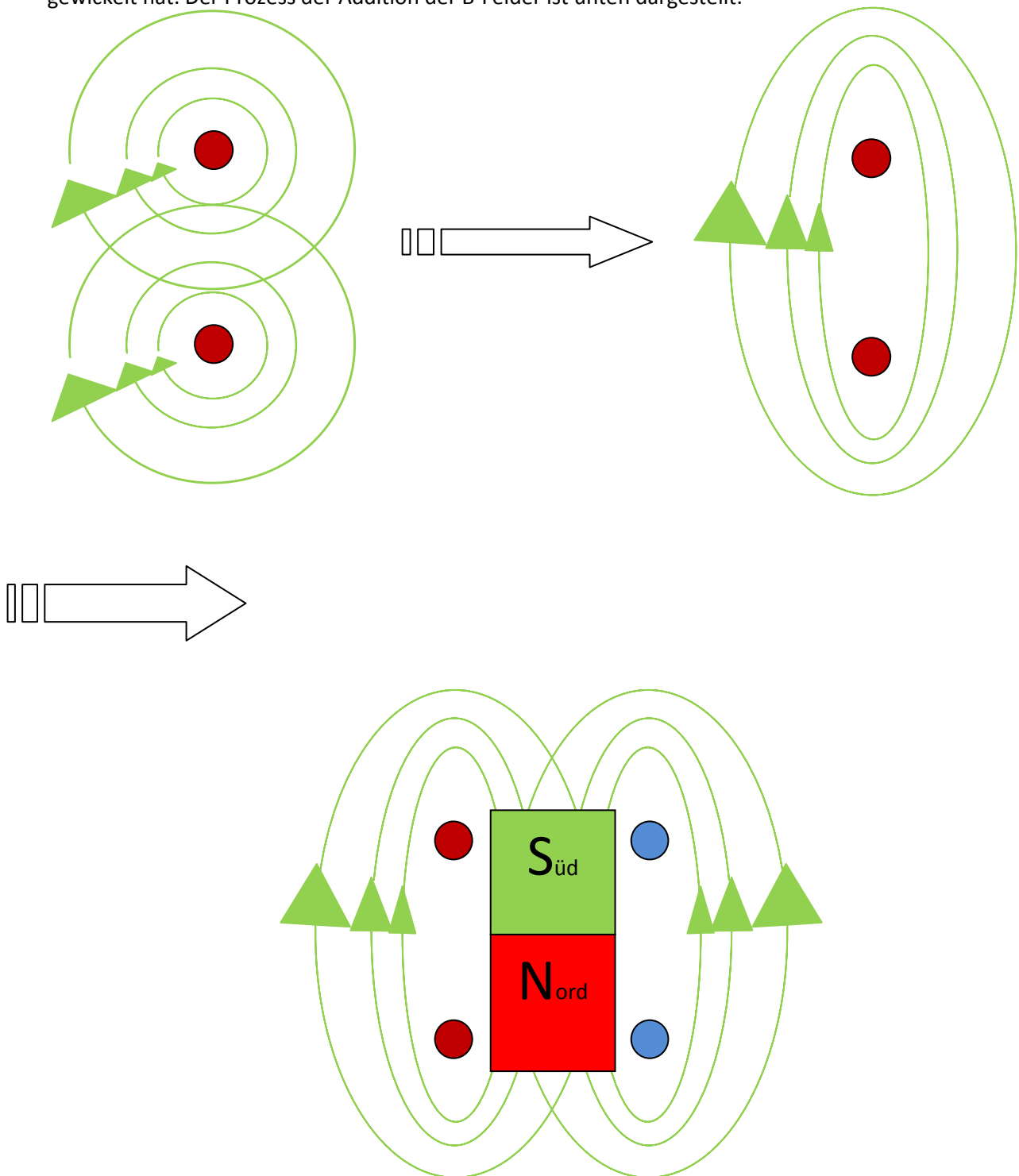
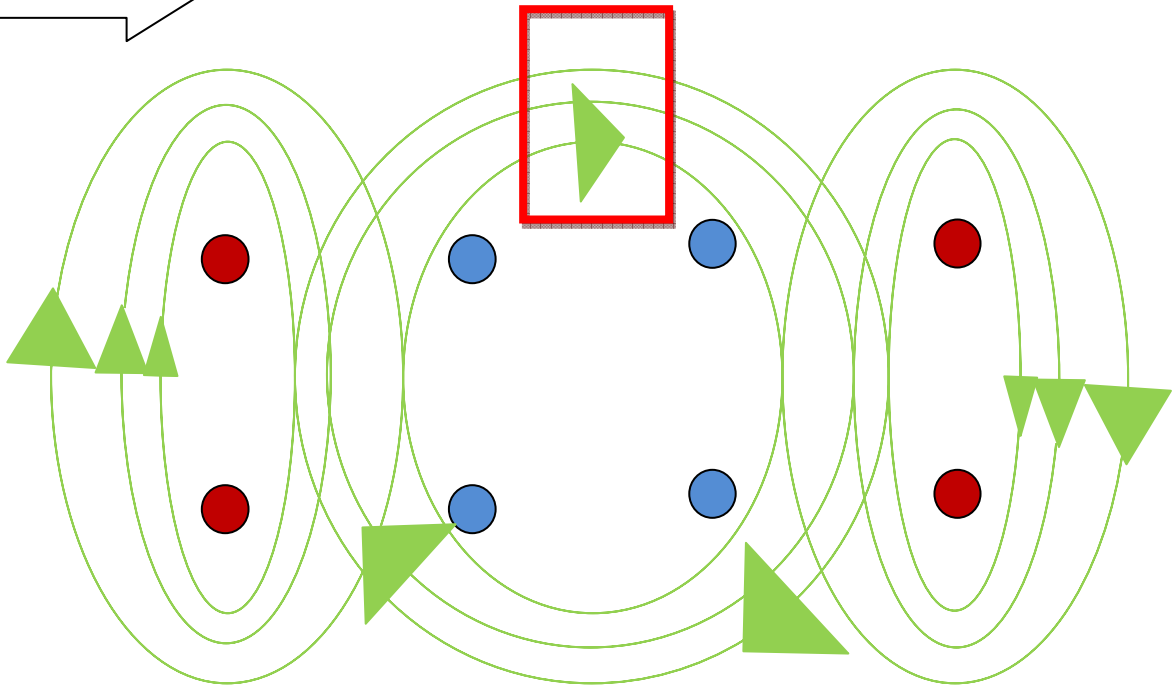
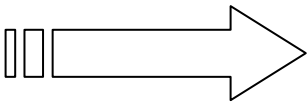
