

Warum drehen sich Hochdruckgebiete bei uns immer rechts herum?

Die meisten Menschen kennen solche Kräfte wie die Schwerkraft, die uns in Richtung Erdboden zieht oder auch die Fliehkraft, die einen auf dem Kettenkarussell nach außen drängt. Wenig bekannt ist dagegen die Corioliskraft und dennoch hat sie einen erheblichen Einfluss, z.B. auf den täglichen Wetterablauf.

In rotierenden Bezugssystemen tritt als Trägheitskraft neben der erwähnten Flieh- oder Zentrifugalkraft auch die Corioliskraft auf. Unter einem rotierenden Bezugssystem versteht man ein System, das sich aus Sicht eines äußeren Beobachters um die eigene Achse dreht, z.B. eine Spielplatzdrehplatte (**Bild 1**) oder auch die ganze Erde ².



Bild 1 Rotierendes Bezugssystem ¹

Die Wirkung der Corioliskraft kann man sich am Beispiel auf **Bild 2** veranschaulichen. Aus der Mitte einer rotierenden Scheibe heraus wird eine Kugel nach außen gerollt, wobei sich je nach Beobachterstandort ein anderer Effekt zeigt:

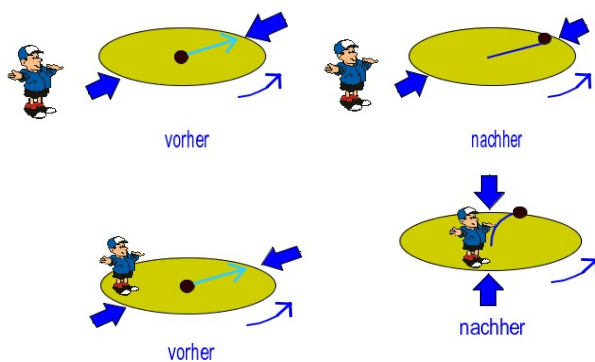


Bild 2 Wirkung der Corioliskraft

Ein außenstehender (**ruhender**) Beobachter sieht, dass sich die Scheibe mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit unter der Kugel weg bewegt, während die Kugel selber auf geradem Weg nach außen läuft.

Für einen **mitbewegten** Beobachter wird die Kugel durch die Corioliskraft nach rechts abgelenkt (beschleunigt) und erreicht den anvisierten Punkt dadurch nicht.

Da die Corioliskraft nicht eine Kraft im eigentlichen Sinne ist, d.h. gemäß der klassischen Newtonschen Mechanik, sondern ein Effekt, der durch das rotierende Bezugssystem zustande kommt, spricht man hier auch von einer Scheinkraft. Ihr Wert ist proportional zur Masse (hier der Kugel), weshalb sie manchmal auch als Massekraft bezeichnet wird ³.

Wie wirkt nun die Corioliskraft auf der Erde und welchen Einfluss nimmt sie auf unser Wetter? Die Corioliskraft wirkt nur auf Objekte, die sich innerhalb des rotierenden Systems (hier der Erde) auch noch selbst bewegen, also z.B. auf bewegte Luftmassen oder Meeresströmungen, nicht aber auf das stehende Wasser in einem See. Auf der Erde sind diese Effekte vor allem dann relevant, wenn sich die Objekte langsam genug und über größere Entfernungen bewegen. Typische Beispiele sind Hoch- und Tiefdruckgebiete in mittleren Breiten. Den angeblichen Corioliseffekt bei dem aus der Badewanne ablaufenden Wasser gibt es dagegen nicht. Die Corioliskraft ist in diesem Fall viel zu gering.

Den physikalischen Hintergrund der Corioliskraft bildet die Drehimpulserhaltung, d.h. dass innerhalb isolierter physikalischer Systeme der Drehimpuls unabhängig von inneren Wechselwirkungen hinsichtlich Betrag und Richtung konstant bleibt ⁴.

