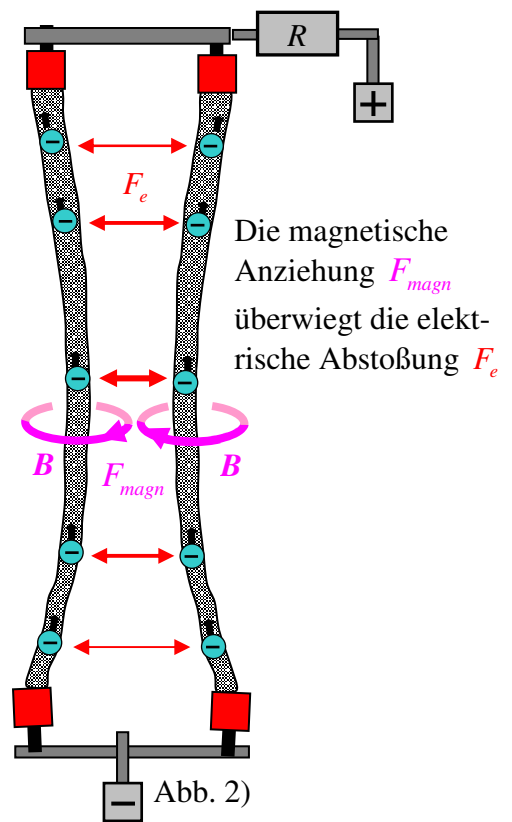
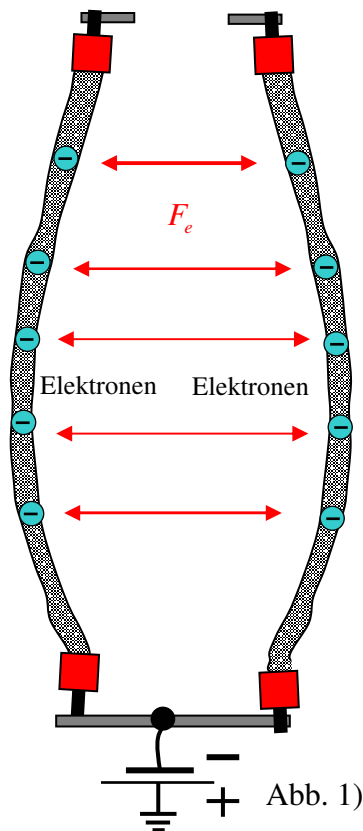


A) Woher kommt der Magnetismus?

In den Abb.1) bis 3) von Arbeitsblatt M4 untersuchten wir ungleichnamig geladene Leitungsbänder. Sind die Ladungen in Ruhe, so ziehen sich die Bänder an. Doch als „Wunder des Magnetismus“ sahen wir: Sobald sich die ungleichnamigen Ladungen parallel zu einander bewegen, so stoßen sie sich ab.

Ganz analog verhält es sich mit gleichnamigen Ladungen: Sind sie in Ruhe, so stoßen sie sich ab. Bewegen sie sich parallel zueinander, so ziehen sie sich an.

Nehmen wir jetzt ein Bänderpaar mit ungleichnamigen Ladungen in Ruhe, und ein zweites Bänderpaar mit gleichnamigen Ladungen in Bewegung. Beide male sehen wir Anziehung. Verbirgt man nun die Anschlüsse der beiden Paare und fragt, welcher Fall vorliegt, so lässt sich das anhand der Bänderverbiegung nicht entscheiden. Beide Fälle sehen gleich aus. Deswegen kann man ahnen, dass die magnetischen Kräfte in irgendeiner Weise mit den elektrischen Kräften in Beziehung stehen. Die Relativitätstheorie hat diesen erstaunlichen Zusammenhang dann offen gelegt.



Nun wollen wir erklären, dass die magnetische Anziehung gleichnamiger bewegter Ladungen per Relativitätstheorie tatsächlich als elektrische Anziehung ungleichnamiger Ladungen verstanden werden kann.

Dazu brauchen wir von der Relativitätstheorie nur die sog. „Lorentzkontraktion“: Abb.3): Eine Rakete fliegt mit der Geschwindigkeit v von der Erde zum Mond. Aus Sicht von Erde und Mond ist die Rakete um einen Faktor f kürzer als sie vor dem Start im Ruhezustand war. Der Astronaut merkt davon aber nichts. Nach Abb.4) sieht er im Gegenteil die Erde und den Mond um den Faktor f in der Flugrichtung gestaucht.



