

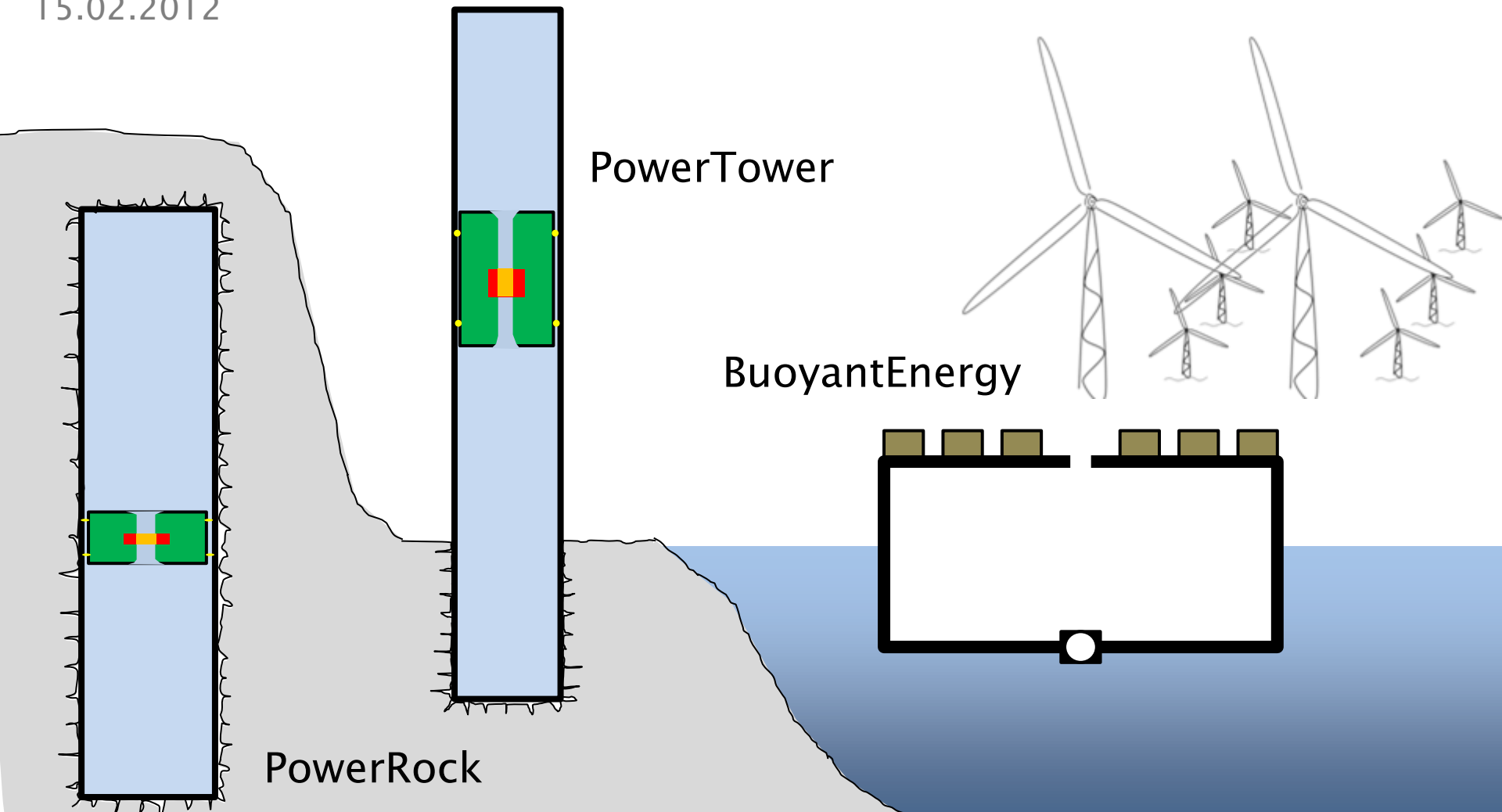


University of Innsbruck
Hydraulic Engineering Dept.

Robert KLAR, Valerie NEISCH, Markus AUFLEGER

15.02.2012

Decentralized Offshore Energy Storage in European Power Stations



MOTIVATION

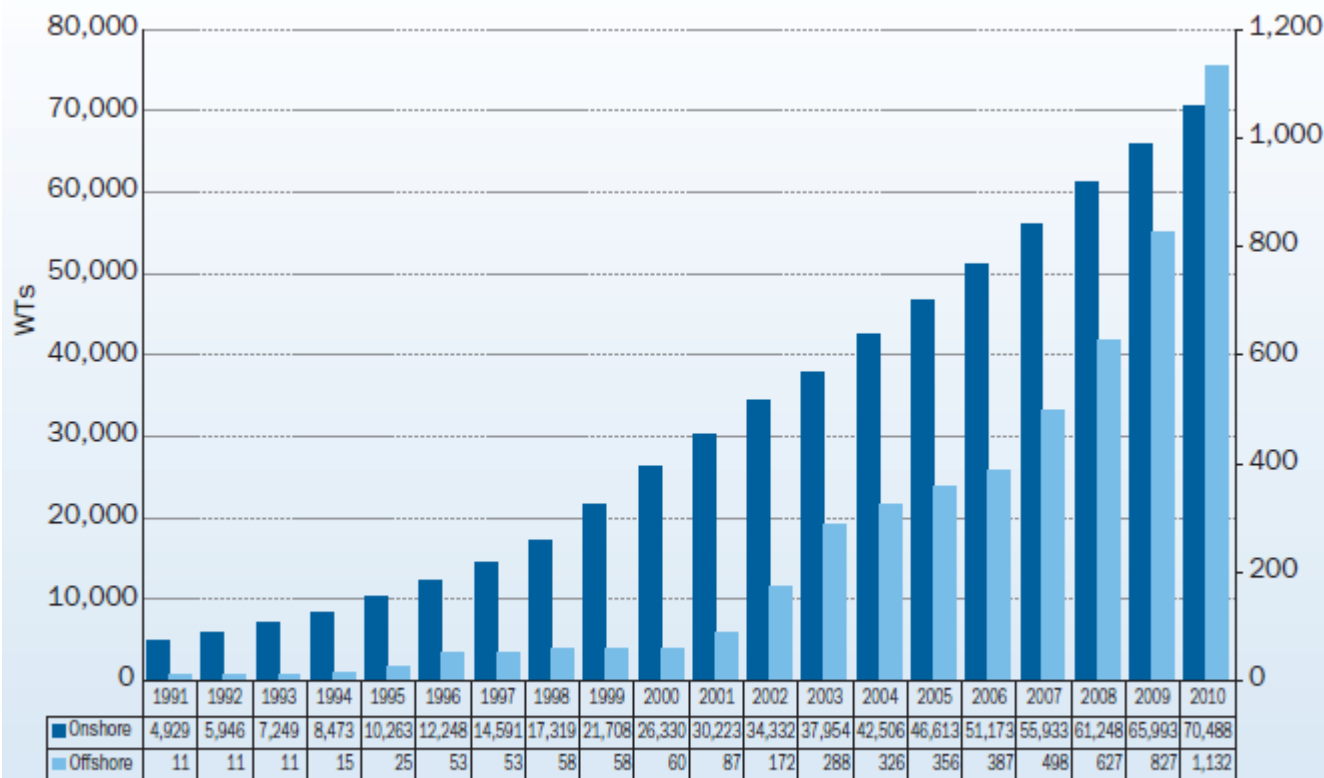
What is so interesting about
decentralized offshore energy storage?



Expansion of Wind Energy

Total Number of Wind Turbines in the EU (1991 – 2010)

(*onshore* – left axis; *offshore* – right axis)



Source: EWEA 2011 and BTM Consult 2011

Expansion of Wind Energy

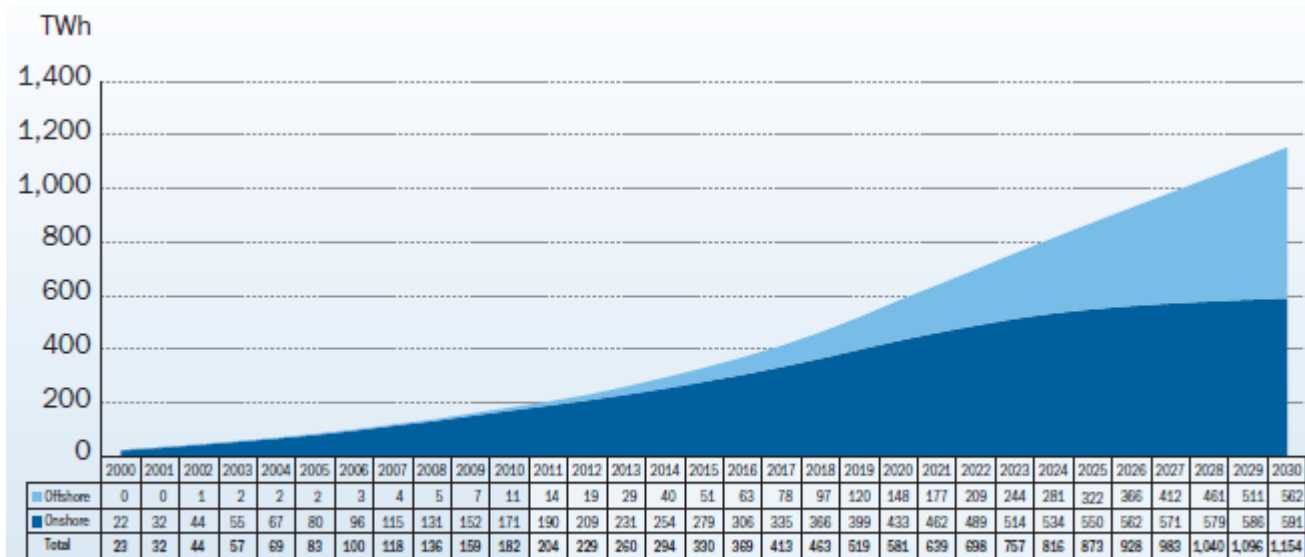
Estimated Energy Production from *onshore* and *offshore*

Wind Energy Plants according to the NREAPs (National Renewable Energy Action Plans)



Expansion of Wind Energy

Estimated Energy Production from *Onshore* und *Offshore* Wind Energy Plants in the EU (2000–2030)



Source: EWEA 2011



Compensation: Energy Demand \Leftrightarrow Energy Supply

DIE ZEIT 8.September 2011

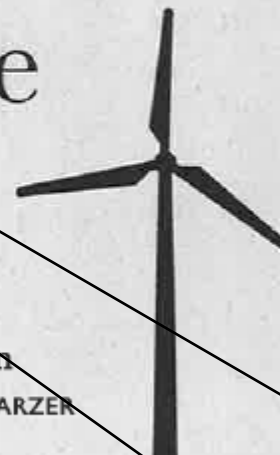
Stillstand bei sieben Beaufort. Die langen Rotorblätter der Windkraftanlage verharren starr trotz dieser frischer Brise. Weil jede weitere Kilowattstunde die Stabilität des Stromnetzes gefährden würde, wurde dieses sichtbare Symbol der Energiewende zwangsweise abgeschaltet. Ein widersinniger Zustand, 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 Million kWh
wasted in one year



Compensation: Energy Demand \Leftrightarrow Energy Supply

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

VDI Nachrichten, Dresden, 28. 10. 11, sw

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

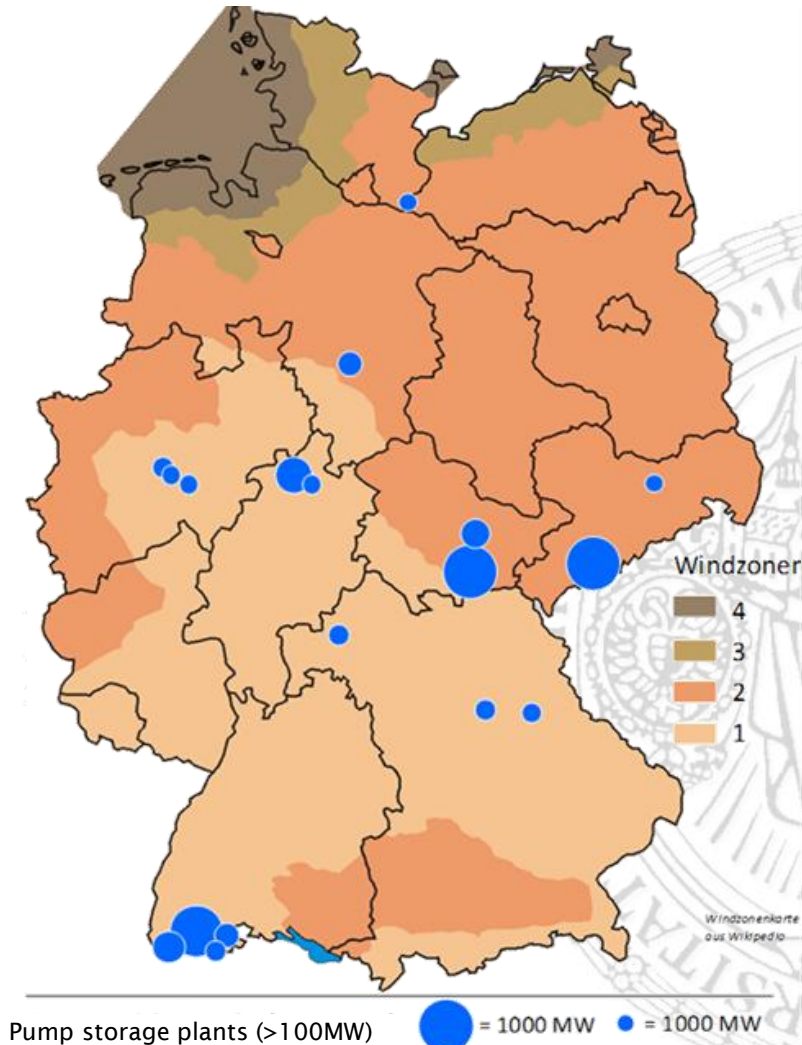
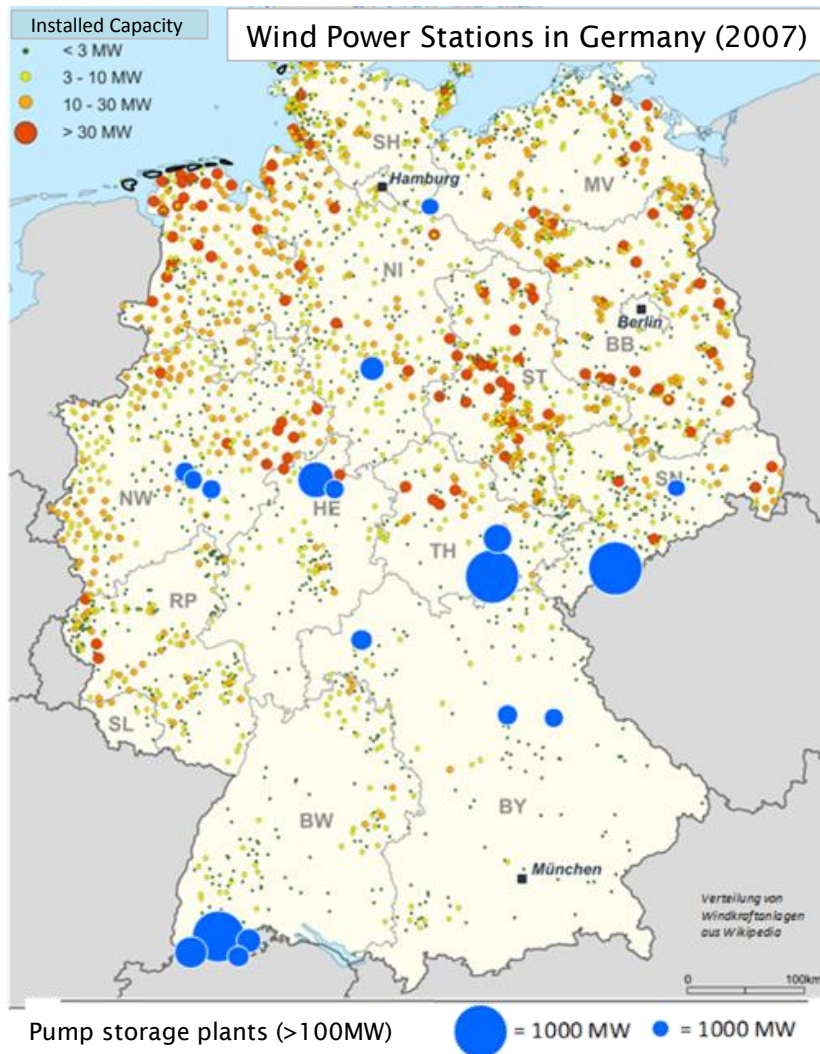
die Versorgungssicherheit Deutschlands garantieren können. Reiche, Parlamentarier im Bund (BMU), letzte Woche. Der Umbau der Kraftwerke ist eine Jahrhundertaufgabe.

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

withdrawal of nuclear power
& lack of energy storage possibilities
➔ demand for new conventional power plants

Compensation: Energy Demand \Leftrightarrow Energy Supply



Ausgleich: Strombedarf \Leftrightarrow Stromproduktion

DIE ZEIT WISSEN – April/Mai 2011

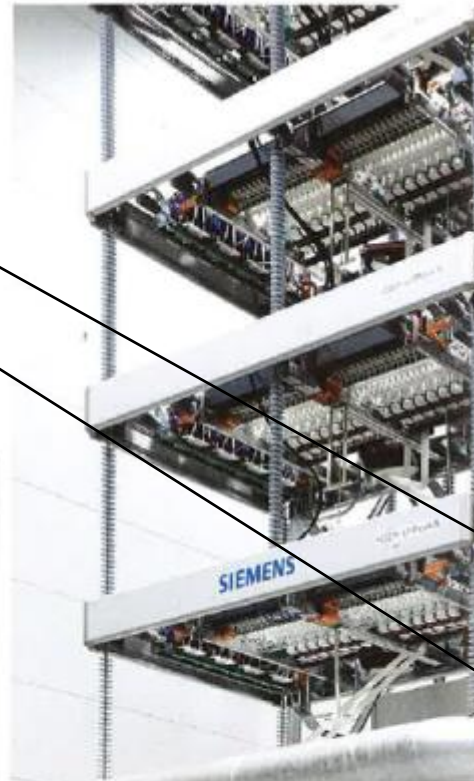
Verkabelt Europa!

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

Sinkende 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 lärmt 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.