Der Drehimpuls eines Objektes auf der Erdoberfläche hängt von seiner Geschwindigkeit und seinem Abstand von der Erdachse ab. Beide Einflussgrößen sind am Äquator maximal und an den Polen

minimal. Alle Punkte auf der Erdoberfläche (ausgenommen die Pole) bewegen sich von West nach Ost. Betrachtet man ein Luftpaket, das sich vom Äquator nach Norden bewegt, bringt es eine hohe Geschwindigkeit mit. In Richtung der mittleren Breiten nimmt die Umfangsgeschwindigkeit der Erde aber ab, so dass das Luftpaket relativ zu seiner Umgebung schneller wird und dadurch senkrecht zu seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung nach rechts, also nach Osten, abgelenkt wird. Diese zur Erdoberfläche parallele Komponente der Corioliskraft ist am Äquator gleich Null und steigert sich bis zu den Polen zum Maximum. Die bisherige Erklärung begründet jedoch nur einen Teil des beobachteten Ablenkungseffektes. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der Drehimpuls vom Abstand zur Drehachse abhängt. Der Drehimpuls ist das Produkt aus Trägheitsmoment (Trägheit gegen Änderung der Winkelgeschwindigkeit) und Winkelgeschwindigkeit (Winkeländerung pro Zeiteinheit). Da das Trägheitsmoment wegen des geringer werdenden Achsabstandes in Polrichtung abnimmt (wie bei einer Eiskunstläuferin, die bei der Pirouette die Arme anzieht), nimmt die Winkelgeschwindigkeit wegen der Drehimpulserhaltung zu. Dieser Effekt addiert sich zu der o.g. Ablenkung⁵

Bei einer Bewegung in entgegengesetzter Richtung, d.h. auf der Nordhalbkugel zum Äquator hin, erfolgt die Ablenkung ebenfalls nach rechts, in diesem Fall also in westliche Richtung. Die Stärke der Rechtsablenkung ist von der geographischen Breite abhängig.

Bislang wurden nur Bewegungsrichtungen in Nord-Süd-Richtung erklärt. Um beobachtete Wetterphänomene zu verstehen, müssen wir darüber hinaus auch Bewegungen in Ost-West-Richtung betrachten, wo die Umfangsgeschwindigkeit und der Achsenabstand ja gleichbleiben. Hier kommt die Zentrifugalkraft mit ins Spiel. Jeder Punkt der Erde wird einerseits durch die Gravitation in Richtung Erdmittelpunkt angezogen, andererseits durch die Zentrifugalkraft senkrecht zur Erdachse nach außen gezogen. Diese beiden Kräfte, von denen die Gravitation die weitaus stärkere ist, haben übrigens die Erde zu dem Ellipsoid verformt, den wir heute kennen. Bewegt sich nun ein Objekt in West- Ost-Richtung, also in gleiche Richtung wie die Erde selbst, nimmt seine Rotationsgeschwindigkeit (und damit die Zentrifugalkraft) zu, wodurch es durch den geänderten Summenvektor von Gravitation und Zentrifugalkraft – man spricht hier auch von Gewichtskraft - in Richtung Äquator (also nach rechts) abgelenkt wird. Bei einer Objektbewegung in Ost-West-Richtung erfolgt durch die Verringerung der Rotationsgeschwindigkeit zwar ebenfalls eine Ablenkung nach rechts, in diesem Fall aber polwärts. Die letztgenannten durch die veränderte Zentrifugalkraft bedingten Richtungsänderungen, die gleichgerichtet zu dem oben beschriebenen Corioliseffekt auftreten, werden übrigens in der Meteorologie als Bestandteil des Coriolisphänomens betrachtet.

Bild 3 veranschaulicht diesen Sachverhalt. Die obere Abbildung zeigt den Erdellipsoid mit Gravitations- und Zentrifugalkraft und der senkrecht auf der Erdoberfläche stehenden resultierenden Gewichtskraft (nicht maßstabgerecht).

In der unteren Abbildung ist die durch eine West-Ost-Bewegung vergrößerte Zentrifugalkraft (grüner Pfeil), der geänderte Summenvektor der Gewichtskraft (grüner gestrichelter Pfeil) und die sich ergebende äquatorwärts gerichtete zusätzliche Komponente (roter Pfeil) dargestellt.