Abb. 3)

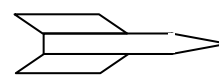
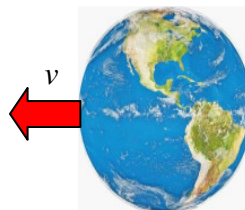
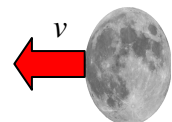


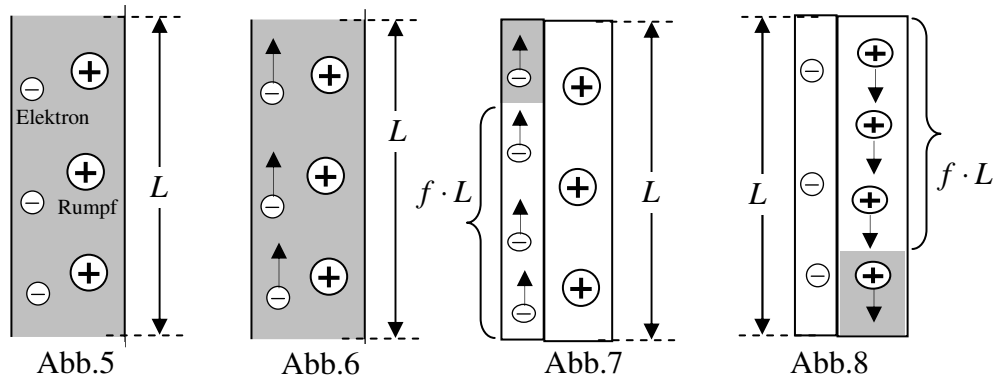
Abb. 4)



Siehe auch den „Simple physics Film“ : <https://m.youtube.com/watch?v=YUI94SvOVFc>

a) Kraftwirkung der Lorentzkontraktion innerhalb einer Stromader.

Die Stromader besitzt feststehende positive Atomrümpfe und frei bewegliche Elektronen. Beide Sorten sind überall. Doch wegen besserer Übersicht, zeichnen wir sie nebeneinander.



Für das Verständnis des Magnetismus ignorieren wir die elektrische Aufladung der Adern durch Spannungsquelle. Dann sind auf jedem Leiterstück gleich viele freie Elektronen wie Atomrümpfe.

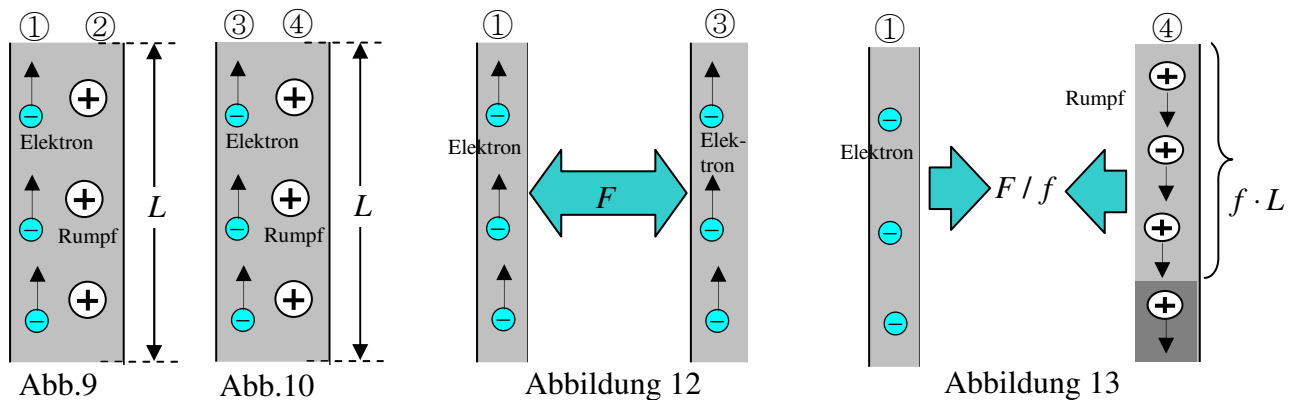
In Abb.5) fließt kein Strom und das Drahtstück ist nach außen hin neutral.

