



Begriffe und Definitionen:

Hydromechanik: Teilgebiet der Physik, das die Teilgebiete *Statik*, *Dynamik* und *Kinematik* der Flüssigkeiten umfasst.

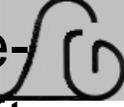
Statik : Lehre von den Kräften im Gleichgewicht

Dynamik: Bewegungslehre

Kinematik: Lehre von Bewegungen im Raum im Verhältnis zur Zeit. Sie befasst sich mit den geometrischen Bewegungsmechanismen und Bahnlinien.

Hydrostatik, Hydrodynamik, Hydrokinematik:

Auf Flüssigkeiten als *Kontinua* bzw. auf Flüssigkeitsteilchen bezogene Statik, Dynamik, Kinematik. Behandlung ebener oder räumlicher Strömungsfelder.



Hydraulik:

1. *Halbempirische* (zur Hälfte auf Erfahrung beruhende) anwendungsbezogene Wissenschaft, die vereinfachend eine näherungsweise “*eindimensionale*” Darstellung der Strömungen benutzt. Formeln enthalten *Beiwerte*, die aus Versuchen ermittelt werden müssen.
2. Gesamtheit der Systeme in Maschinen, deren Kräfte mit Hilfe von Flüssigkeitsdruck erzeugt oder übertragen werden.

Flüssigkeitseigenschaften:

- Reale Flüssigkeit: reibungsbehaftete, *viskose* Flüssigkeit
- Inkompressible F.: *nicht nennenswert zusammendrückbare* (raumbeständige) Flüssigkeit
- Newtonische F.: Flüssigkeit mit *linearem* Scherverhalten, viskositätsabhängig

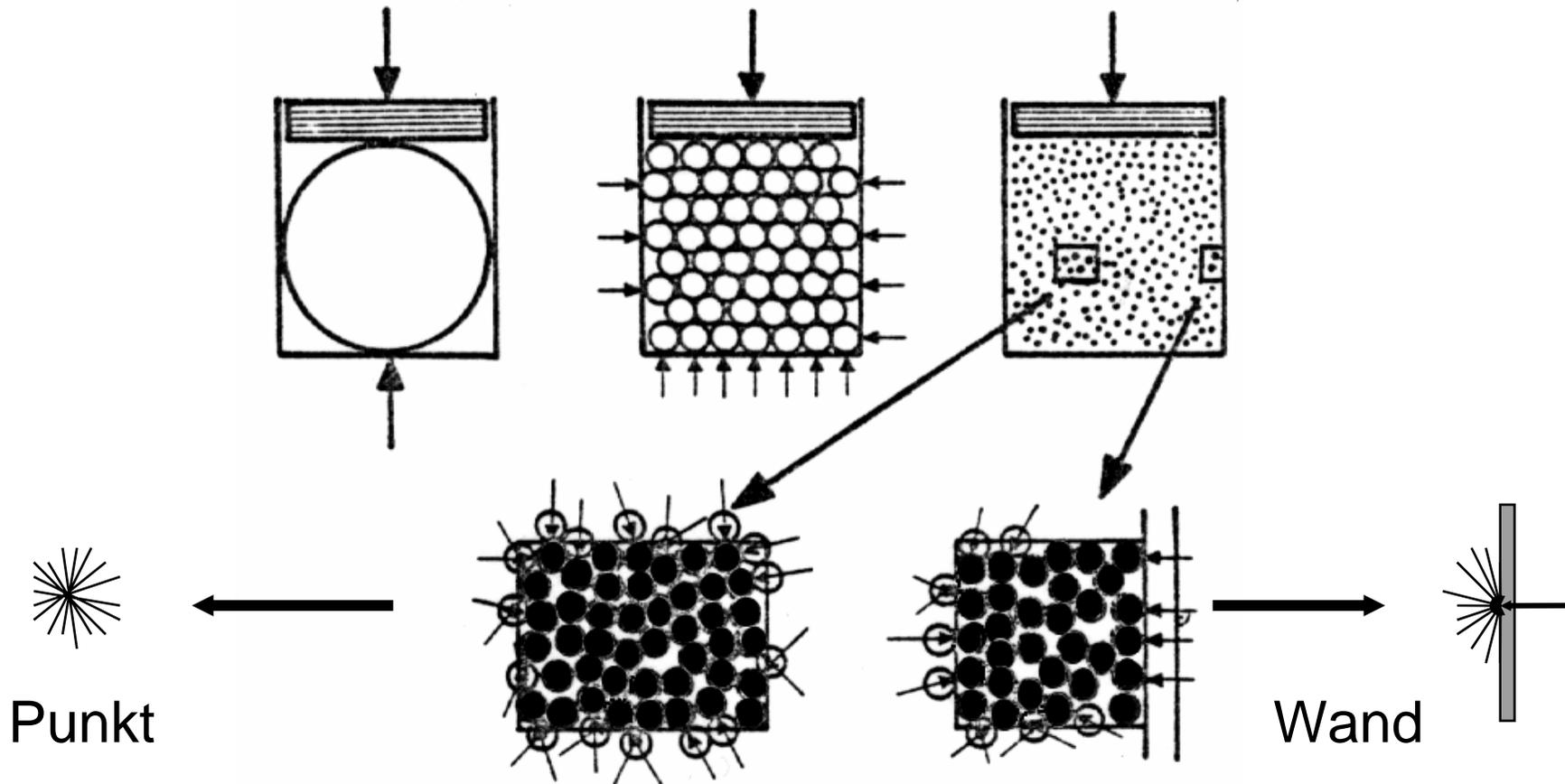


Hydrostatik

- 1.01 Gedankenmodell: Festkörper - Flüssigkeit
- 1.02 Kolbendruck nach Pascal
- 1.03 Hydrostatischer Druck infolge der Schwerkraft
- 1.04 Druck und Druckkräfte an ebenen Wänden
- 1.05 Druckmittelpunkt an ebenen Wänden
- 1.06 Druck an gekrümmten Flächen
- 1.07 Archimedisches Auftriebsprinzip
- 1.08 Schwimmende Körper
- 1.09 Schwimmstabilität
- 1.10 Zusätzliche Beschleunigungen



