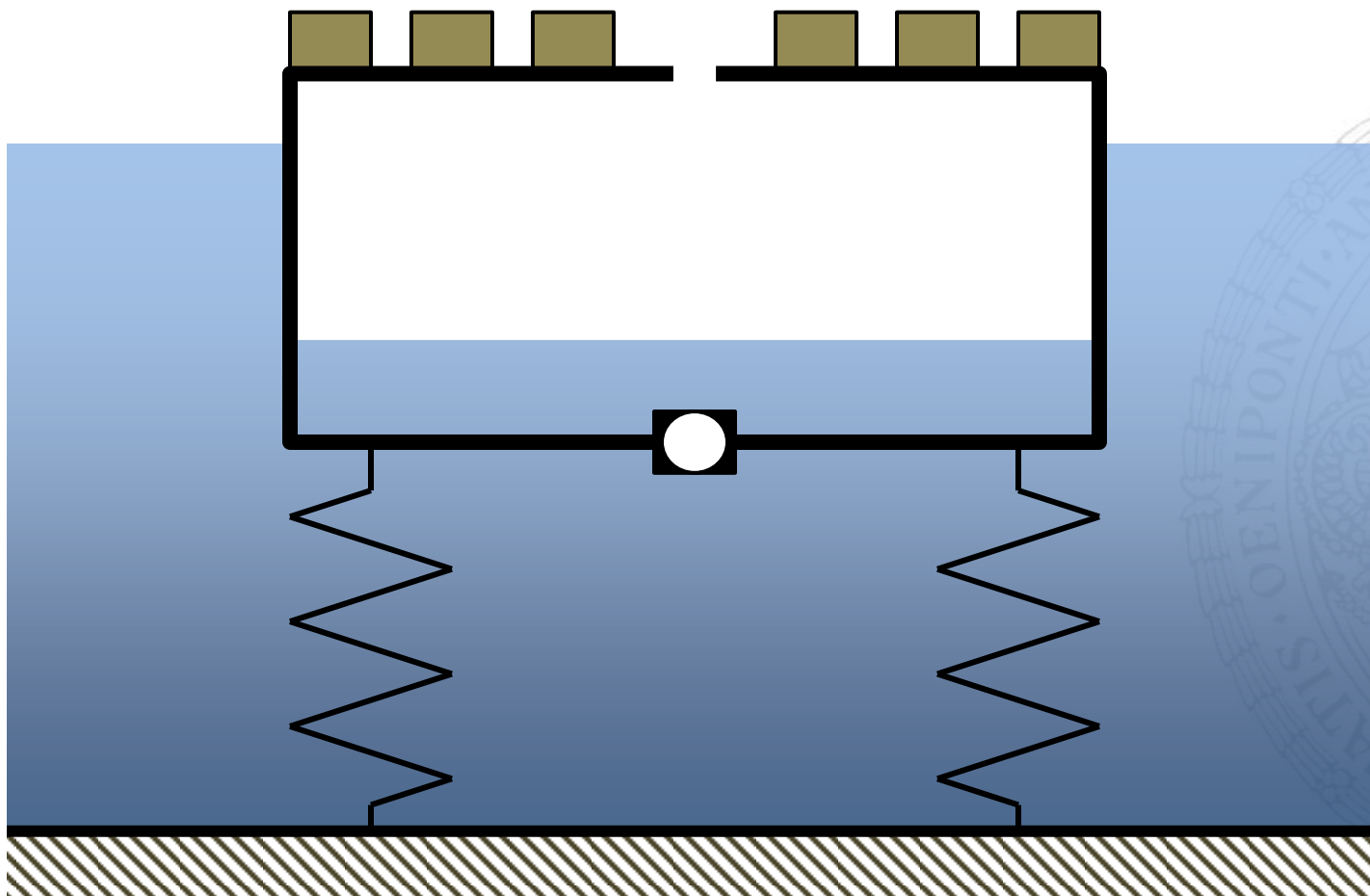
Variante 1: Elastische Zugvorrichtungen



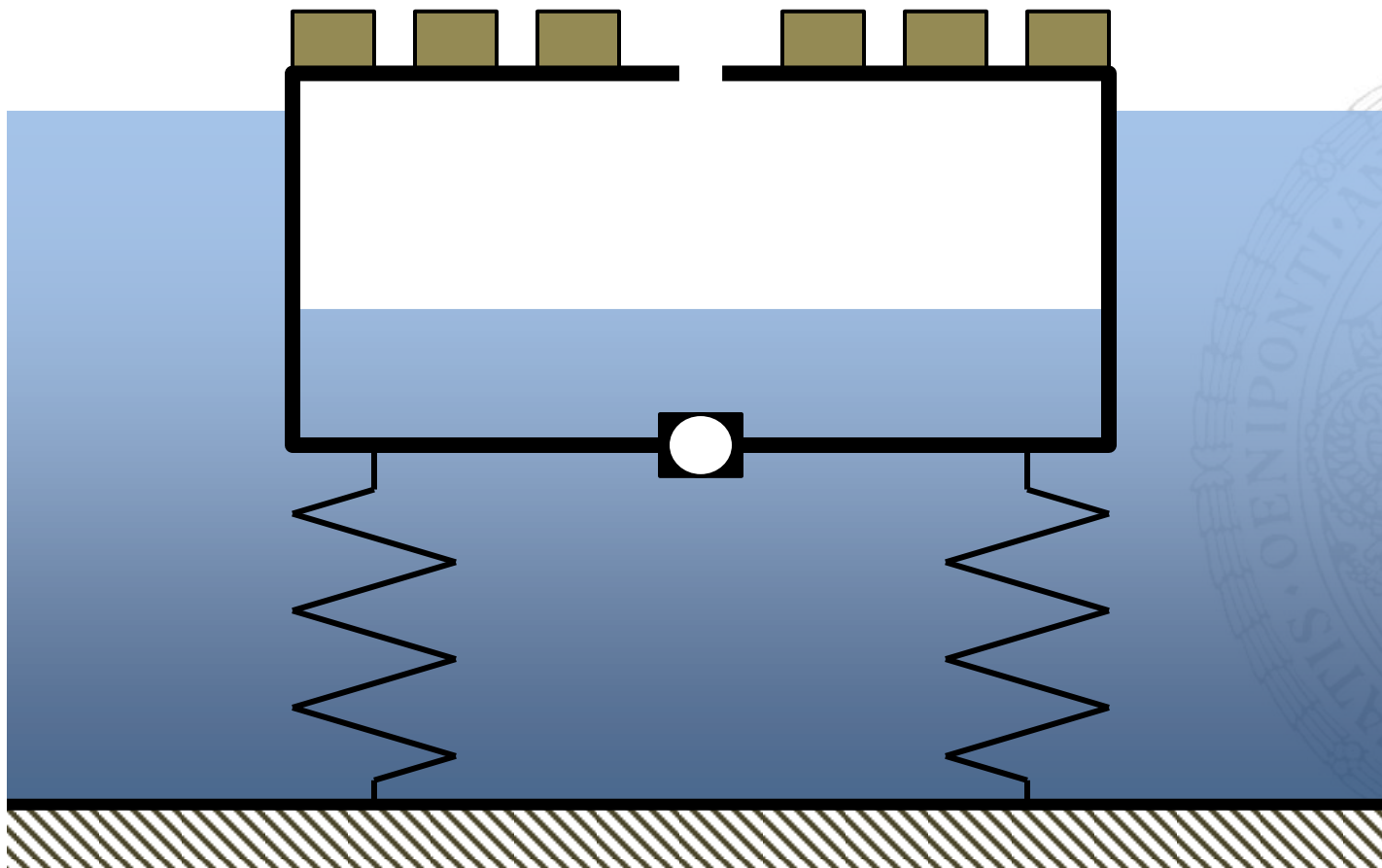
Variante 1: Elastische Zugvorrichtungen



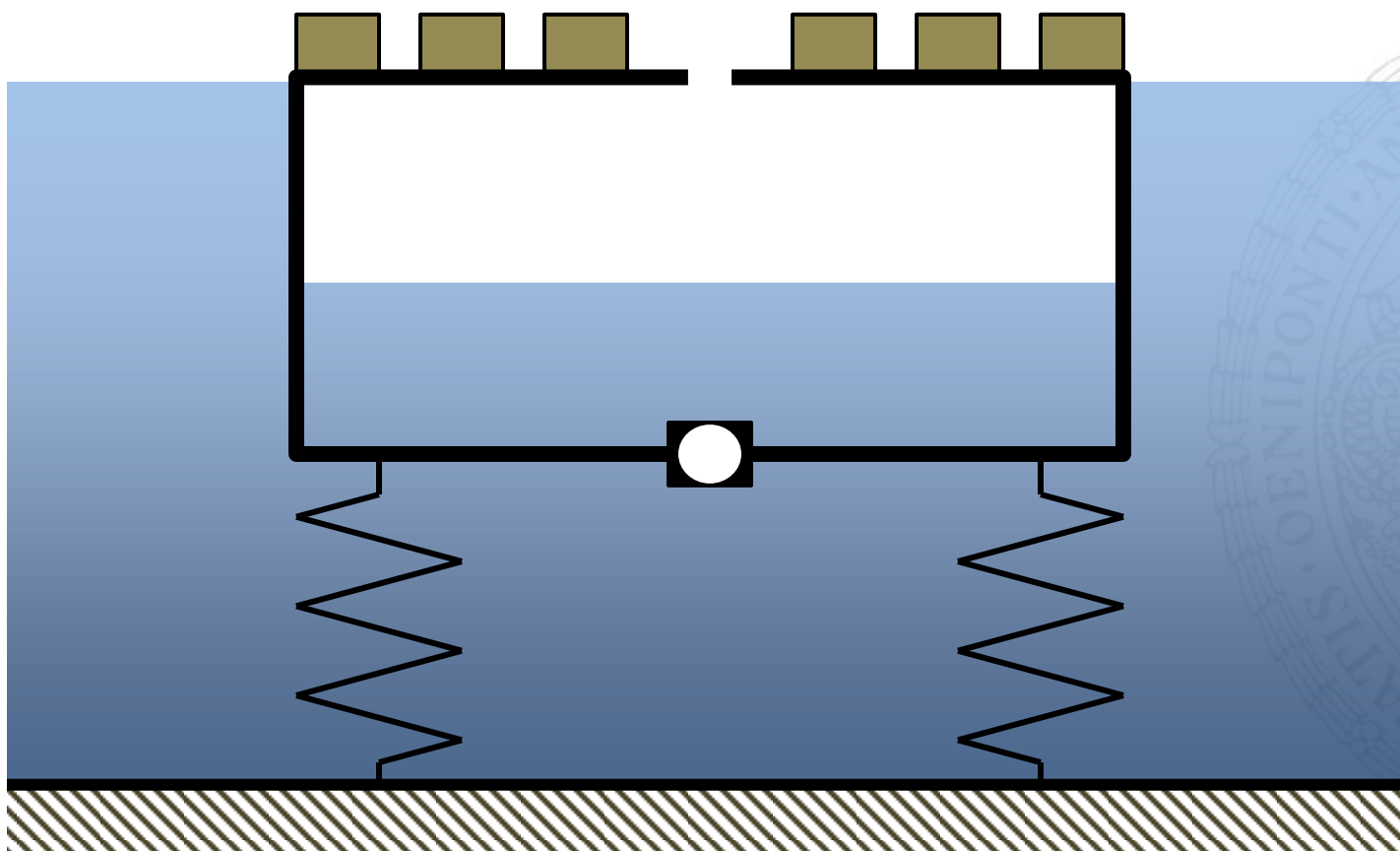
Variante 1: Elastische Zugvorrichtungen



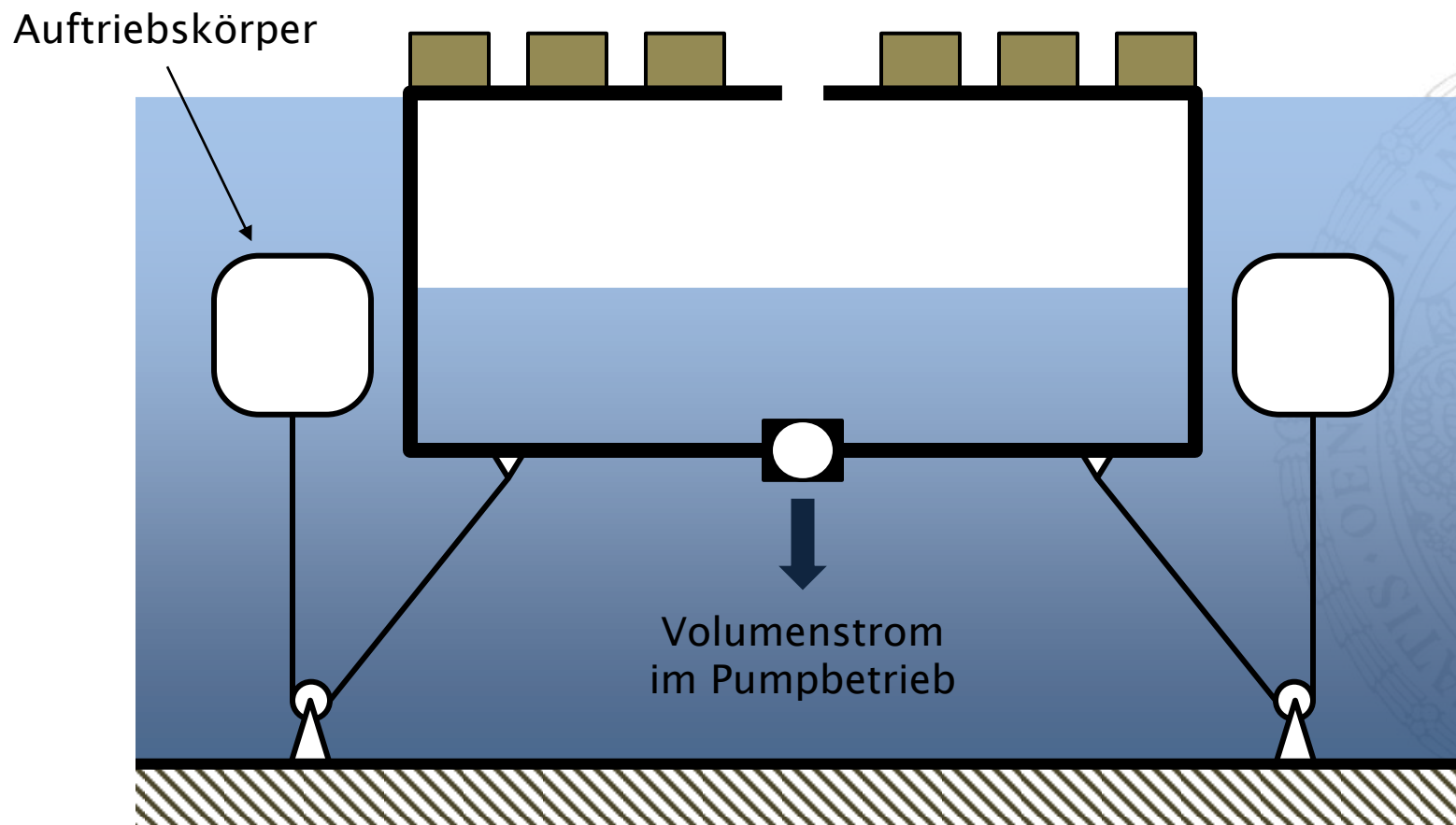
Variante 1: Elastische Zugvorrichtungen