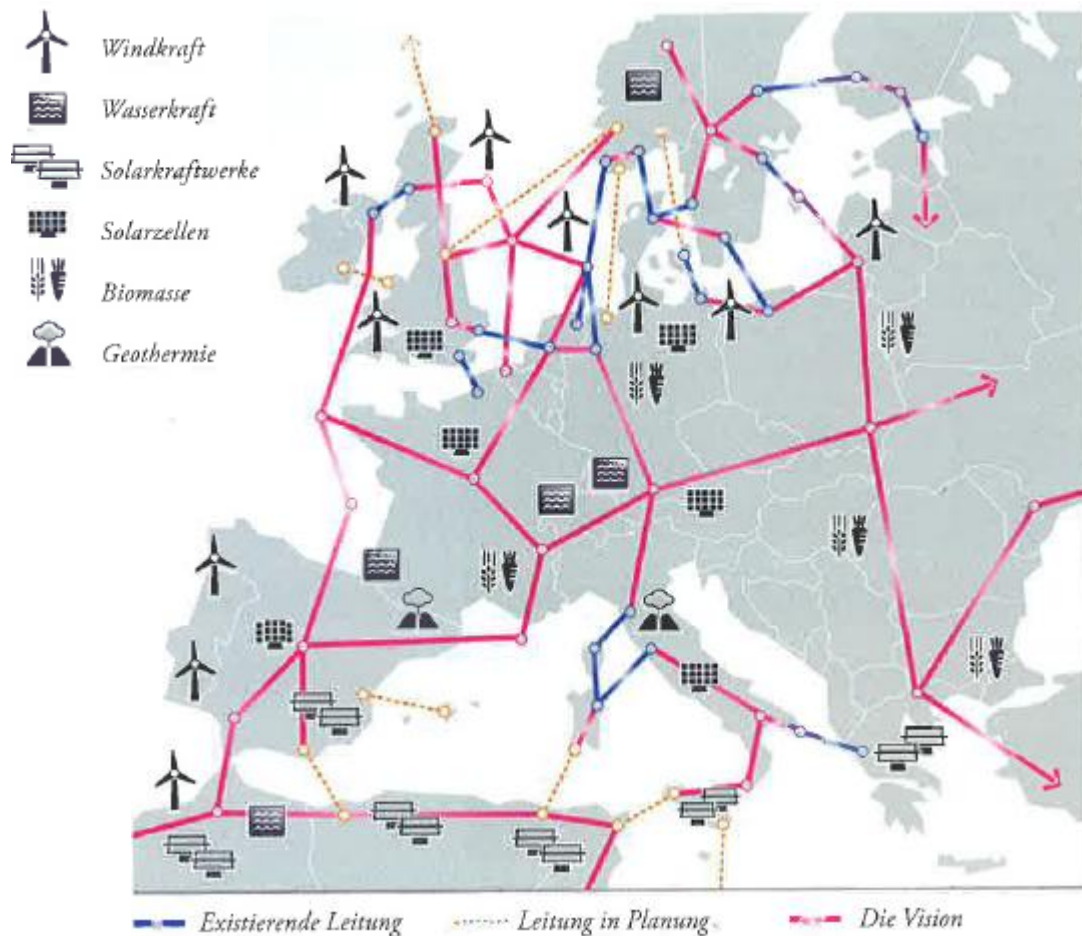
Es geht um das Supergrid. Das Netz der Netze aus besonders verlustarmen Höchstspannungsleitungen ist eine wesentliche Voraussetzung für die europäische Energiewende. Und seit den Reaktorunfällen in Japan steht das Supergrid auch für die Hoffnung, den Atomausstieg zu beschleunigen.

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

SUPERGRID: High Voltage DC Transmission



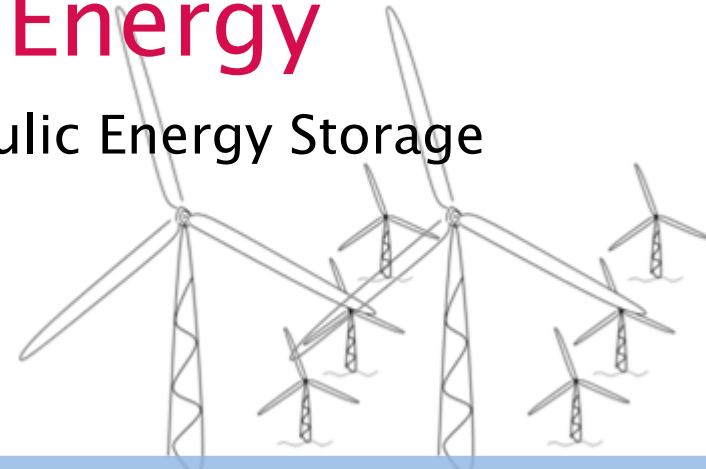
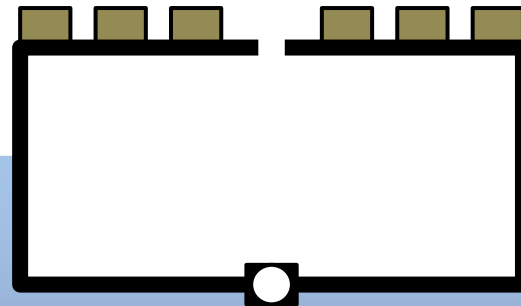
Source: Die Zeit – Wissen, Mai 2011, Burkhard Straßmann

- 800 to 1100 kV Voltage
- Germany alone still needs 3600 km of high-voltage power lines
- Estimated costs: 10 Billion Euros (Germany)

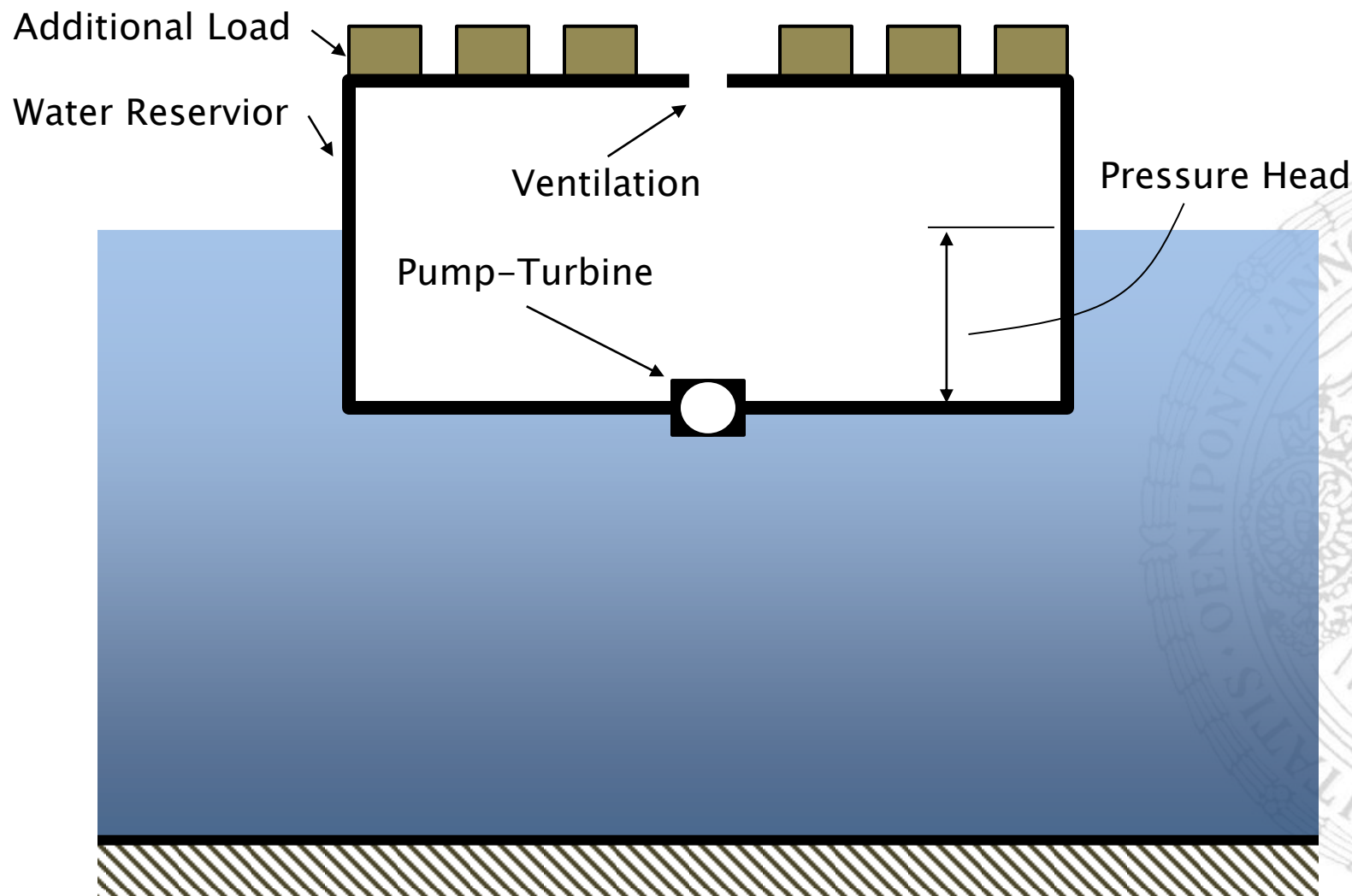
➡ the SUPERGRID solution is cost-intensive and requires extensive authorization procedures!

Buoyant Energy

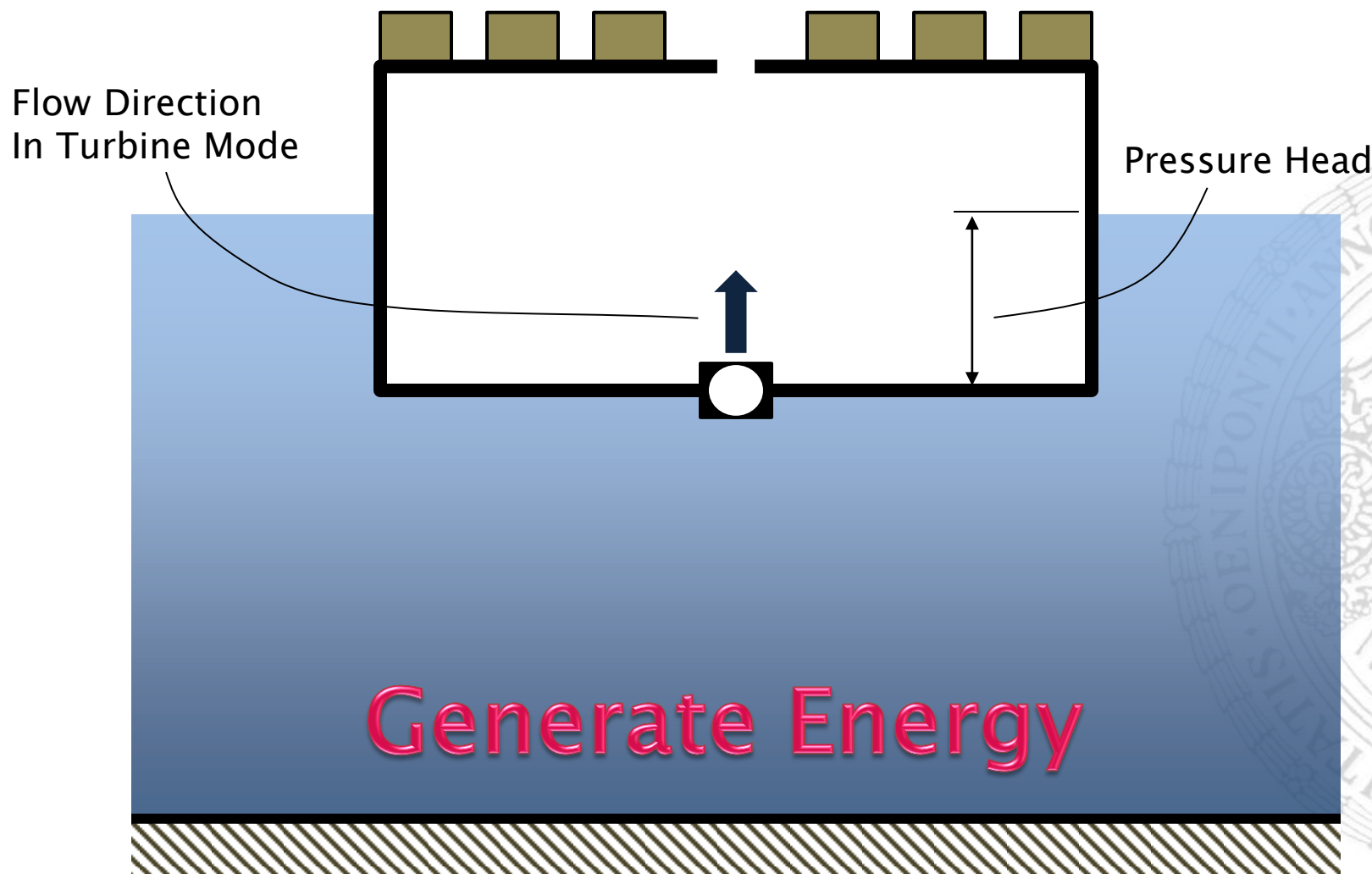
Floating Hydraulic Energy Storage



Concept of “Hydraulic Energy Storage”



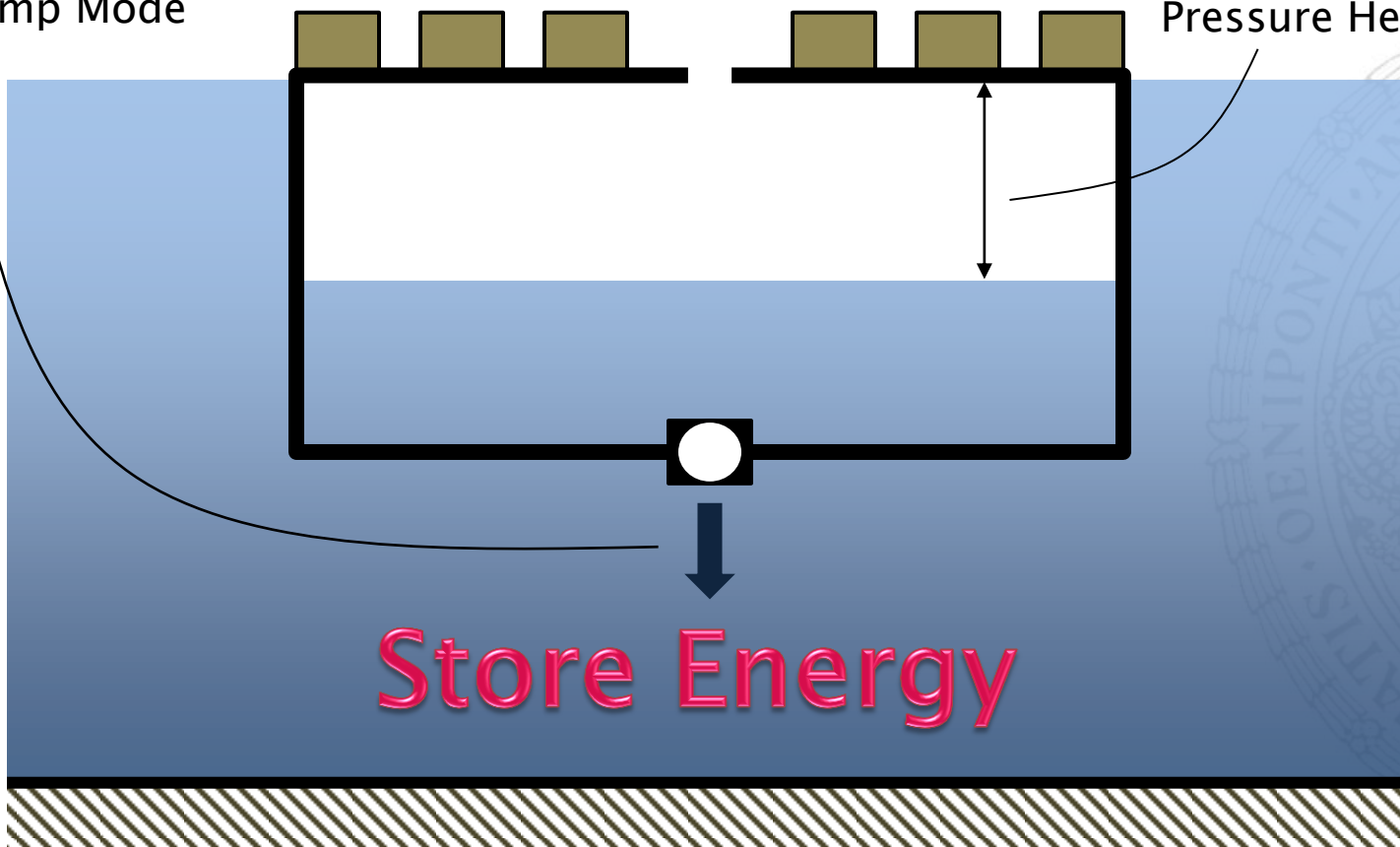
Concept of “Hydraulic Energy Storage”



Concept of “Hydraulic Energy Storage”