1.01 Einführung: Gedankenmodell zur Unterscheidung zwischen Festkörpern u. Flüssigkeiten



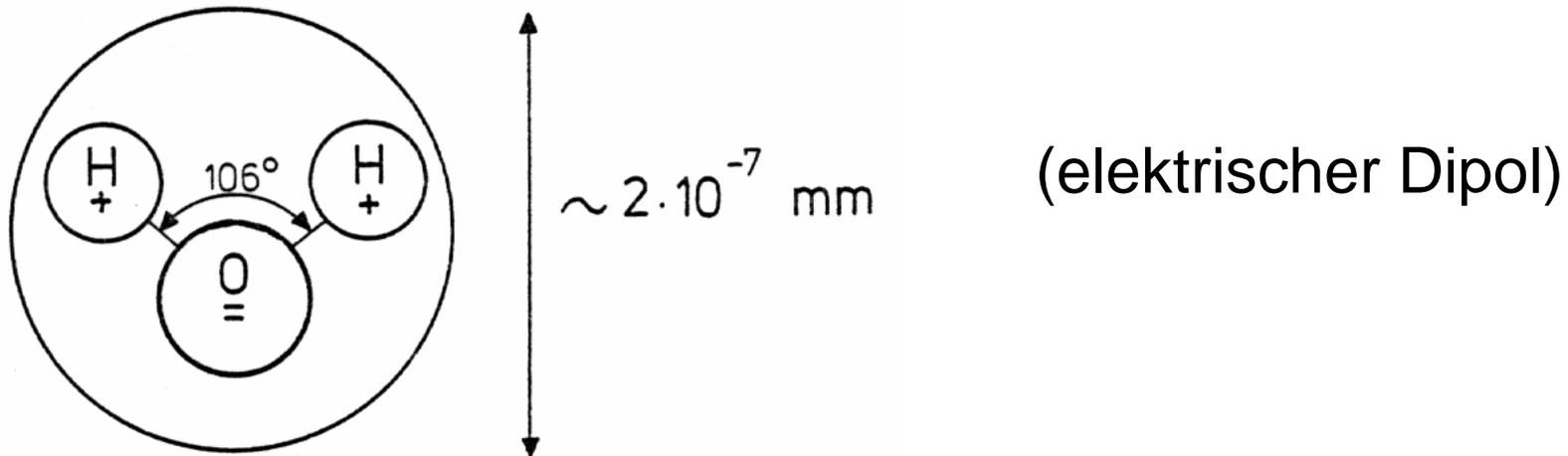
Annahme: Masselose Kugeln, Reibung weder zwischen den Kugeln noch zwischen Kugeln und Gefäßwandungen.



- Eine *zentrisch* in die Kolbenfläche eingeleitete Kraft wird durch die einzelnen Kugeln fortgeleitet und tritt am *Gefäßboden* als Reaktionskraft auf.
- Wird die Kraft über die starre Kolbenplatte auf eine Anzahl von gleichmäßig "auf Lücke" gestapelten gleich großen Kugeln übertragen, sind Reaktionskräfte gleicher Größe vorstellbar, die sowohl am Gefäßboden als auch an den Gefäßwänden jeweils senkrecht wirken. Die Anzahl der Reaktionskräfte entspricht der Anzahl der Kontaktpunkte an den Wänden und am Boden. Zwischen den Kugeln weisen die Wirkungslinien der Übertragungskräfte einen Schnittwinkel von 60° auf.
- Je kleiner die Kugeln werden und je *unregelmäßiger* deren Stapelung, desto mehr gleichen sich die Einzelkräfte in gedachten *Kontrollschnitten* aus und zwischen den Kugeln ergeben sich unterschiedlichste Wirkungslinien der Übertragungskräfte. Nur an den festen Begrenzungen (Gefäßwänden und am Boden) sind die Reaktionskräfte jeweils senkrecht.



Das H_2O -Molekül kann als Kugel angenommen werden:



Neben der unregelmäßigen Anordnung der Moleküle sind außer den H_2O -Molekülen auch Deuteriumoxyd-Moleküle vorhanden, die unterschiedlich groß sind. (Deuterium D = Wasserstoff-Isotop mit Atomgewicht 2; $\text{H}_2\text{O} : \text{D}_2\text{O} = 500:1$).

(Im Umkehrschluss müssten Flüssigkeiten, die aus exakt gleichen Molekülen bestehen, in ihrem Innern Polarisierungen bezüglich ihres Druckes aufweisen.)



Schlussfolgerungen:

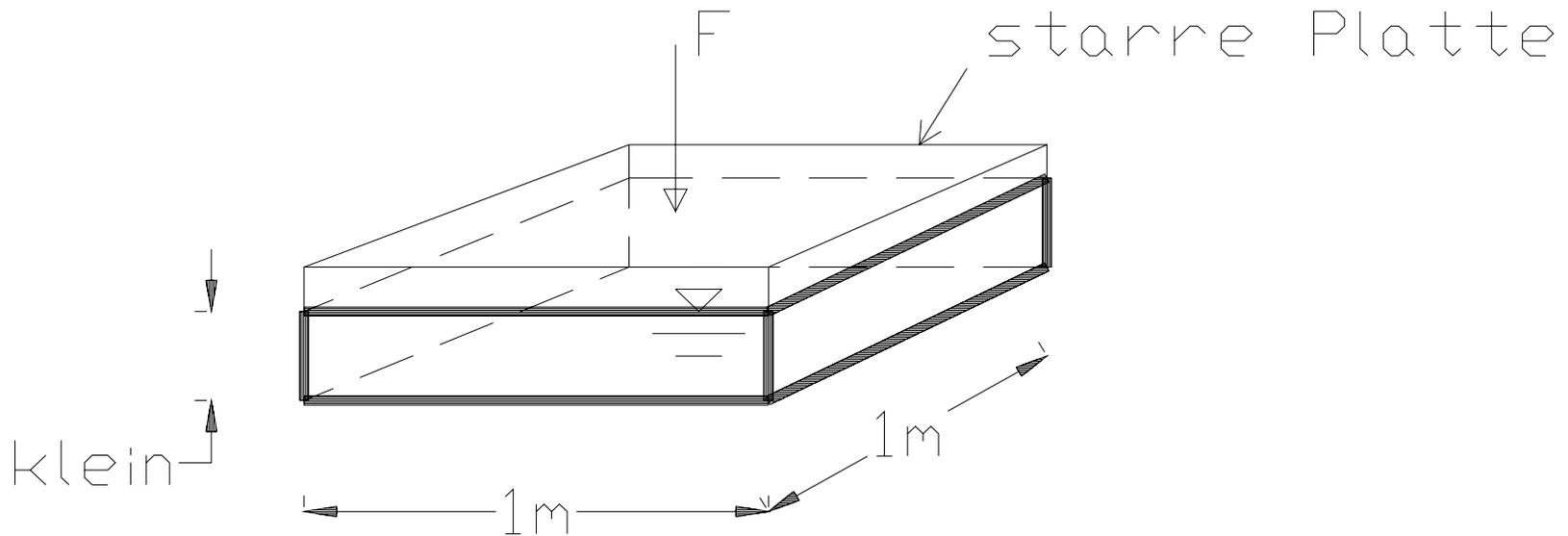
Werden die Kontaktkräfte auf die Berandungen der als sehr klein gedachten Kontrollvolumina bezogen, kann von einem *Druck in Flüssigkeiten* gesprochen werden. Hierfür gelten die eigentlichen Folgerungen des Gedankenmodells