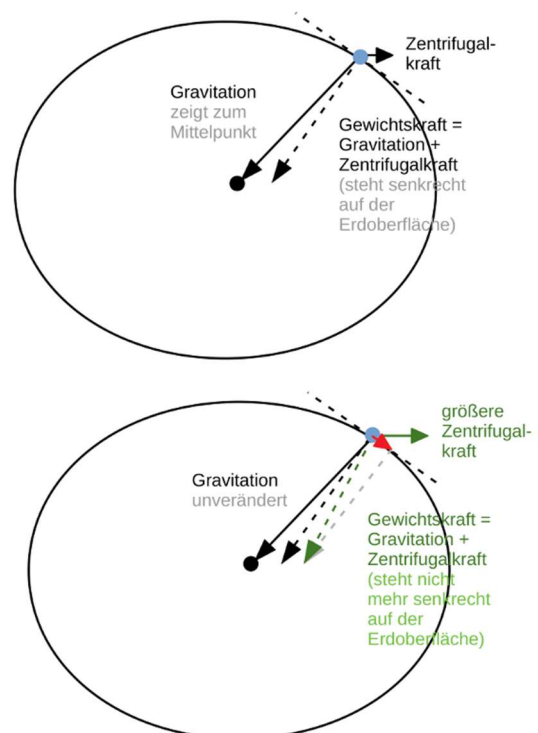


Bild 3 Zentrifugalkraft als „Corioliskraft“⁶

Bisher wurde die Wirkung der Corioliskraft auf der Nordhalbkugel betrachtet, die stets zu einer Rechtsablenkung bewegter Luftmassen führt. Wenn man die oben aufgeführten Erläuterungen sinngemäß auf die Südhalbkugel anwendet, ergibt sich der Schluss, dass bewegte Luftmassen hier immer nach links abgelenkt werden (auch hier wieder sowohl bei Nord \leftrightarrow Süd- als auch Ost \leftrightarrow West-Bewegung).

Sehen wir uns jetzt einmal an, wie sich die bisher beschriebenen Effekte auf einige wesentliche Wetterphänomene auswirken. Die Hauptenergiequelle für das Wetter ist die Sonneneinstrahlung. Luftbewegungen in der Erdatmosphäre werden durch Luftdruckunterschiede ausgelöst. Stark vereinfacht ergibt sich der in **Bild 4** grafisch dargestellte Ablauf ⁷:

- Am Äquator steigt erwärmte Luft empor, wodurch sich am Boden ein Tief und in großer Höhe ein Hoch ausbildet.
- In Bodennähe wird (kältere) Luft zum Äquator hin (aus Nord- und Südrichtung) angesaugt.
- In der Höhe kommt es zu Ausgleichsströmungen, d.h. die am Äquator aufgestiegene Luft strömt polwärts (Nord- bzw. Südpol).
- An den Polen sinkt die abkühlende Luft nach unten, wodurch dort ein Polarhoch und in größerer Höhe ein Tief entsteht.

Die Luftmassen haben das Bestreben, auf möglichst direktem Weg von Hoch- zu Tiefdruckgebieten zu fließen. Hier kommt die Corioliskraft ins Spiel, die auf der Nordhalbkugel alle Bewegungen nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links ablenkt. Dadurch strömt auf der nördlichen Hemisphäre in Bodennähe die Luft aus Hochdruckgebieten spiral-förmig im Uhrzeigersinn (rechts-drehend) nach außen und in Tiefdruckgebiete spiralförmig im Gegenzeigersinn (linksdrehend) hinein. Das scheinbare Paradoxon bei Tiefdruckgebieten (Linksrotation trotz nach rechts wirkender Corioliskraft) lässt sich wie folgt erklären: Obwohl die Luft entsprechend des Druckgradienten eigentlich direkt zum Tiefdruckzentrum strömen müsste, wird sie durch die Corioliskraft nach rechts abgelenkt, strömt also zunächst „am Tief vorbei“. Da aber an allen Stellen um das Tief herum der Druckgradient zum Zentrum hin wirkt, wird die Luft durch das Zusammenwirken beider Kräfte spiralförmig herumgeführt, wodurch eine Linksdrehung des Tiefs verursacht wird ⁹. Auf der Südhalbkugel sind die Drehrichtungen der Hoch- und Tiefdruckgebiete entsprechend umgekehrt.