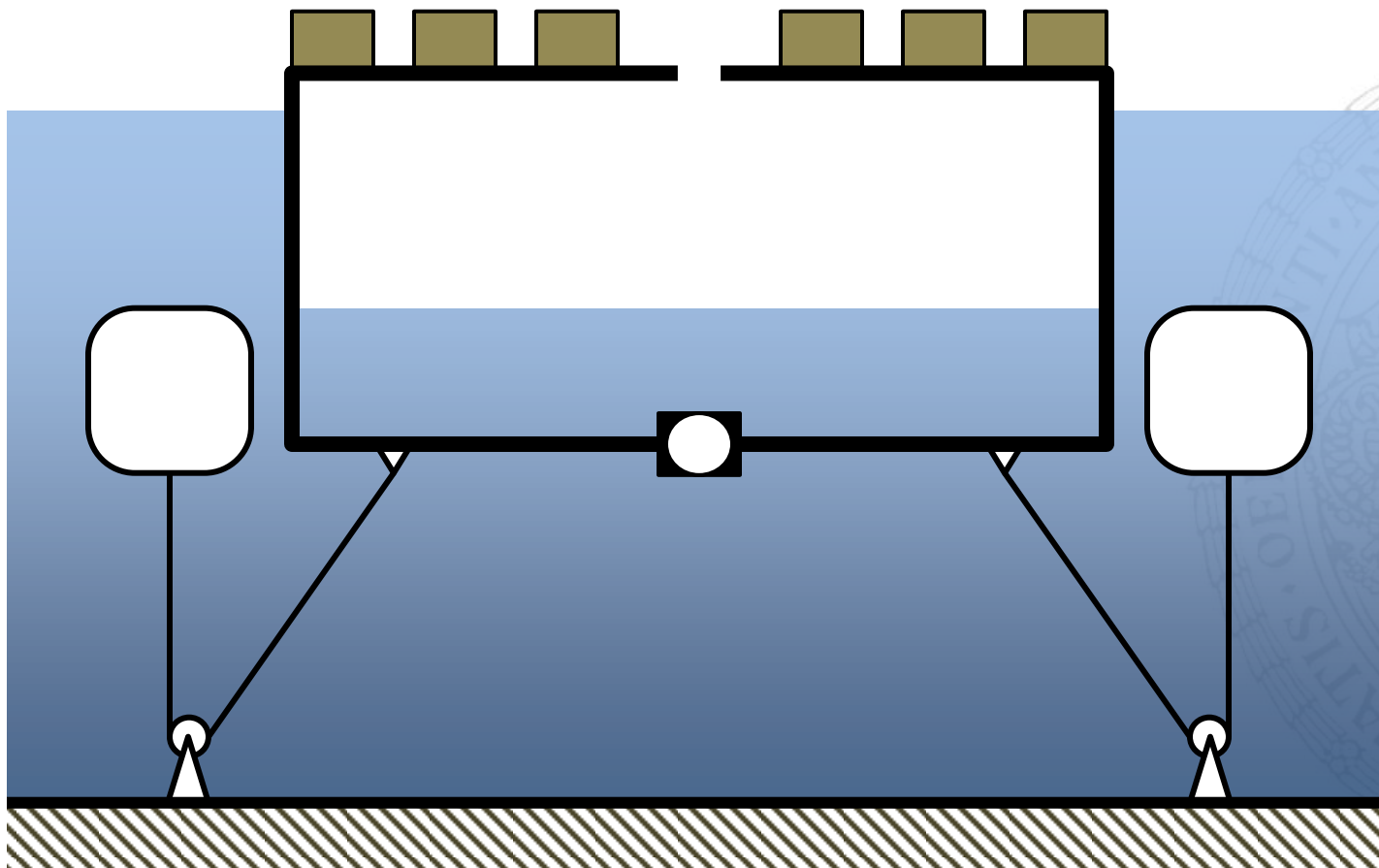
Variante 1: Elastische Zugvorrichtungen



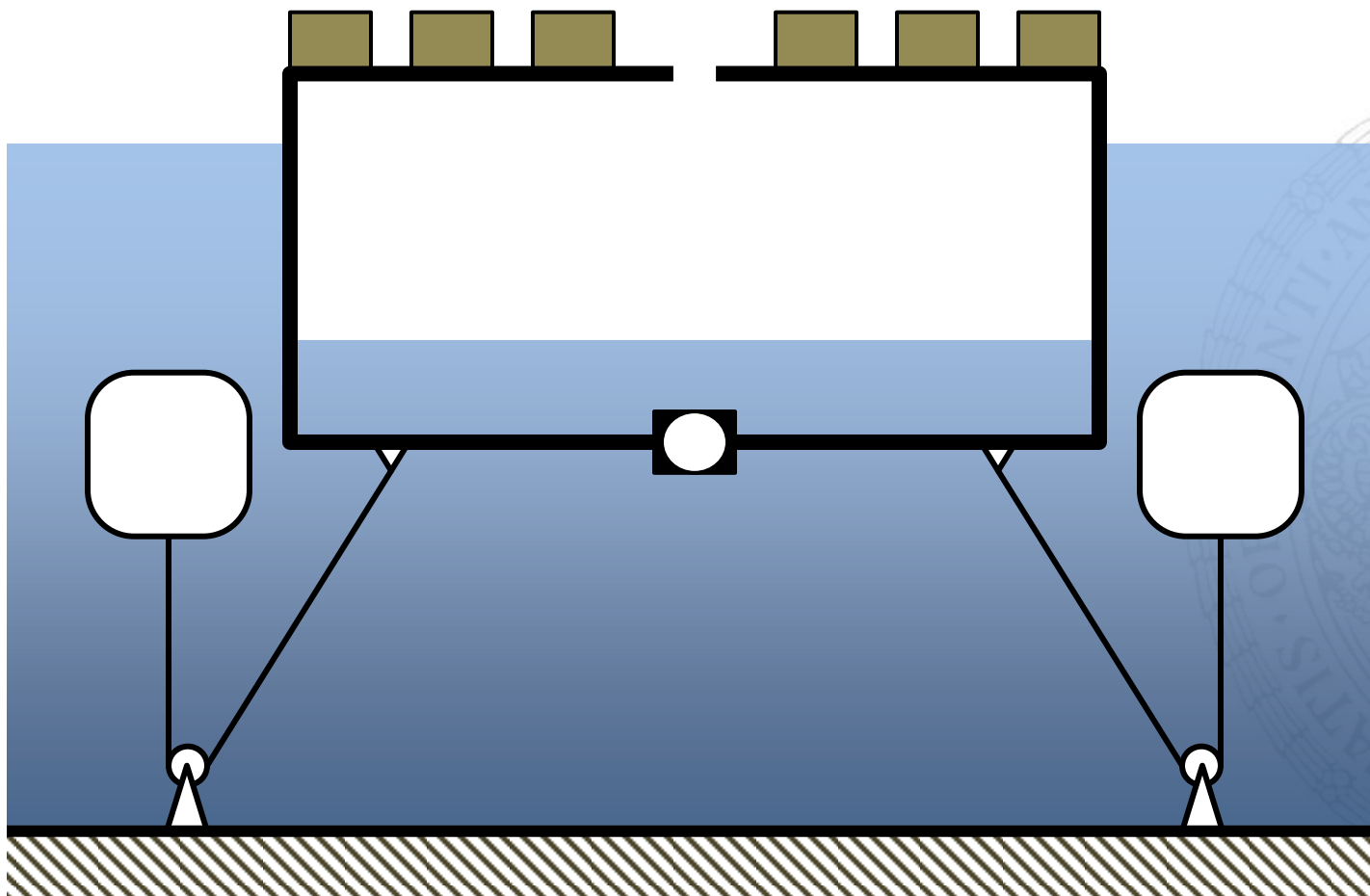
Variante 2: Zugvorrichtungen über umgelenkte Auftriebskörper



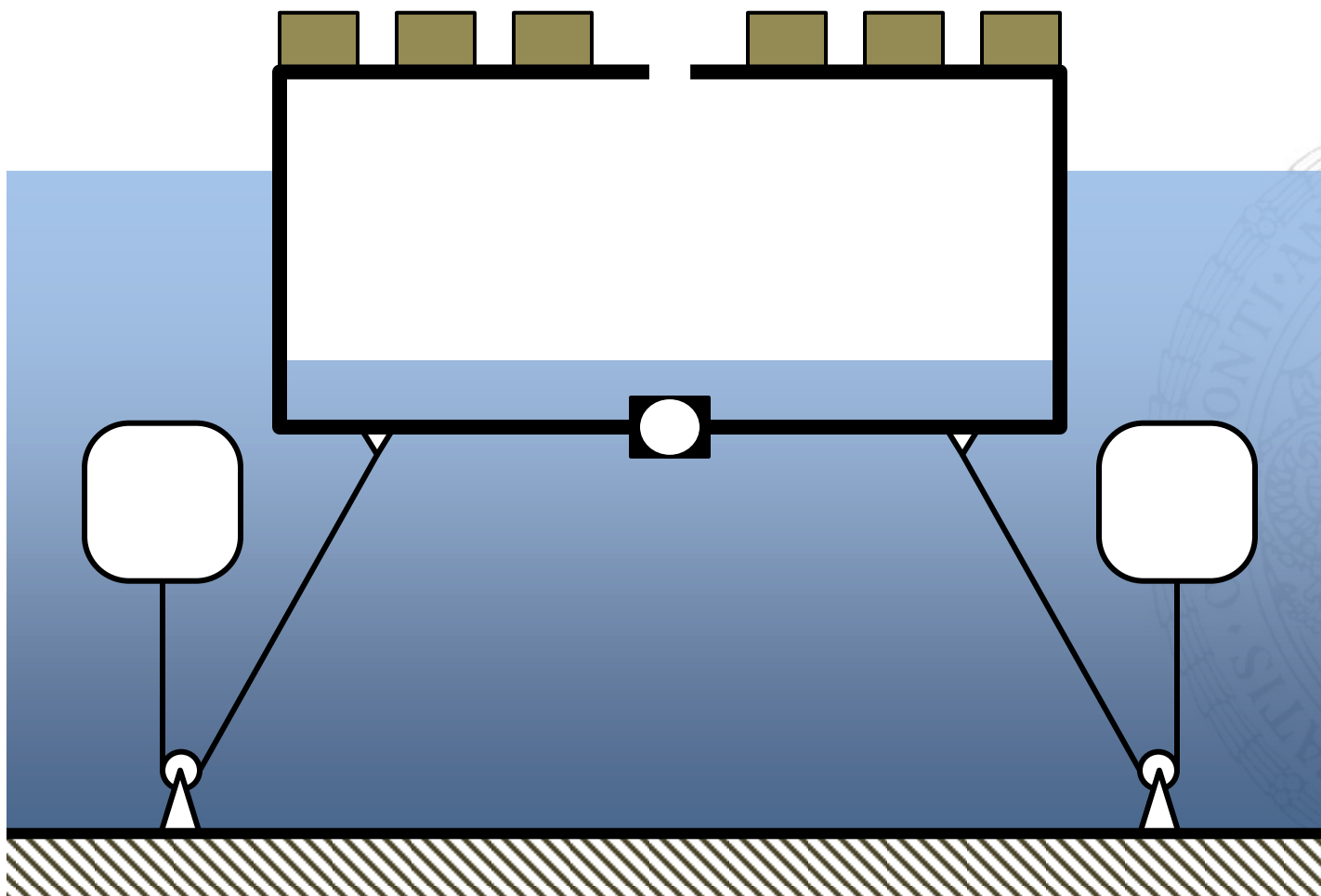
Variante 2: Zugvorrichtungen über umgelenkte Auftriebskörper