- An einem *Punkt* in der Flüssigkeit wirkt der Druck (= die Druckspannung) nach allen Richtungen gleich. Der Druck ist also keine gerichtete Größe (kein Vektor) sondern ein *Skalar*.
- An *festen Begrenzungen (Wänden, Böden)* wirkt der Flüssigkeitsdruck *stets senkrecht* auf die begrenzende Fläche.
- Flüssigkeiten können keine Zugspannungen aufnehmen, d.h., an einer Flüssigkeitssäule können keine Zugkräfte zur Wirkung gebracht werden. (Hier sind jedoch nicht die elektromagnetischen zwischenmolekularen Wirkungen wie Adhäsions- und Kohäsionskräfte bzw. Kapillarkräfte gemeint).



1.02 Kolbendruck n. Pascal

Wirkt auf eine eingeschlossene Flüssigkeit eine äußere Kraft F , so entsteht ein über die gesamte Flüssigkeit gleichmäßig wirkender Druck (= Druckspannung) $p = F/A$ in kN/m^2 oder in kPa .

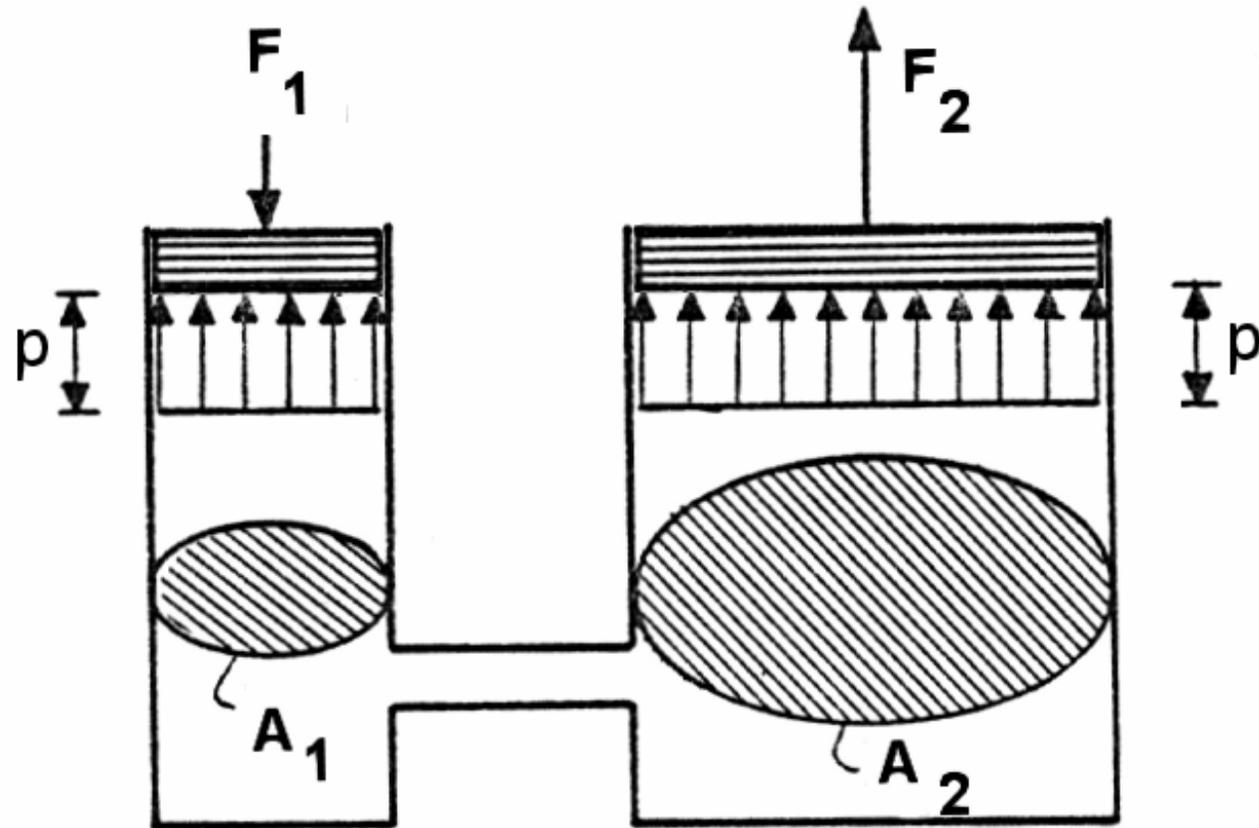


Hier ist A [in m^2] die Kontaktfläche, über die die Kraft F [in kN] auf die Flüssigkeit einwirkt.

Gegeben: $A = 1 \cdot 1 = 1 \text{m}^2$, $F = 10 \text{ kN}$

Druck $p = F/A = 10 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ kPa}$.