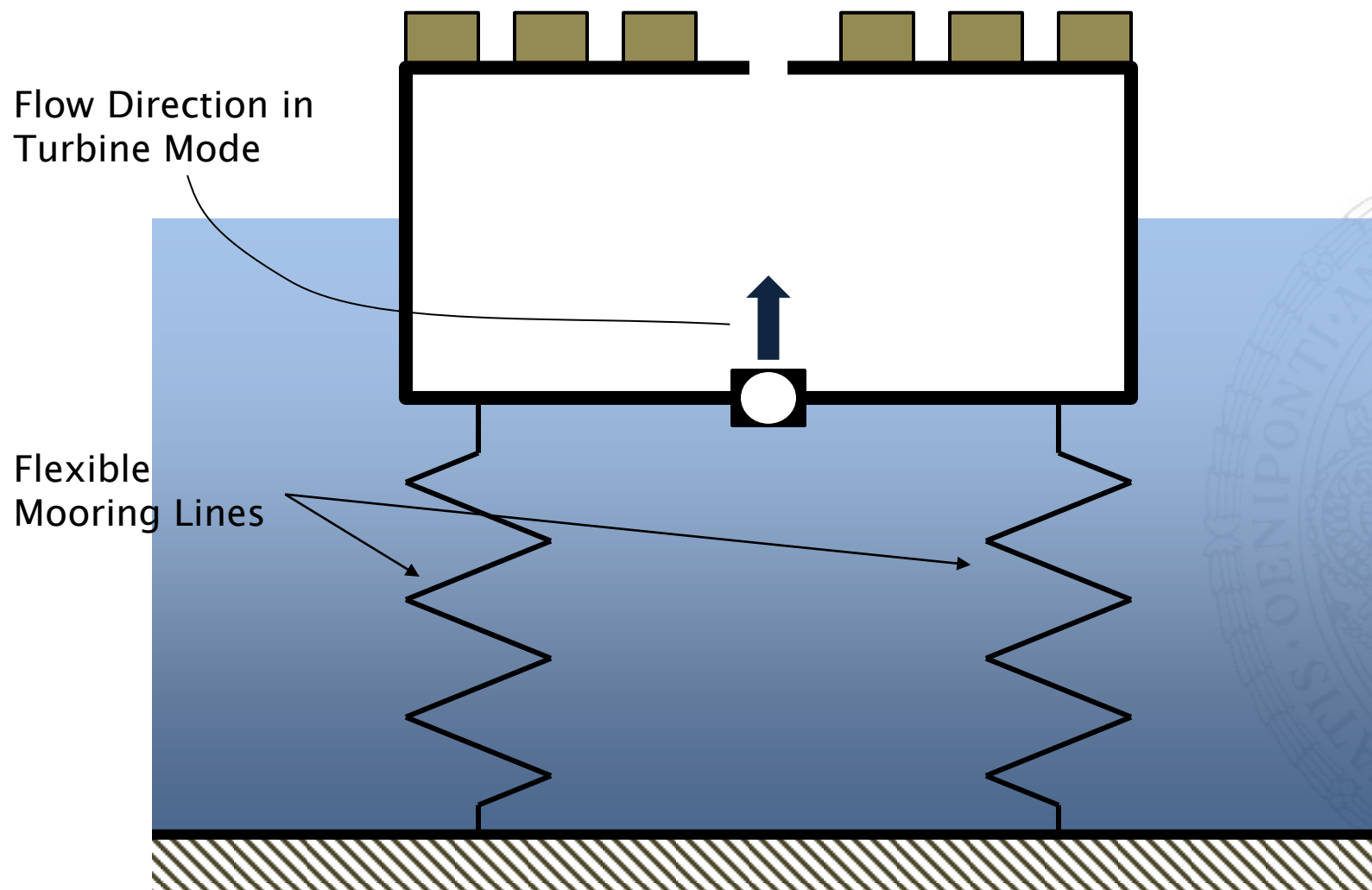
Flow Direction
in Pump Mode

Pressure Head

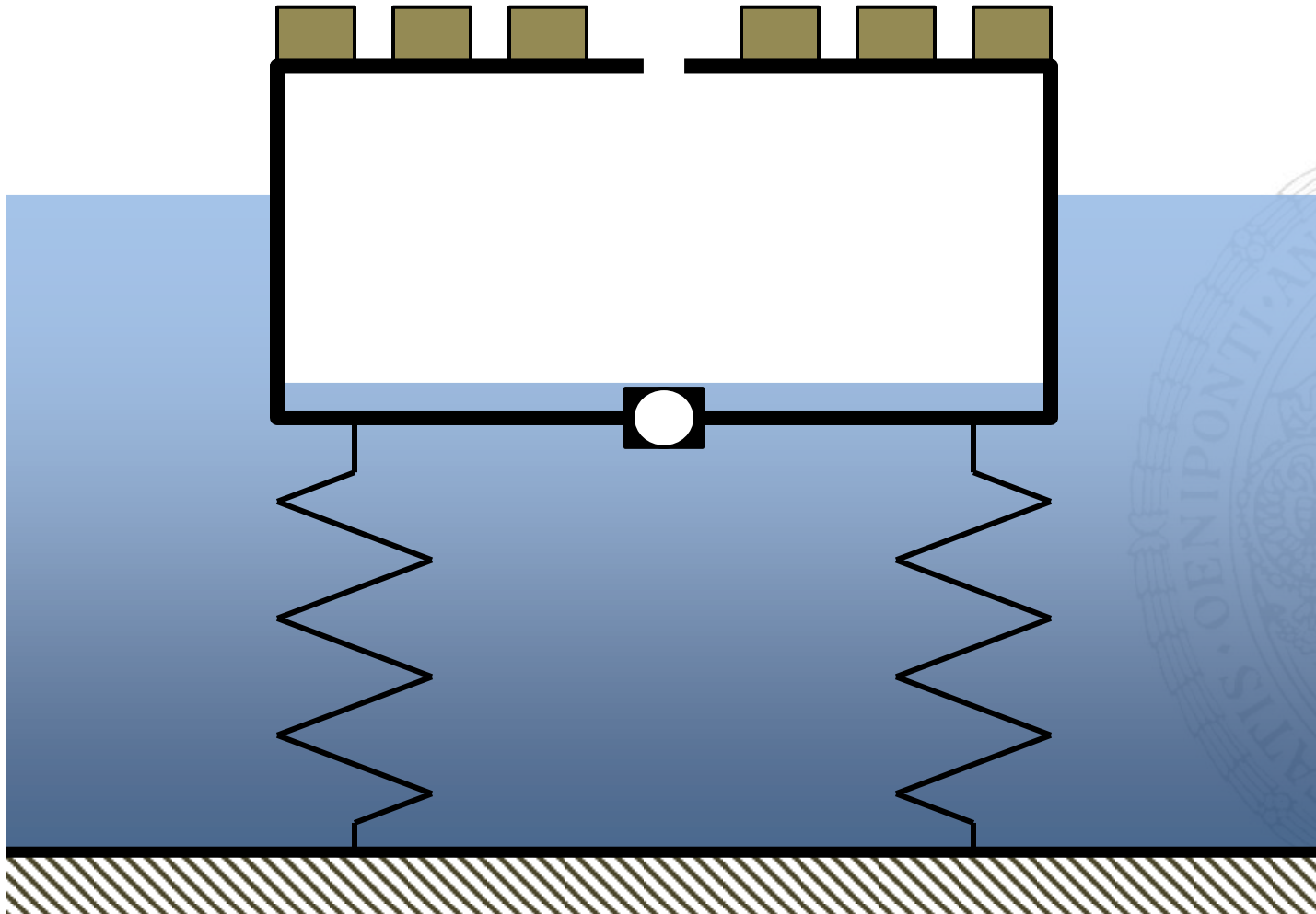


Store Energy

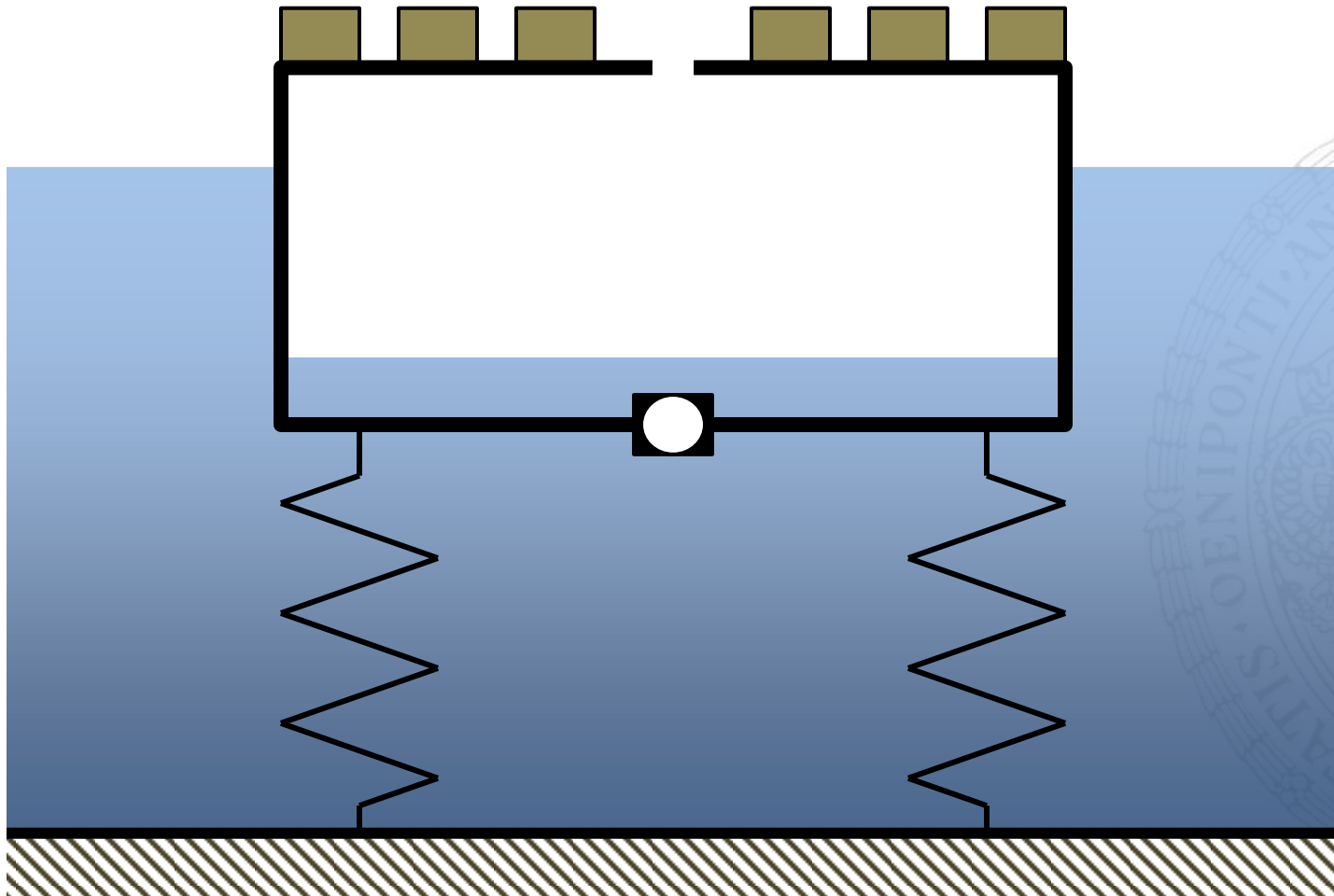
Variation 1: Flexible Mooring Lines



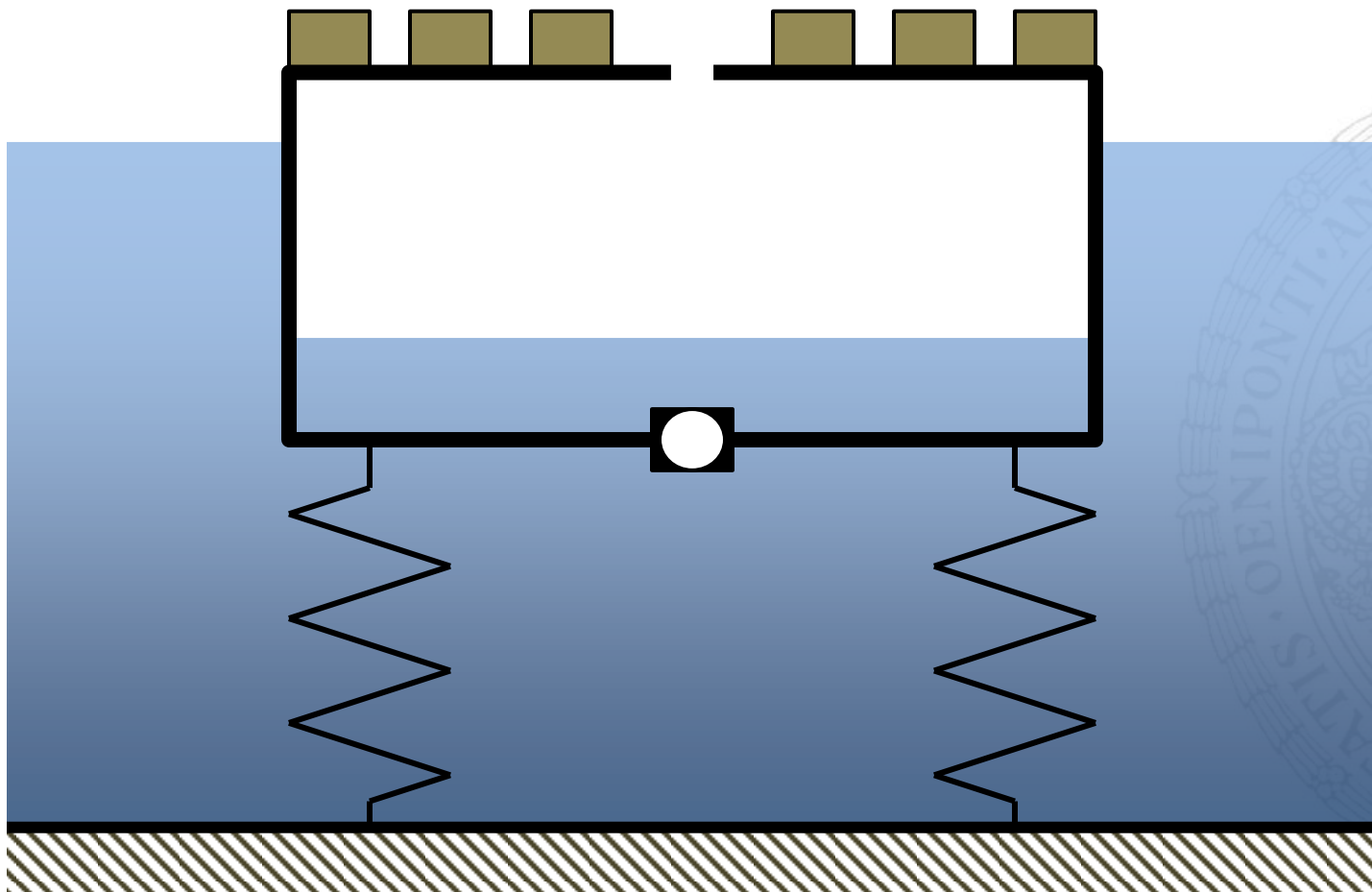
Variation 1: Flexible Mooring Lines



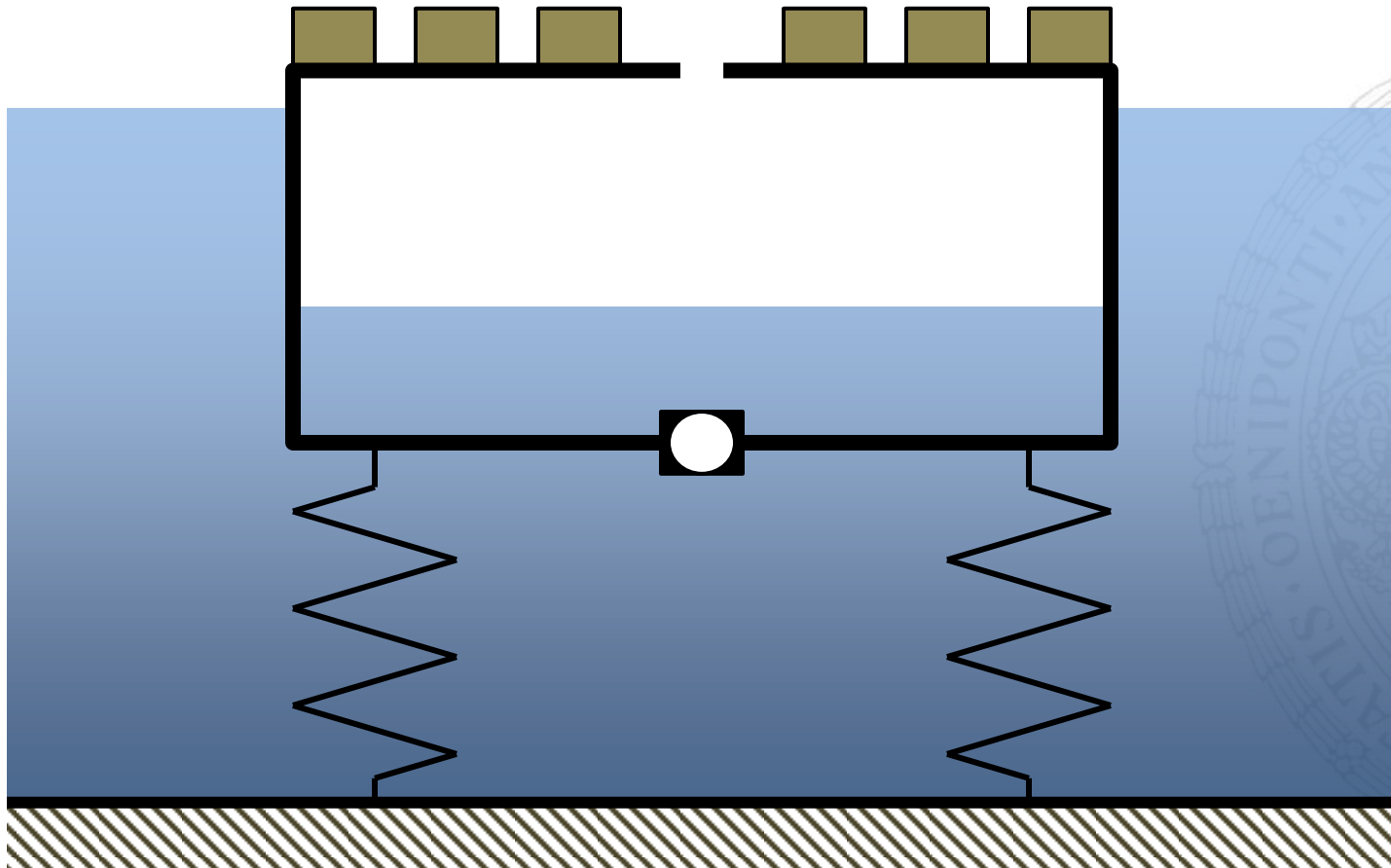
Variation 1: Flexible Mooring Lines



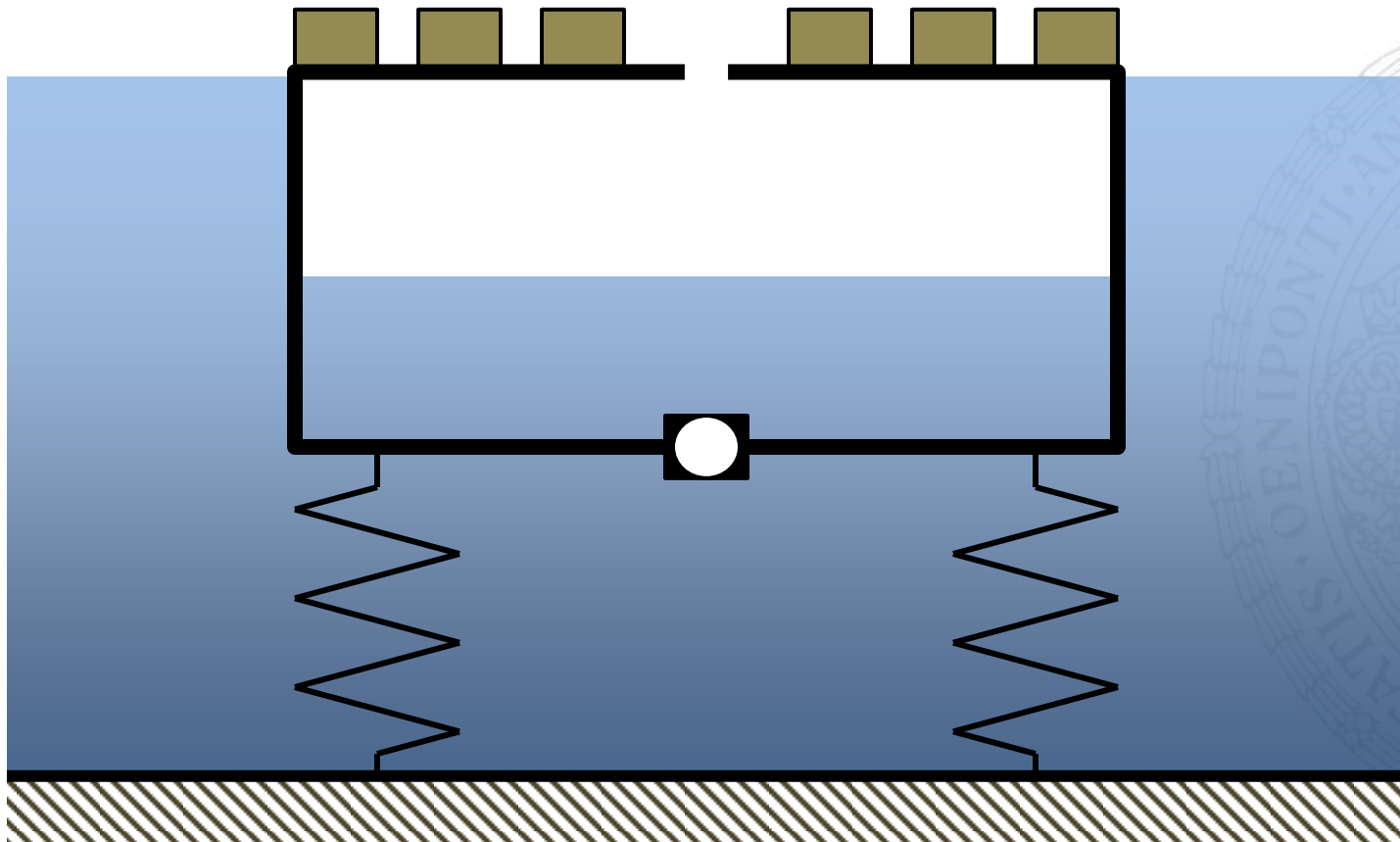
Variation 1: Flexible Mooring Lines