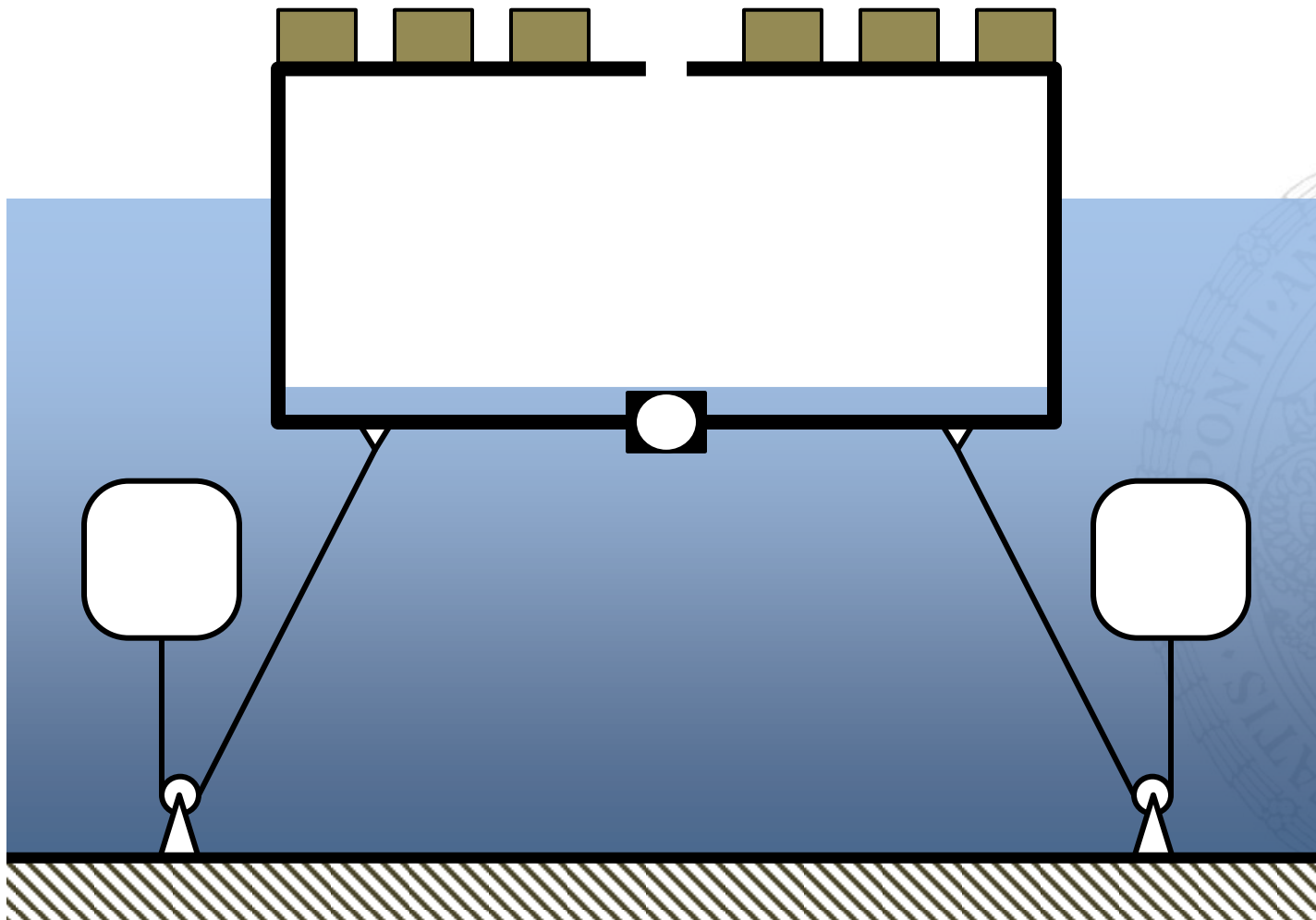
Variante 2: Zugvorrichtungen über umgelenkte Auftriebskörper



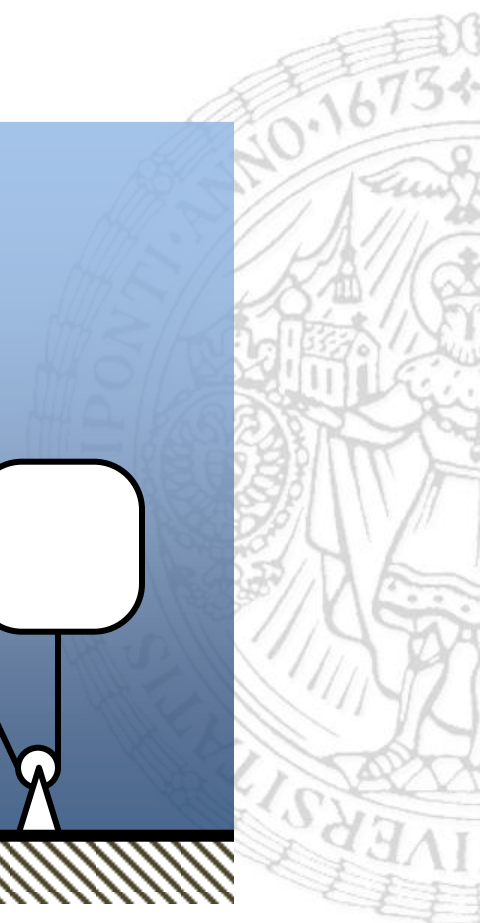
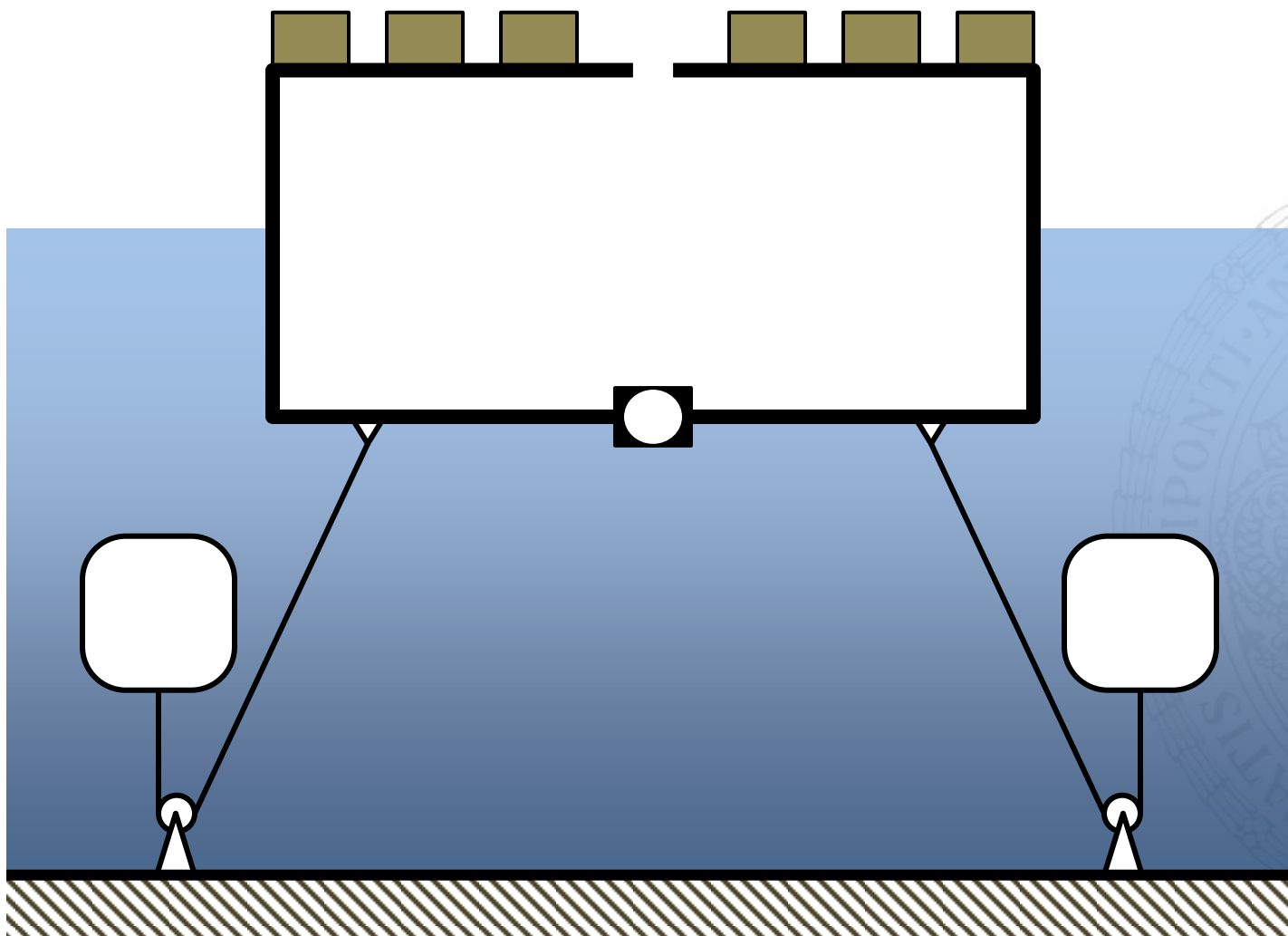
Variante 2: Zugvorrichtungen über umgelenkte Auftriebskörper



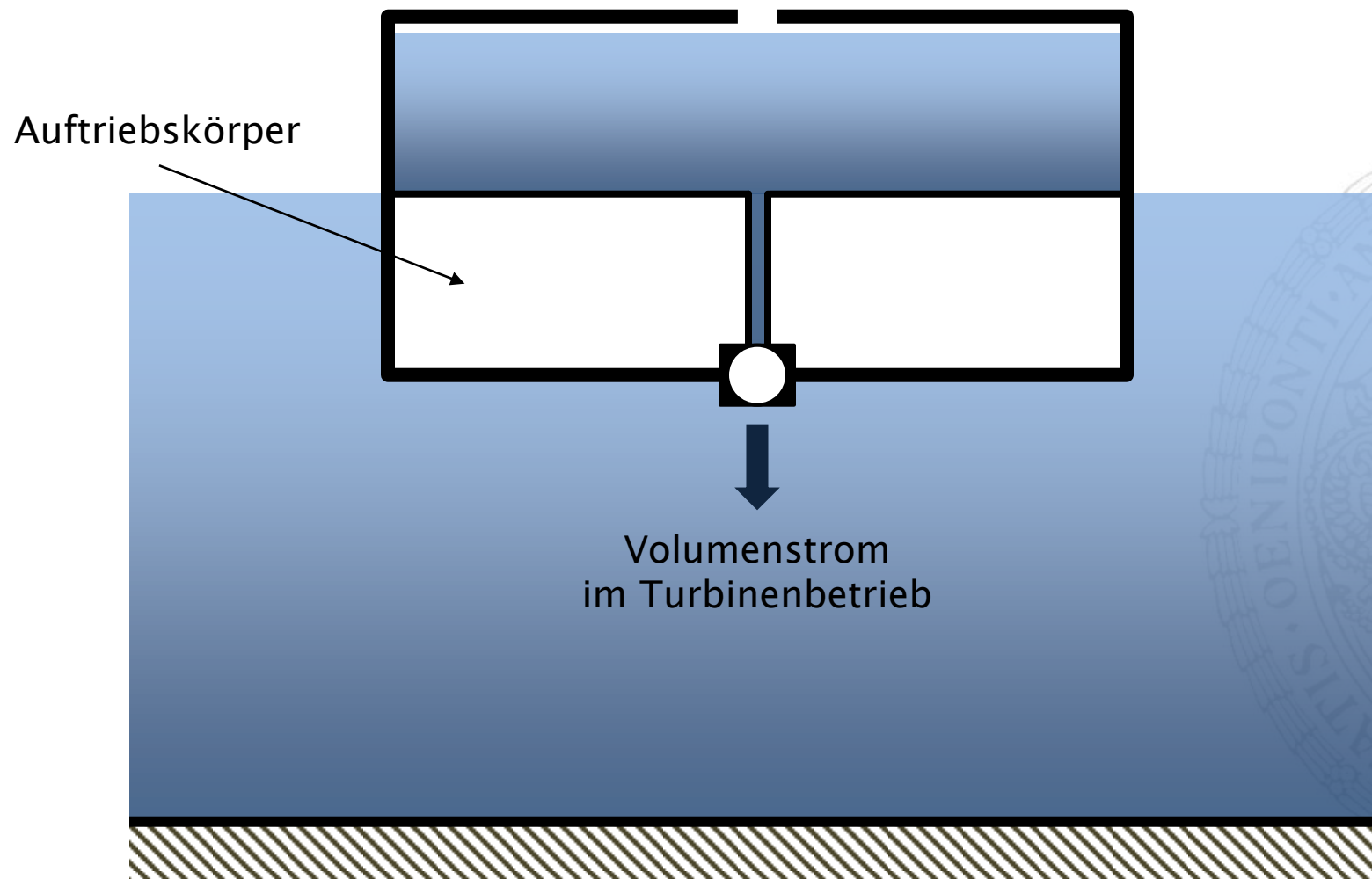
Variante 2: Zugvorrichtungen über umgelenkte Auftriebskörper



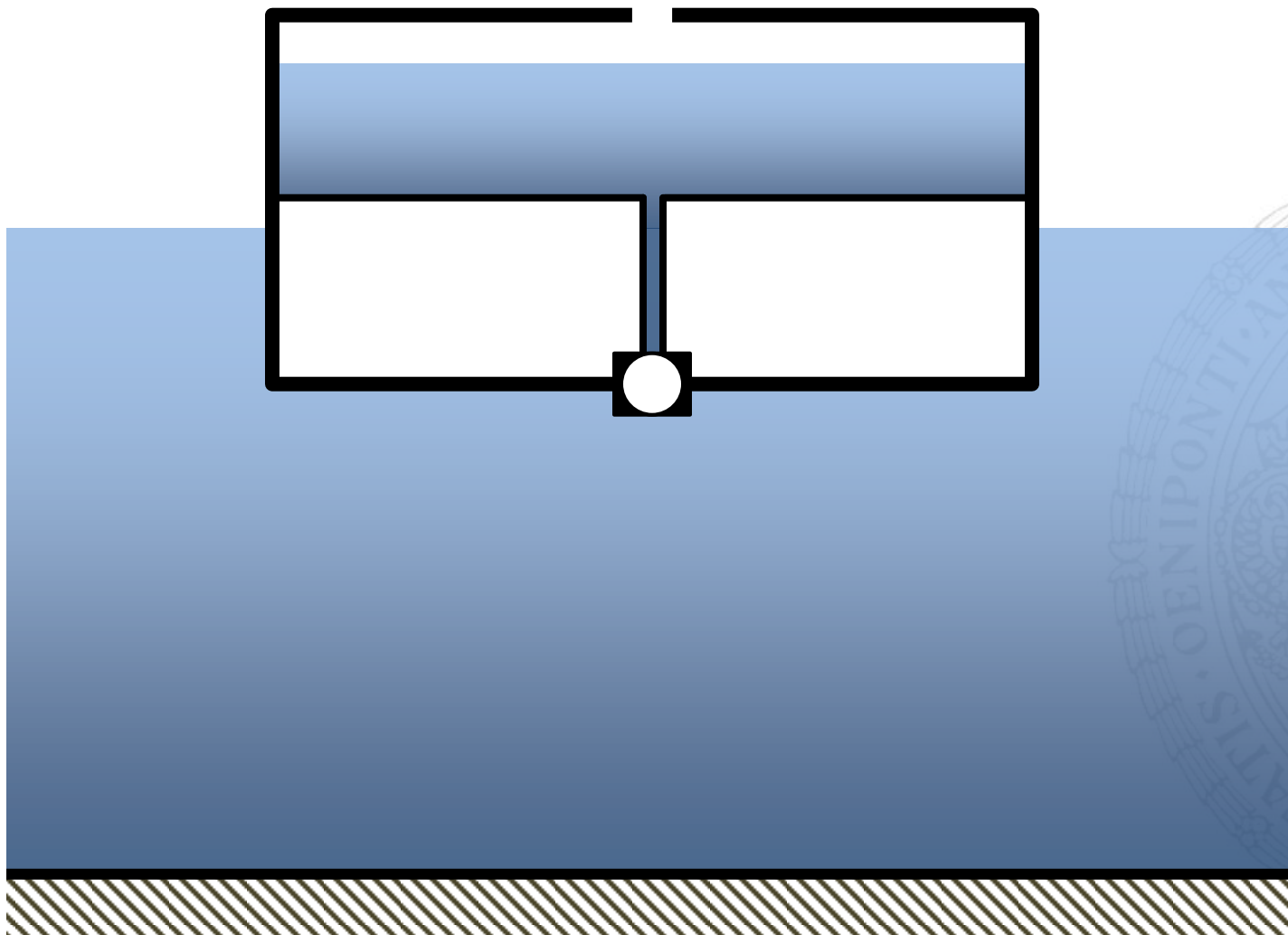
Variante 2: Zugvorrichtungen über umgelenkte Auftriebskörper