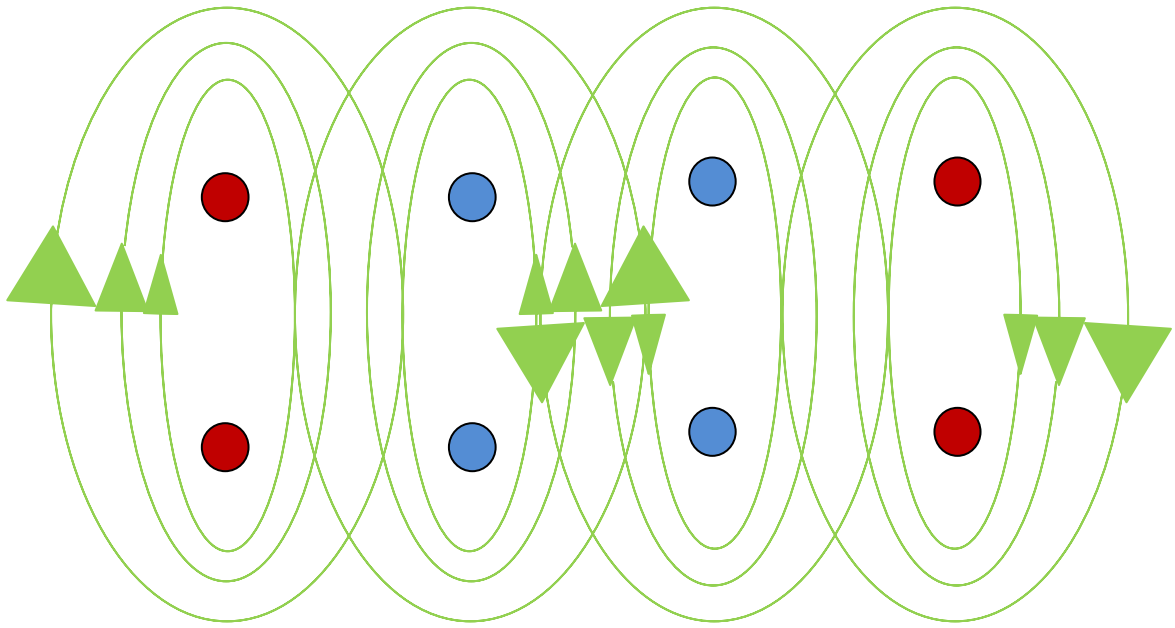
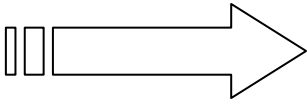