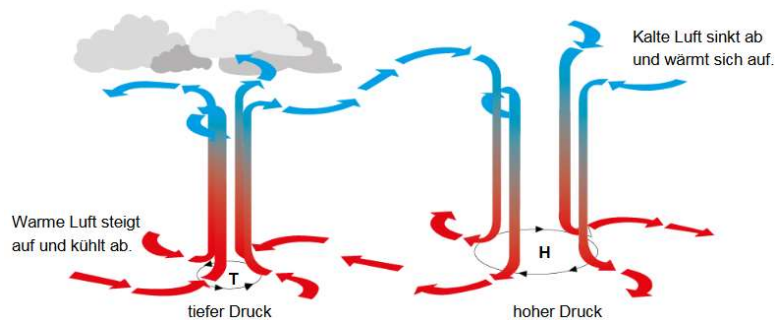


Bild 4 Die Entstehung von Hoch- und Tiefdruckgebieten (Nordhalbkugel) ⁸

Das scheinbare Paradoxon bei Tiefdruckgebieten (Linksrotation trotz nach rechts wirkender Corioliskraft) lässt sich wie folgt erklären: Obwohl die Luft entsprechend des Druckgradienten eigentlich direkt zum Tiefdruckzentrum strömen müsste, wird sie durch die Corioliskraft nach rechts abgelenkt, strömt also zunächst „am Tief vorbei“. Da aber an allen Stellen um das Tief herum der Druckgradient zum Zentrum hin wirkt, wird die Luft durch das Zusammenwirken beider Kräfte spiralförmig herumgeführt, wodurch eine Linksdrehung des Tiefs verursacht wird ⁹. Auf der Südhalbkugel sind die Drehrichtungen der Hoch- und Tiefdruckgebiete entsprechend umgekehrt.

Die Entstehung und Bewegung von Hoch- und Tiefdruckgebieten unterliegt vielen weiteren Faktoren, so dem Einfluss von Wasser- bzw. Landmassen, Bergen, Art und Menge des Bewuchses, jahres- und tageszeitlichen Temperaturschwankungen u.a.m.

Die oben beschriebenen Tiefdruckgebiete, aus denen warme Luft unter Rotation nach oben steigt, können in tropischen und subtropischen Breiten ab einem Äquatorabstand von 5 Grad (wegen der dann deutlich zunehmenden Corioliskraft) über dem Meer zur Ausbildung von Wirbelstürmen mit extrem hohen Windgeschwindigkeiten und Niederschlagsmengen führen, die bei der Bewegung über Land katastrophale Auswirkungen haben können ¹⁰.

Neben den hier beschriebenen Auswirkungen der Corioliskraft auf das Wetter (trifft übrigens auf alle Planeten mit einer Atmosphäre zu), können viele weitere Effekte beobachtet werden, z.B.:

- bei Asteroidenbewegungen um die Lagrange-Punkte L4 bzw. L5 (Newsletter Juli 2021¹¹)
- bei der Entstehung des Erdmagnetismus¹²
- bei der seitlichen Ablenkung von Projektilen¹³
- beim Mäandern von Flüssen¹⁴

Quellen:

- 1 <https://walkenriedernachrichten.files.wordpress.com/2018/03/karussell.jpg>
- 2 https://de.wikipedia.org/wiki/Beschleunigtes_Bezugssystem
- 3 <https://de.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%A4gheitskraft>
- 4 <https://de.wikipedia.org/wiki/Drehimpuls#Drehimpulserhaltung>
- 5 <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Corioliskraft>
- 6 <https://wissenstexte.de/physik/coriolis.htm#grau>
- 7 https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Atmosph%C3%A4rische_Zirkulation
- 8 <https://medienportal.siemens-stiftung.org/view/106069>
- 9 http://www.klima-der-erde.de/zirk_druck.html
- 10 https://de.wikipedia.org/wiki/Tropischer_Wirbelsturm
- 11 https://astrowis.de/wp-content/uploads/Newsletter_2021_07.pdf
- 12 <https://de.wikipedia.org/wiki/Erdmagnetfeld>
- 13 <https://itp.uni-frankfurt.de/~luedde/Lecture/Mechanik/Intranet/Skript/Kap6/node5.html>
- 14 <https://www.ds.mpg.de/212128/20>