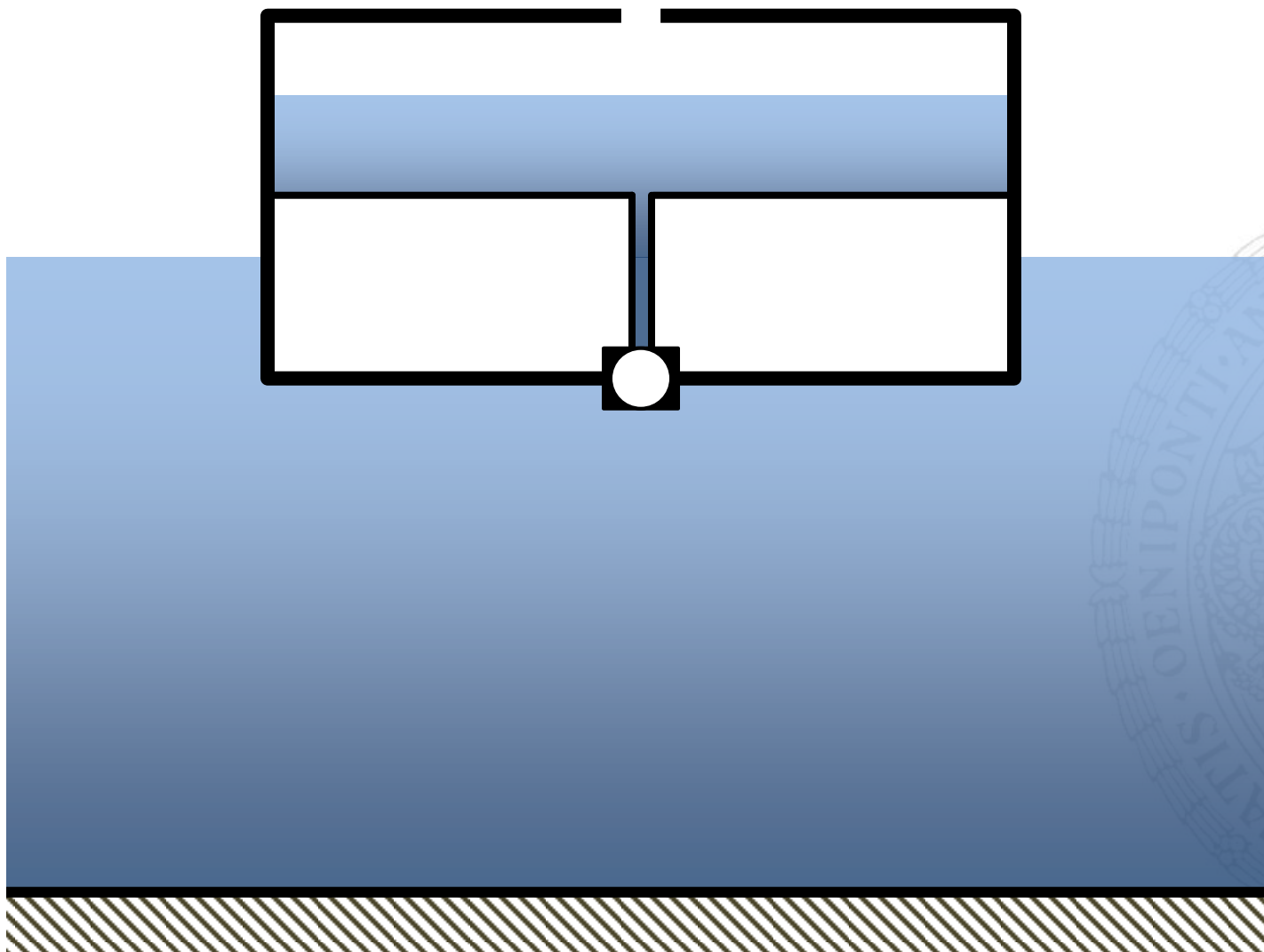
Variante 3: Energieumwandlung in umgekehrter Richtung



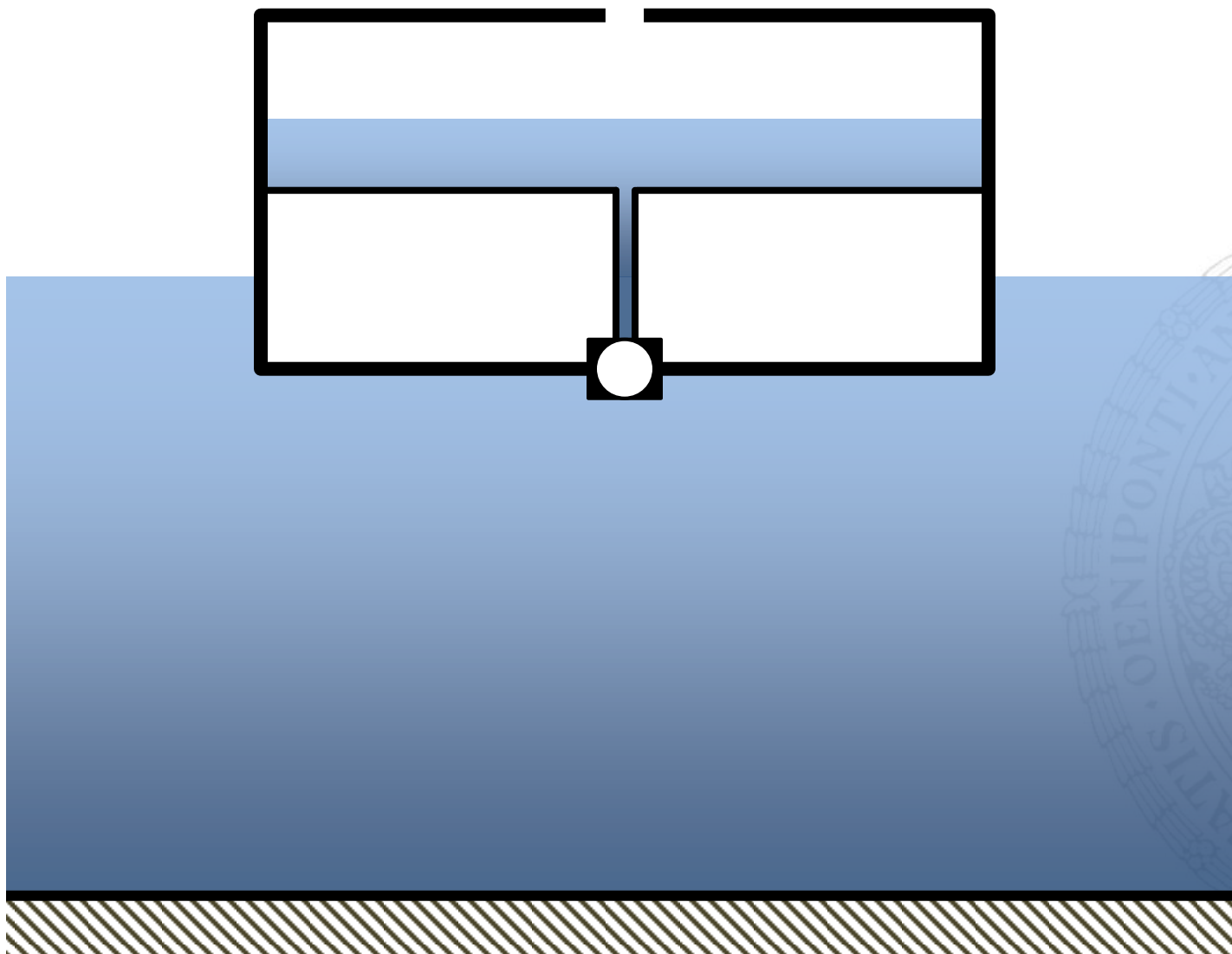
Variante 3: Energieumwandlung in umgekehrter Richtung



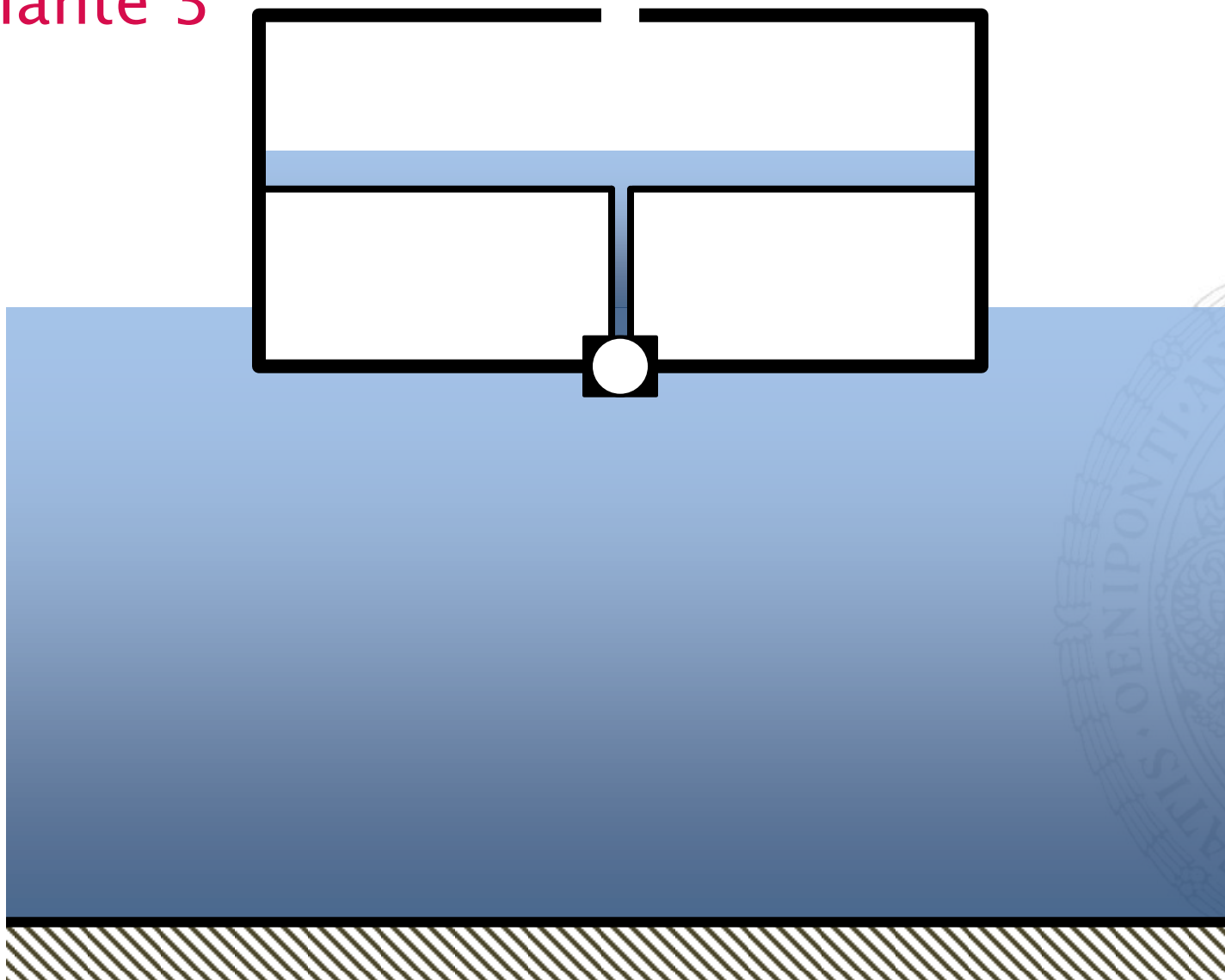
Variante 3: Energieumwandlung in umgekehrter Richtung