Die magnetische Feldstärke

In Versuchsreferenz 1.2 haben wir die auf einen stromdurchflossenen Leiter wirkende Kraft mithilfe von Kraftmesser und Laserwaage gemessen. Durch vorherige Erkenntnisse wissen wir, dass der Magnet und der stromdurchflossene Leiter B-Felder bilden. Der schlaue Physiker macht sich jetzt diese B-Felder zunutze, indem er einen stromdurchflossenen Leiter spiralsch zu einer Spule gewickelt hat. Der Prozess der Addition der B-Felder ist unten dargestellt:





Wir haben hier also die Entstehung der „künstlichen“ Magnetfelder ein bisschen nachvollzogen, indem wir die B-Felder der Spulendrähte betrachtet haben. Wichtig ist, dabei die Regeln der B-Felder nicht zu vergessen, bei der die Techniker mit zwei linken Händen versagen:

Linke Hand Regel

Physikalische Stromrichtung

Sie beschreibt die Flussrichtung der Elektronen. Der Daumen muss am Kabel entlang also zum Pluspol oder zur Kathode zeigen.

Rechte Hand Regel

Technische Stromrichtung

Sie beschreibt die Flussrichtung der Protonen. Der Daumen muss am Kabel entlang also zum Minuspol oder der Anode zeigen.

Wenn wir die Regeln nun auf die Zeichnungen anwenden, schließen wir, dass **blaue Leiter** Elektronen aus dem Blatt heraus befördern und **rote Leiter** Elektronen schlucken, vom Leser betrachtet, natürlich.

Dabei habe ich in der letzten Zeichnung auch ein rotes Kästchen eingezeichnet, was relevant sein wird, um die magnetische Feldstärke herzuleiten. Da Physiker von Natur aus etwas chaotisch und ungenau sind, betrachtet er die elektromagnetisch induzierten Feldlinien als parallel, da die Beugung über dem kleinen Abschnitt für das Auge sowieso nicht sichtbar und im Verstand nur schwer nachzuvollziehen ist und dadurch irrelevant wird. Für die weitere Herleitung ist es noch wichtig zu wissen, in welche Richtung sich Feldlinien ausrichten.

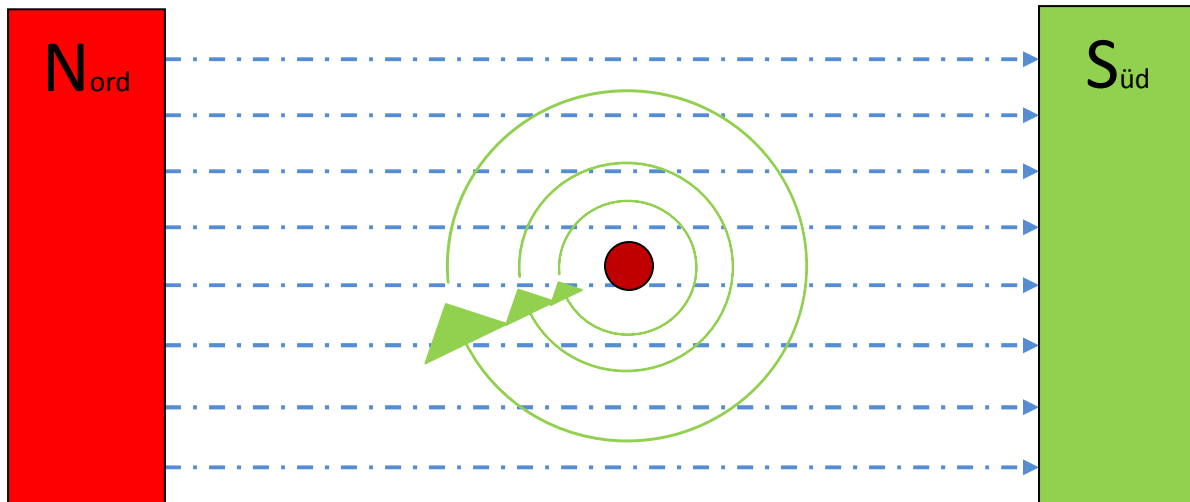
Feldlinien bewegen sich immer von **Nord** nach **Süd**.

Hier noch schnell eine Eselsbrücke, falls du einen Magneten zur Hand hast:

Nord → **R**ot

Süd → **G**rün

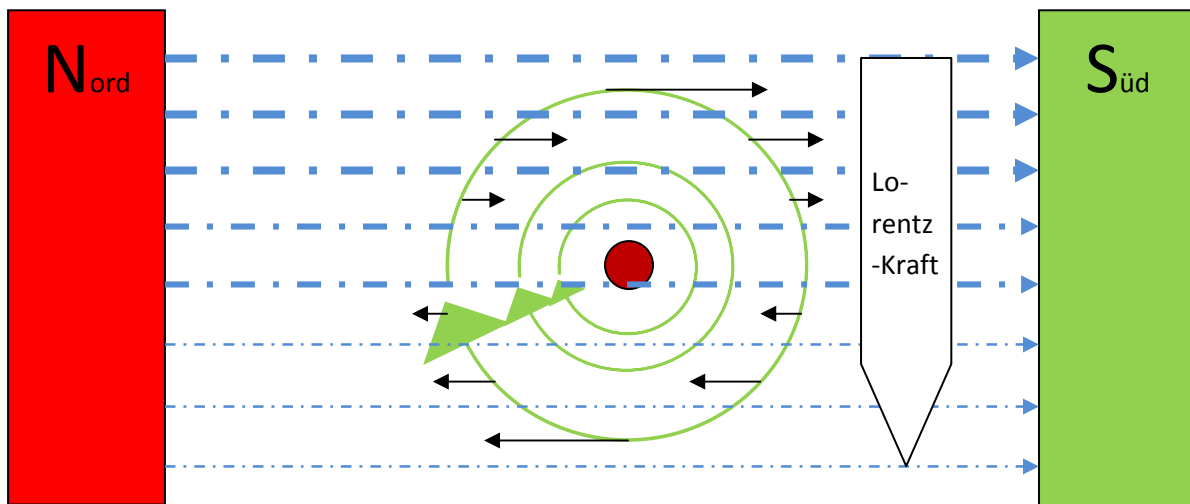
Im Folgenden werden wir dann einen stromdurchflossenen Leiter in das homogene Feld unseres roten Kästchens bringen um dann durch die resultierende Lorentz-Kraft die Feldstärke unseres „künstlichen“ Magneten zu bestimmen. Hier dazu ein Bild:



Wie die Lorentz-Kraft zustande kommt, will ich hier nur kurz erläutern. Leiter, Elektronen, Protonen und schier jede Materie ist von menschlichen Zügen durchsetzt. Sie sind faul. Und weil Feldlinien und B-Felder sich addieren und subtrahieren können

(ist so wie mit der Kraft F : $---> + ---> = ----->$; $---> + <--- = 0$; $---> + <-- = ->$)

und sich dabei jeweils in Ihrer Stärke stärken oder schwächen, sagen sich die Elektronen und seine Atom-Sippschaft: „Lass ma da hingehen, wo es nicht so drückt. Schwache Feldlinien sind viel chilliger! Müssen wir nicht so viel Energie mit uns rumtragen.“ Somit sehen wir anhand des Bildes unten, dass Auswanderungsströme nach unten ziehen. Der Physiker spricht dann von der Lorentz- Kraft. Dickere Pfeile sind stärkere Feldlinien. Zum besseren Verständnis und zur unübersichtlicheren Gestaltung habe ich noch die Pfeile der in y-Richtung resultierenden Kraft des B-Feldes in Schwarz dazu gezeichnet:



So, das offensichtliche und praktisch physische wäre damit geklärt, jetzt geht's ans mathematisch Eingemachte. Wir wollen also die Kraft, die auf diesen Leiter wirkt definieren und die Feldstärke daraus ermitteln. Allerdings sind dort Abhängigkeiten und Proportionalitäten erkennbar, die uns den Weg zum Formelwirrwar etwas versüßen wollen:

- Die Abhängigkeiten und Proportionalitäten des Leiters:

- Die Länge l : Die Länge des Leiters ist wichtig, da, je länger der Leiter wird, das B-Feld auch in gleichem Maße wächst und somit auch die „Angriffsfläche“ der Feldlinien des Magnetfeldes. Je länger also der Leiter, desto stärker die Kraft, die auf den Leiter wirkt:

$$F \sim l$$

- Die Stromstärke I_{Leiter} : Da die Stromstärke des Leiters die Stärke des B-Feldes bestimmt, kann sie in unseren Berechnungen nicht ausgelassen werden. Je größer die Stromstärke, desto größer die Feldkraft der B-Feldes:

$$F \sim I_{\text{Leiter}}$$

- Die Abhängigkeiten und Proportionalitäten des Elektromagneten:

- Die Anzahl der Windungen n : Die Windungen der Spule des Elektromagneten sind wichtig, da es logisch ist, dass ein Magnet mit einer Windung nicht so stark ist, wie einer mit 1000. Also, je mehr Windungen wir haben, desto mehr Feldkraft hat der Magnet:

$$F \sim n$$

- Die Stromstärke der Spule des Elektromagneten I_{Magnet} : Je mehr Strom durch die Spule fließt, desto stärker wird das B-Feld des Spulendrahtes. Je größer der Stromfluss also, desto größer wird die Feldstärke des induzierten Magnetfeldes ausfallen:

$$F \sim I_{\text{Magnet}}$$

Nun, es hat sich schon vor uns jemand erbarnt, sich Gedanken über solch komplexe Dinge und Proportionalitäten zu machen um seinen Namen in die ewigen Bücher der Wissenschaft als Einheit einfließen zu lassen. Nikola Tesla war wohl der erste, indem er diese Proportionalitäten zusammenfasste:

$$F_{\text{Lorentz}} \sim I_{\text{Leiter}} \cdot I_{\text{Magnet}} \cdot l$$

Mehr oder weniger sinnvoll hat dieser Genius dann aus dieser Proportionalitätserkenntnis eine Gleichung erstellt und dieser magnetischen Feldstärke das Formelzeichen B verpasst:

$$B = \frac{F_{\text{Lorentz}}}{I_{\text{Leiter}} \cdot l}$$

Und damit der Name denn nun letztendlich doch drinsteckt, hier die Zusammensetzung einer für uns neuen Einheit T :

$$[B] = \frac{N}{A \cdot m} = 1T$$

Nun, wo mag denn nun der Name versteckt sein? Natürlich im T , denn das steht für Tesla. Schön und gut. Und was soll man damit jetzt anfangen? Gelaugweilte Physiker, die gerade kurz vor dem Nervenzusammenbruch stehen, weil sie einfach Einstein nicht verstehen, formen vor lauter Langeweile und Selbstmitleid solche Sachen einfach um. Auf diesem Weg ist wohl schon der Ein oder Andere berühmt geworden, ohne je Einstein verstanden zu haben, doch zurück zur Mathematik:

$$F_{\text{Lorentz}} = B \cdot I_{\text{Leiter}} \cdot l$$

Super, wir können jetzt also die magnetische Feldstärke bestimmen und die Lorentz-Kraft voraussagen. Allerdings kommen da manchmal bei schrägen Typen krumme Dinge ins Spiel, die dann die Mathematiker der Vektorrechnung fordern: Der Leiter hängt schief! Das hat natürlich Auswirkungen auf die Kraft, welch wunderbares Phänomen! Doch der Mathematiker leitet dann schnell einen Satz der Vektorrechnung her, und diese Auswirkungen sind keine wunderbaren Phänomene mehr sondern knallharte, mathematisch beweisbare Fakten und Formeln. Hier mal dieser Satz der Vektorrechnung:

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = |\vec{u}| \cdot |\vec{v}| \cdot \sin \alpha$$

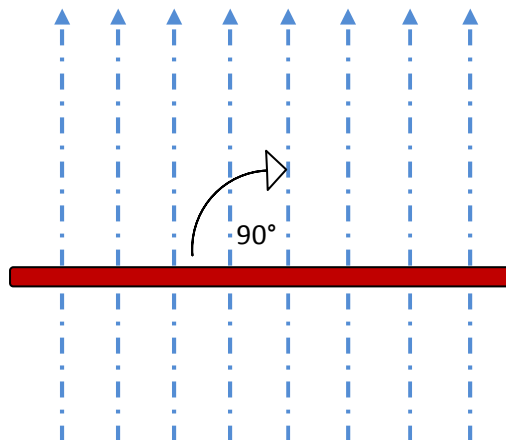
Das lässt sich natürlich einfacherweise auf unsere B -Formel anwenden:

$$F_{Lorentz} = l \cdot \vec{I}_{Leiter} \cdot \vec{B}$$

Dabei sind l und B sowieso immer negativ und müssen deshalb nicht vektoriell geschrieben werden:

$$F_{Lorentz} = l \cdot I_{Leiter} \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Jetzt freuen sich der Physiker und der Mathematiker, nicht weil sie etwas Revolutionäres auf die Beine gestellt haben, sondern weil es jetzt endlich mal wieder Grund gibt, das Fünfliterfass im Keller zusammen zu exen! Dabei hätten sie beinahe vergessen zu sagen, dass der Winkel α den Winkel zwischen Feldlinien und Leiter beschreibt. Das heißt, wenn der Leiter gerade im Feld hängt, haben wir einen Winkel von 90° und unser Sinus fällt weg, da $\sin 90^\circ = 1$ ergibt.



Das ist also die magnetische Feldstärke!

Ein magnetisches Feld der Stärke B wirkt auf einen von der Stromstärke I_{Leiter} durchflossenen Leiter der Länge l die Lorentz-Kraft aus:

$$\vec{F} = l \cdot \vec{I}_{Leiter} \cdot \vec{B}$$