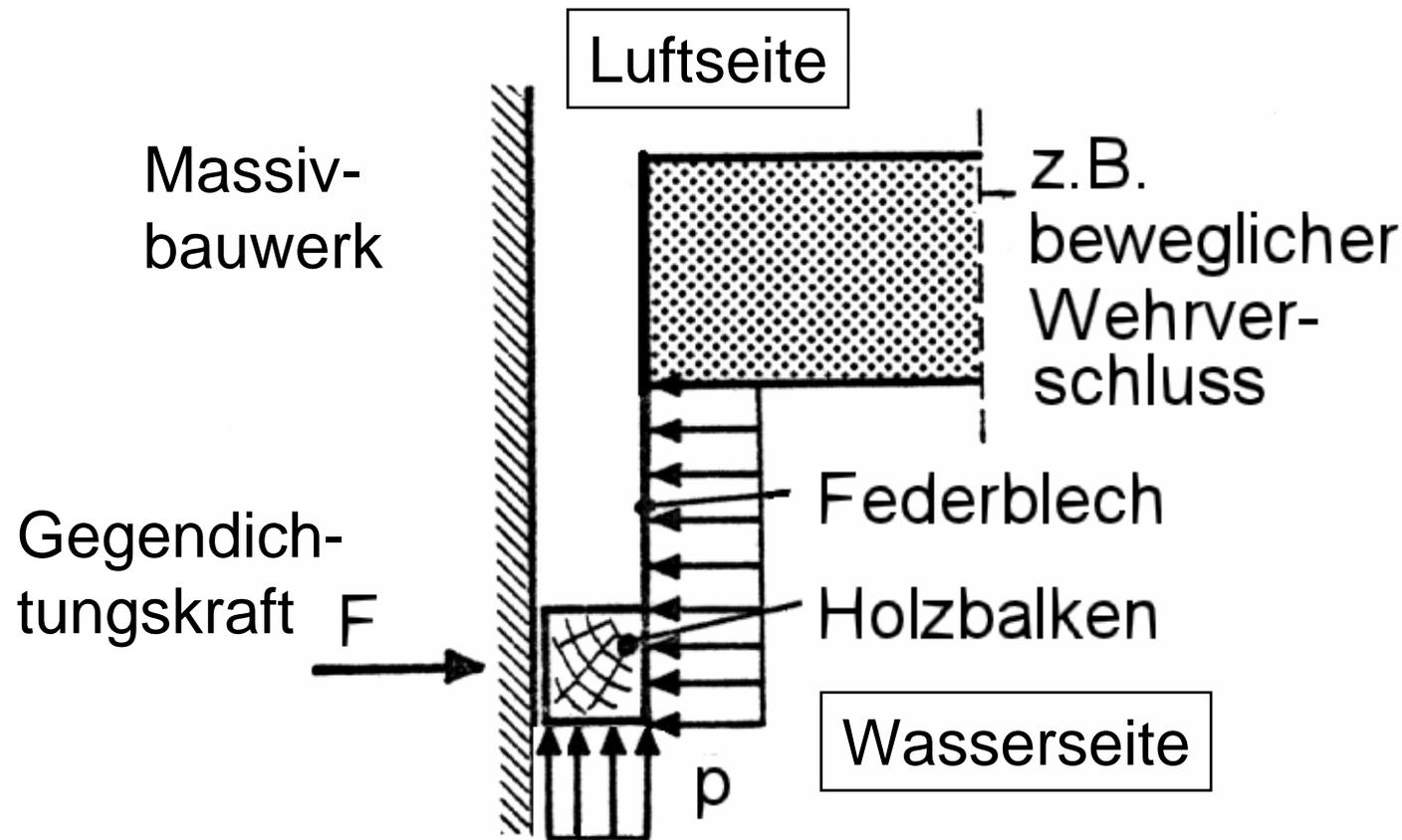
Prinzip Hydraulische Presse



$$p = F_1/A_1 = F_2/A_2$$

$$F_2 = p \cdot A_2 = A_2 \cdot F_1/A_1$$

Federblechdichtung



Horizontalschnitt durch ein Absperrschütz mit Dichtung

Hydraulisches Dichtungsprinzip: Der Flüssigkeitsdruck bewirkt eine elastische Verformung des Dichtungselementes (hier: hauptsächlich des Bleches) mit der Folge, dass Dichtheit erzielt wird.

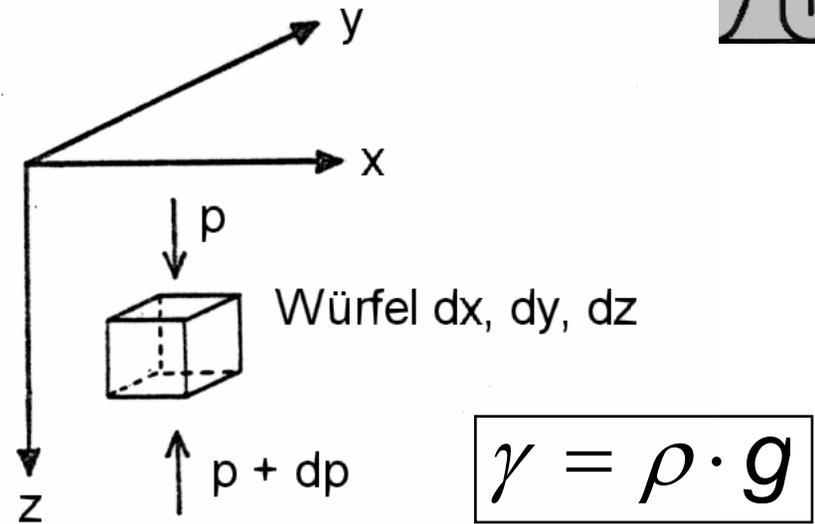


1.03 Schweredruck

x-y-Ebene = Flüssigkeitsspiegel

Flüssigkeitswürfel im Gleichgewicht:

Horizontale Druckspannungen
bzw. Seitenwandkräfte heben ein-
ander auf.



In senkrechter Richtung wirken die Kräfte:

$$p \cdot dx \cdot dy + dx \cdot dy \cdot dz \cdot \gamma - (p + dp) \cdot dx \cdot dy = 0$$

(nach unten) (nach oben)

$$p + dz \cdot \gamma - p - dp = 0$$

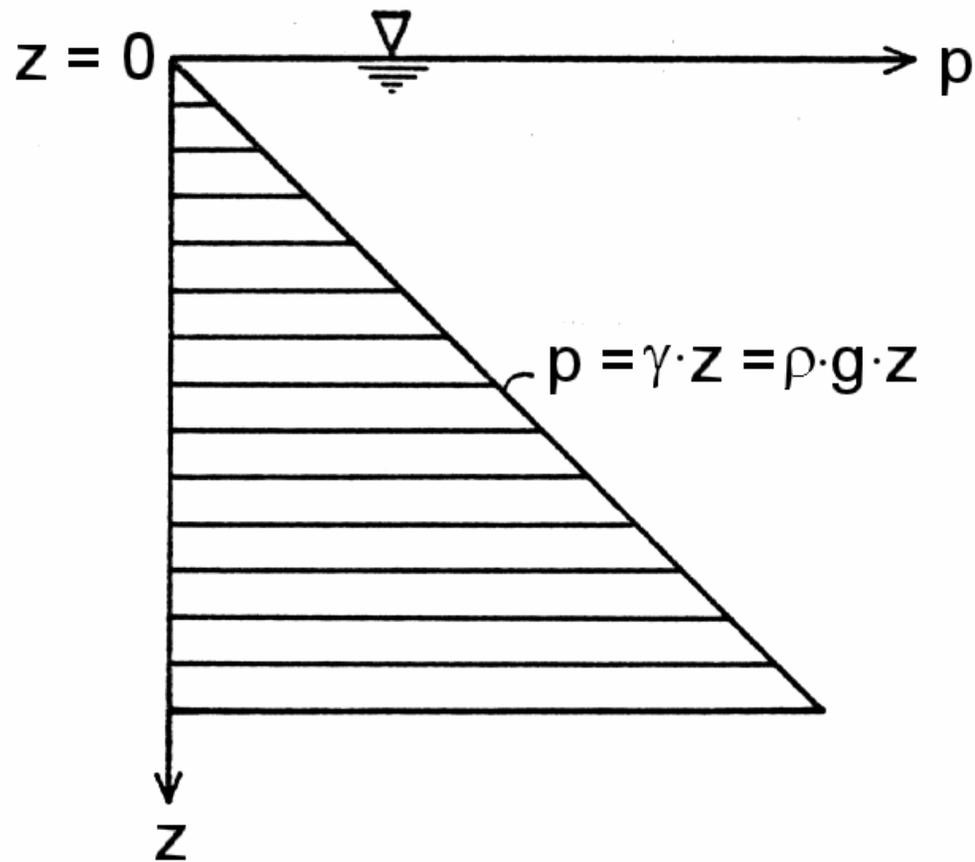
$$dp = \gamma \cdot dz = \rho \cdot g \cdot dz$$