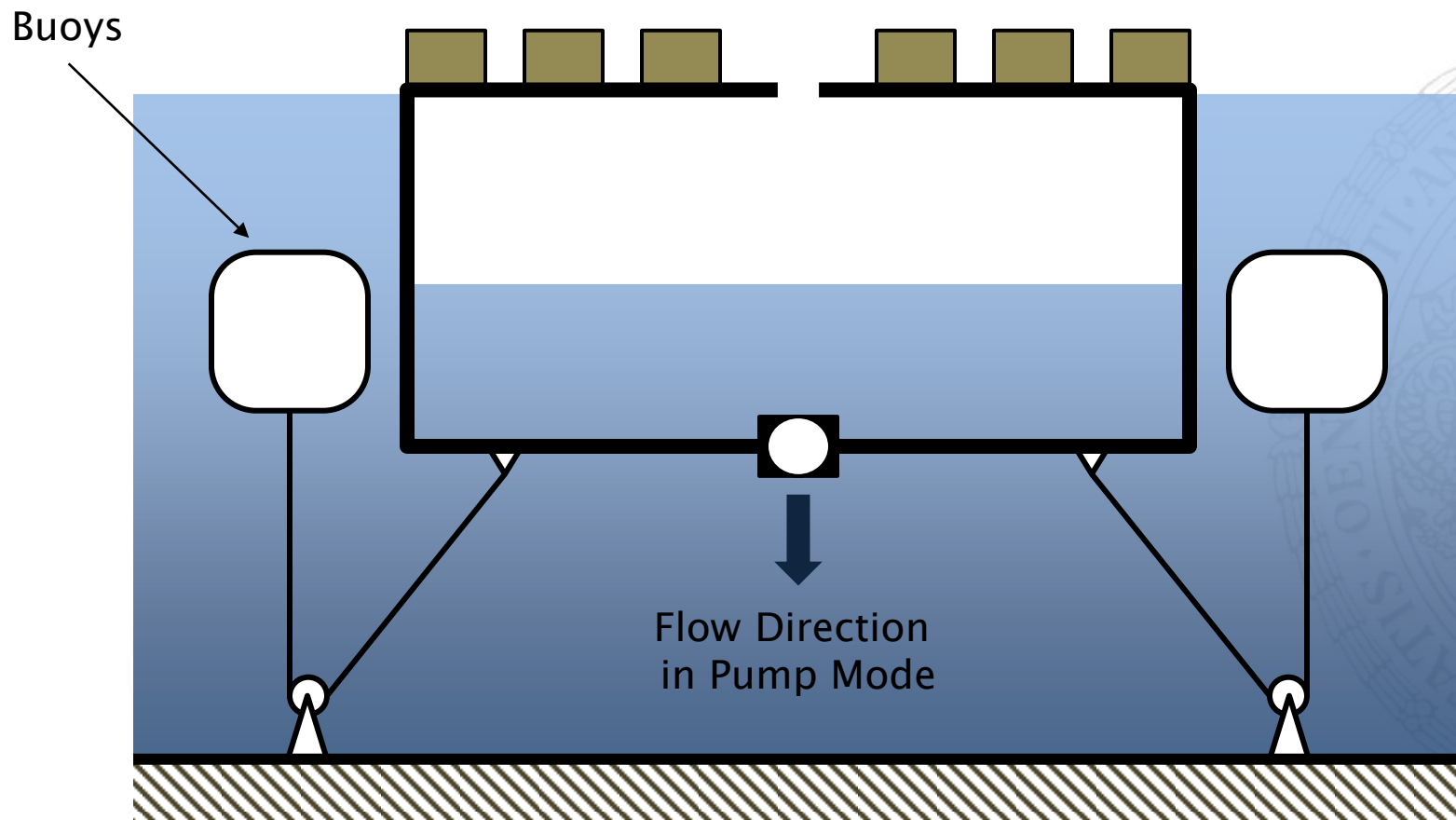
Variation 1: Flexible Mooring Lines



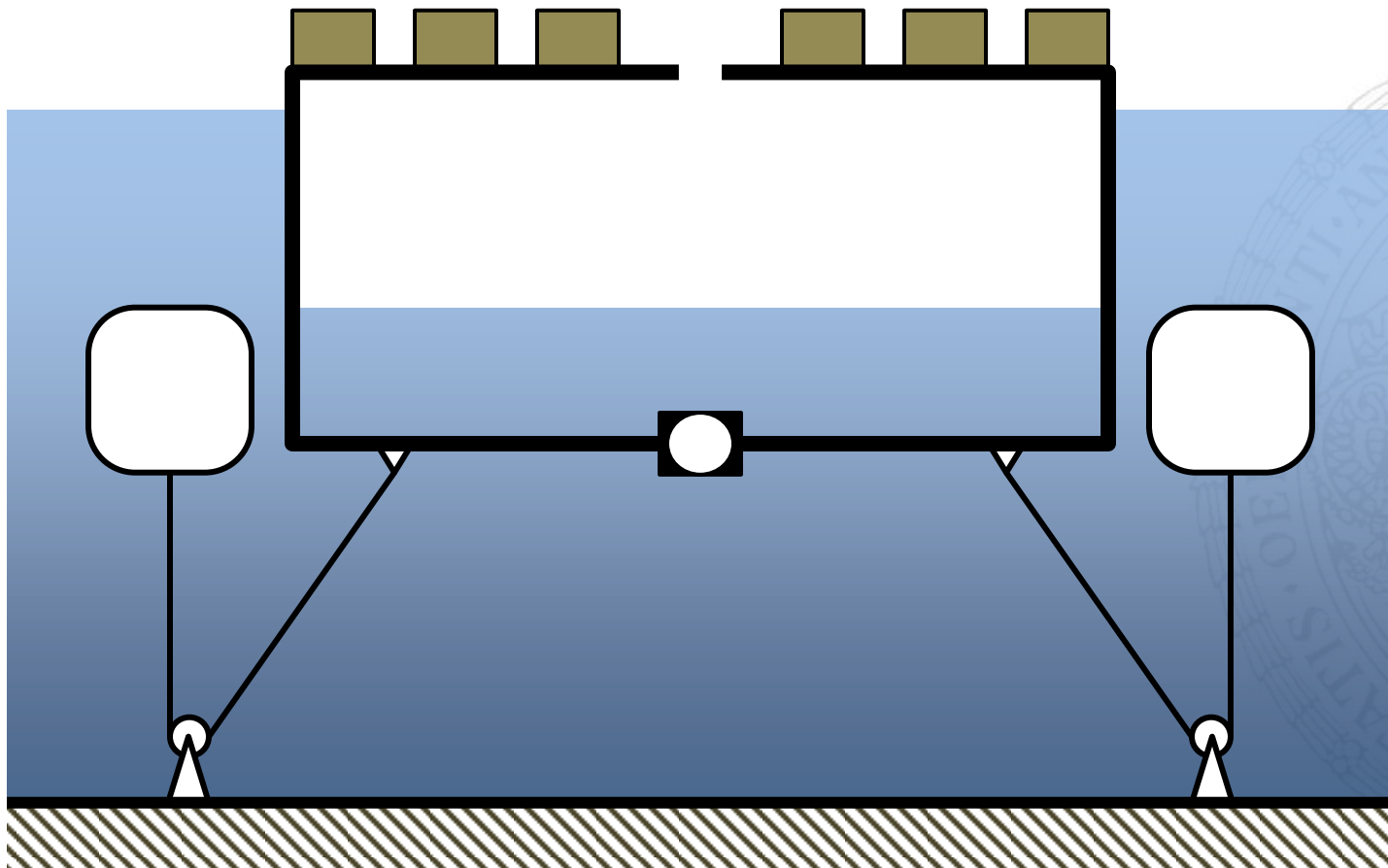
Variation 1: Flexible Mooring Lines



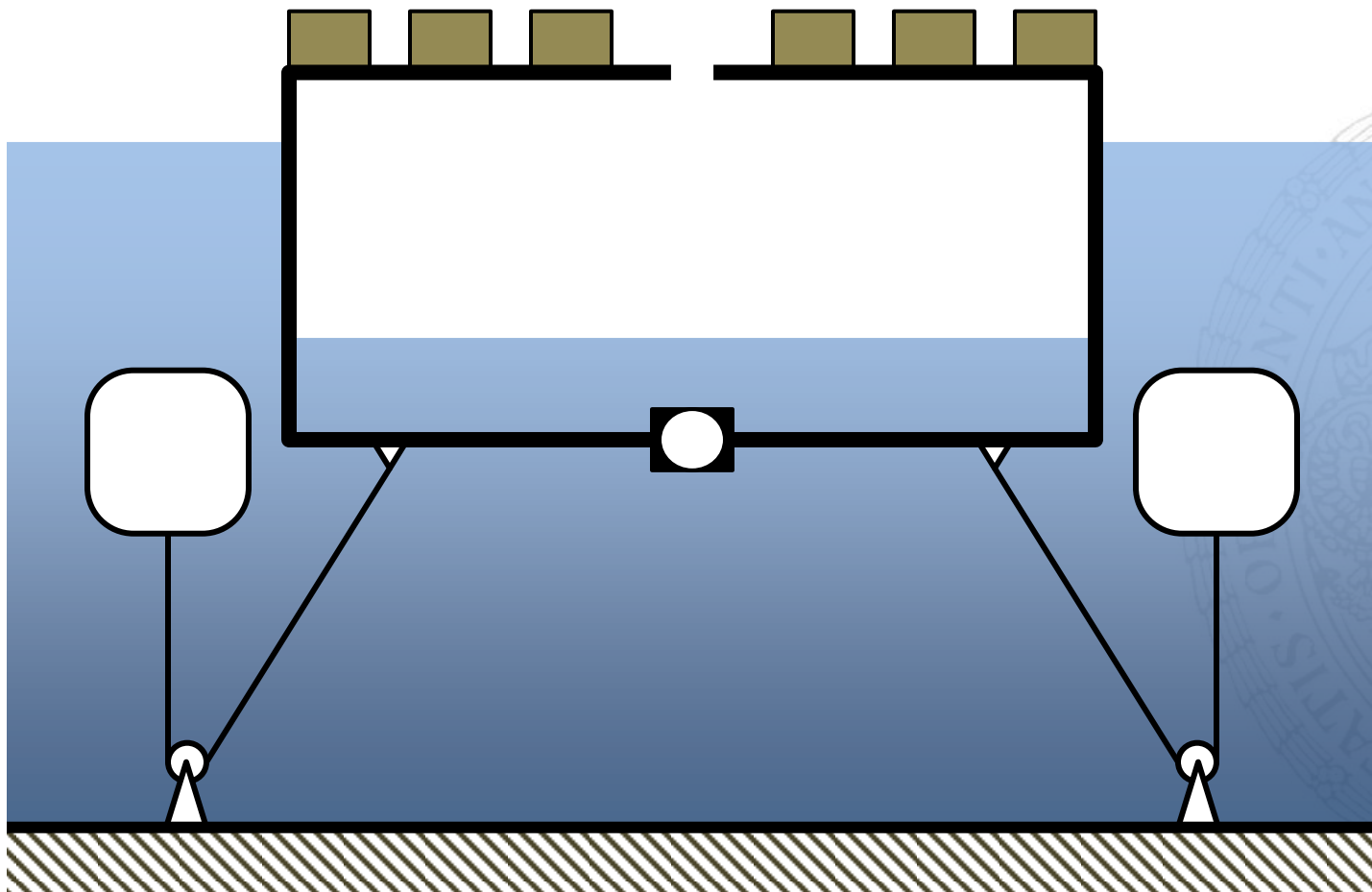
Variation 2: Mooring Lines attached to Buoys



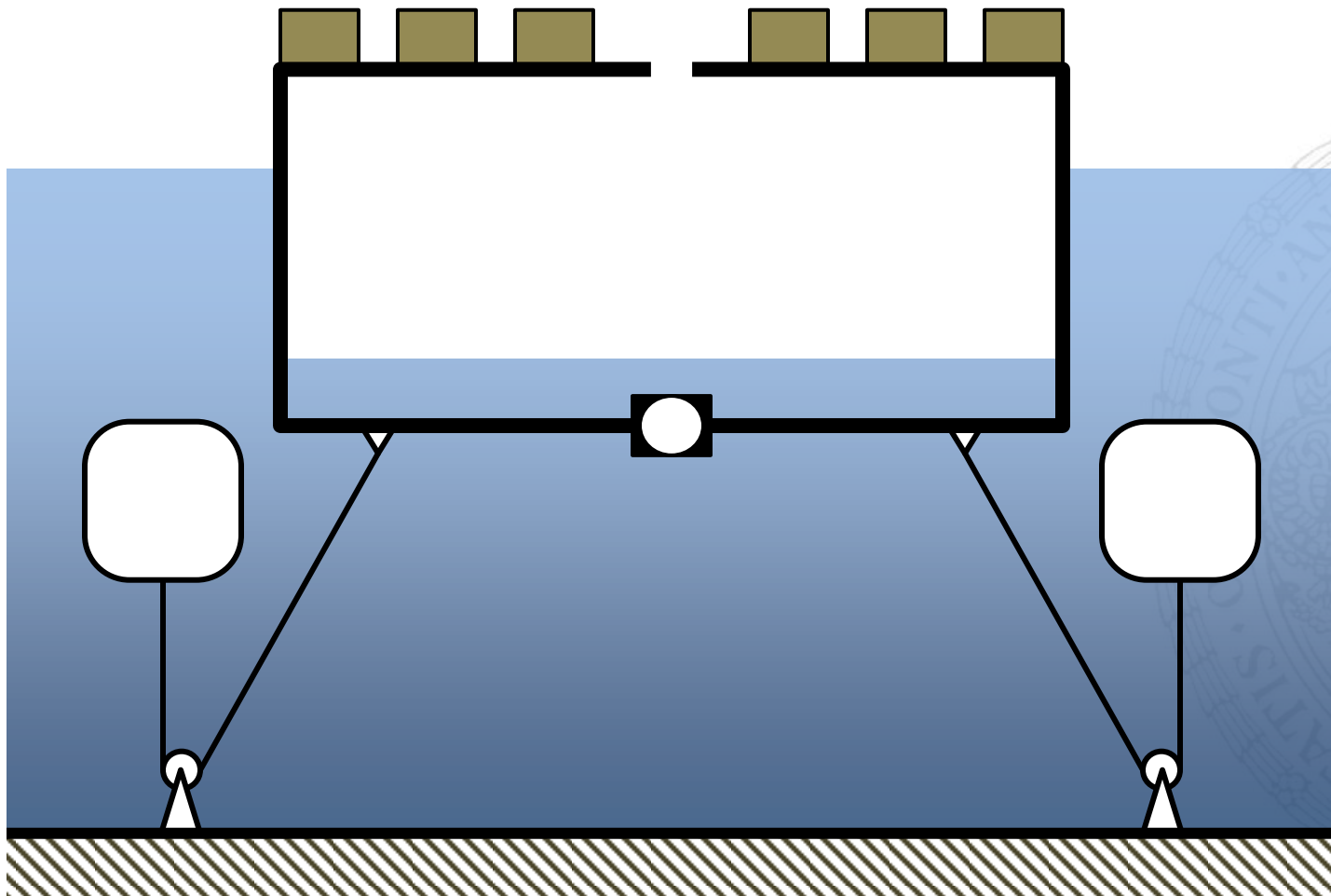
Variation 2: Mooring Lines attached to Buoys



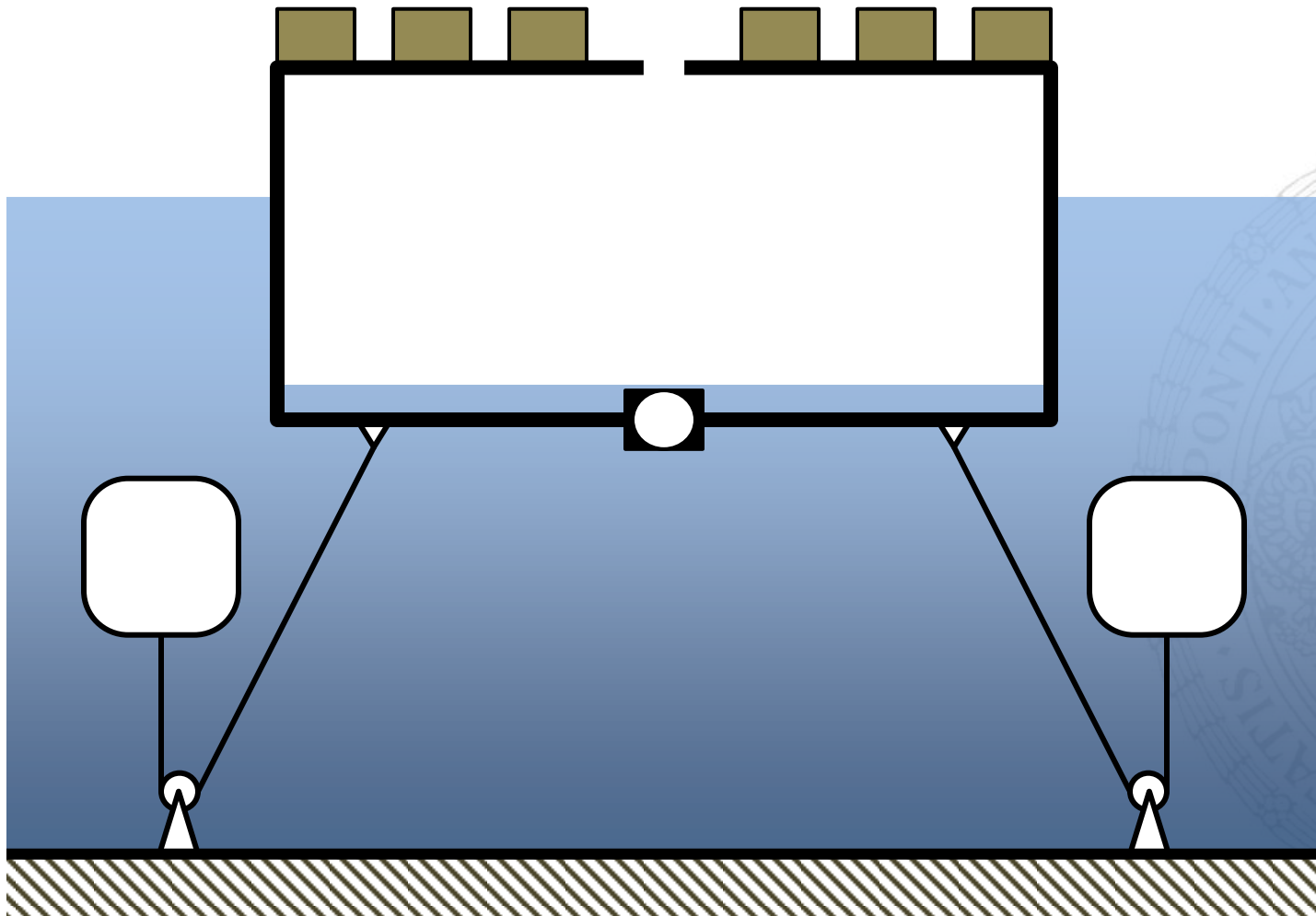
Variation 2: Mooring Lines attached to Buoys