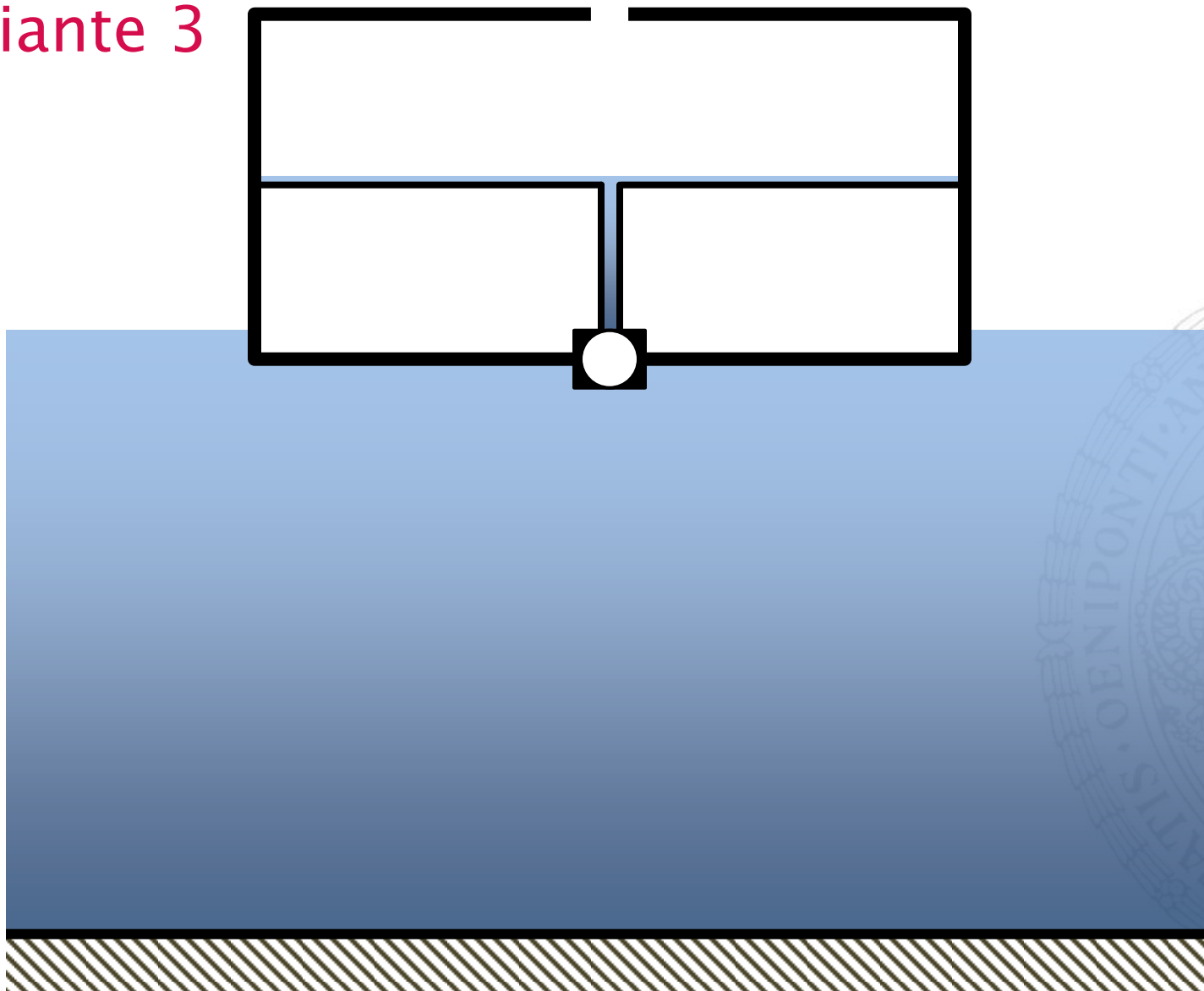
Variante 3



Variante 3

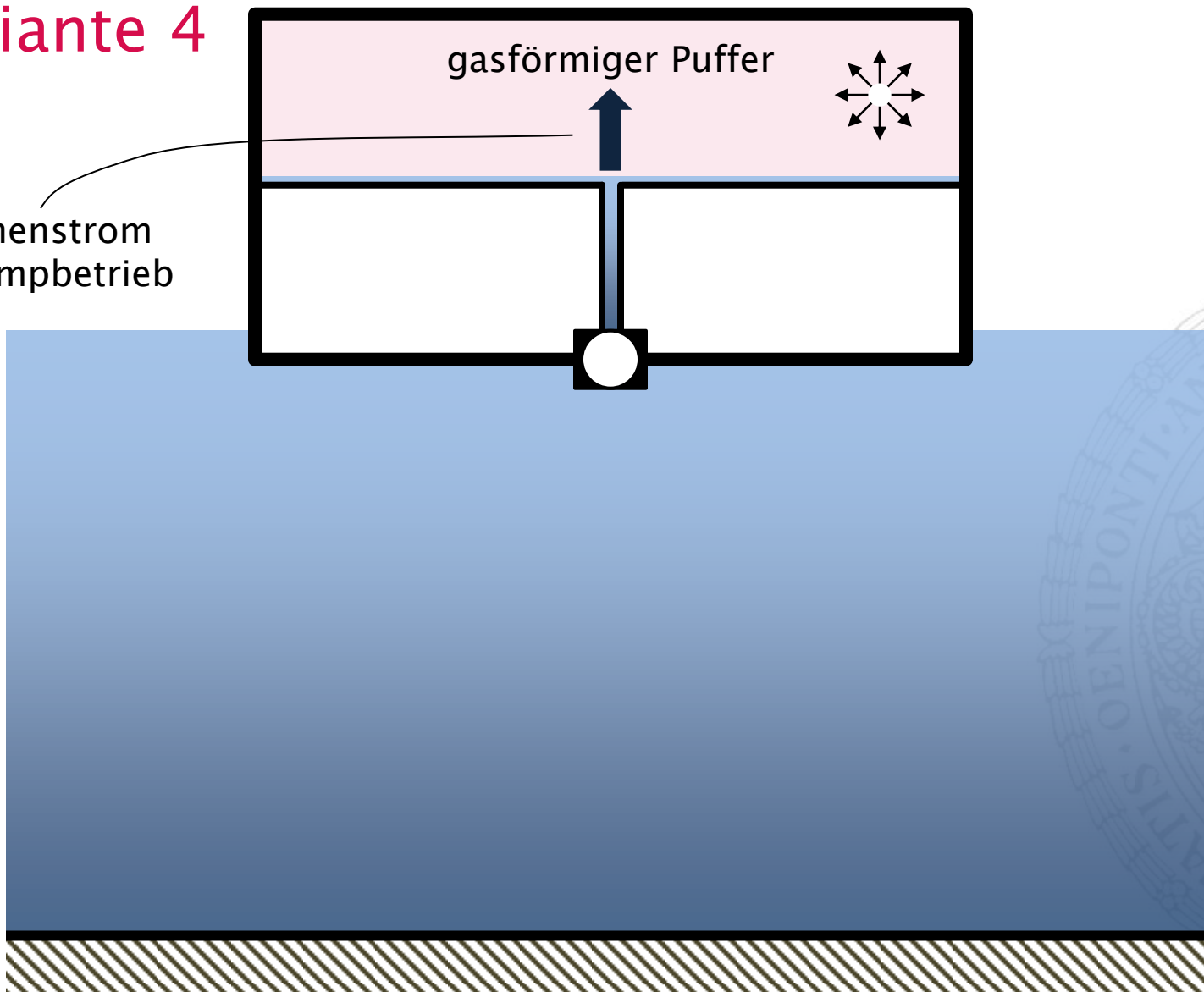


Variante 3

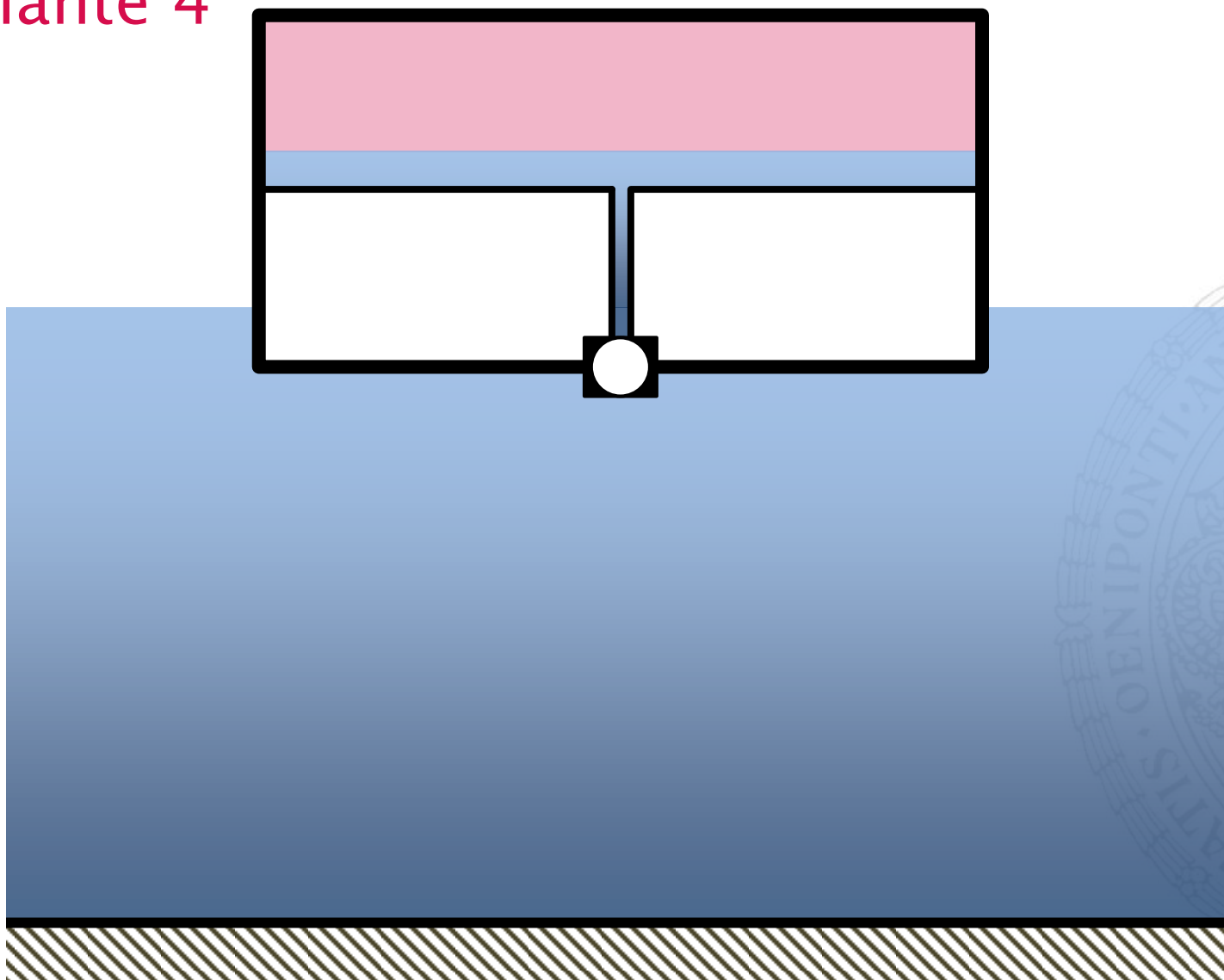


Variante 4

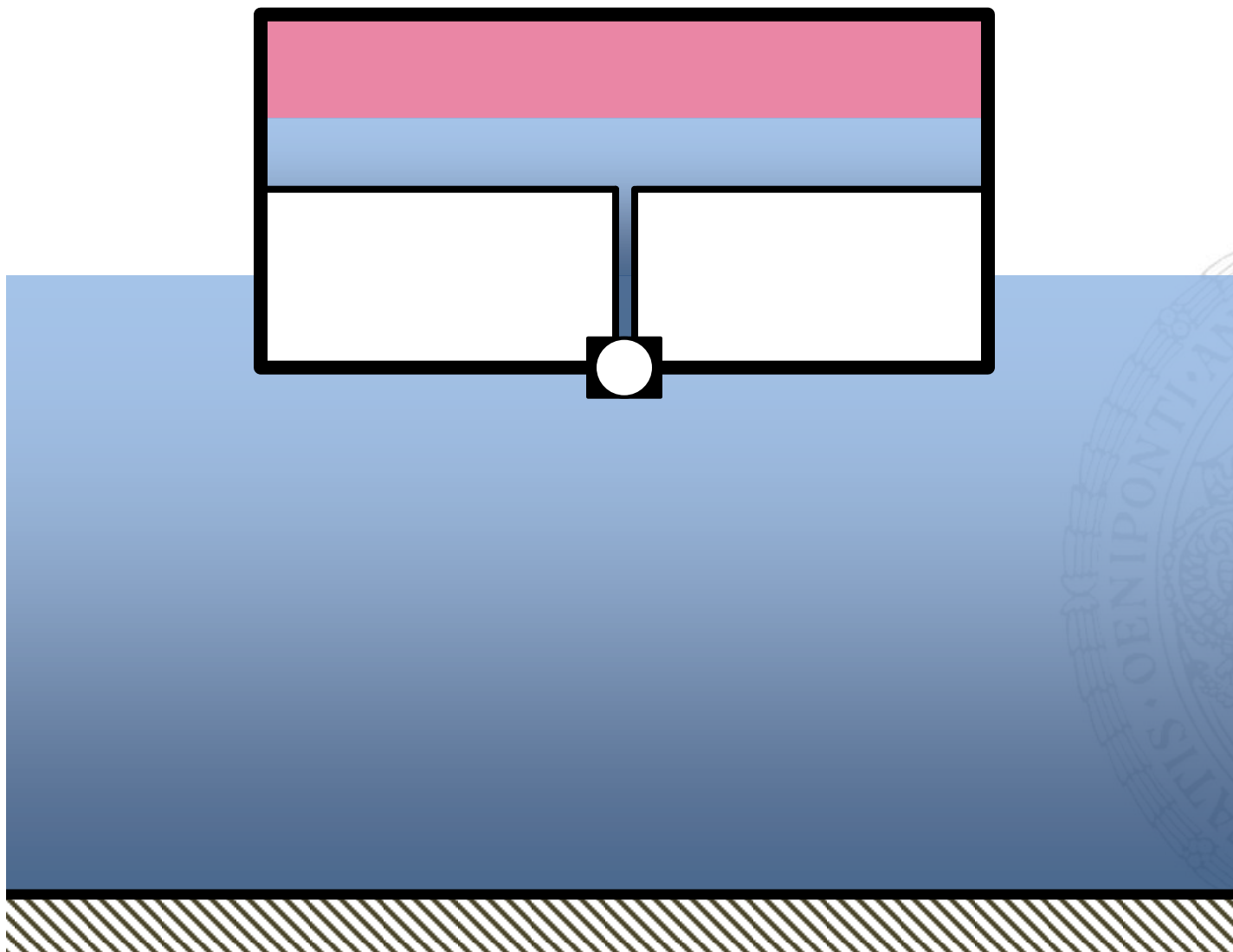
Volumenstrom
im Pumpbetrieb



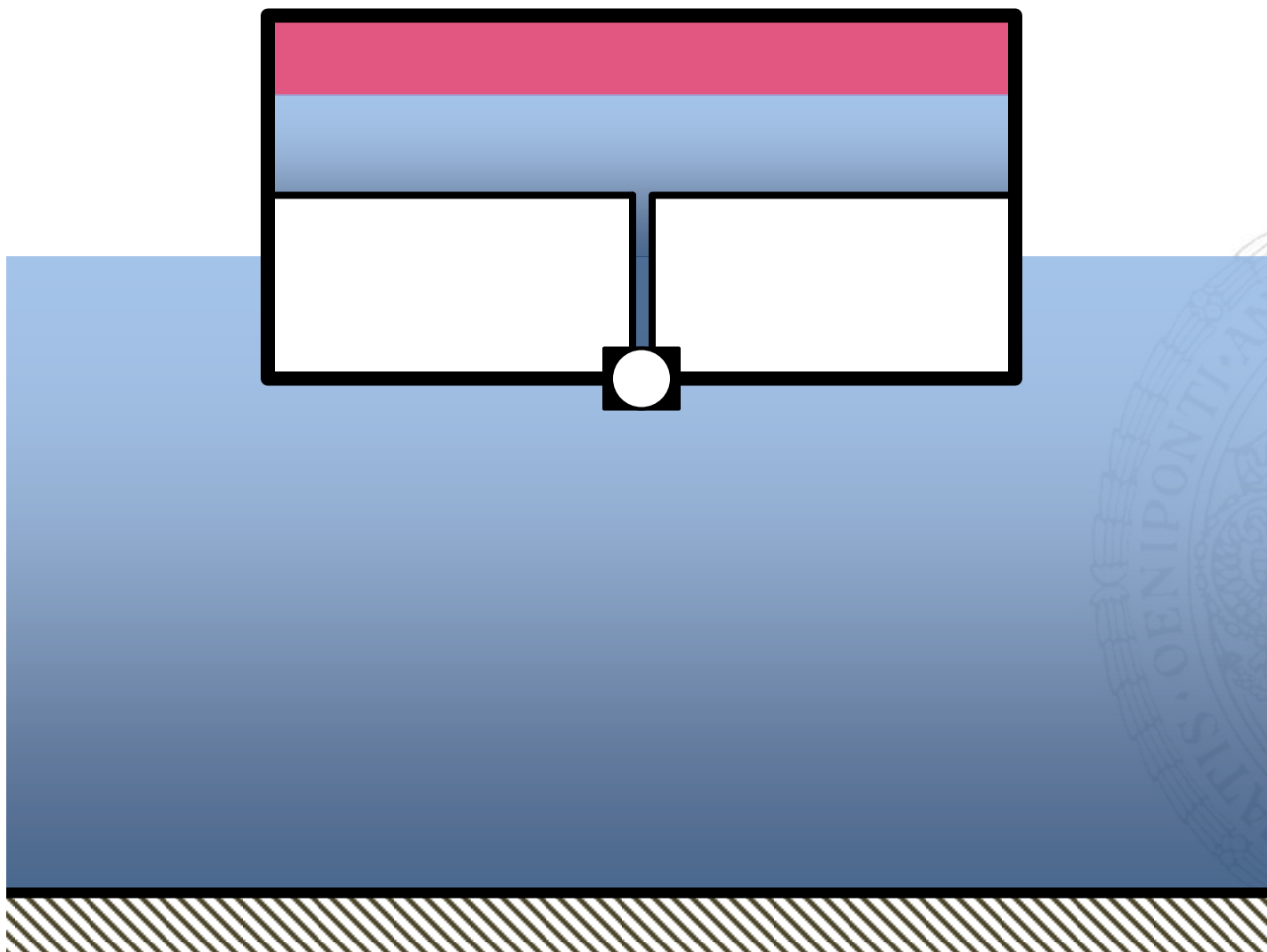
Variante 4



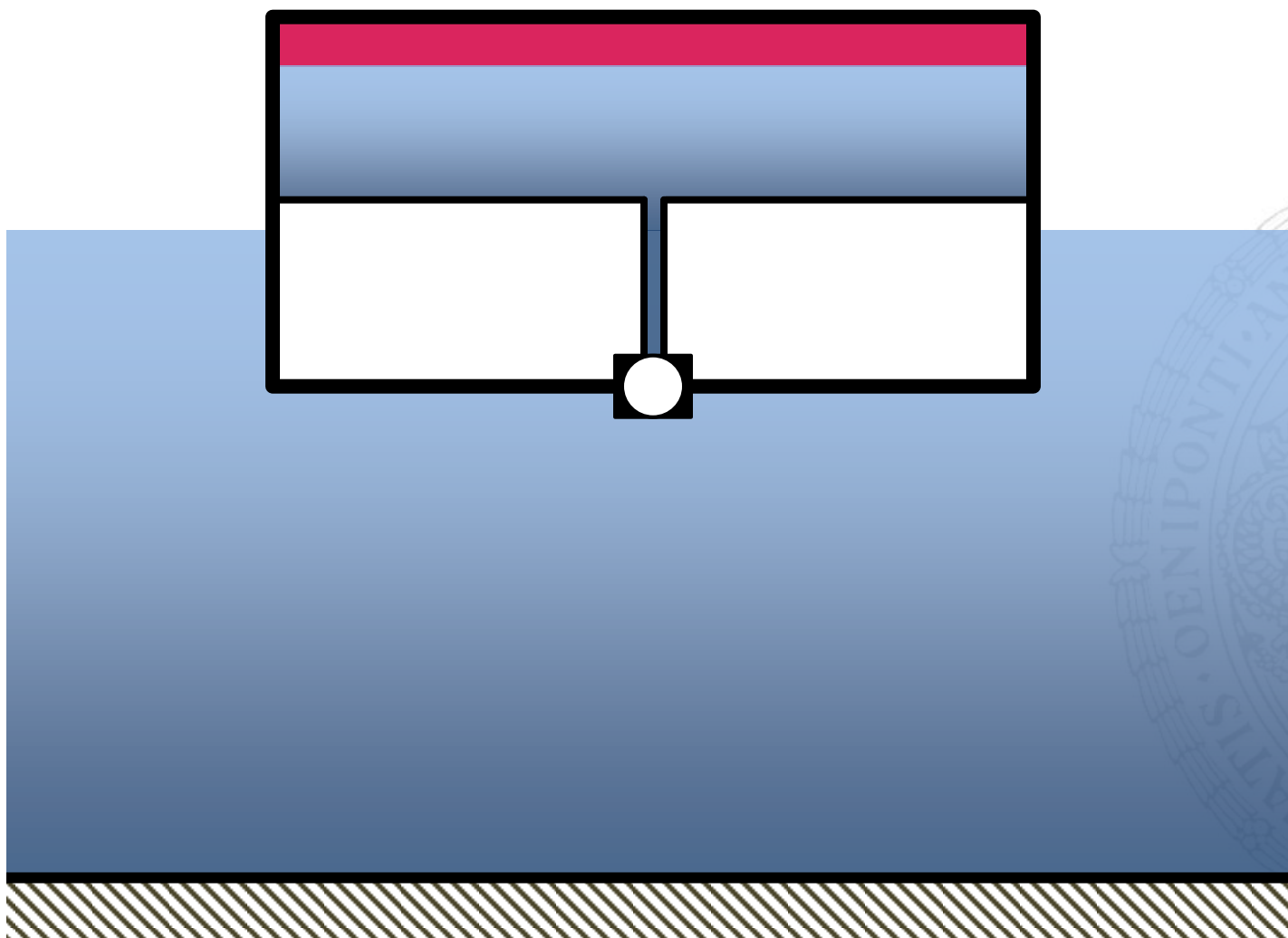
Variante 4



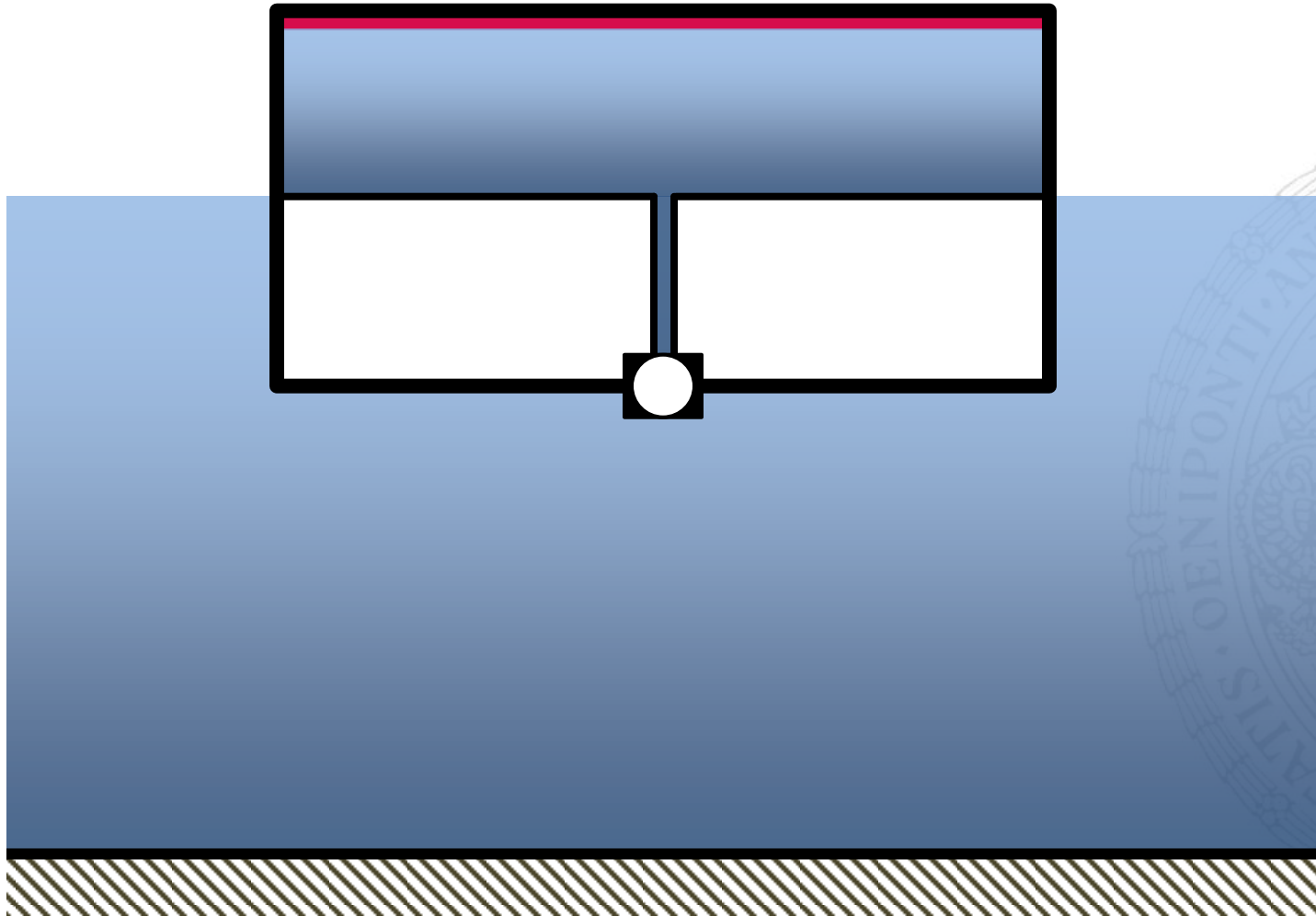
Variante 4



Variante 4



Variante 4



charakteristische Merkmale

Eigenschaften der schwimmenden
hydraulischen Energiespeicher nach
dem *Buoyant Energy* Prinzip.



Konzeptbedingte Vorteile

- Hoher Wirkungsgrad
 - geringe hydraulische Verluste; konstante Druckhöhe möglich
- Unbegrenzte Anzahl der Lade-/Entlade-Zyklen
- Zugriffszeit im unteren Sekundenbereich
- Selbstentladerate vernachlässigbar klein
- Schnelle Lastwechsel sind möglich
 - hydraulischer Kurzschluss
- Robuste bewährte Technologie im neuen Umfeld



Konzeptbedingte Vorteile

- Dezentrale Energiespeicherung direkt am Ort der Erzeugung
 - verminderter Ausbau der Übertragungsnetze
- Kombinierte Nutzung
 - Bedarf an offshore Energie-, Aquakultur- und Transport-Infrastruktur („*multi-use offshore platforms*“, maritime Serviceplattformen) steigt
 - hydraulische Energiespeicher lassen sich ideal in jedes Design integrieren



Konzeptbedingte Vorteile

- Kombination von Nutzwert und Energiespeicher
 - Plattformen mit Nutzbauten („Floatels“, Aquafarmen, etc.)
 - Serviceplattformen (Wartung, Zwischenlager für Nutzlasten, etc.)



Quelle: <http://www.floatinghomes.de/>

Konzeptbedingte Vorteile

- Kombination von Nutzwert und Energiespeicher
 - Plattformen mit Nutzbauten („Floatels“, Aquafarmen, etc.)
 - Serviceplattformen (Wartung, Zwischenlager für Nutzlasten, etc.)



Quelle: AZ Island, A Floating World Concept



Konzeptbedingte Vorteile

- Kombination von Nutzwert und Energiespeicher
 - Plattformen mit Nutzbauten („Floatels“, Aquafarmen, etc.)
 - Serviceplattformen (Wartung, Zwischenlager für Nutzlasten, etc.)