Nach Integration:

$$\boxed{p = p_0 + \gamma \cdot z} \quad \text{oder} \quad \boxed{p = p_0 + \rho \cdot g \cdot z}$$

p_0 = Integrationskonstante

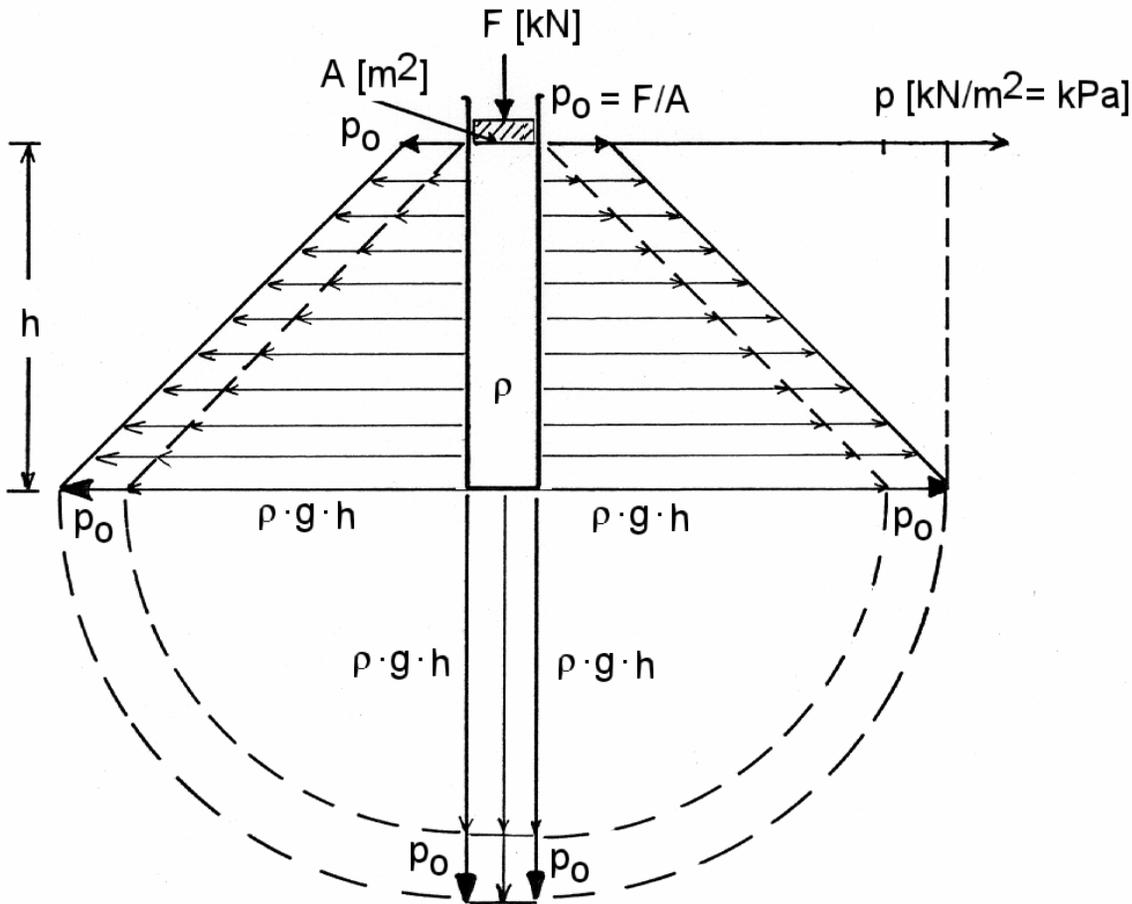
Schweredruck



Infolge der Schwerebeschleunigung nimmt der Schweredruck linear mit der Flüssigkeitstiefe zu.



Überlagerung von Kolbendruck und Schweredruck



Entsprechend dem bei der Ableitung des Schweredruckes erhaltenen Ergebnis sind grundsätzlich die Randbedingungen des Systems zu berücksichtigen.