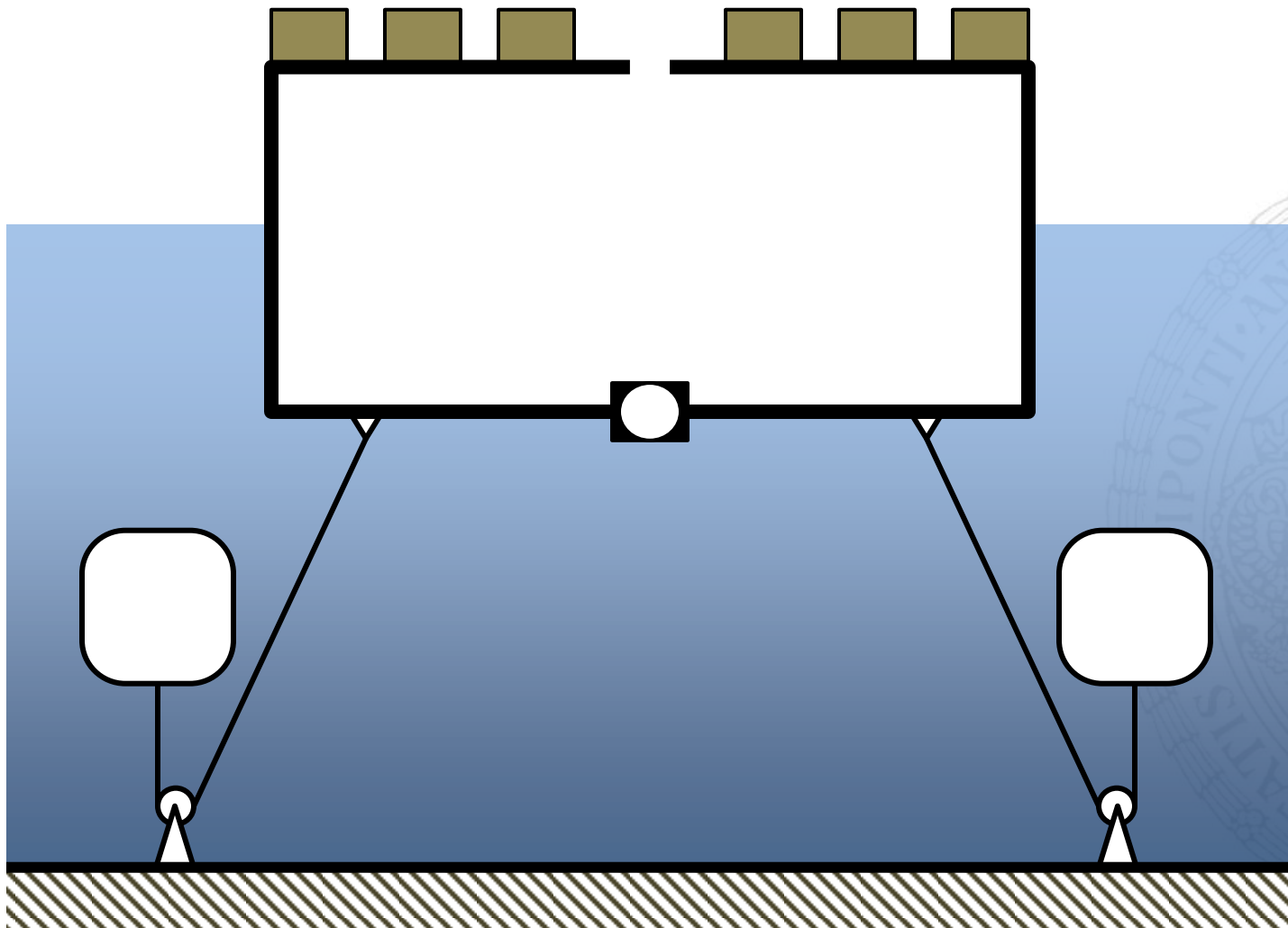
Variation 2: Mooring Lines attached to Buoys



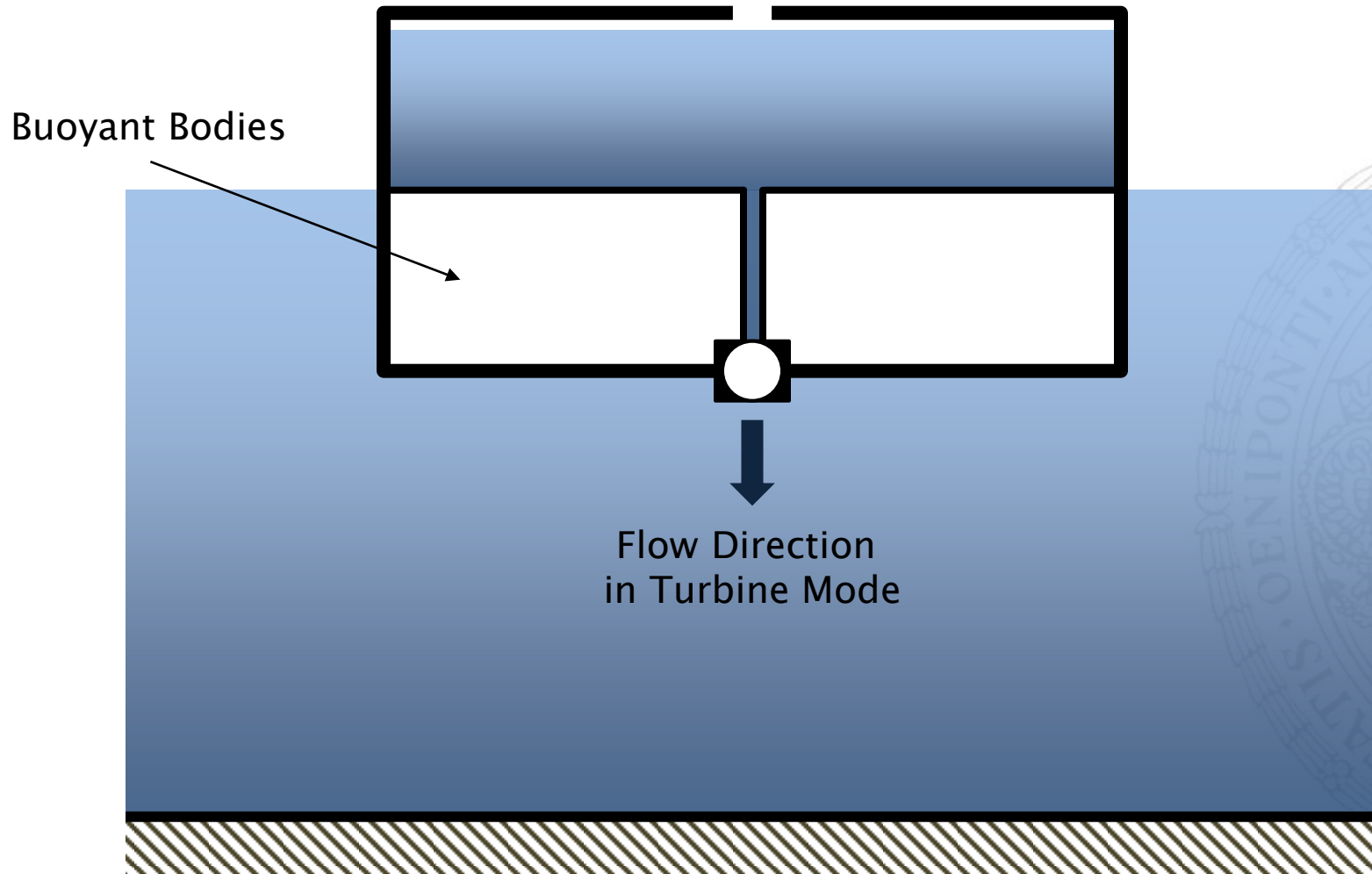
Variation 2: Mooring Lines attached to Buoys



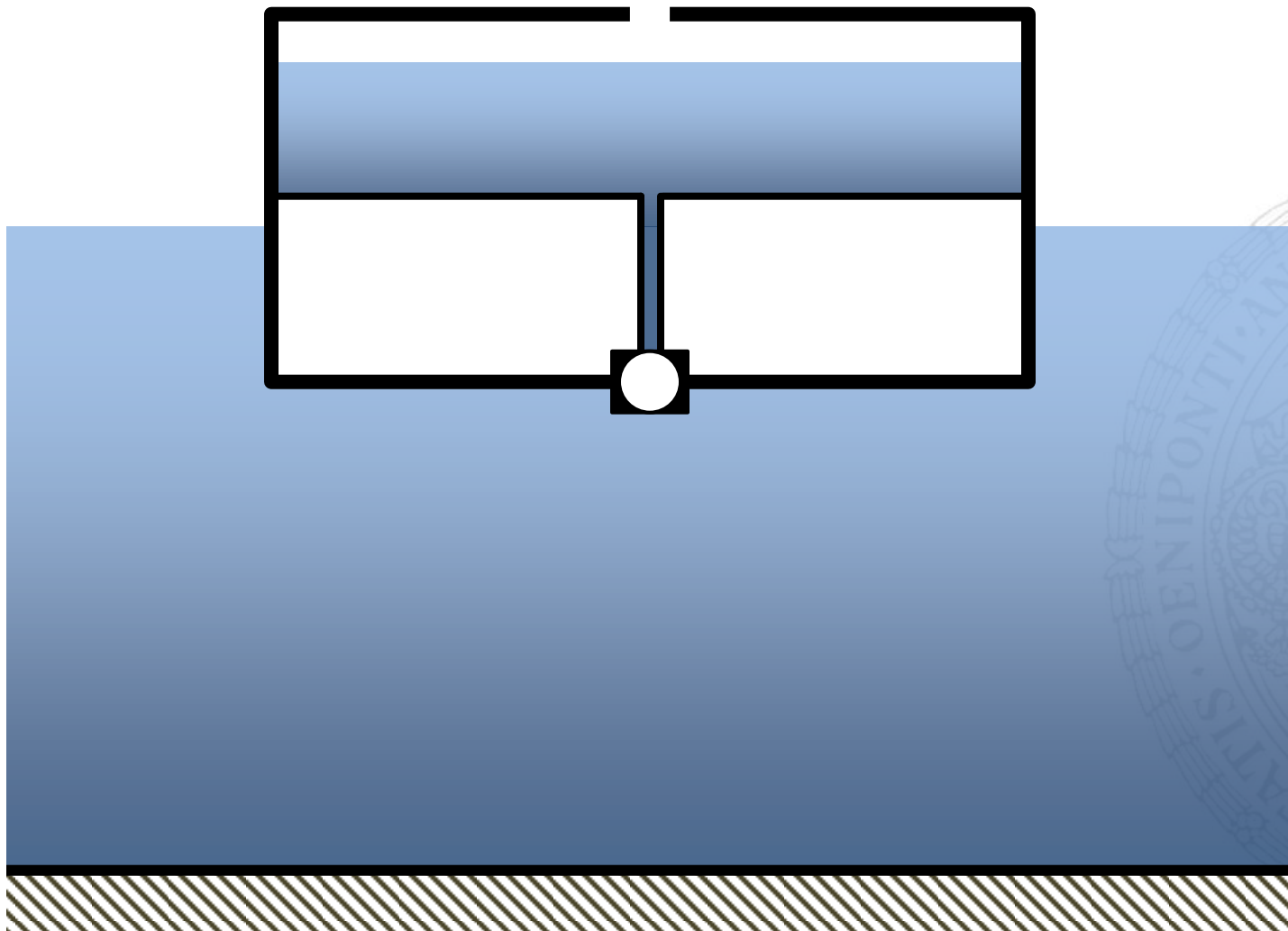
Variation 2: Mooring Lines attached to Buoys