Quelle: Megafloat



Konzeptbedingte Vorteile

- Kombination von Energieerzeuger und Energiespeicher
 - Schwimmende Meereströmungskraftwerke und Solarfarmen



Konzeptbedingte Vorteile

- Kombination von Energieerzeuger und Energiespeicher
 - Schwimmende Offshore-Windenergieanlagen
„FloatingWindTurbine“

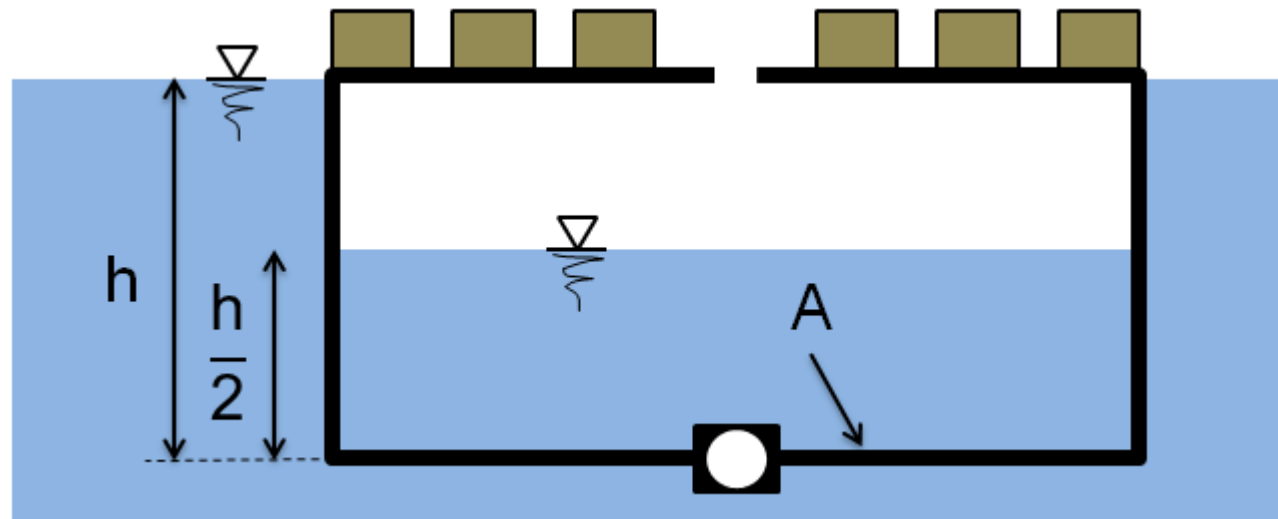


Quelle: Siemens-Pressbild



Quelle: Siemens-Pressbild, „Hywind“

Speicherkapazität ideales System



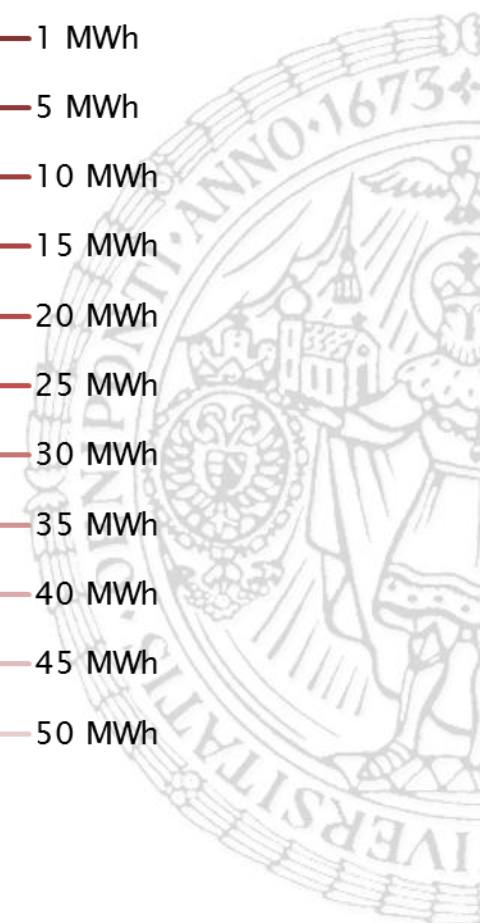
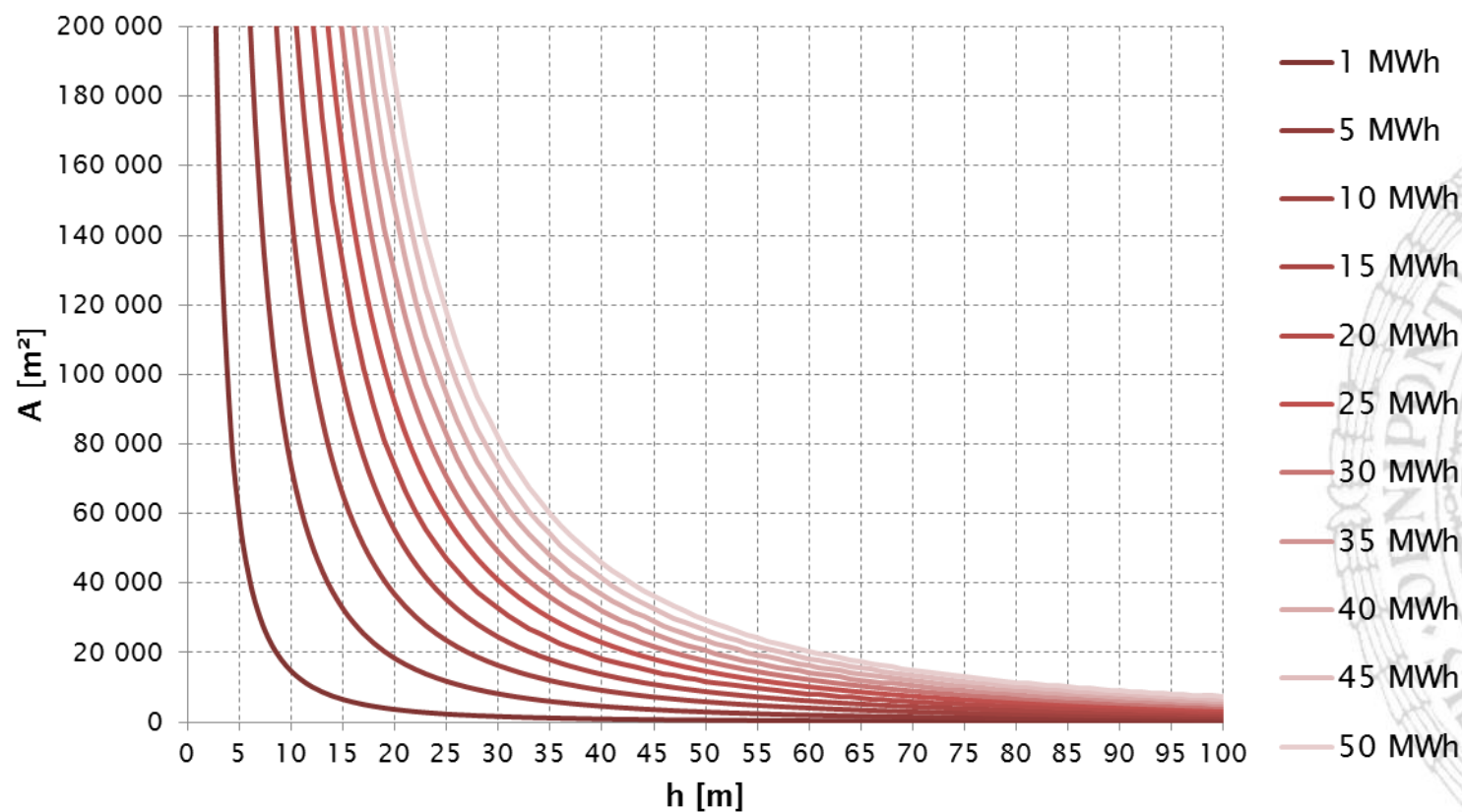
Energieinhalt:
$$E = m \cdot g \cdot \frac{h}{2} = \frac{h}{2} \cdot A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \frac{h}{2} = A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \frac{h^2}{4}$$

Masse:
$$m = A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{2 \cdot E}{g \cdot h}$$

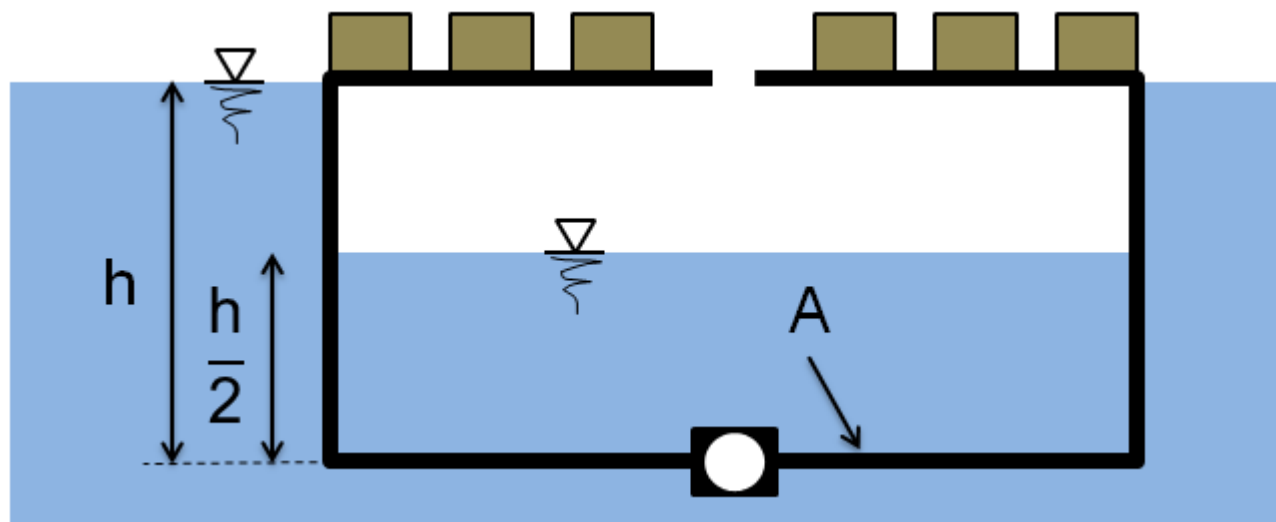


Speicherkapazität ideales System

Buoyant Energy - Energiekapazität



Energiedichte ideales System



gravimetrisch: $\rho_{gravimetrisch} = \frac{E}{m} = g \cdot \frac{h}{2}$

volumetrisch: $\rho_{volumetrisch} = \frac{E}{h \cdot A} = \frac{m \cdot g}{2 \cdot A} = \rho_{Wasser} \cdot g \cdot \frac{h}{4}$



Herausforderungen

- Verankerung am Meeresboden
- Design der Pumpen und Turbinen
- Design von „großen“ schwimmenden Baukörpern
→ Rückgriff auf bewährte Technologien!

Betonschiffe



Herausforderungen

- Verankerung am Meeresboden
- Design der Pumpen und Turbinen
- Design von „großen“ schwimmenden Baukörpern
→ Rückgriff auf bewährte Technologien!

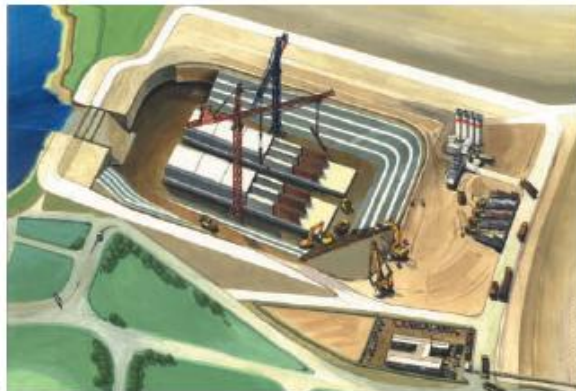


Abb. 2 a: In 3 Abschnitten werden jeweils 2 Tunnелеlemente gefertigt



Abb. 2 b: Nach der Flutung des Baudocks erfolgt das Ausschwimmen der Röhren



Abb. 2 c: Die abgeschotteten Röhren werden abgesenkt und positioniert

Bau des Drogdöntunnels, auch Öresundtunnel

Herausforderungen

- Verankerung am Meeresboden
- Design der Pumpen und Turbinen
- Design von „großen“ schwimmenden Baukörpern
→ Rückgriff auf bewährte Technologien!



Einsatzbereiche

wirtschaftliche Anwendung der
Energiespeicher nach dem
Buoyant Energy Prinzip



Einsatzbereiche

- Verlagerung und Vergleichmäßigung fluktuierender Erzeugung bzw. Einspeisung
 - Marktintegration erneuerbarer Energien
 - Systemkomponente von regenerativen Kombikraftwerken
„FloatingWindTurbine“
- „Stromveredelung“ und Spitzenlastdeckung
- Einsatz in Inselnetzen
 - „wortwörtlich“



Ausblick

zukünftige wissenschaftliche Arbeit



Ausblick

- Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
 - stark von zukünftiger politischer Entwicklung abhängig („Stetigkeitsanreiz“ zur Marktintegration von Speichertechnologien)
 - Gegenüberstellung: Netzausbau \Leftrightarrow Speicherkosten
 - Wirtschaftlichkeit durch kombinierte Nutzung
- Design-Studie
 - Ausgestaltungsformen
 - Baumethoden
 - Materialien
 - Anlagenteile



FloatingWindTurbine

- Kombination einer Windturbine mit einem schwimmenden Energiespeicher als regeneratives Kombikraftwerk



Quelle: <http://www.tomorrowisgreener.com>



FloatingWindTurbine

Design-Annahmen:

- offshore Windturbine: Leistung $P = 2 \text{ MW}$
- idealer hydraulischer Speicher (Zylinderform)
- Energiespeicher: Speicherkapazität $E = 1 \text{ MWh}$

h [m]	A [m ²]	Radius R [m]	Gewicht G [to]
20	3669.7	19.3	36 697
30	1631.0	12.9	24 465
40	917.4	9.6	18 349
50	587.2	7.7	14 679
60	407.7	6.4	12 232
70	299.6	5.5	10 485
80	229.4	4.8	9 174
90	181.2	4.3	8 155
100	146.8	3.9	7 339



FloatingWindTurbine

Design-Annahmen:

- offshore Windturbine: Leistung $P = 2 \text{ MW}$
- idealer hydraulischer Speicher (Zylinderform)
- Energiespeicher: Speicherkapazität $E = 1 \text{ MWh}$