In Abb.6) bewegen sich die Elektronen, es fließt ein Strom. Wenn immer sich etwas bewegt, tritt die relativistische Längenkontraktion in Aktion: Abb.7) zeigt, dass die Elektronen aus Sicht der Atomrümpfe ein bewegter „Gegenstand“ sind. Deshalb schrumpfen diese um den Faktor f . Stellen wir uns vor, dass $f = 3/4 = 0,75$ beträgt. Dann befinden sich, aus Sicht der Atomrümpfe, auf der Länge L jetzt $1/f = 4/3 = 1,3$ mal so viele Elektronen wie in Abb.5).

Demnach ist die Ader aus Sicht der Atomrümpfe *negativ* aufgeladen. Doch weil die Aufladung nach vorne und hinten in dem Kabel gleich groß ist, heben sich die Anziehungskräfte auf.

Abb.8) zeigt, dass es den Elektronen entsprechend ergeht. Aus ihrer Perspektive stehen sie still und die Atomrümpfe bewegen sich, - und zwar rückwärts. Ob vorwärts oder rückwärts, das ist für die Längenkontraktion egal. Aus Sicht der Elektronen schrumpft der „Gegenstand“ der Atomrümpfe um den Faktor $f = 3/4$, sodass das Drahtstück der Länge L nun $1/f = 4/3$ mal soviel positive Ladung enthält. Doch auch für die Elektronen bringt das nichts. Auch sie werden, nun durch die zusätzlichen Atomrümpfe, gleichermaßen nach vorne wie nach hinten gezogen.

b) Kraftwirkung der Lorentzkontraktion zwischen zwei Stromadern



Betrachten wir jetzt *zwei* parallele Leiterstücke der Länge L , welche gleichsinnig von Elektronen durchflossen werden. Wie gezeigt, hebt sich die Kraftwirkung der Lorentzkontraktion innerhalb der Adern auf. Zum Nachbarstrom aber hebt sich die Wirkung *nicht* auf: Wir bezeichnen die Elektronen und Atomrümpfe des linken Leiters mit ① und ② und die des rechten mit ③ und ④.

Die Elektronen ① und ③ bewegen sich mit der gleichen Geschwindigkeit.

Aus ihrer Perspektive stehen sie also jeweils still und es tritt *keine* Längenkontraktion auf.

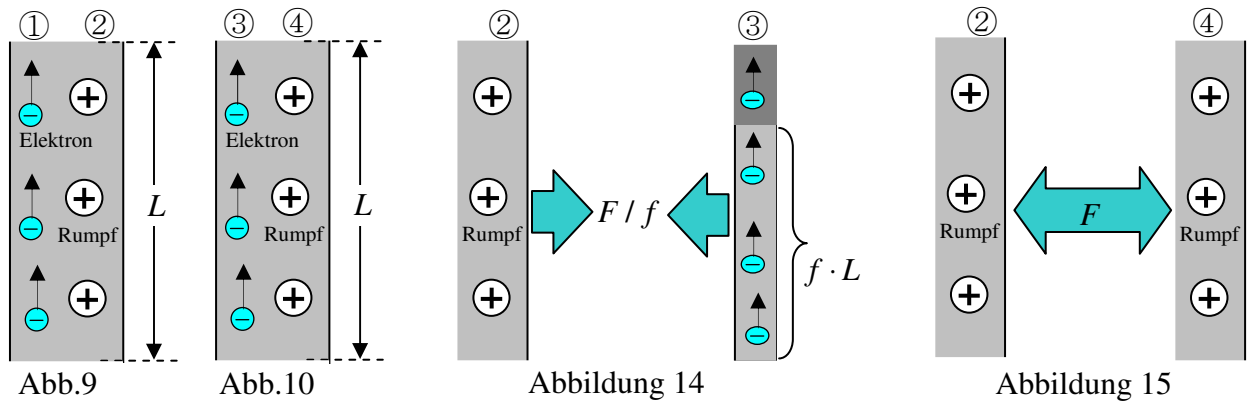
Also stoßen sich die Elektronen als gleichnamige Ladungen mit der Standardkraft F ab.

Bezüglich der Elektronen ① bewegen sich die Atomrümpfe ④ aber mit der Geschwindigkeit v rückwärts. Die bewegte Strecke ④ schrumpft aus Sicht von ① daher um den Faktor f .

Wir verwenden wieder $f = 3/4$. Dann befinden sich für die Elektronen ①, vergleichsweise $1/f = 1,3\bar{3}$ mal so viele positive Atomrümpfe pro Länge L auf der Nachbarader. Damit vergrößert sich die Anziehung zwischen ① und ④ auf den größeren Wert $F/f = 1,3\bar{3} \cdot F$.