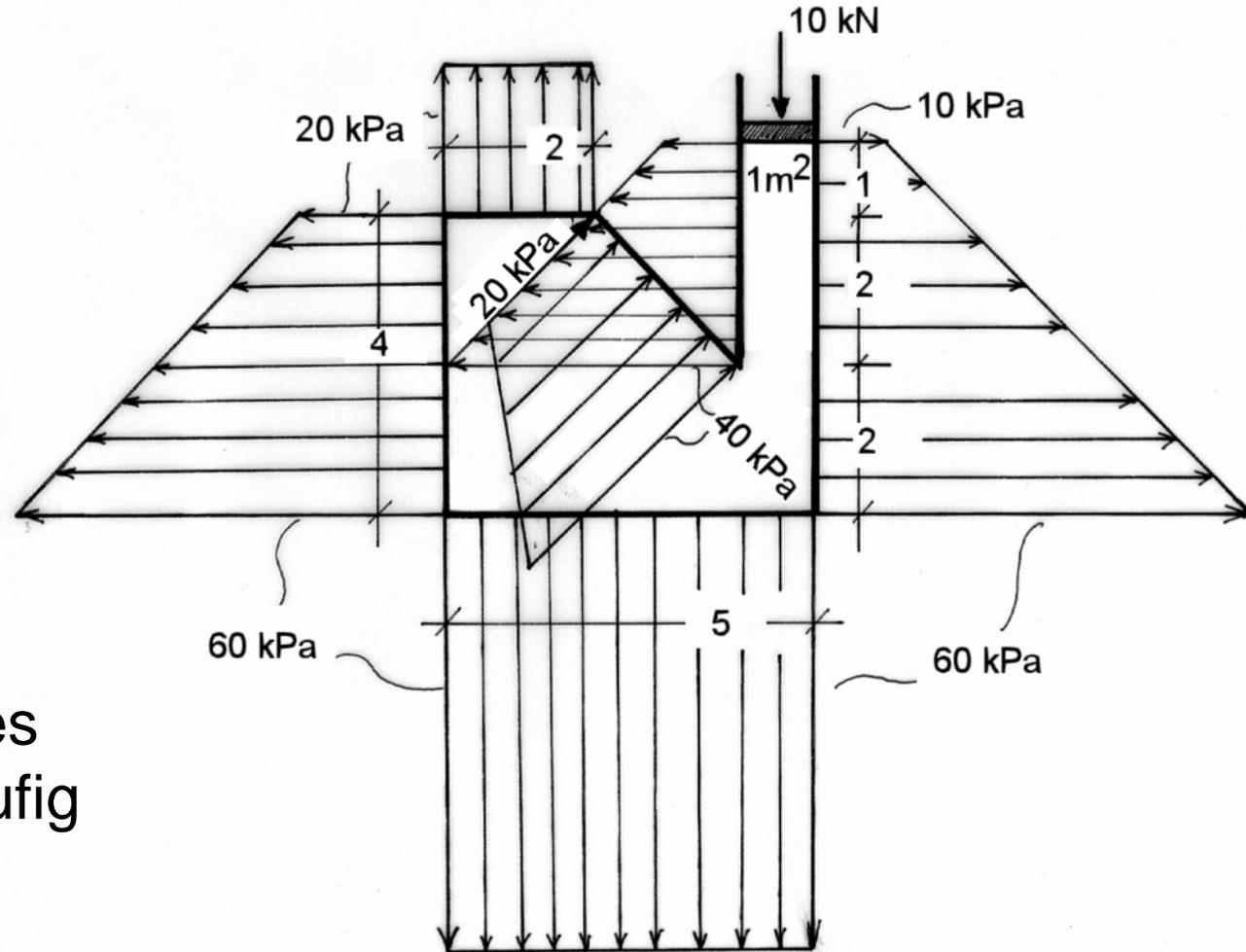
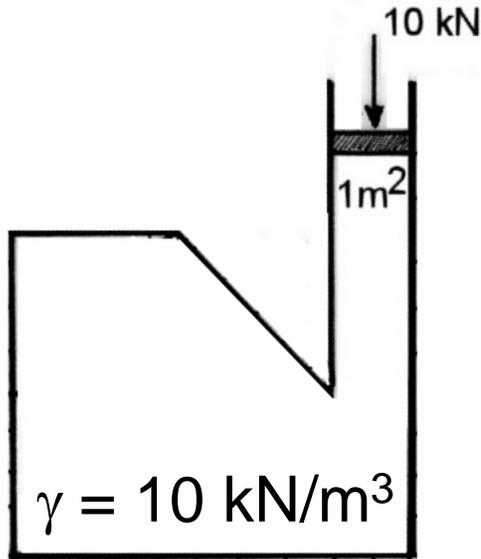
p_0 kann dabei auch als zusätzlich wirkender Kolbendruck auftreten.

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot z$$

$$p = p_0 + \gamma \cdot z$$

Auf der Erde ist tatsächlich der barometrische Luftdruck p_B (als Randbedingung) allen hydraulischen Drucksystemen *überlagert*.

Aufgabe: Druckspannungen an den Wandungen eines Druckgefäßes



Für die *Wichte* des Wassers wird häufig $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ verwendet.



Dichte ρ und Wichte γ des Wassers in Abhängigkeit von Temperatur und Salzgehalt.

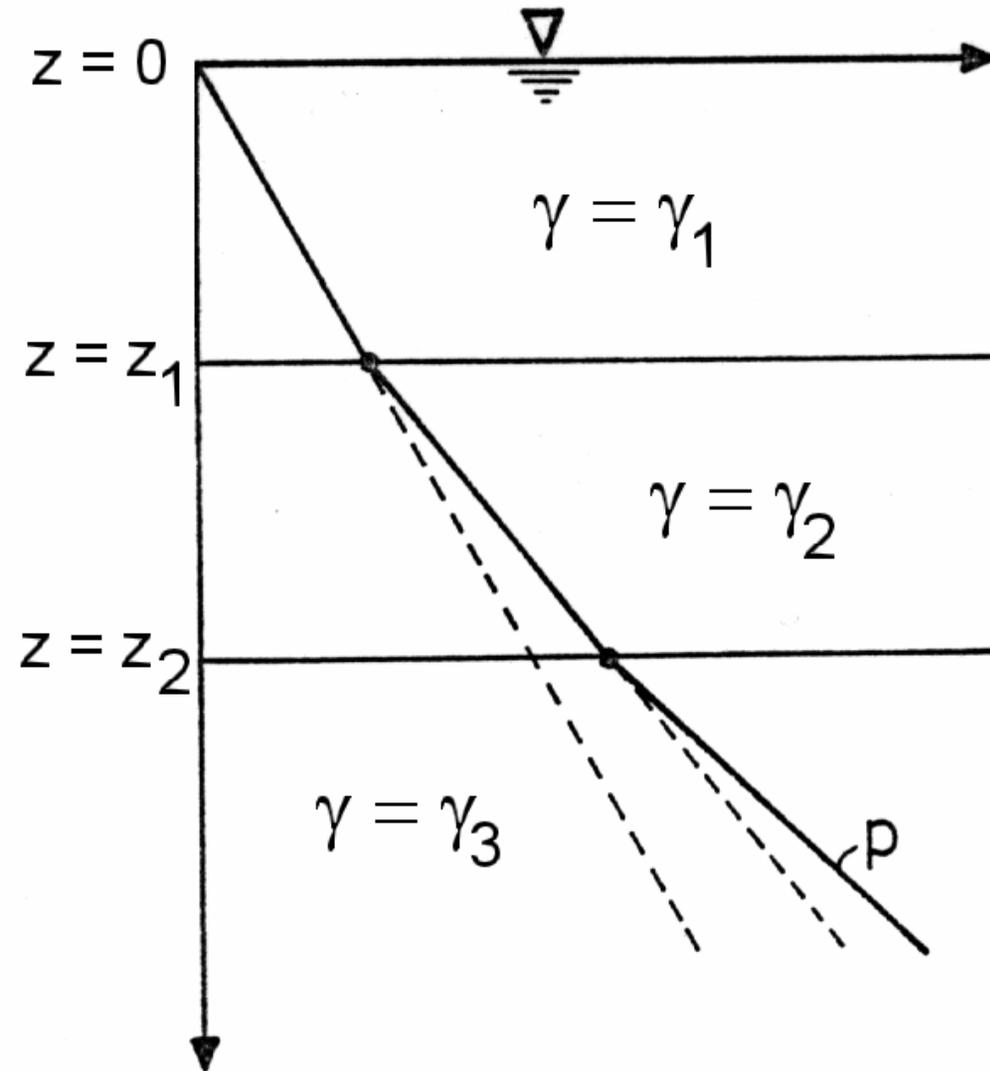
		SALZGEHALT								
		‰	0	5	10	15	20	25	30	35
TEMPERATUR	0	999,9 (0,981)	1004,0 (0,985)	1008,0 (0,989)	1012,0 (0,992)	1016,1 (0,996)	1020,1 (1,000)	1024,1 (1,004)	1023,1 (1,008)	1279,2 (1,254)
	5	1000,0 (0,981)	1004,0 (0,985)	1008,0 (0,988)	1011,9 (0,992)	1015,9 (0,996)	1019,8 (1,000)	1023,7 (1,004)	1027,7 (1,008)	1278,9 (1,254)
	10	999,8 (0,980)	1003,7 (0,984)	1007,6 (0,988)	1011,4 (0,992)	1015,3 (0,996)	1019,2 (0,999)	1023,1 (1,003)	1027,0 (1,007)	1277,1 (1,252)
	15	999,2 (0,980)	1003,0 (0,984)	1006,8 (0,987)	1010,7 (0,991)	1014,5 (0,995)	1018,3 (0,999)	1022,1 (1,002)	1026,0 (1,006)	1274,7 (1,250)
	20	998,3 (0,979)	1002,1 (0,983)	1005,9 (0,986)	1009,6 (0,990)	1013,4 (0,994)	1017,2 (0,998)	1021,0 (1,001)	1024,8 (1,005)	1272,4 (1,248)
	25	997,1 (0,978)	1000,9 (0,982)	1004,6 (0,985)	1008,4 (0,989)	1012,1 (0,993)	1015,8 (0,996)	1019,6 (1,000)	1023,4 (1,004)	1271,1 (1,246)
	30	995,7 (0,976)	999,4 (0,980)	1003,1 (0,984)	1006,9 (0,987)	1010,6 (0,991)	1014,3 (0,995)	1018,0 (0,998)	1021,7 (1,002)	1271,4 (1,247)
	35	994,1 (0,975)	997,8 (0,978)	1001,5 (0,982)	1005,1 (0,986)	1008,8 (0,989)	1012,5 (0,993)	1016,2 (0,997)	1019,9 (1,000)	1274,2 (1,250)
	40	992,3 (0,973)	995,9 (0,977)	999,6 (0,980)	1003,2 (0,984)	1006,9 (0,987)	1010,6 (0,991)	1014,2 (0,995)	1017,9 (0,998)	1280,2 (1,255)
	45	990,3 (0,971)	993,9 (0,975)	997,5 (0,978)	1001,1 (0,982)	1004,7 (0,985)	1008,4 (0,989)	1012,1 (0,993)	1015,8 (0,996)	1290,1 (1,265)
50	988,1 (0,969)	991,6 (0,972)	995,2 (0,976)	998,8 (0,979)	1002,4 (0,983)	1006,0 (0,987)	1009,7 (0,990)	1013,4 (0,994)	1304,8 (1,280)	

ρ [0,001t/m³]
 $(\gamma$ [10kN/m³])

Besondere Salzgehalte: Ozeane rd. 3%, Totes Meer(1986) 33%.



Druck in geschichteten Flüssigkeiten



Bereich 1: $0 < z \leq z_1$

$$p = \gamma_1 z$$

Bereich 2: $z_1 \leq z \leq z_2$

$$p = \gamma_1 z_1 + \gamma_2 (z - z_1)$$

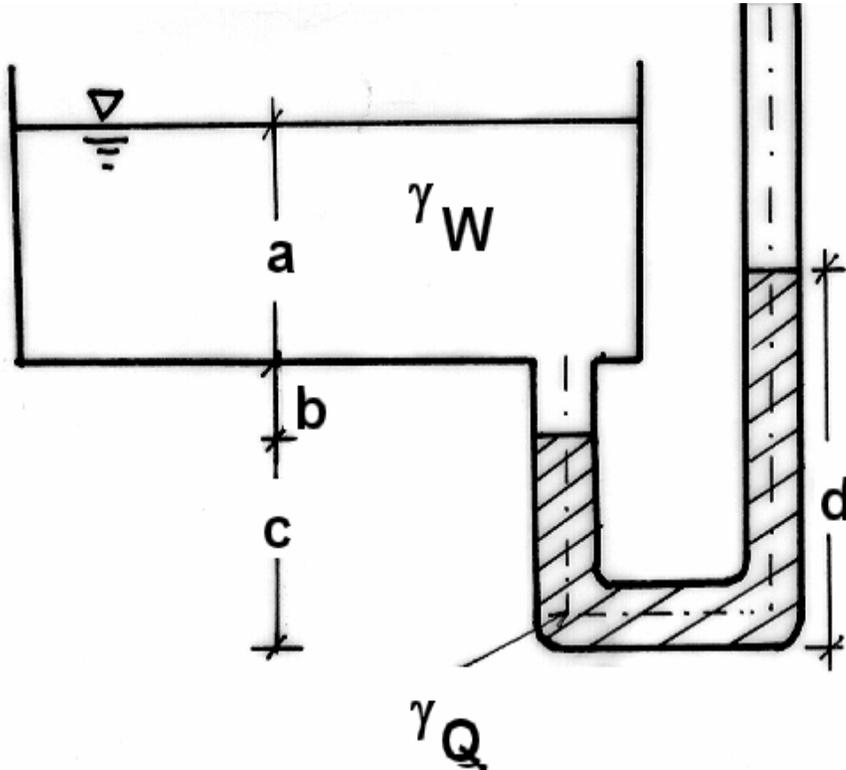
Bereich 3: $z \geq z_2$

$$p = \gamma_1 z_1 + \gamma_2 (z_2 - z_1) + \gamma_3 (z - z_2)$$

Besondere Bedeutung bei Brackwasserzonen in Tidegebieten !



Aufgabe: In einem Behälter - Rohr - System befinden sich die Flüssigkeiten Wasser und Quecksilber in der dargestellten Schichtung im Gleichgewicht.



gegeben: $\gamma_W = 10 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_Q = 135 \text{ kN/m}^3$

$a = 1,0 \text{ m}$

$b = 0,4 \text{ m}$

$c = 0,5 \text{ m}$

Die Länge d sei unbekannt und soll berechnet werden.

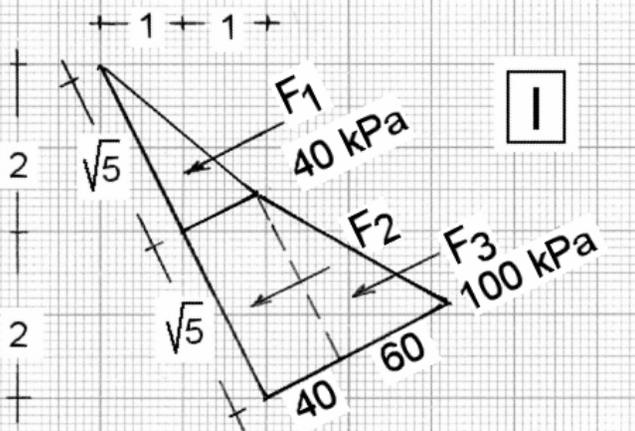
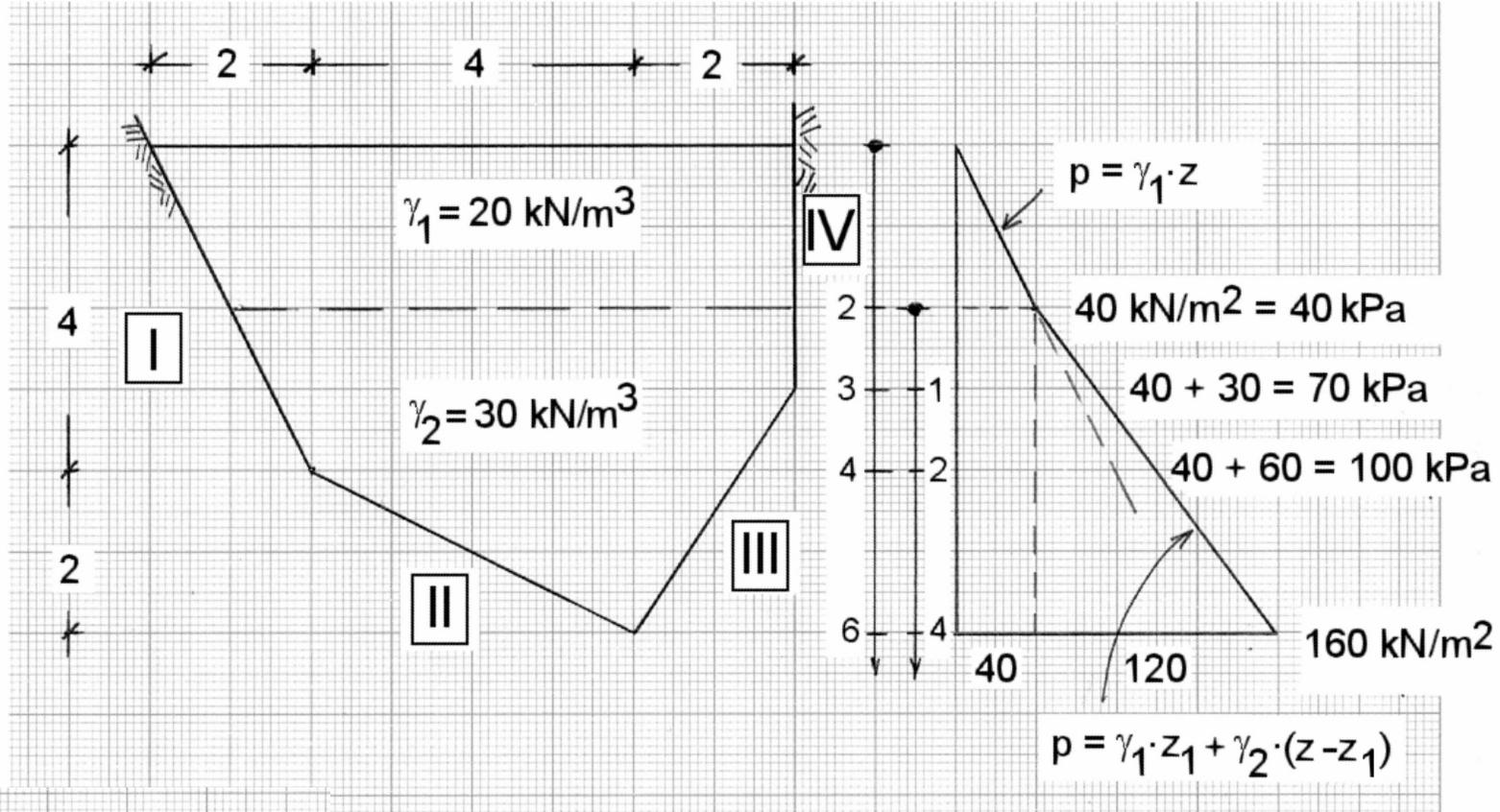
Stellen Sie eine Gleichgewichtsbedingung bezüglich der Niveaufäche durch die Trennfläche der Flüssigkeiten (Höhenlage c) auf !

$$\gamma_W(a + b) + \gamma_Q \cdot c = \gamma_Q \cdot d$$

$$d = \frac{\gamma_W(a + b) + \gamma_Q c}{\gamma_Q} = \frac{81,5}{135} = 0,6037 \text{ m}$$



Aufgabe: Geschichtete Flüssigkeiten in einer Grube



$$F_1 = 40 \cdot \frac{2,24}{2} = 44,80 \text{ kN}$$

$$F_2 = 40 \cdot 2,24 = 89,60 \text{ kN}$$

$$F_3 = 60 \cdot \frac{2,24}{2} = 67,20 \text{ kN}$$



Prüfungsvorleistungen Anteil Hydromechanik bezüglich der Klausur “Grundlagen der Wasser- und Abfallwirtschaft”

(erstmalig nach dem 4. Vorlesungssemester)

Es wird die Ausarbeitung dreier Aufgaben aus der Hydromechanik gefordert:

1. Ermittlung der Wandkräfte für das Beispiel “Geschichtete Flüssigkeiten in einer Grube” (Kräftepoligon sowie Berechnung von Horizontal- und Vertikalkomponenten).
2. Auflagerermittlung eines Walzenwehres
3. Leistungsfähigkeit einer Rohrleitung (Nachweis der Funktionsfähigkeit eines Rohrhebers).

Abgabetermin: 3. Vorlesungswoche des SS.