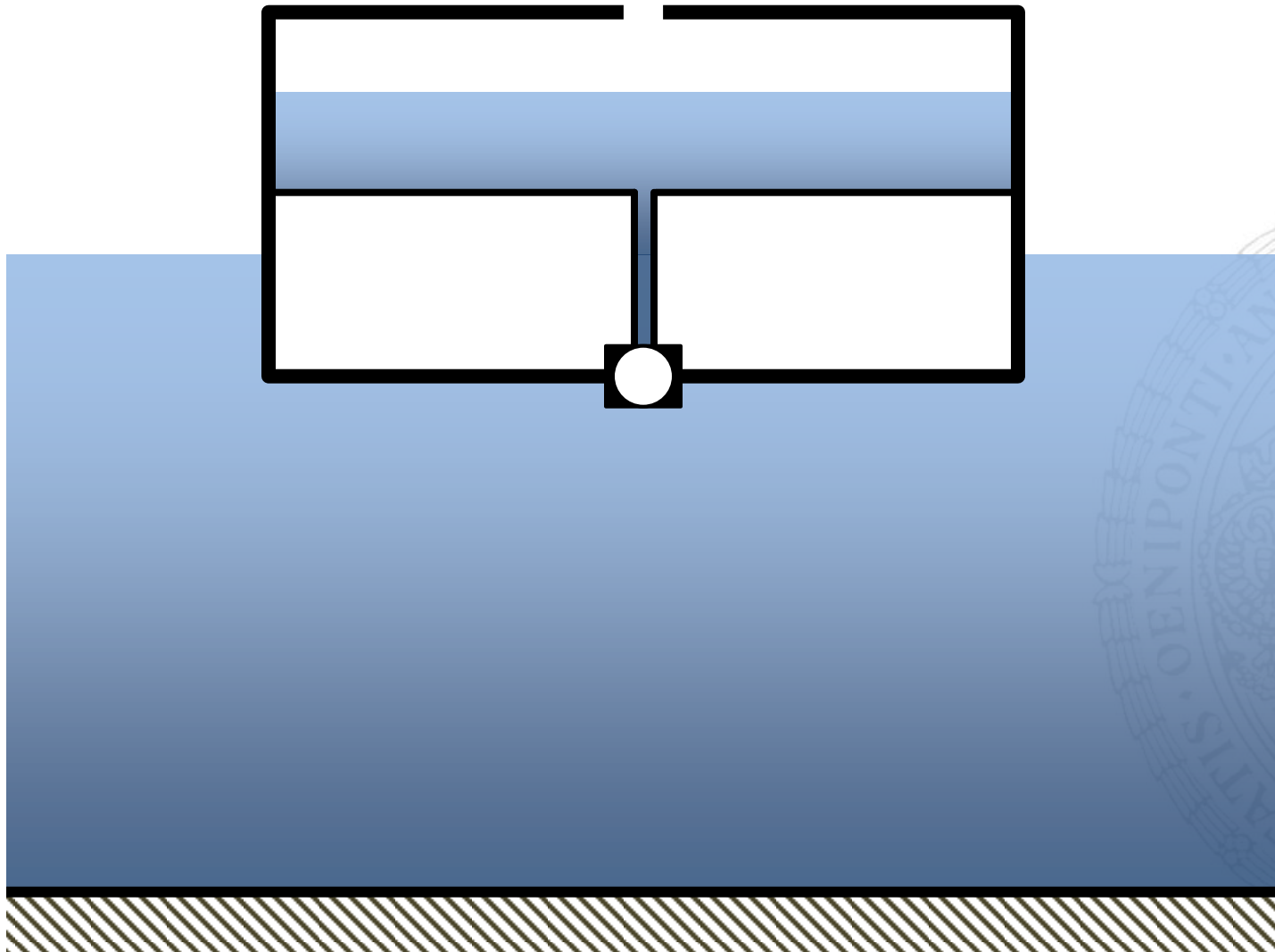
Variation 3: Reversed Energy Conversion



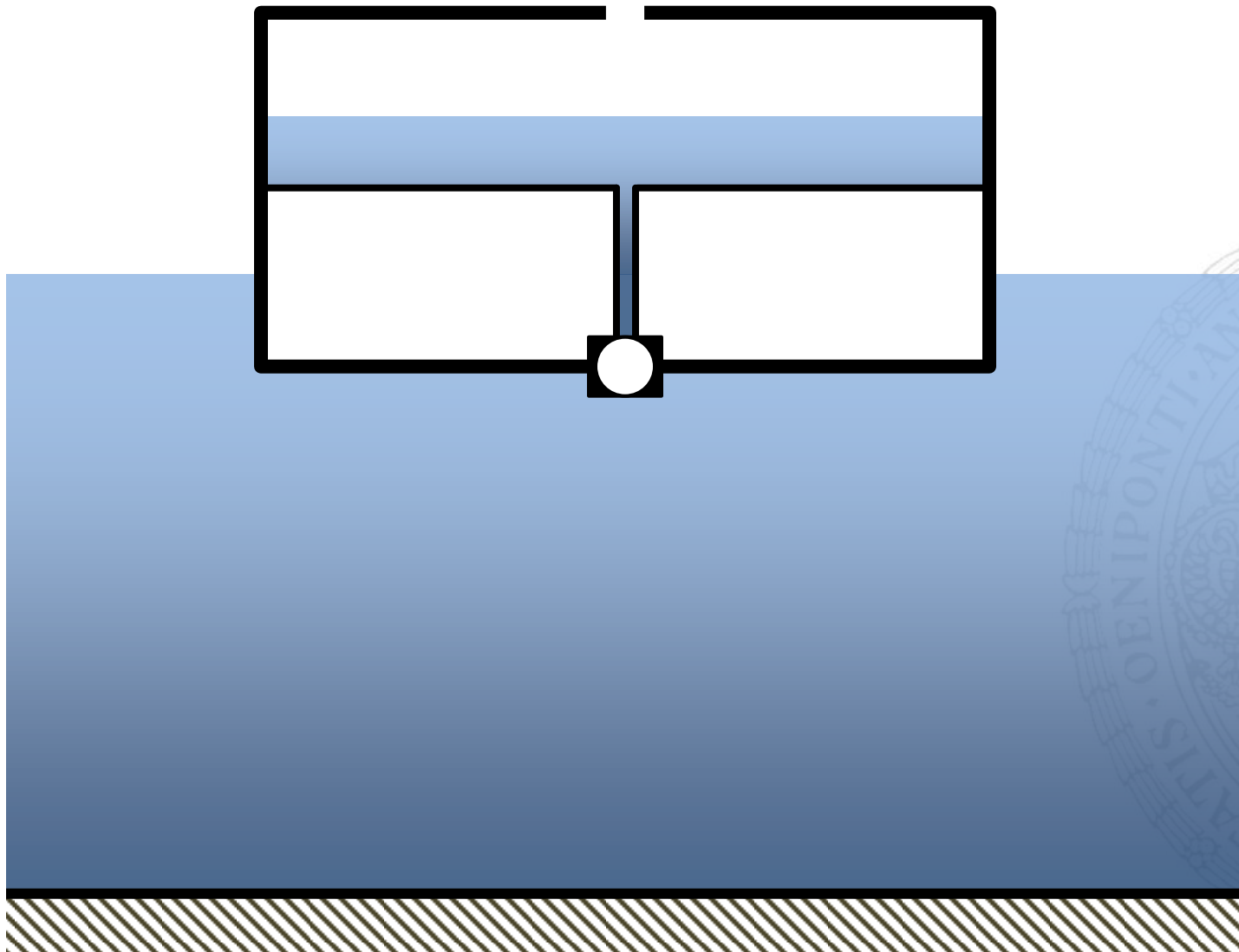
Variation 3: Reversed Energy Conversion



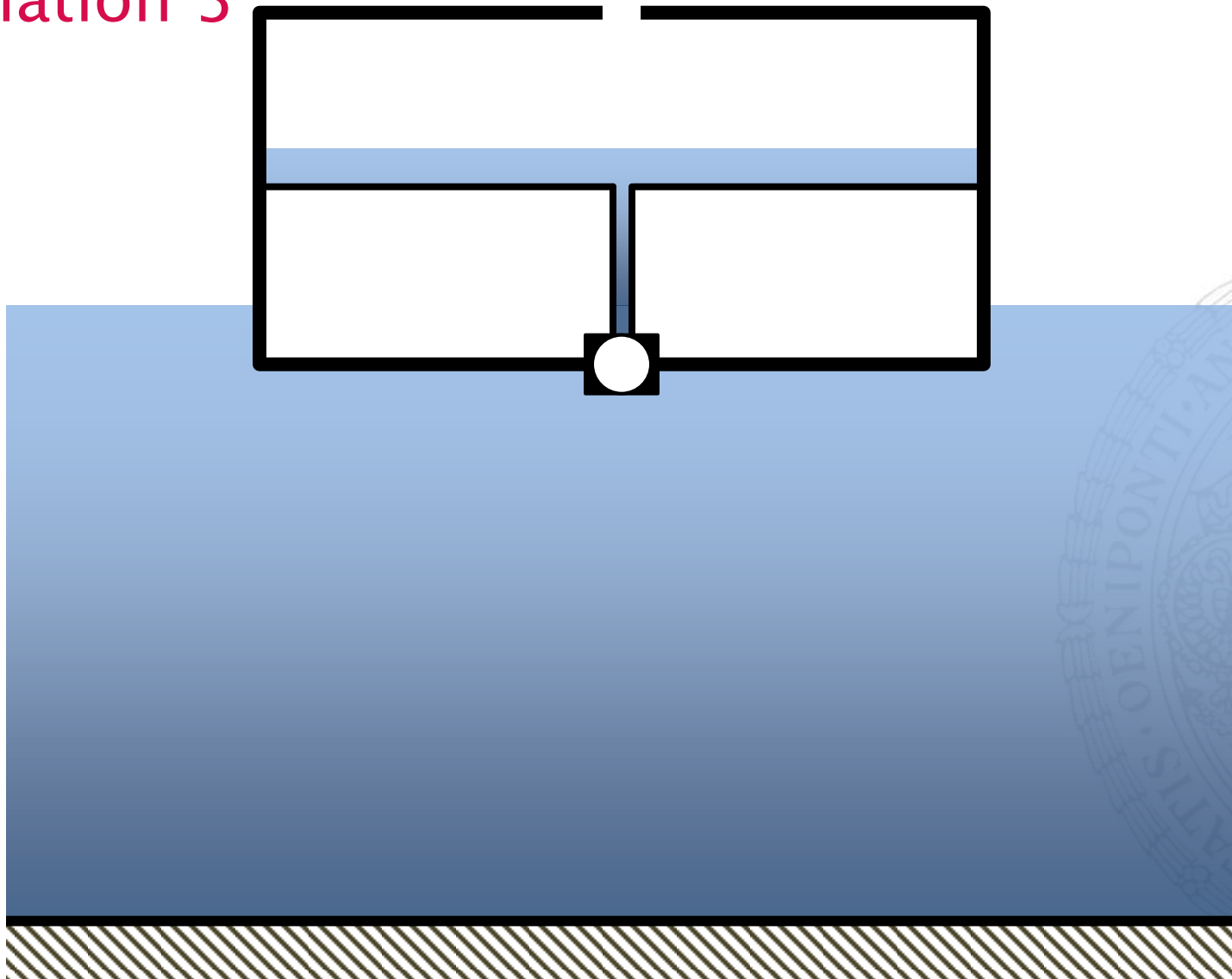
Variation 3: Reversed Energy Conversion



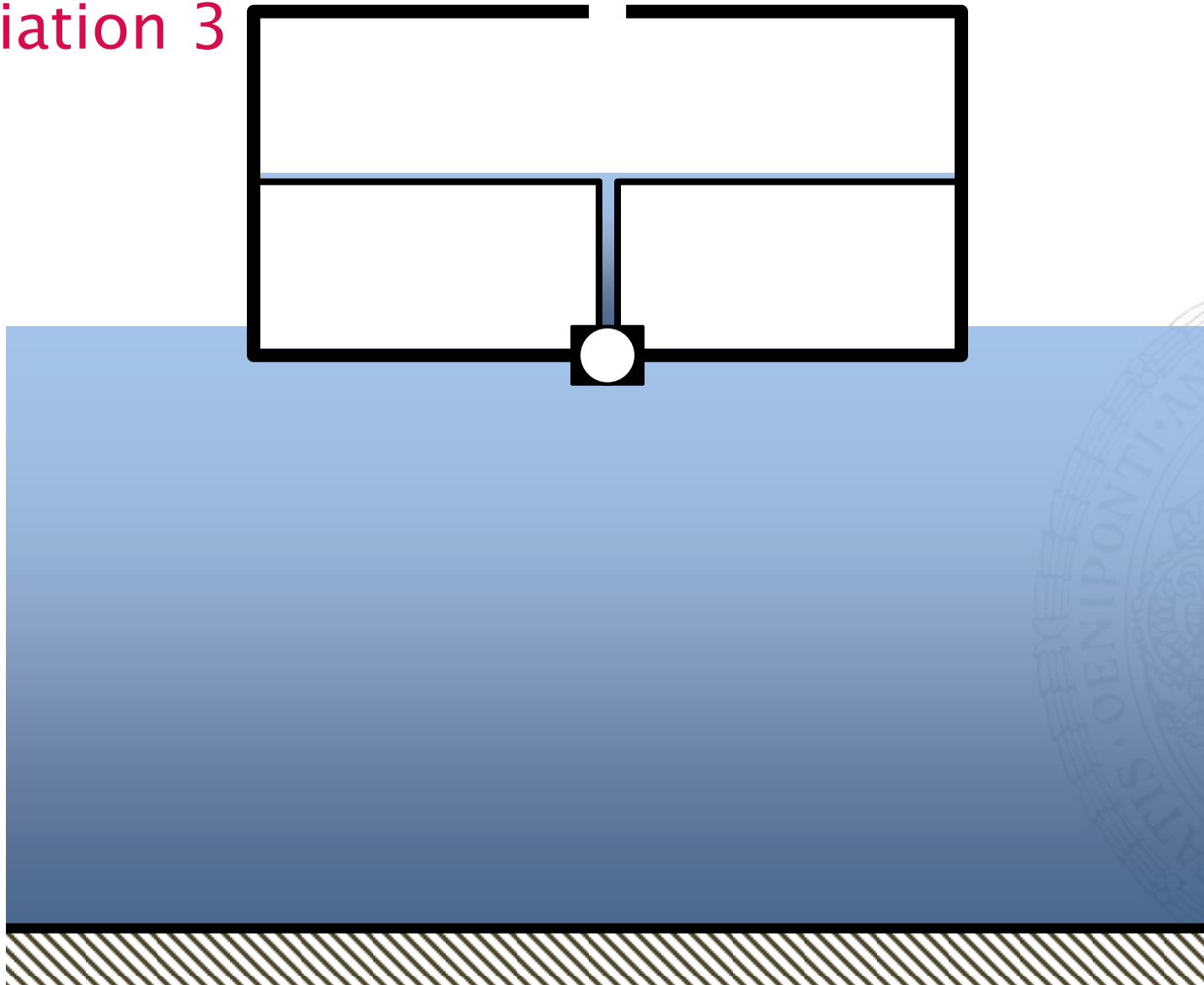
Variation 3



Variation 3

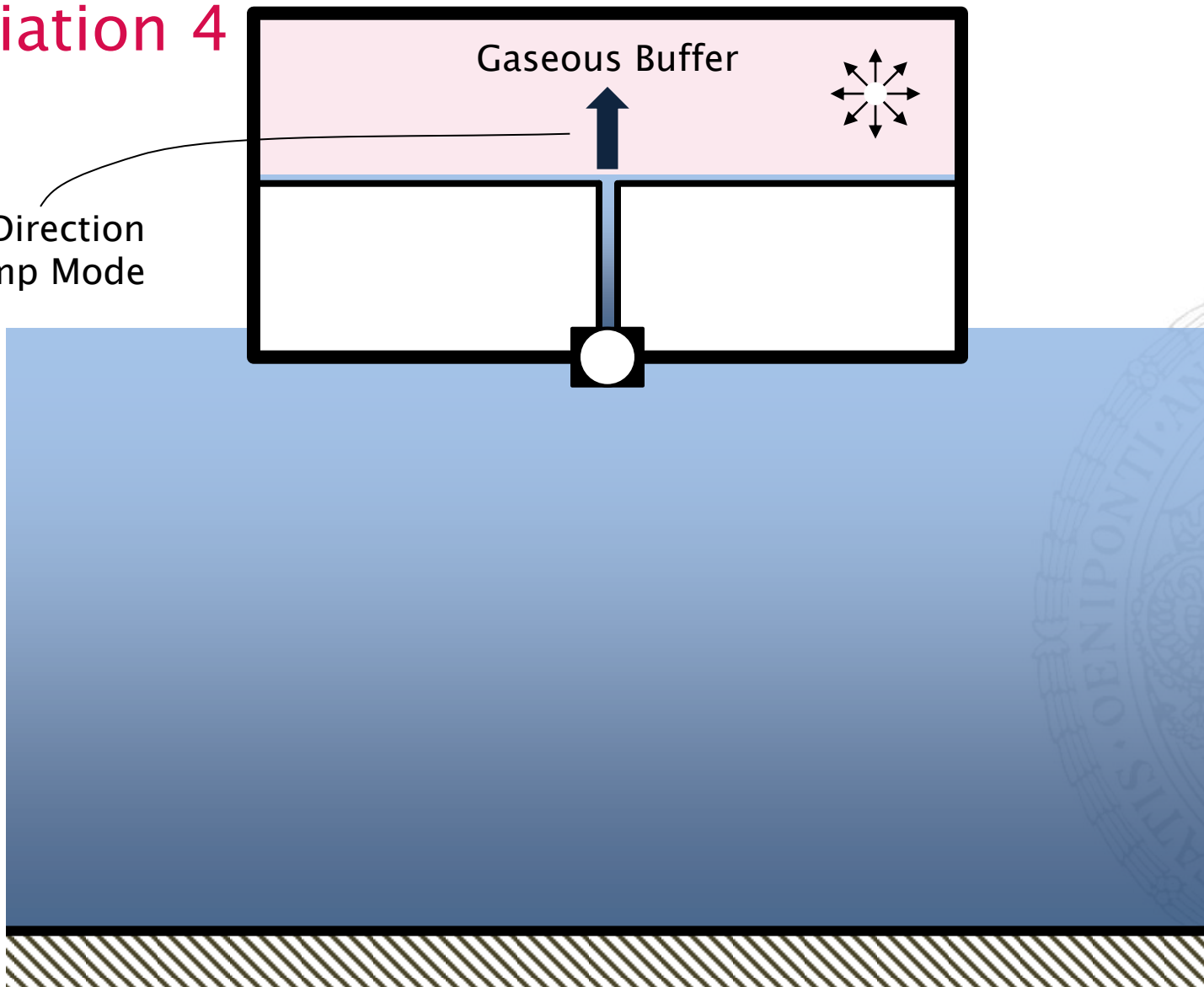


Variation 3

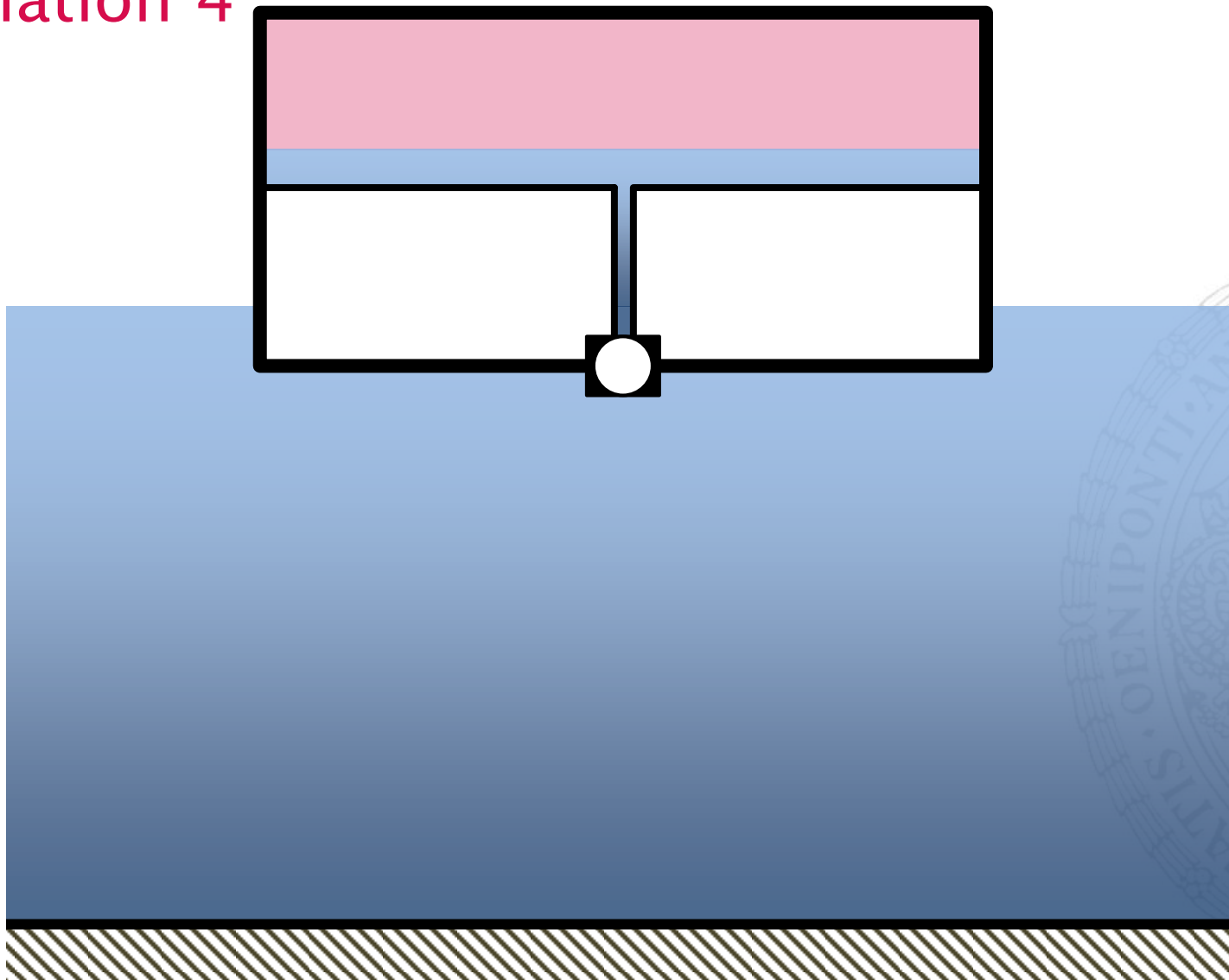


Variation 4

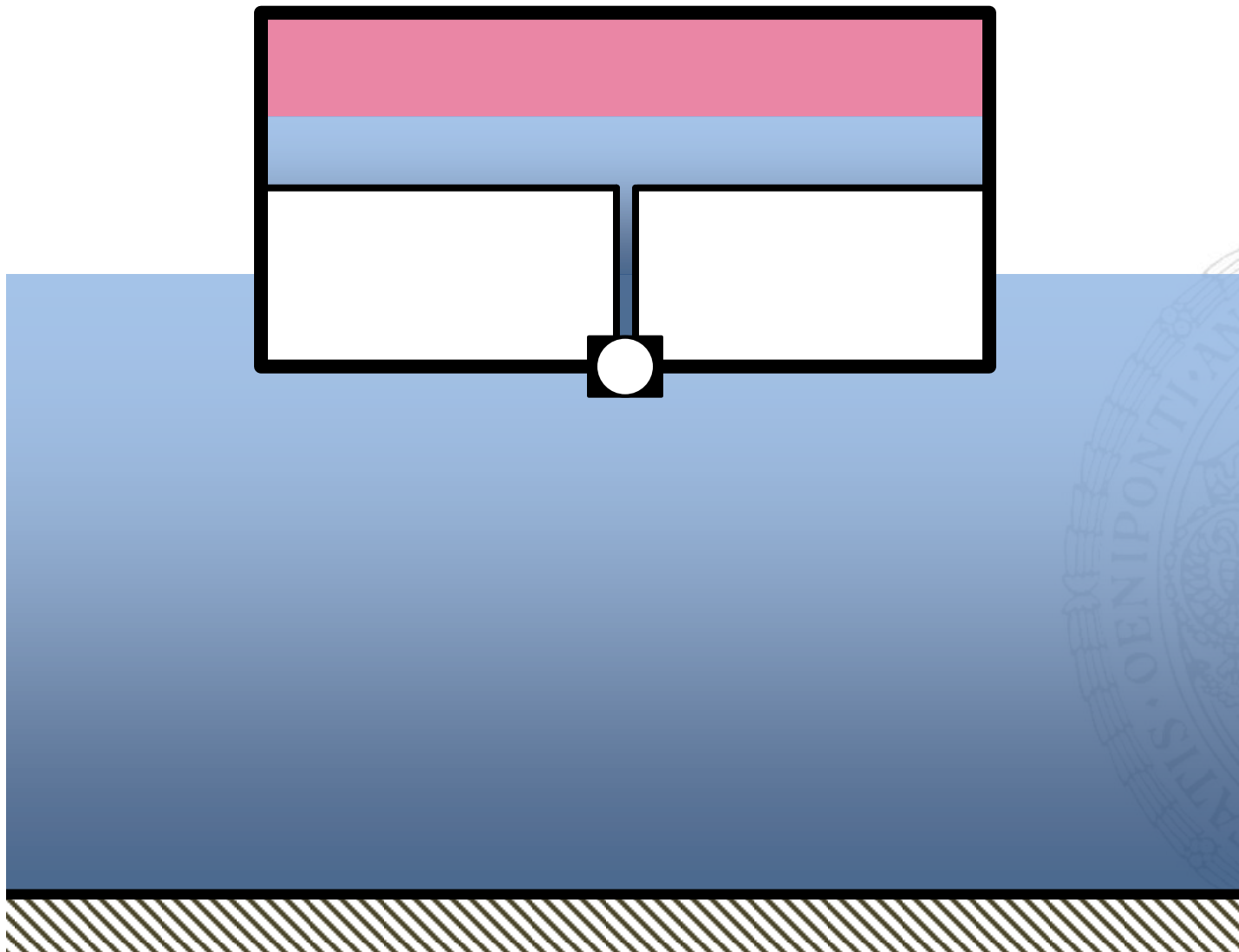
Flow Direction
In Pump Mode



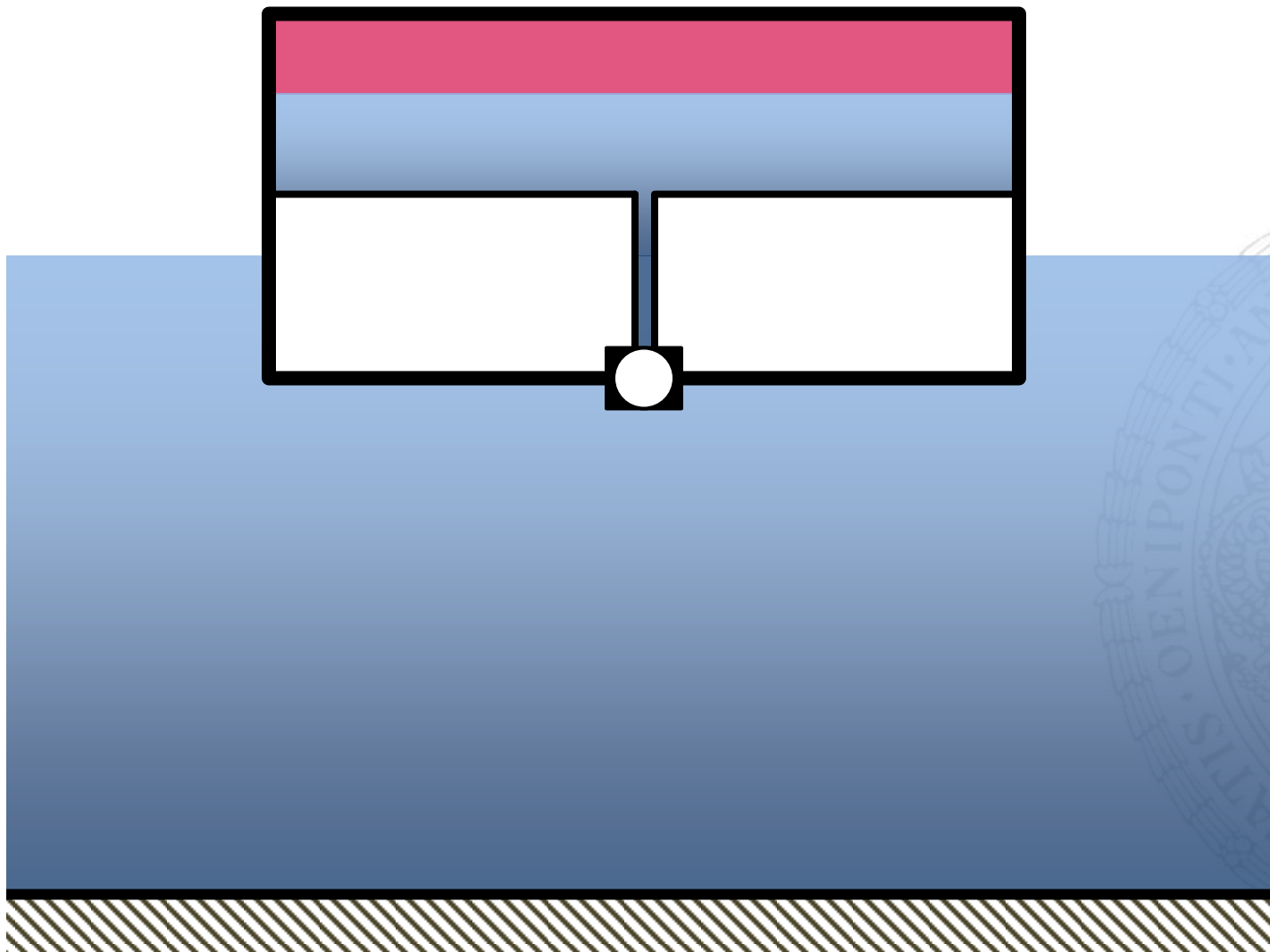
Variation 4



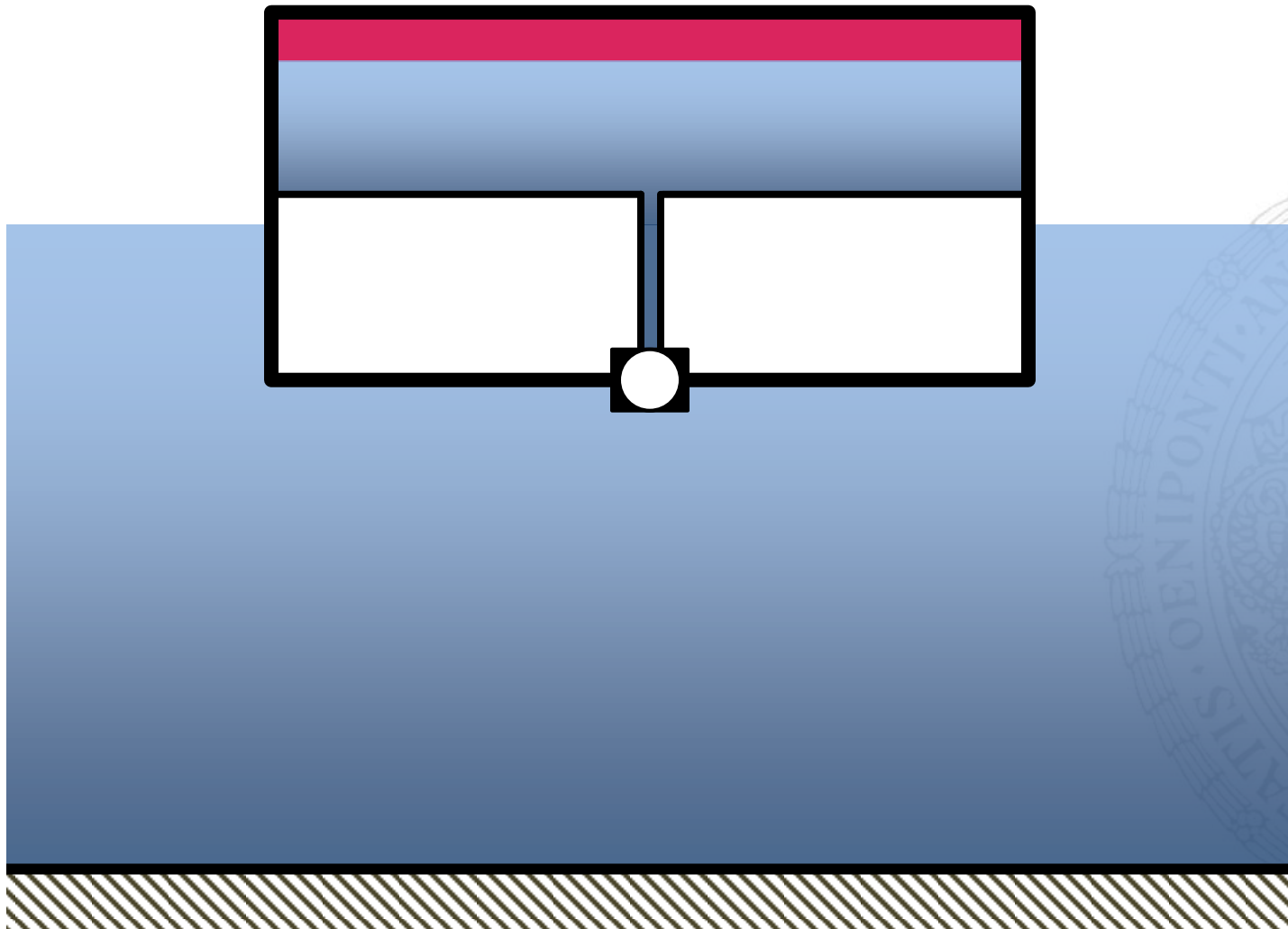
Variation 4



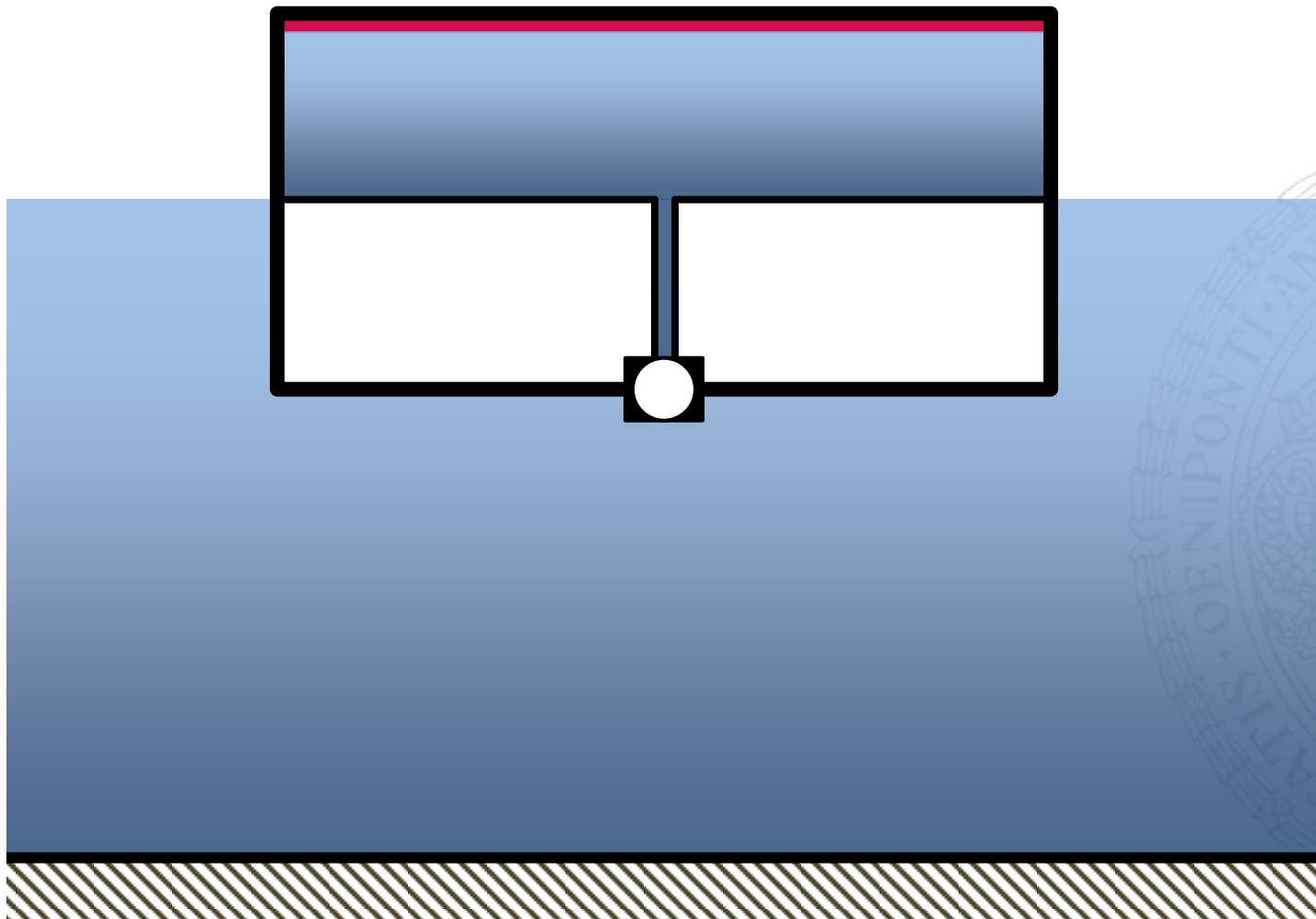
Variation 4



Variation 4



Variation 4



Unique Traits

Unique Traits of floating hydraulic energy storage plants based on the *Buoyant Energy* principle.



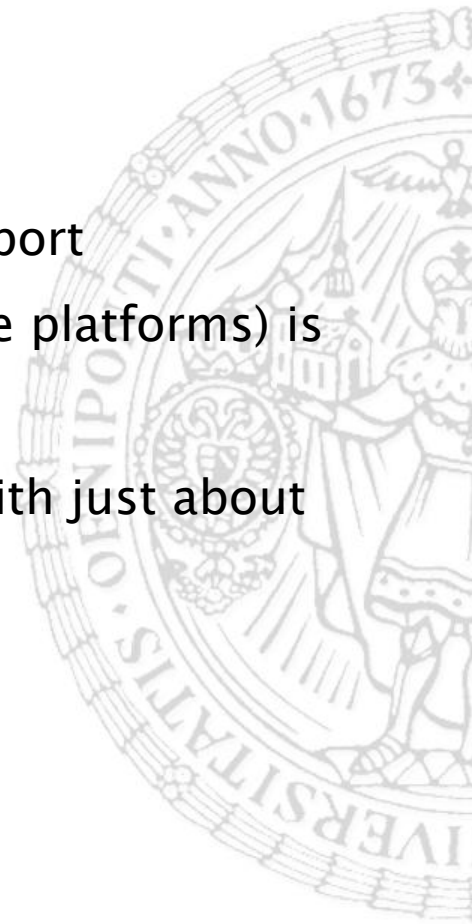
Unique Traits

- Highly efficiency
 - Due to low hydraulic losses; constant pressure head possible
- Unlimited number of cycles
- Response time is within the range of a few seconds
- Self-discharge rate is irrelevantly small
- Rapid load changes are possible
 - Hydraulic short circuit
- Robust proven technology in a new environment



Unique Traits

- Decentralized energy storage at the site of production
 - Minimal expansion of the transmission network
- Diverse combination possibilities
 - Demand for offshore energy, aquaculture and transport infrastructure (*“offshore terminals”*, maritime service platforms) is growing
 - Hydraulic energy storage plants can be combined with just about any other platform design



Unique Traits

- Combination of floating offshore infrastructure with energy storage:
 - Platforms with functional buildings (“Floatels”, Aqua-farms, etc.)
 - Service platforms (maintenance, floating container port, etc.)



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



Unique Traits

- Combination of floating offshore infrastructure with energy storage:
 - Platforms with functional buildings (“Floatels”, Aqua-farms, etc.)
 - Service platforms (maintenance, floating container port, etc.)



Source: AZ Island, A Floating World Concept



Unique Traits

- Combination of floating offshore infrastructure with energy storage:
 - Platforms with functional buildings (“Floatels”, Aqua-farms, etc.)
 - Service platforms (maintenance, floating container port, etc.)

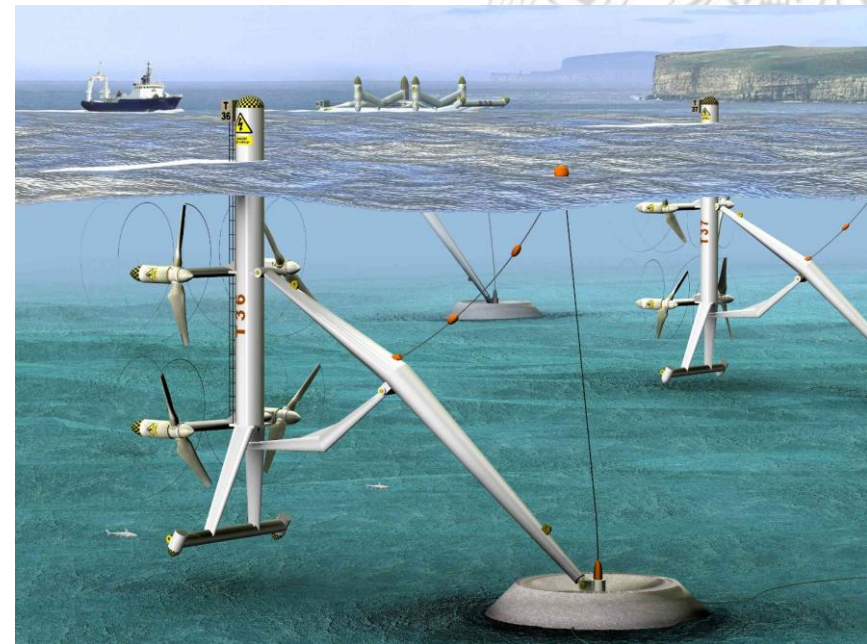


Source: Megafloat



Unique Traits

- Combination of energy production and energy storage
 - floating solar power plants and ocean current power plants



Unique Traits

- Combination of energy production and energy storage
 - Floating Offshore-Wind Farms – “Floating Wind Turbine”

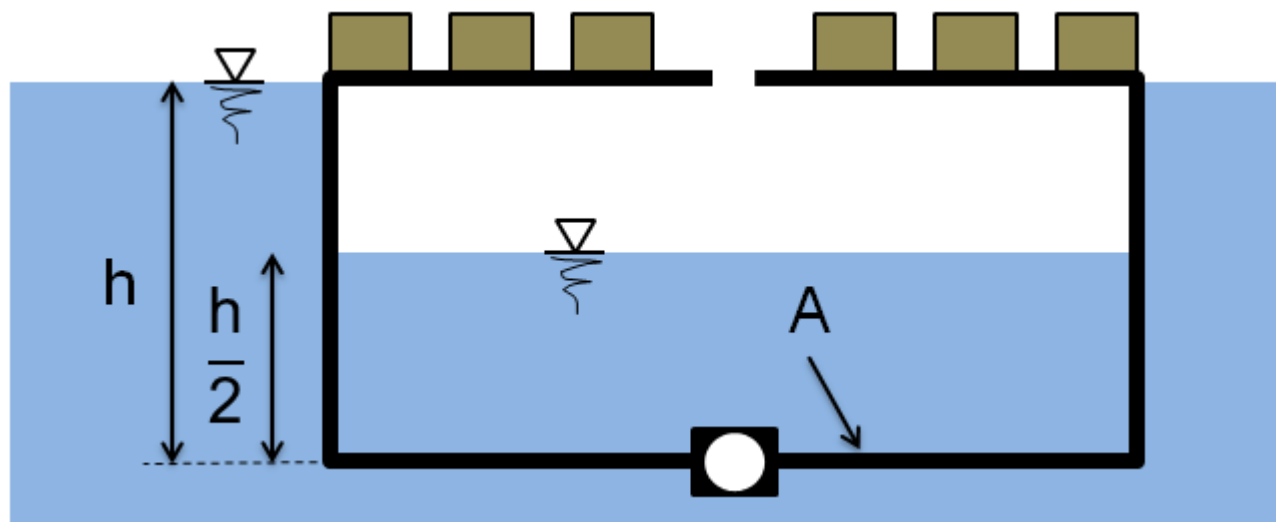


Source: Siemens-Pressbild



Source: Siemens-Pressbild, „Hywind“

Storage Capacity of an Ideal System



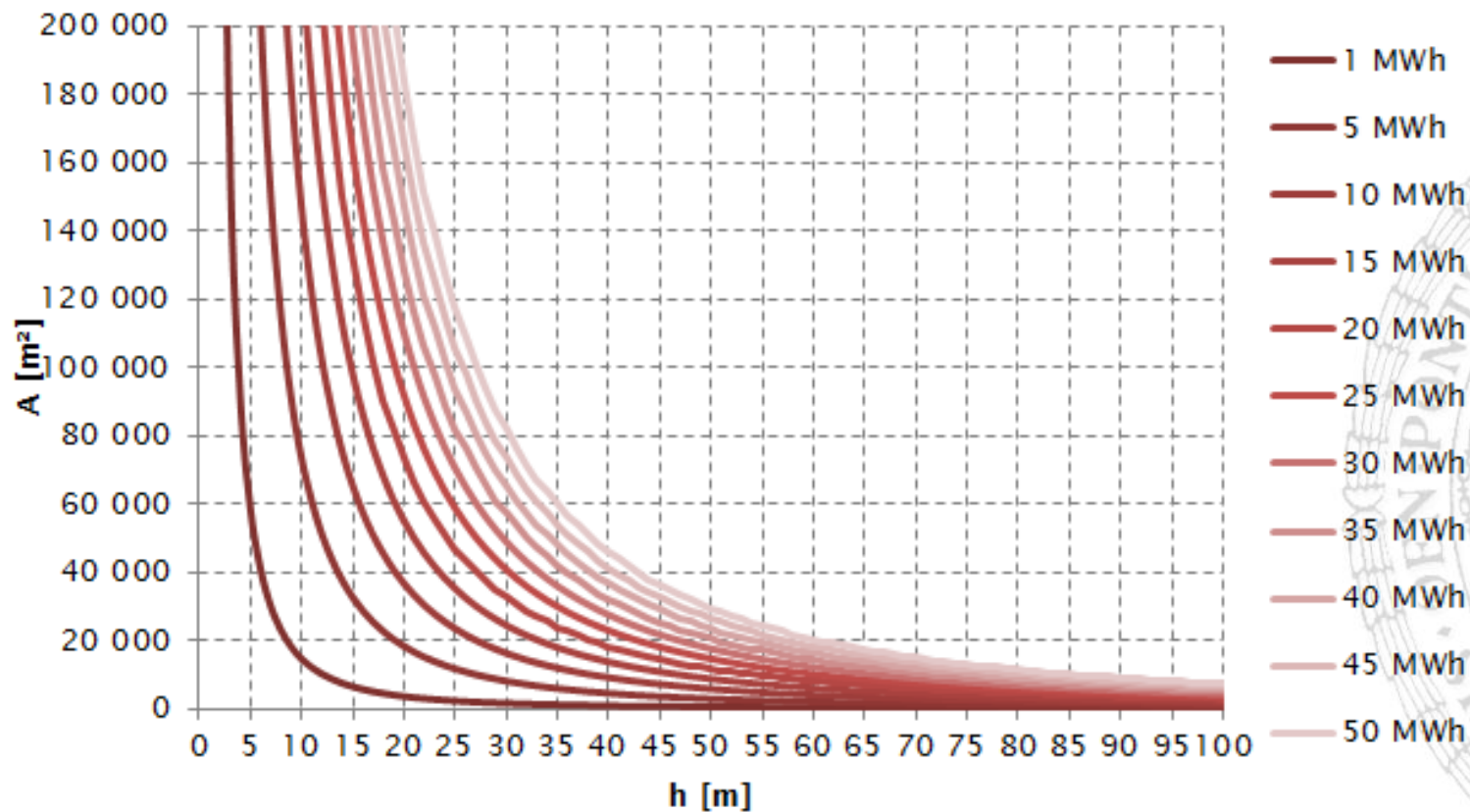
Storage Capacity:
$$E = m \cdot g \cdot \frac{h}{2} = \frac{h}{2} \cdot A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \frac{h}{2} = A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \frac{h^2}{4}$$

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



Storage Capacity of an Ideal System

Buoyant Energy - Storage Capacity

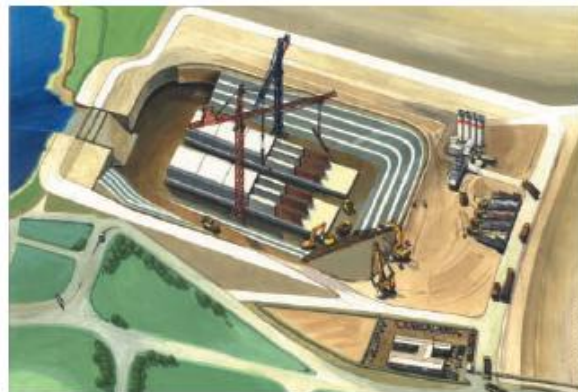


Challenges

- Mooring system
- Design of the pumps and turbines
- Design of “large” floating structures
→ use of proven technology!