Jetzt müssen wir noch schauen, welche Kräfte die Atomrümpfe ② der linken Ader von den Elektronen ③ und den Atomrümpfen ④ der rechten Ader erfahren.

Das ist in Abb. 14) und 15) dargestellt. Für die Atomrümpfe ② ist die Strecke der bewegten Elektronen ③ geschrumpft, sodass die Anziehung auf den Wert $F/f = 1,3\bar{3} \cdot F$ steigt, während die Atomrümpfe ④ für die Atomrümpfe ② stillstehen und somit die Standardabstoßung F verbleibt.



Ergebnis: Ohne Stromfluss, also ohne gegenseitige Bewegung, ziehen sich die Elektronen und die Atomrümpfe „normal“ an. Doch sobald ein Strom fließt, sobald die Elektronen in Bewegung sind, ziehen sich die beiden *stärker* an. Nichts hat sich an den Teilchen geändert, ihre Natur, ihre Ladung, alles ist gleich geblieben.

Und dennoch ist die Anziehung größer, einfach nur deshalb, weil sie aneinander vorbei gleiten.

Das ist die Aussage des Magnetismus, das ist die Aussage der Lorentzkraft-Formel.

Und woher kommt dieses unglaubliche „Zauberwerk“?

Es kommt von der Relativitätstheorie und der Lorentzkontraktion.

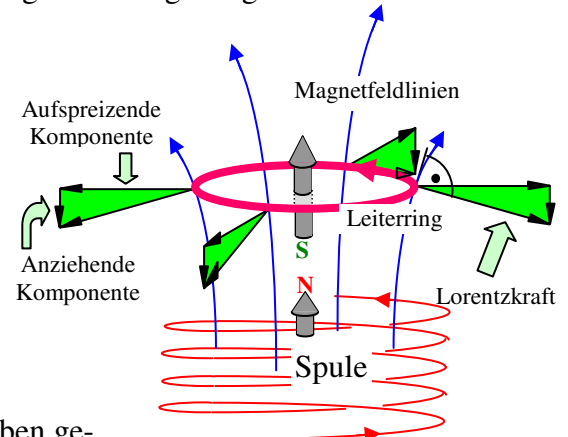
Lorentzkraft und Lorentzkontraktion haben nicht umsonst denselben Namensgeber.

Also: Stellst du den Küchenmixer an und er dreht sich, dann ist die Relativitätstheorie am Werk.

B) Wie können sich magnetische Pole anziehen oder abstoßen, obwohl es sie garnicht gibt?

Wir wissen: Magnetische Pole sind Scheinpole, es gibt sie nicht wirklich, sie sind lediglich Durchflussgebiete von Feldlinien. Trotzdem stoßen sich gleichnamige magn. Pole ab und ungleichnamige ziehen sich an. Wie kann das sein?

Zur Erklärung wählen wir in der Abb. für den unteren Magneten eine Spule mit *mehreren* Windungen und für den oberen Magneten eine Spule mit *nur einer* Windung. Werden Spule und Leiterring gleichsinnig von Strom durchflossen, so treten die Feldlinien beide male oben aus, sodass beide Nordpole nach oben zeigen. Dadurch stehen sich aber **N** und **S** gegenüberstehen. Also werden sich Spule und Leiterring anziehen. Aber warum tun sie das?



Wären die Feldlinien der Spule völlig senkrecht nach oben gerichtet, so würde die Lorentzkraft am Ring exakt nach außen wirken und ihn lediglich aufspreizen.

Nur dadurch, dass sich die Feldlinien im Bereich des Ringes bereits etwas nach außen neigen, entsteht neben der *aufspreizenden* Kraftkomponente auch eine *anziehende* Kraftkomponente.

Die anziehende bzw. abstoßende Wirkung von Spulen oder Stabmagneten beruht also auf der *Inhomogenität* der Feldlinien an dem Spulen- bzw. Stabende. Dadurch erhalten die *Scheinpole* des Magnetismus ihre Anziehungs- bzw. Abstoßungskraft.

Hör' dich mal um zu dem Thema: „Elektrizität und Magnetismus“.

Die meisten meinen, es wär' dasselbe. Und dann fährst du mit deinem E-Auto „Strom tanken“. – Was soll man dazu sagen?

