UNIVERSITÄT PADERBORN
Die Universität der Informationsgesellschaft

Grundlagen der Elektrotechnik - Einführung

Bachelor Maschinenbau
Bachelor Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau
Bachelor Chemieingenieurwesen

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Katrin Temmen
Fachgebiet Technikdidaktik
Institut für Elektrotechnik und Informationstechnik
Kontakt: Katrin.Temmen@upb.de
Raum: P1.6.09.2
Tel: 05251 / 60-3004

Organisation

Vorlesung **Mo. 14:00 – 15:30 Uhr in Hörsaal P5.2.01**

Übung **Mo. 15:45 – 16:30 Uhr in Hörsaal P5.2.01**
Nur große Übungen, Aufgaben werden vorgerechnet.
Vorlesungs- und Übungsunterlagen in PAUL

Tutorien Stephan Schmitz und Vitali Borger
3 Termine pro Woche, Terminabstimmung heute
Rechnen in Kleingruppe, Ergebnis an Tafel präsentieren

Prüfung Klausur, 3 Rechenaufgaben mit ca. 10 Kurzfragen,
2 seitige Formelsammlung erlaubt,
Dauer: 1,5 Std.

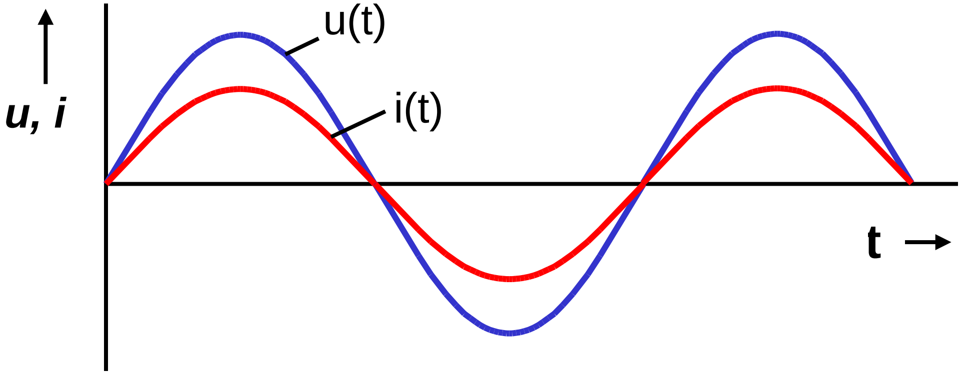
Bonuspunkte 2 Probeklausuren (vor. 12.12. und 30.1.)

Sprechstunden nach Vereinbarung

Organisation

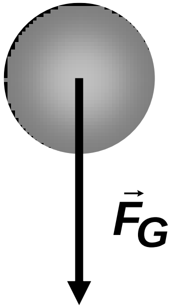
Darstellung der Formelzeichen

Kleine Buchstaben für zeitlich veränderliche Größen,
aber auch für geometrische Größen
und physikalische Konstanten



Große Buchstaben für zeitlich konstante Größen, hier: elektrische Ladung

Vektoren mit Pfeil,
hier: Gewichtskraft



Literatur zur Vorlesung

Manfred Albach: Grundlagen der Elektrotechnik 1
- Erfahrungssätze, Bauelemente, Gleichstromschaltungen -
(gutes Grundlagenbuch, Inhalte stimmen mit Vorlesung überein)
Pearson Studium, 2005

Manfred Albach: Grundlagen der Elektrotechnik 2
- Periodische und nicht periodische Signalformen -
(gutes Grundlagenbuch, Inhalte stimmen mit Vorlesung überein)
Pearson Studium, 2005

Busch, Rudolf: Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer und Verfahrenstechniker, Vieweg/Teubner, 2011, Elektronische Ressource in der Bibliothek UPB
(gutes Grundlagenbuch, Inhalte stimmen weitgehend mit Vorlesung überein)

Hermann Linse, Rolf Fischer: Elektrotechnik für Maschinenbauer - Grundlagen und Anwendungen, Vieweg/Teubner
(geht weit über Vorlesungsstoff hinaus, Themen vergleichsweise kurz abgehandelt)

Joachim Böcker, Reihold Noé: Skript zur Vorlesung GET MB, Fassung WS 2009/2010

Klaus Meerkötter: Komplexe Zahlen und komplexe Wechselstromrechnung, 2009
(Link: http://ont.uni-paderborn.de/index.php?98051)

Inhaltsübersicht

Beispiel Fahrzeugbau

Quelle: Volkswagen

Beispiel Kraftwerksbau

Quelle: RWE

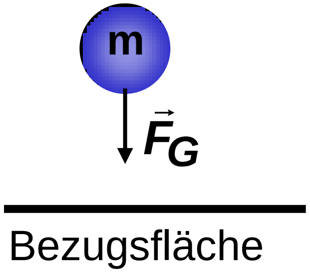
Beispiel Offshore Windenergie-Anlagen

„Nichts hilft dem **Gedächtnis** so sehr als das **vollständige Verständnis** der Sache“

Giacappo Aconcio

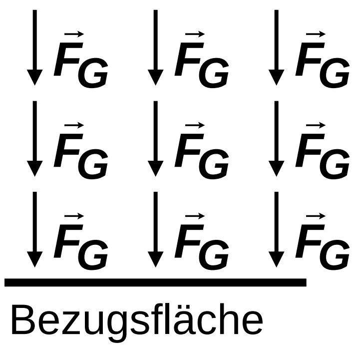
„Der menschliche Geist ist Einheit von **Gedächtnis**, **Einsicht** und **Willen**. Das Ganze ist nicht größer als das Kleinste.“

Augustinus



Methode: Feldcharakterisierung

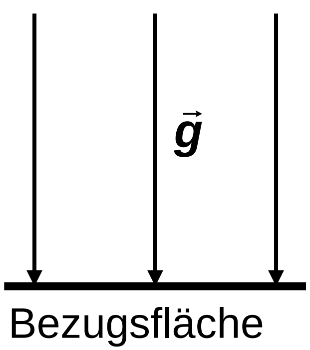
Bestimmung von Größe (in **N**) und Richtung der Gewichtskraft $\mathbf{F_G}$ einer Probemasse **m** (z.B. mit einer Federwaage)



Die Vektoren $\overrightarrow{\mathbf{F_G}}$ repräsentieren das Gravitationsfeld.

⇒ **Vektorfeld**

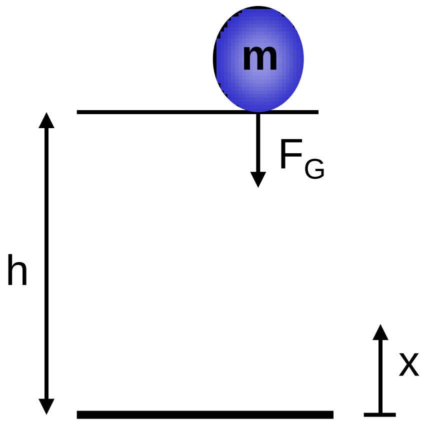
In der Darstellung werden die Vektoren durch **Feldlinien** ersetzt.



Die Gewichtskraft ist von der Probemasse **m** abhängig.
Die Stärke des Feldes muss unabhängig von der Probemasse **m** sein.

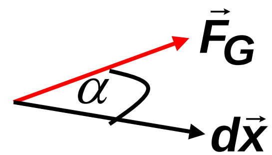
Die Feldstärke (Gravitationsbeschleunigung **g** in **m/s²**) ergibt sich aus der Gewichtskraft normiert auf die Probemasse **m**:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_G}{m}$$



Bestimmung der potentiellen Energie der Masse m

$$W = \int_h^0 \vec{F}_G \, d\vec{x}$$



$$\vec{F}_G \, d\vec{x} = F_G \cdot \cos(\alpha) \, dx$$

$$W = -\int_h^0 F_G \, dx$$

Skalarprodukt

$$W = -\int_h^0 m \cdot g \, dx$$

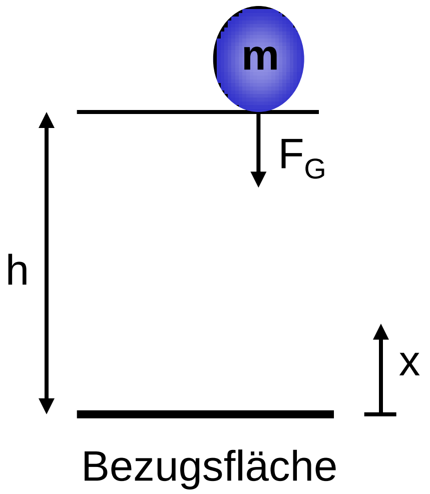
mit $F_G = m \cdot g$

$$W = m \cdot g \cdot \left(-\int_h^0 dx \right)$$

$$W = m \cdot g \cdot [-x]_h^0$$

$$W = m \cdot g \cdot h$$

Die potentielle Energie **W** in **Nm** oder **J** ist unabhängig vom ausgewählten Weg und hängt nur von Anfangs- und Endpunkt des Weges ab. Hier ist (wie allgemein üblich) die potentielle Energie auf der Bezugsfläche (x=0) gleich Null gesetzt worden.



Die Feldstärke (Gravitationsbeschleunigung **g**) ergibt sich aus der Normierung der Gewichtskraft auf die Probemasse **m**

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_G}{m}$$

Die potentielle Energie hängt ebenfalls von der Probemasse **m** ab. Das Potential des Gravitationsfeldes ist nach Definition die auf die Probemasse **m** normierte potentielle Energie.

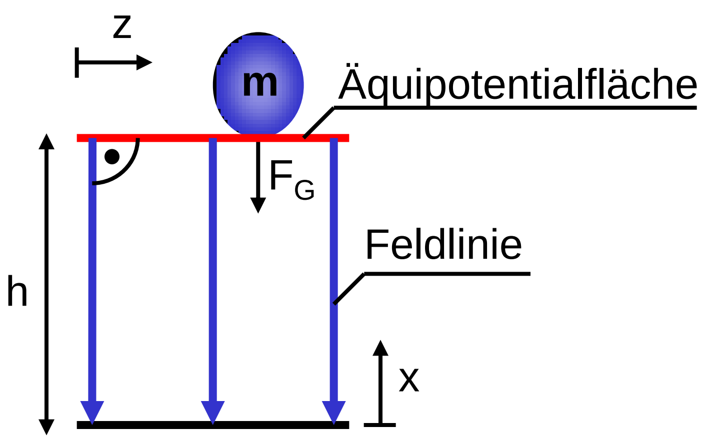
$$\varphi_g = \frac{W}{m}$$

Einheit: _______

$$\varphi_g = g \cdot h$$

oder allgemein $\varphi_g = \int \vec{g}\, d\vec{x}$

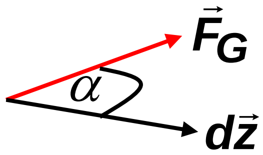
Die Bezugsfläche hat nach Definition das Potential Null. Somit ist **jedem** Punkt im Raum ein eindeutiges Potential zugeordnet. Damit handelt es sich beim Gravitationsfeld um ein **skalares Potentialfeld**.



$$W = m \cdot g \cdot h \qquad \text{und} \qquad \varphi_g = \frac{W}{m}$$

Die potentielle Energie ist auf den senkrecht zur Kraftrichtung (Feldlinien) stehenden Flächen konstant.
Verschiebungsenergie W_A in z-Richtung ?

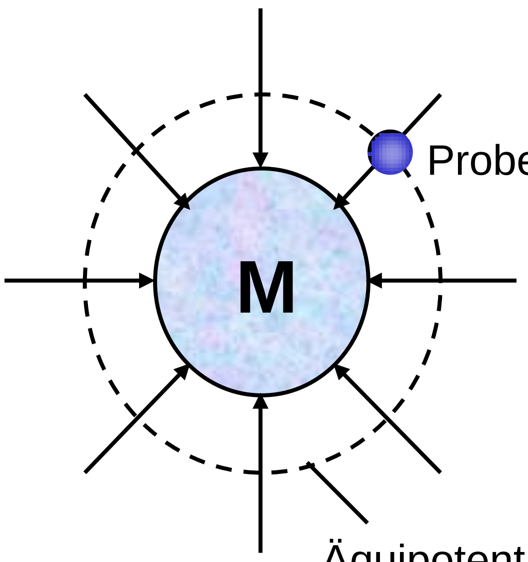
$$W_A = \int_A \vec{F}_G \, d\vec{z}$$



$$\vec{F}_G \, d\vec{z} = F_G \cdot \cos(90°)\, dz$$ Skalarprodukt

$$W_A = 0$$

Damit ist das Potential des Gravitationsfeldes auf den senkrecht zu den Feldlinien stehenden **Äquipotentialflächen** konstant.



Zusammenfassung **Feldeigenschaften**:

Eine **Masse M** verändert die physikalische Struktur des Raumes, es entsteht ein **Gravitationsfeld**.

- Kraftwirkung auf **Probemasse** durch Gravitationsbeschleunigung in Richtung des Mittelpunktes der Masse **M**.

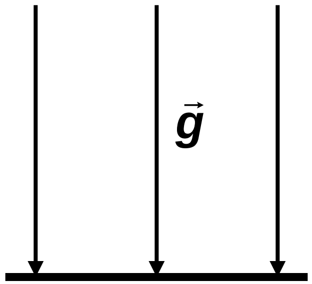
⇨ **Radialfeld**

- Kraftwirkung wird durch Feldlinien dargestellt
- **Feldlinie** gibt **Richtung** der Kraft an

⇨ **Vektorfeld**

- Für jeden Punkt ist ein **Potential** definiert
- **Äquipotentialflächen** verlaufen **senkrecht** zu den Feldlinien

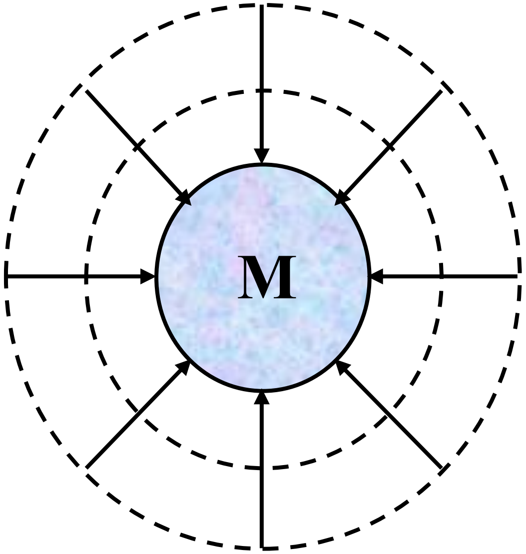
⇨ **skalares Potentialfeld**



Zusammenfassung **Feldeigenschaften**:

- Sind Richtung und Größe der Feldstärke unabhängig vom Ort immer gleich, dann liegt ein **Homogenfeld** vor.

- Im Radialfeld nimmt die Feldstärke eines Potentialfeldes mit dem Quadrat der Abstände der Mittelpunkte ab.



$$g = k \cdot \frac{1}{r^2}$$

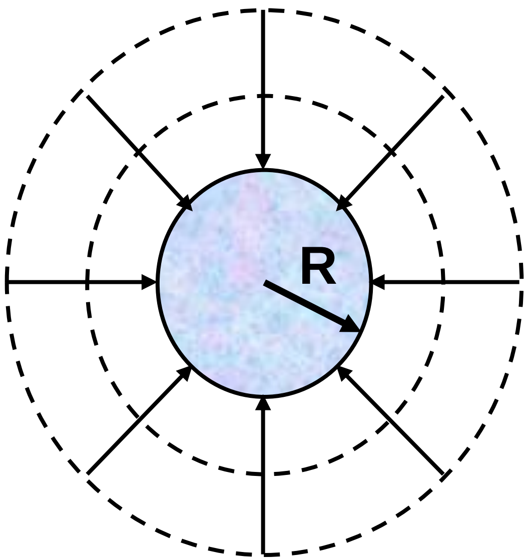
- **Feldliniendichte** ist proportional zum **Betrag** der Kraft und somit auch zur **Feldstärke**
- Im Radialfeld ist die Feldliniendichte **n/A(r)** eine Funktion des Abstands.
- Verändern sich Richtung und Größe der Feldstärke mit dem Ort, dann liegt ein **inhomogenes Feld** vor.

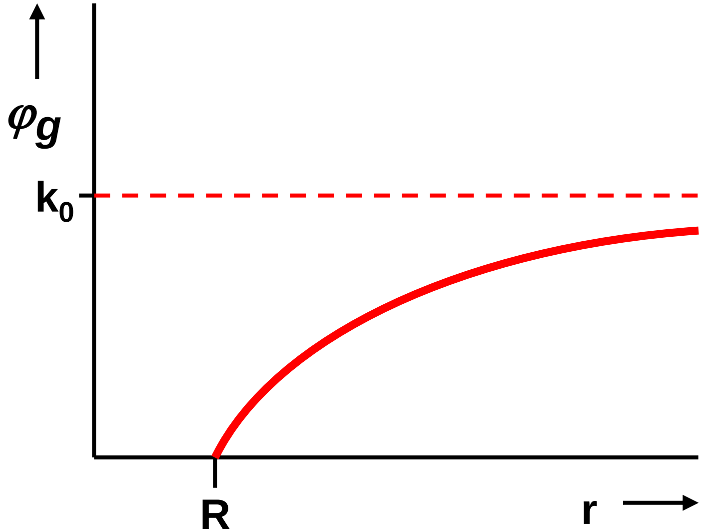
A(r) = Flächeninhalt der Äquipotentialflächen
n = Anzahl aller Feldlinien

Das Potentialfeld ergibt sich aus der Integration der Feldstärke $g = k \cdot \frac{1}{r^2}$

$$\Rightarrow \quad \varphi_g = \int \vec{g}\, d\vec{x} \quad \Rightarrow \quad \varphi_g = -\int_r^R k \cdot \frac{1}{\rho^2}\, d\rho$$

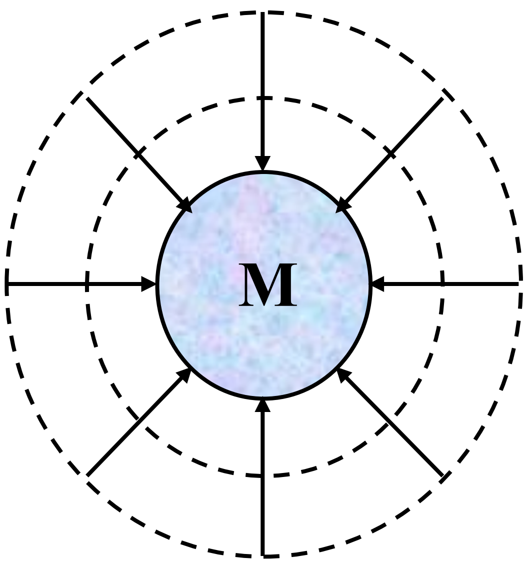
$$\Rightarrow \quad \varphi_g = k \cdot \left[\frac{1}{r}\right]_r^R \quad \Rightarrow \quad \varphi_g = k \cdot \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right) = k_o - k \cdot \frac{1}{r}$$

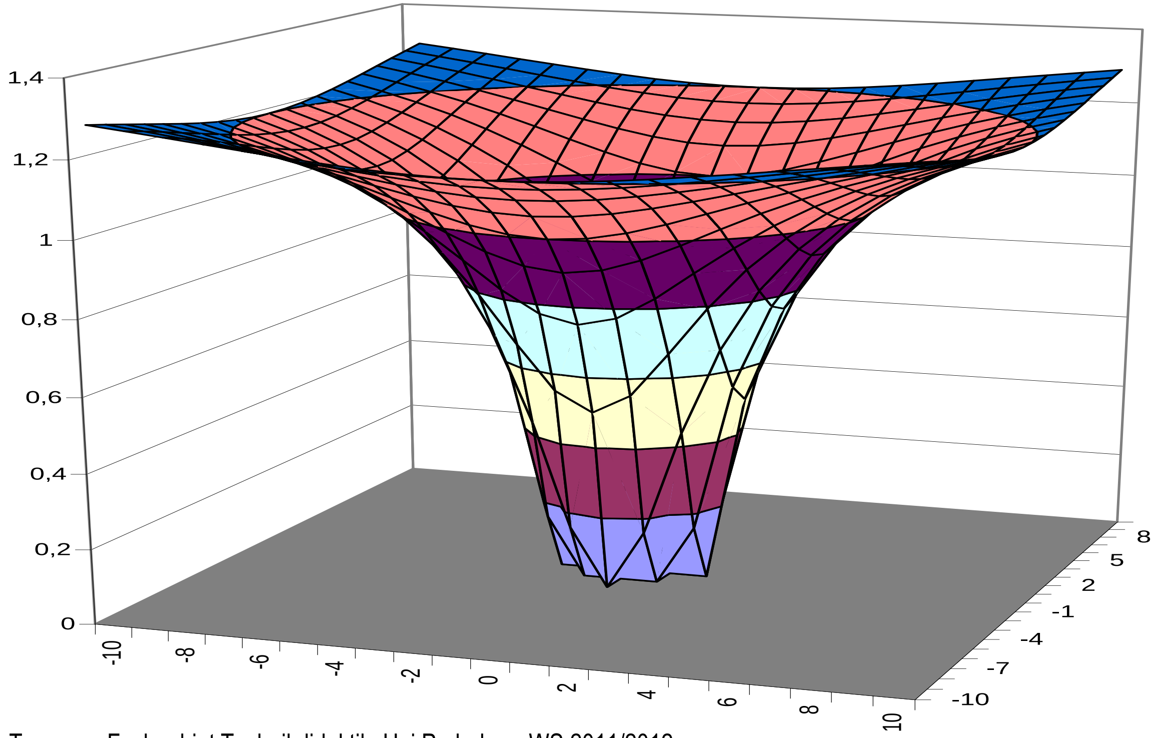




Das **Potentialfeld** kann für einen Schnitt durch die Anordnung als dreidimensionale Oberfläche dargestellt werden.

Die Höhenlinien sind Äquipotentiallinien (Kreislinien).





Aus dem **Potentialfeld** kann über die maximale Steigung in jedem Punkt die Feldstärke ermittelt werden.

- Begründung: Umkehrung der Integration zur Energiebestimmung
- Die mathematische Operation für die Bestimmung von Richtung und Betrag der maximalen Steigung ist der **Gradient**
- Der Gradient wird auf eine skalare Größe angewendet. Das Ergebnis ist ein Vektorfeld.

Definition **Gradient** $$\boldsymbol{grad}\ \varphi = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)$$ **= Zeilenvektor (x y z)**

Für ein **Radialfeld** gibt es **nur** eine Abhängigkeit vom Radius (radiale Richtung)

Vereinfachter Gradient $$\boldsymbol{grad}\ \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial r}$$

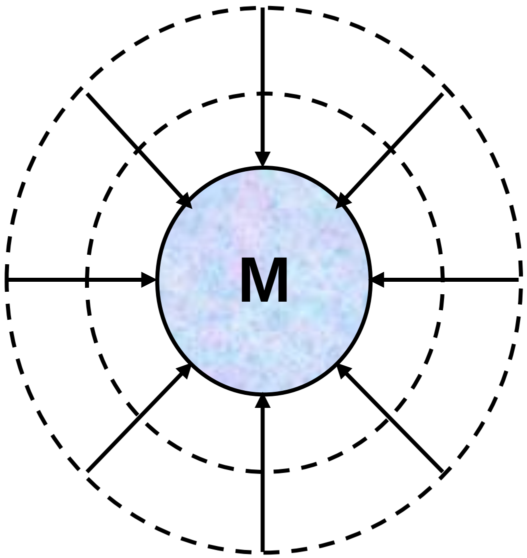
Feldstärke **g** (Gravitationsbeschleunigung) ergibt sich aus der Potentialdefinition

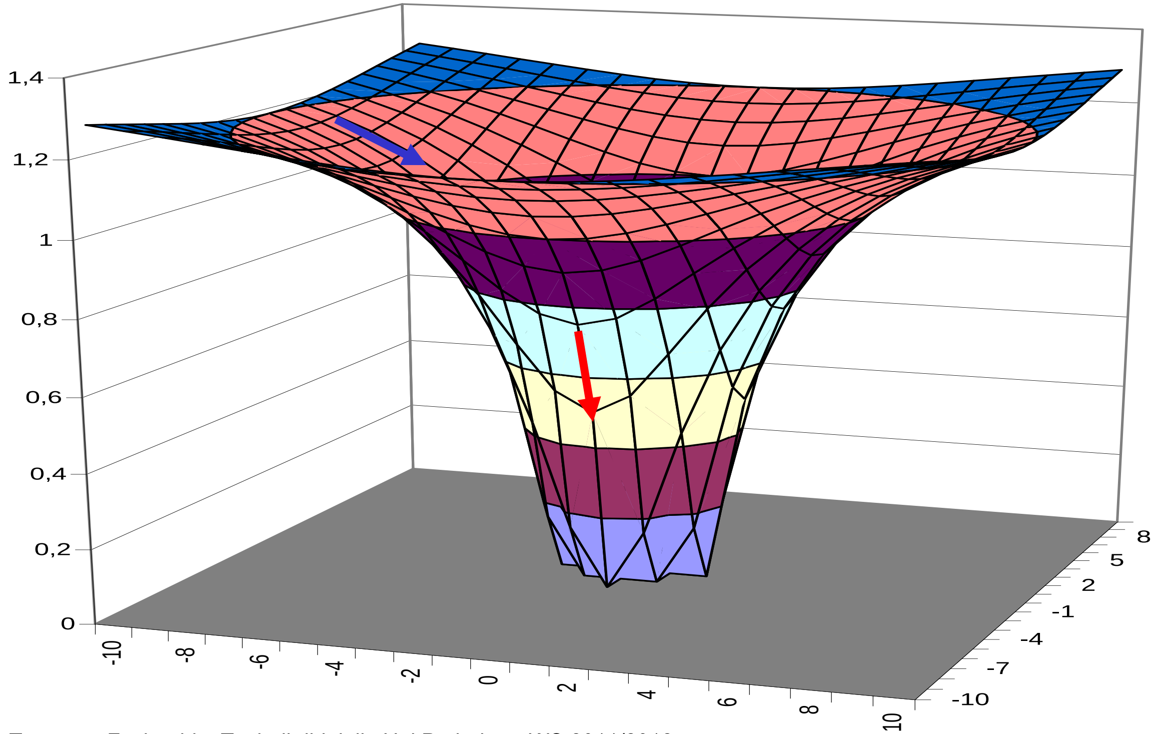
$$\vec{g} = -\boldsymbol{grad}\ \varphi = \left[-\frac{\partial \varphi}{\partial r} \right]_{r-Komponente}$$

$$g_r = -\frac{\partial}{\partial r}\left(k_o - k \cdot \frac{1}{r} \right) = -k \cdot \frac{1}{r^2}$$

- Die negative Steigung der Oberfläche ist ein Maß für die Feldstärke
- Im Radialfeld nimmt die Feldstärke eines Potentialfeldes mit dem Quadrat der Abstände der Mittelpunkte ab.

$$g_r = -k \cdot \frac{1}{r^2}$$





Überlagerung von Feldern

- Bei Feldern ergibt sich das Gesamtfeld durch Überlagerung (lineare **Superposition**) der Einzelfelder
- durch Addition der Potentiale
- durch Addition der Kräfte nach Betrag und Richtung