Concrete Ship



e.g. Construction of the Drogdentunnel and the Öresundtunnel

Challenges

- Mooring system
- Design of the pumps and turbines
- Design of “large” floating structures
→ use of proven technology!



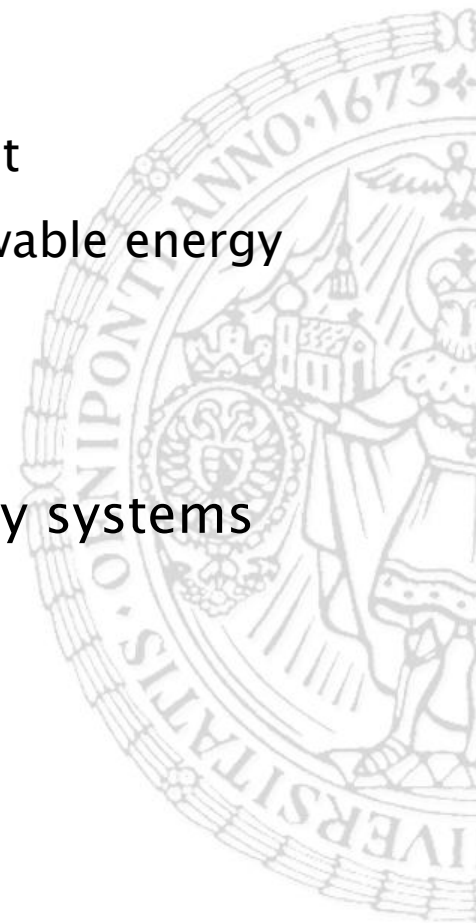
Areas of Application

Possible economical use of
Buoyant Energy technology



Areas of Application

- Balancing the fluctuations between energy supply and demand
 - Integrating renewable energy into the energy market
 - Use of *Buoyant Energy* as a component of any renewable energy power plant (“Floating Wind Turbine”)
- Peaking power market
- Use in combination with off-grid electrical supply systems
 - Especially applicable to natural and artificial islands



Outlook

Future scientific work



Outlook

- Examination of economic efficiency
 - Highly dependent on future political changes (future standardized tariffs for the availability of storage capacity)
 - Comparison: Grid expansion \Leftrightarrow Storage costs
 - Economic efficiency of combining *Buoyant Energy* with other renewable energy sources
- Design–Study
 - Forms of implementation
 - Construction Methods
 - Materials
 - Plant components



Floating Wind Turbine

- Combination of a wind turbine with a floating energy storage system as a renewable combined power station



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



Floating Wind Turbine

Design Assumptions:

- offshore Wind turbine: Capacity $P = 2 \text{ MW}$
- ideal hydraulic storage plant (Cylinder)
- energy storage: Storage Capacity $E = 1 \text{ MWh}$

h [m]	A [m ²]	Radius R [m]	Weight W [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



Floating Wind Turbine

Design Assumptions:

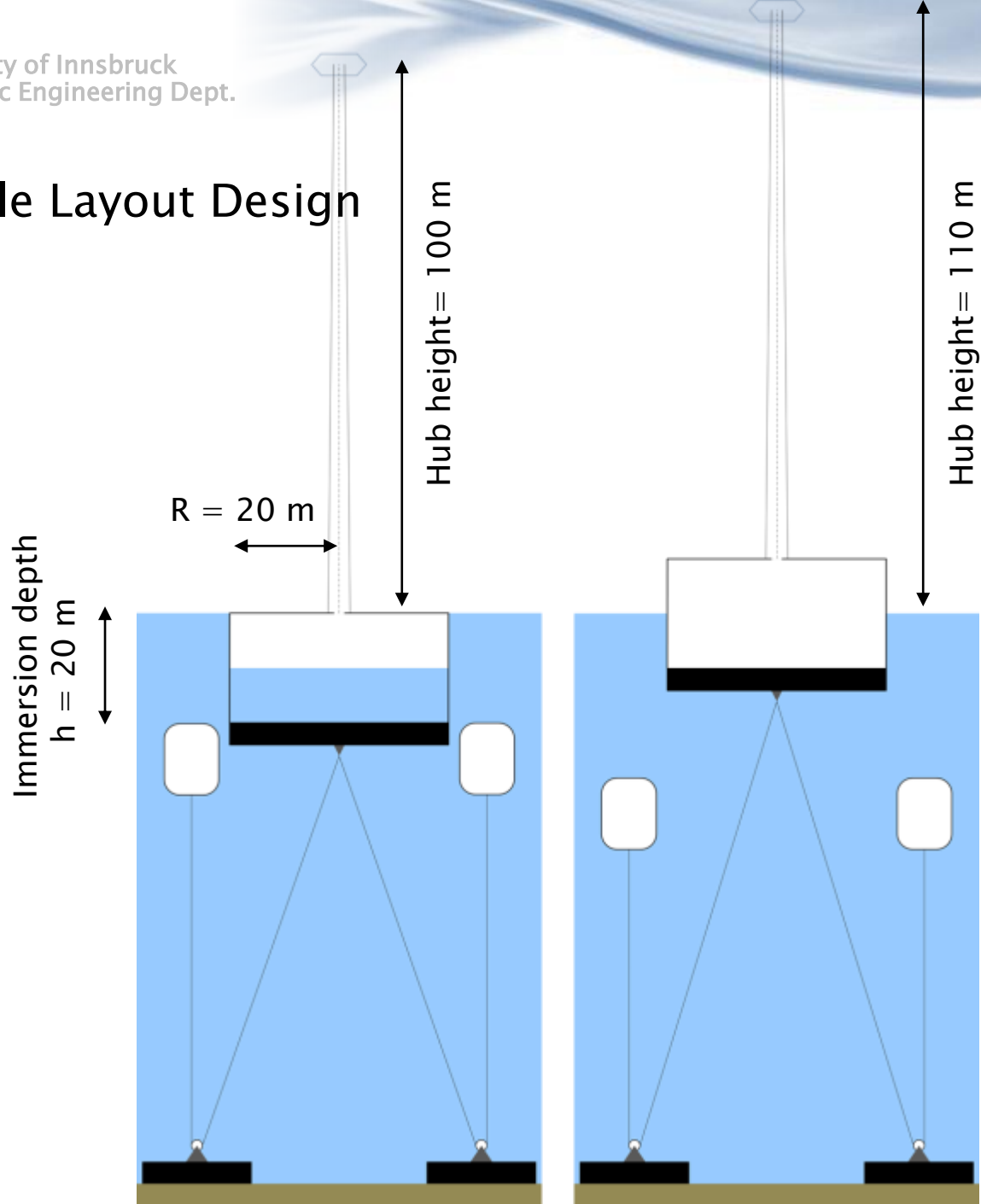
- offshore Wind turbine: Capacity $P = 2$ MW
- ideal hydraulic storage plant (Cylinder)
- energy storage: Storage Capacity $E = 1$ MWh

	h [m]	A [m ²]	Radius R [m]	Weight W [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



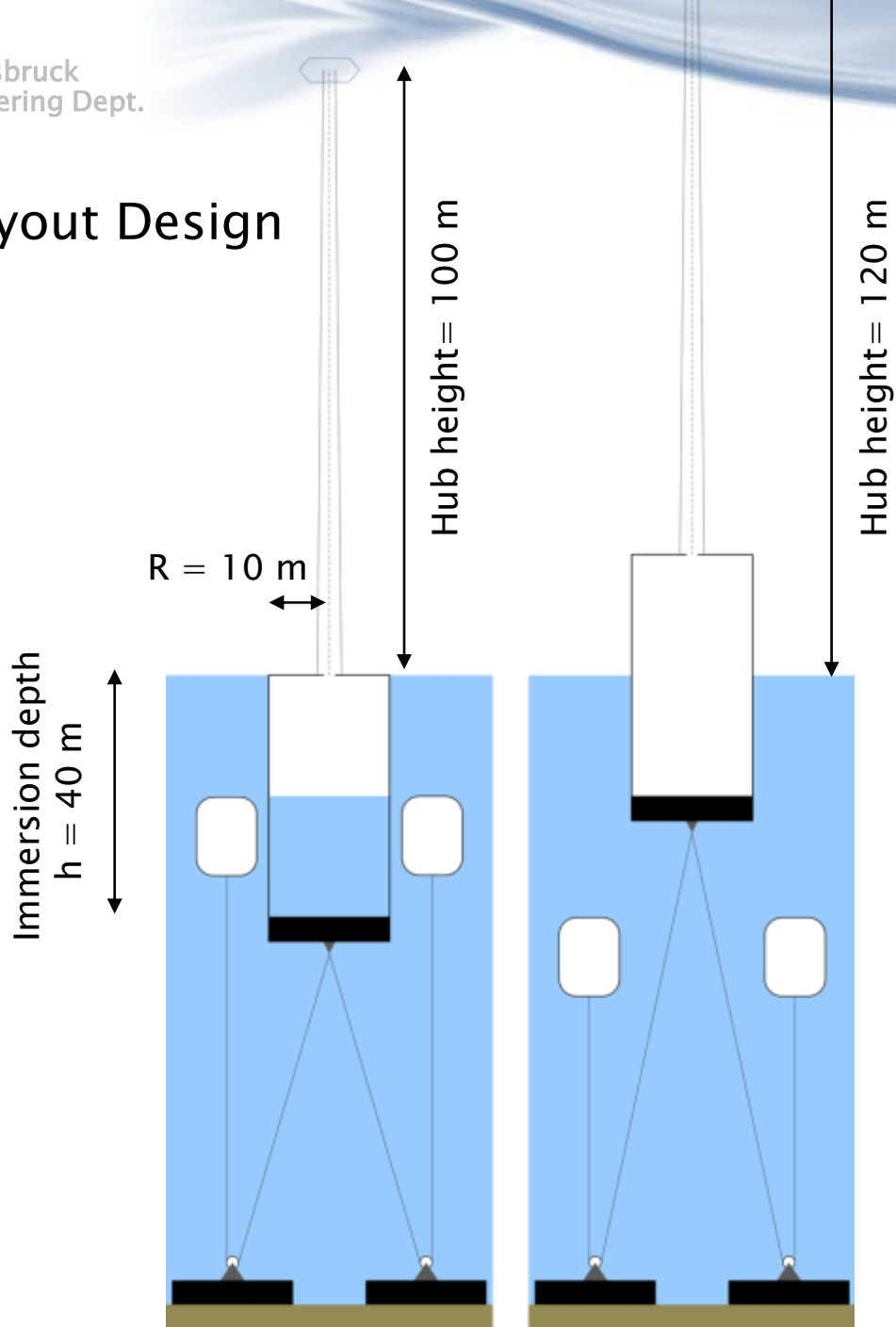
Floating Wind Turbine

Possible Layout Design



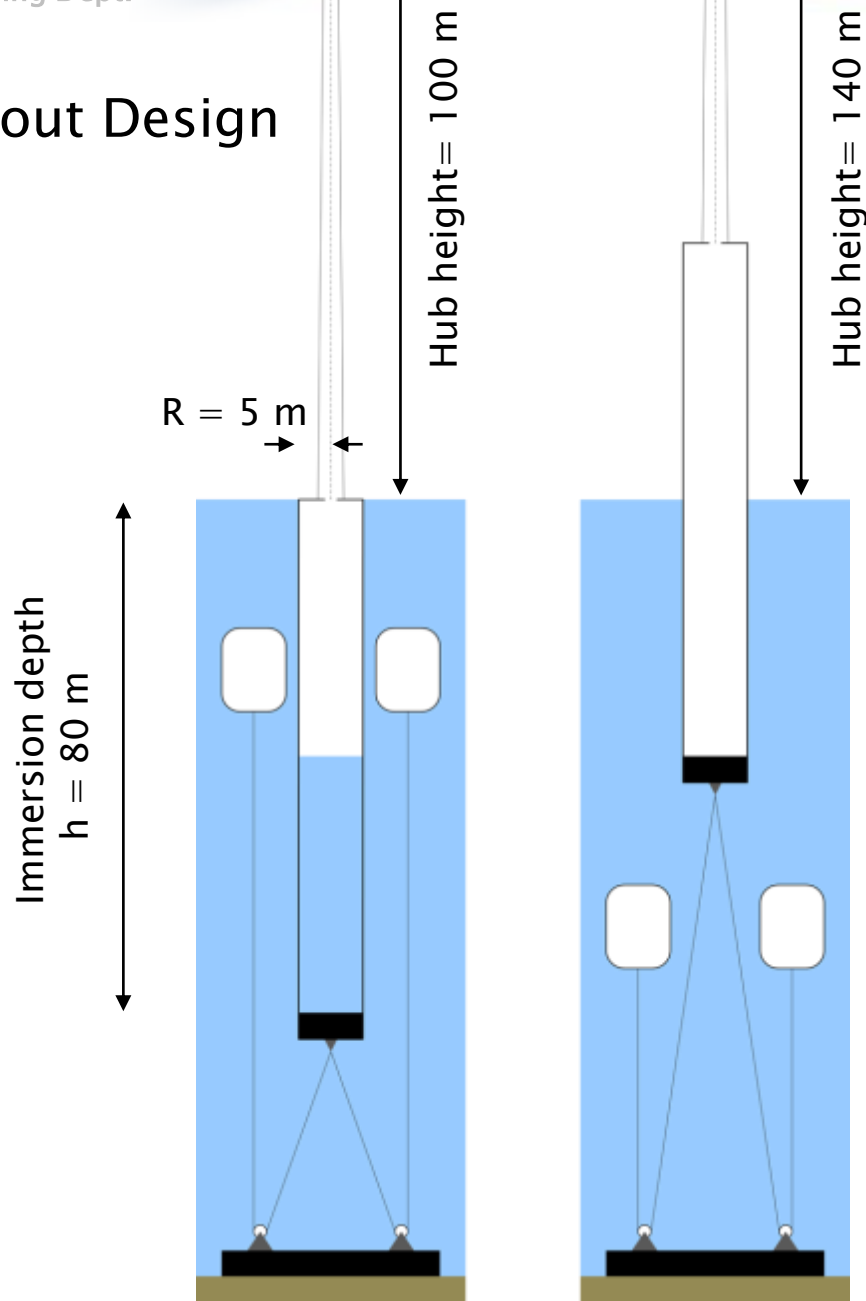
Floating Wind Turbine

Possible Layout Design



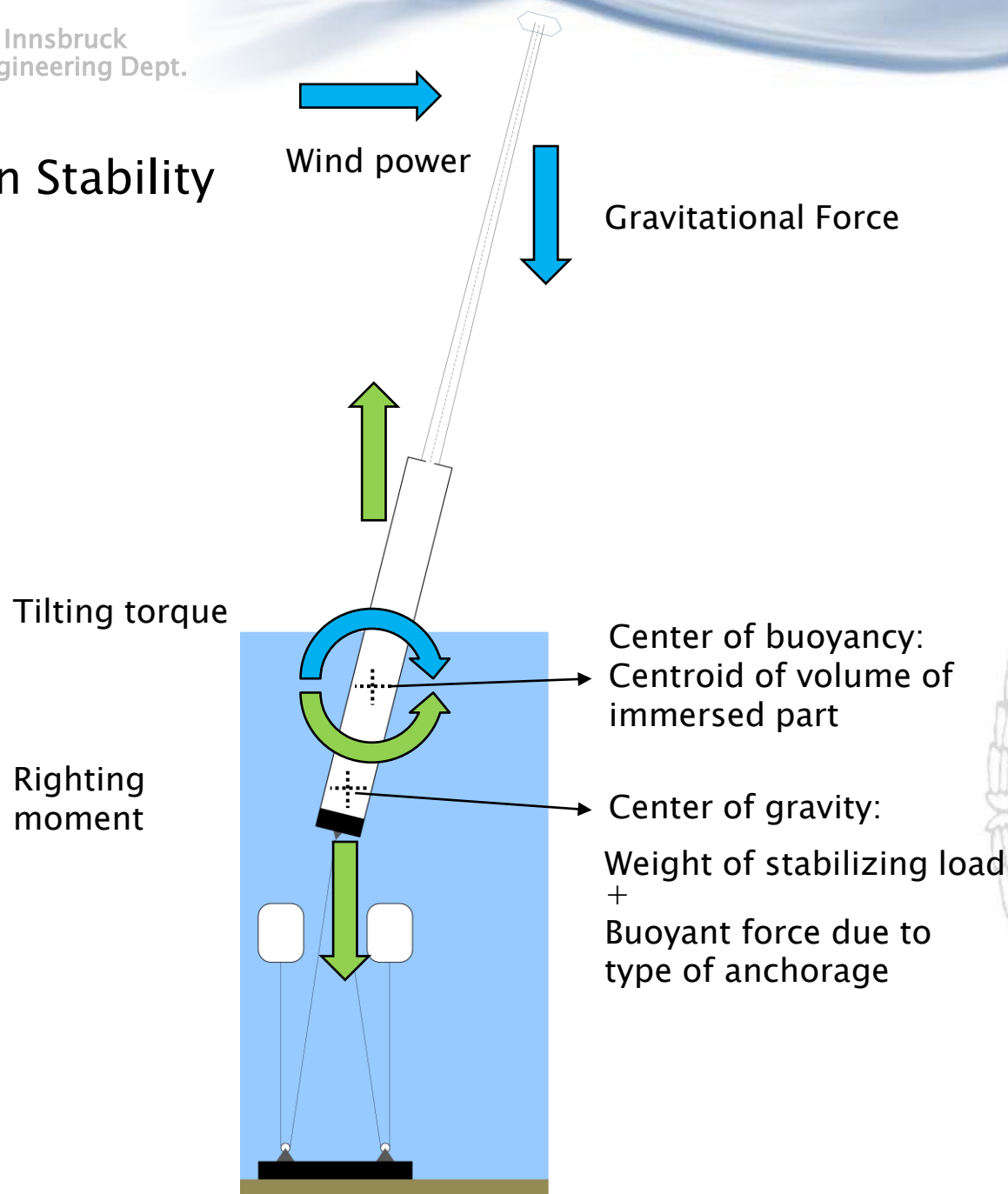
Floating Wind Turbine

Possible Layout Design



Floatation Stability

Floating Wind Turbine



Floating Wind Turbine

- Advantages

- Standardized production
- No elaborate flotation devices
- Simple maintenance and service
- Significant storage capacity when placed in clusters
- Location in the water is irrelevant (no limits to water depth)



Hywind – slender cylinder concept

...example for a visionary
Floating Wind Turbine – concept.
However there is no storage device
integrated into the design!

SIEMENS



- Main facts about Hywind:
 - 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 m
 - one prototype is currently operating near Karmøy, Norway



Åmøyfjorden, April 22nd, 2009

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



Upending of substructure on April 26th, 2009

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



Official opening September 8th, 2009

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



BUOYANT ENERGY

smart concepts for energy storage

Contact

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

Thank you for your attention!