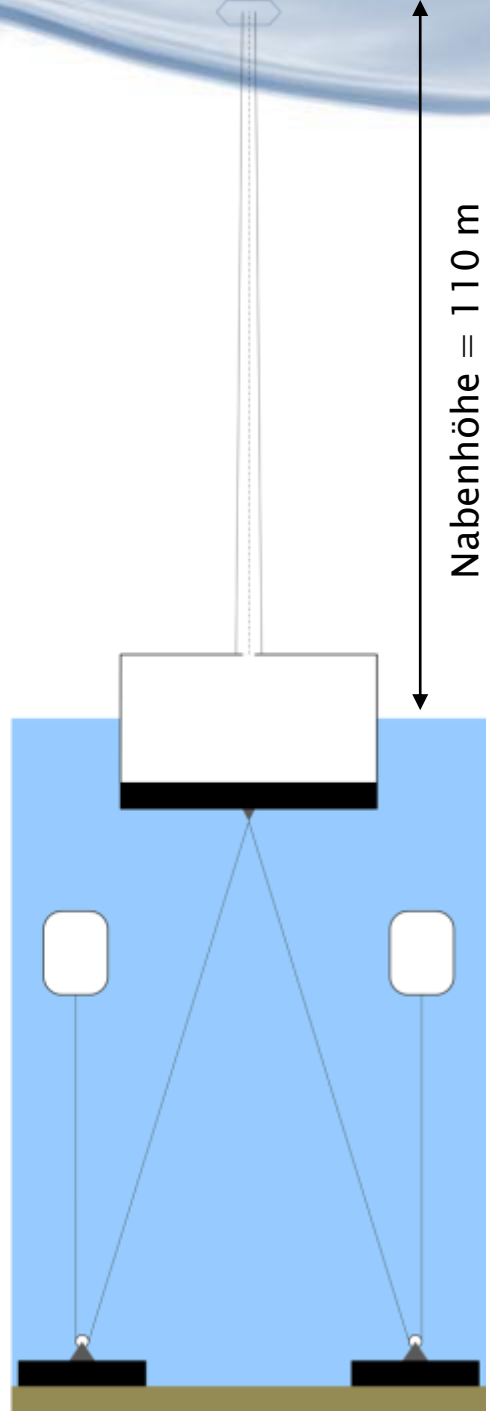
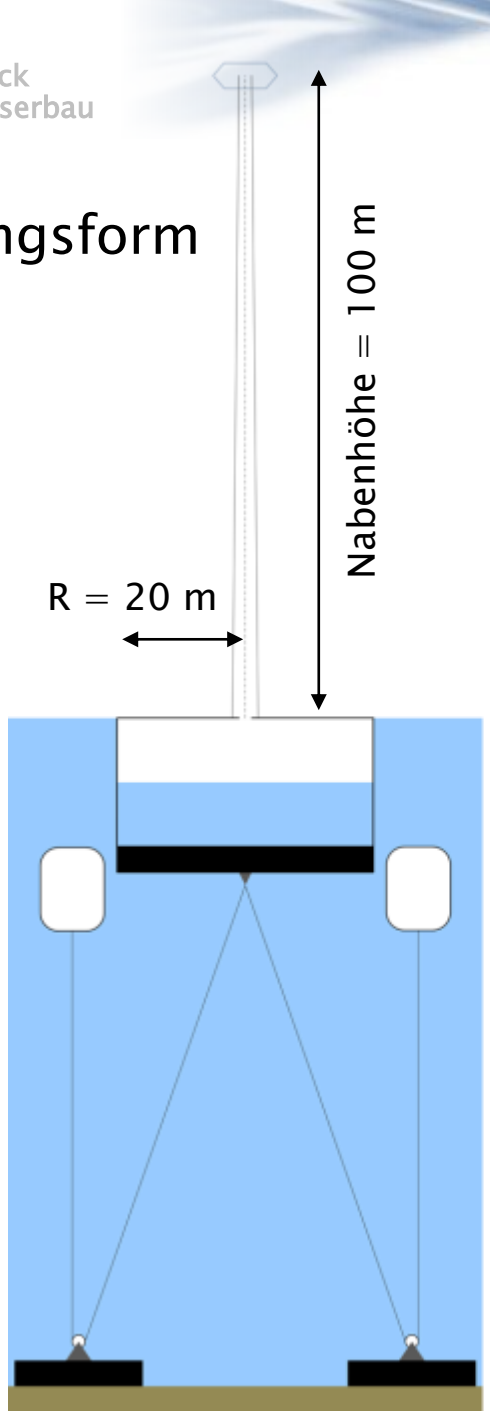
	h [m]	A [m ²]	Radius R [m]	Gewicht G [to]
→	20	3669.7	19.3	36 697
	30	1631.0	12.9	24 465
→	40	917.4	9.6	18 349
	50	587.2	7.7	14 679
	60	407.7	6.4	12 232
	70	299.6	5.5	10 485
→	80	229.4	4.8	9 174
	90	181.2	4.3	8 155
	100	146.8	3.9	7 339



Ausgestaltungsform

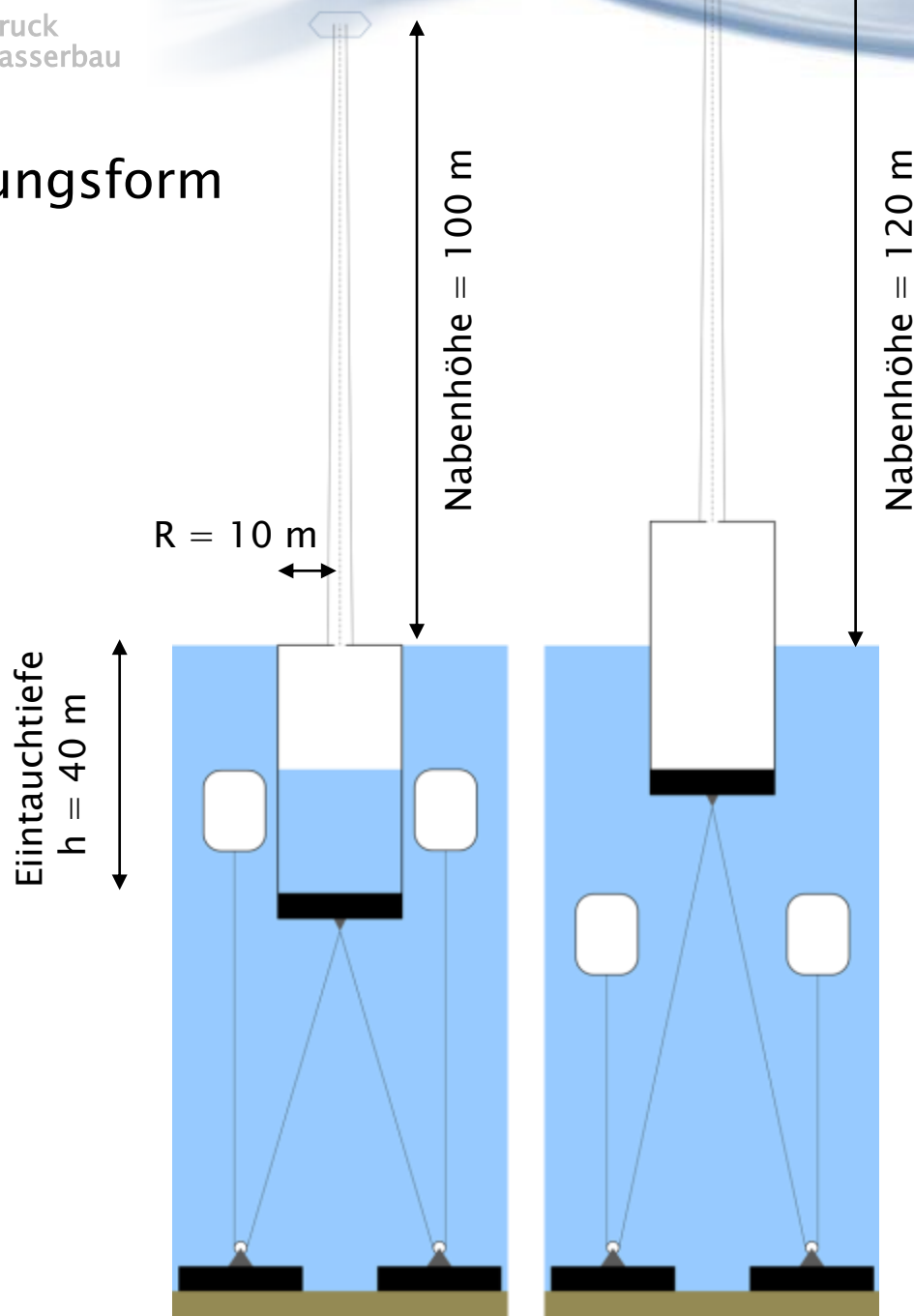
FloatingWindTurbine

Eiintauchtiefe
 $h = 20 \text{ m}$



Ausgestaltungsform

FloatingWindTurbine



Ausgestaltungsform

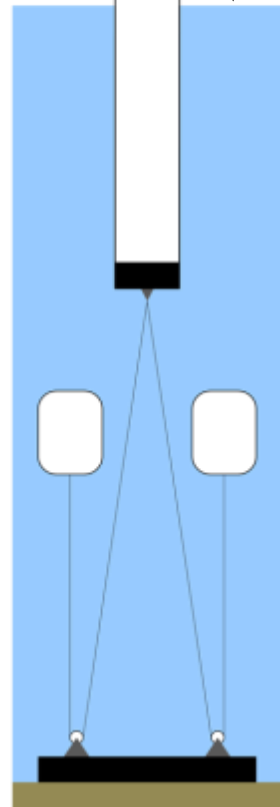
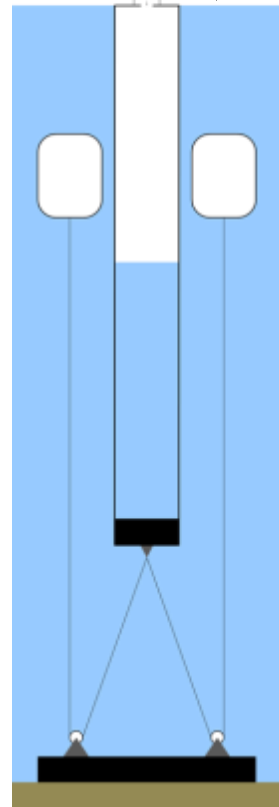
FloatingWindTurbine

Eintauchtiefe
 $h = 80 \text{ m}$

$R = 5 \text{ m}$

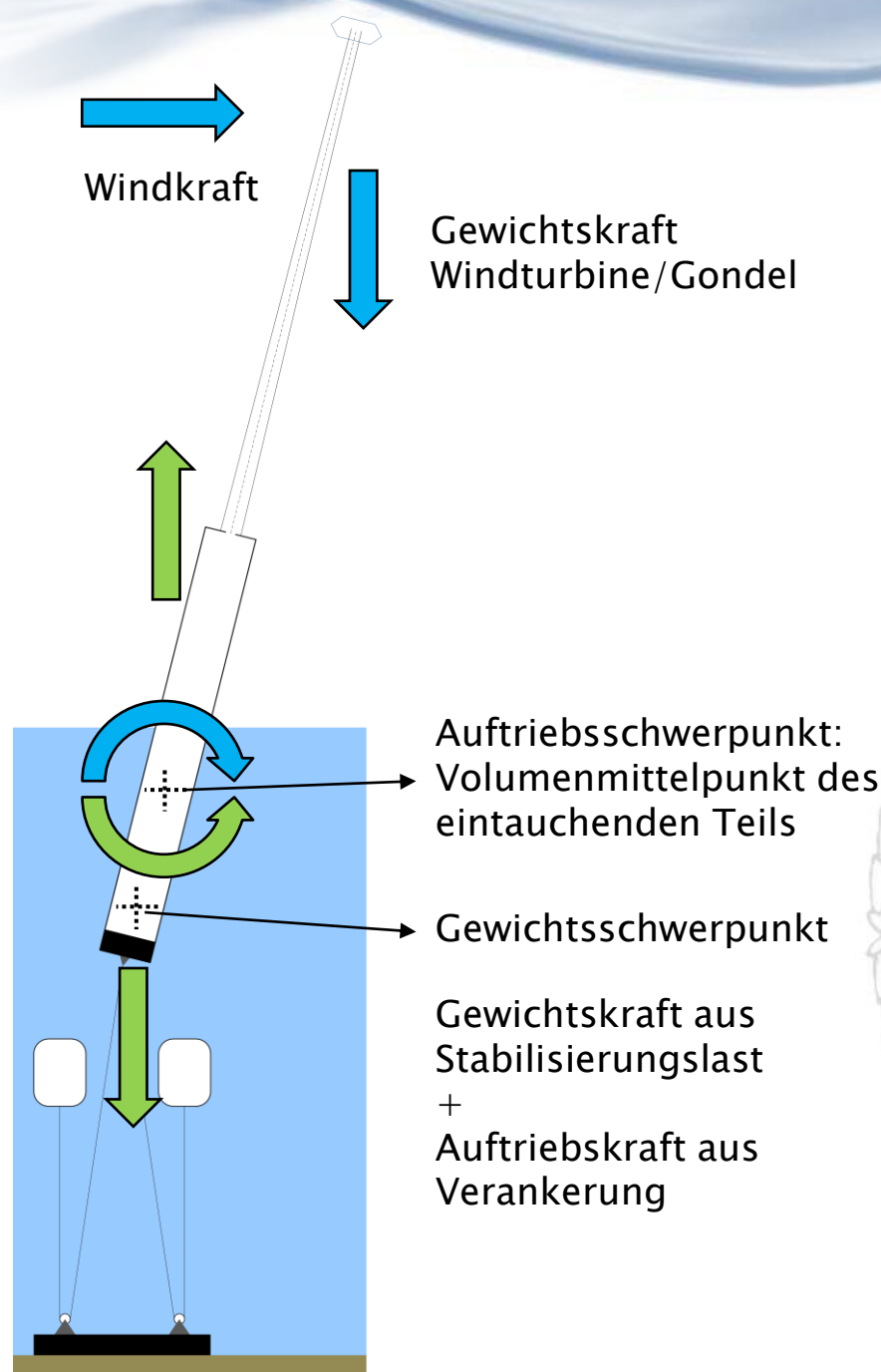
Nabenhöhe = 100 m

Nabenhöhe = 140 m



Schwimmstabilität

FloatingWindTurbine



FloatingWindTurbine

- Vorteile
 - standardisierte Herstellung
 - keine aufwendige Spezial-Gründungen
 - einfache Wartung, Service
 - im Cluster signifikante Speicherkapazität
 - standortunabhängig (keine Beschränkung bezüglich Wassertiefen)



Hywind – slender cylinder concept

...als Beispiel eines visionären
FloatingWindTurbine-Konzeptes.
allerdings: ohne integrierten Speicher!

SIEMENS



- Hywind main facts
 - Siemens SWT 2.3 MW
 - Turbine weight: 138 tons
 - Draft: 100 m
 - Displacement: 5300 m³
 - Diameter at water line: 6 m
 - Water depths: 120–700 meters
 - one prototype is currently operating near Karmøy, Norway



Åmøyfjorden, 22 April 2009

Quelle: Statoil, „Hywind – The world’s first floating wind turbine”, Congress proceedings, Lisboa 5 November 2009.



Upending of substructure on 26 April 2009

Quelle: Statoil, „Hywind – The world’s first floating wind turbine”, Congress proceedings, Lisboa 5 November 2009.



Official opening 8 September 2009

Quelle: Statoil, „Hywind – The world’s first floating wind turbine”, Congress proceedings, Lisboa 5 November 2009.



buoyant-energy.com



BUOYANT ENERGY
smart concepts for energy storage

Kontakt

Robert Klar

robert.klar@uibk.ac.at

office@buoyant-energy.com

Markus Aufleger

markus.aufleger@uibk.ac.at

Valerie Neisch

valerie.neisch@uibk.ac.at

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !