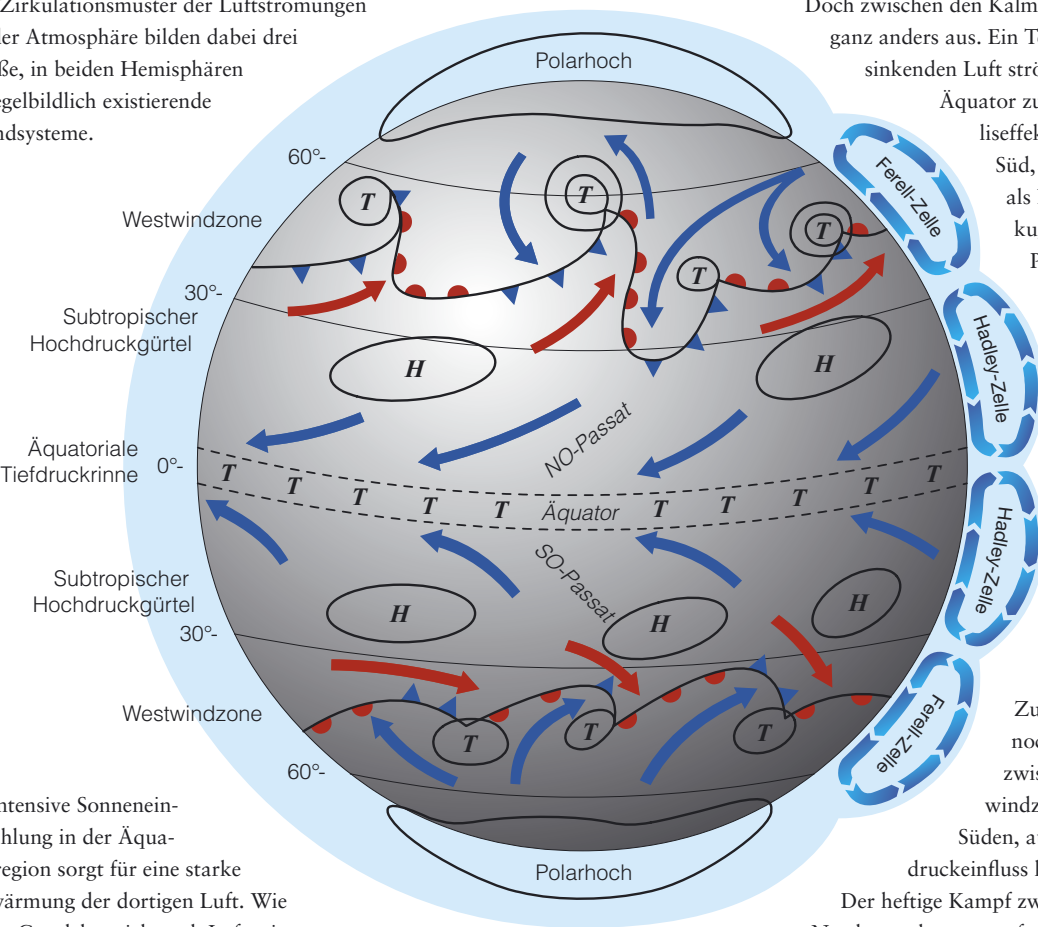
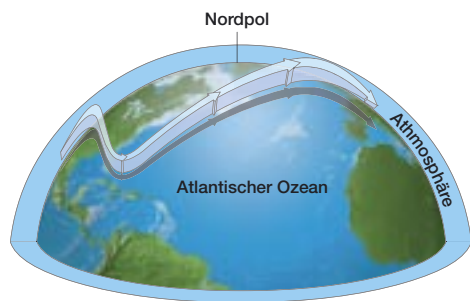


II. Die Entstehung von Wind

Die deutlichen Temperaturunterschiede zwischen den warmen Äquatorialregionen und den kalten Polen setzen vor allem das beweglichste Element der globalen Wettermaschine in Gang, die Luft. Die globalen Zirkulationsmuster der Luftströmungen in der Atmosphäre bilden dabei drei große, in beiden Hemisphären spiegelbildlich existierende Windsysteme.



Intensive Sonneneinstrahlung in der Äquatorregion sorgt für eine starke Erwärmung der dortigen Luft. Wie jedes Gas dehnt sich auch Luft mit zunehmender Temperatur aus, weniger Moleküle füllen den gleichen Raum. Sie wird leichter und steigt in der Atmosphäre nach oben. Durch das geringere Gewicht und die aufsteigende Bewegung entsteht so längs des Äquators rund um die Welt ein Gürtel geringeren Luftdrucks, die äquatoriale Tiefdruckrinne. Nach ihrem Aufstieg in die Atmosphäre wandert die tropische Luft in 15-20 km Höhe am Rand der Troposphäre wie an einer Zimmerdecke entlang nach Norden und Süden. Etwa auf Höhe des 30. Breitengrades sinkt die Luft wieder zurück zum Boden. Diese Zone absinkender Luft bildet den subtropischen Hochdruckgürtel. Im Gegensatz zur Äquatorregion, wo die warme Luft während ihres Aufstiegs in höhere Luftschichten abkühlt und dabei ihre Feuchtigkeit in Form von Wolken und tropischem Regen wieder abgibt, ist die absinkende und sich dabei stark erwärmende Luft entlang des subtropischen Hochdruckgürtels besonders trocken. Wo sie auf Kontinenten absinkt, entsteht ein Klima wie in der Sahara, der Kalahari oder den Wüsten Australiens. Nur wo sie auf Ozeane trifft, kann sie sich sukzessive wieder mit Feuchtigkeit anreichern. Der Äquatorregion und dem subtropischen Hochdruckgürtel gemeinsam ist, dass die vertikale



Bewegung der auf- und absteigenden Luftmassen keinen Wind erzeugt. Von den frühen Seefahrern, die in wochenlangen Flauten subtropischer Hochs aus Verzweiflung begannen, sich über ihre mitgeführten Pferde herzumachen, erhielten diese Breitengrade daher auch den Beinamen Rossbreiten. Für Kite- und Windsurfer definitiv ein No-Go!

Doch zwischen den Kalmen (lat. calma = die Stille) sieht die Welt schon ganz anders aus. Ein Teil der im subtropischen Hochdruckgürtel absinkenden Luft strömt – quasi als Nachschub – wieder in Richtung Äquator zurück. Wegen der Erdrotation, dem sog. Corioliseffekt, nicht auf dem direkten Weg von Nord nach Süd, sondern in Zugrichtung nach rechts abgelenkt, als Nordost-Passat (Ablenkung auf der Südhalbkugel äquatorwärts nach links: Südostpassat). Passatwinde sind wegen der immer wieder ähnlich ablaufenden Vorgänge im tropischen Teil der Atmosphäre, der Hadley-Zelle, weltumspannend ein sehr verlässliches und beständiges Phänomen. Der andere Teil der am 30. Breitengrad absinkenden Luftmassen wandert polwärts nach Norden. Auf diesem Weg werden sie wiederum durch den Corioliseffekt in Zugrichtung nach rechts abgelenkt und erzeugen so die westlichen Winde der gemäßigten Breiten. Aufgrund der vorherrschenden Windrichtung aus Westen, die von der ebenfalls von West nach Ost verlaufenden Zugrichtung des hochatmosphärischen Jet-Stream noch verstärkt wird, nennt man den Bereich zwischen dem 40. und 60. Breitengrad auch Westwindzone. Aber nicht nur relativ milde Luft aus dem Süden, auch kalte Luft aus der unter stabilem Hochdruckeinfluss liegenden Polarregion strömt in die Ferrel-Zelle.

Der heftige Kampf zwischen kalten, trockenen Luftmassen aus dem Norden und warmen, feuchten Luftmassen aus dem Süden beschert der Westwindzone und somit auch Europa, im Gegensatz zu den beständigen Phänomenen der Hadley- und Polarzelle, ein wechselhaftes und facettenreiches Wetter. Neben thermischen Luftdruckunterschieden (kalte und schwere Luft = Hochdruck, warme und leichte Luft = Tiefdruck) bestimmt hier vor allem das Wechselspiel dynamischer Hoch- und Tiefdruckgebiete das Geschehen.

So ist das Bild von erdumspannenden Bändern unterschiedlichen Luftdrucks nur eine vereinfachte Darstellung für die Beschreibung großräumiger

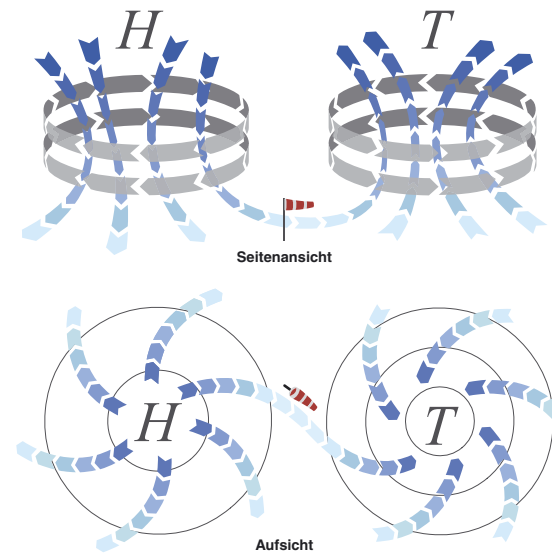
Der polare Strahlstrom (Jetstream) mäandert auf seinem Weg um die Erde wellenförmig von einer Seite zur anderen. An bestimmten Stellen neigt er dazu, sich zu verdichten, was zu hohem Luftdruck an der Oberfläche führt. Die Luft fließt im Uhrzeigersinn aus dieser Region ab und lässt ein Hochdruckgebiet mit klarem, trockenem Wetter entstehen.

Andernorts verbreitert er sich und die Luft dünnt sich aus. Das führt zu Tiefdruck an der Oberfläche und gegen den Uhrzeigersinn gerichtete Luftbewegungen. Aufsteigende Luft lässt (Regen-)Wolken entstehen und in den mittleren Breiten beginnt sich ein Tiefdruckgebiet auszubilden. Je schneller der Strahlstrom ist, desto heftiger sind die Stürme, die er auslöst und nach Nordosten lenkt.

Luftströmungen. Tatsächlich bilden sich ständig einzelne, mehr oder weniger mobile Zentren hohen oder niedrigen Luftdruckes, zwischen denen der Druckausgleich stattfindet. Richtung und Geschwindigkeit der dabei vom hohen zum niedrigen Druck strömenden Luft werden von einer Reihe physikalischer Kräfte wie Fliehkraft, Reibungskraft und Corioliseffekt "dynamisiert".

Dynamische Hoch- und Tiefdruckgebiete

Hoher Luftdruck ist ein Luftüberschuss an einer Stelle der Atmosphäre. Wäre die Atmosphäre ein Luftballon, hätte er an dieser Stelle eine Beule. Tiefer Druck hingegen ist ein Luftdefizit, der Ballon hätte eine Delle. So wie Wasser von einer hohen Position in die tiefere fließt, strömt auch die Luft aus einer Zone hohen, in die sie umgebenden Zonen tieferen Druckes.



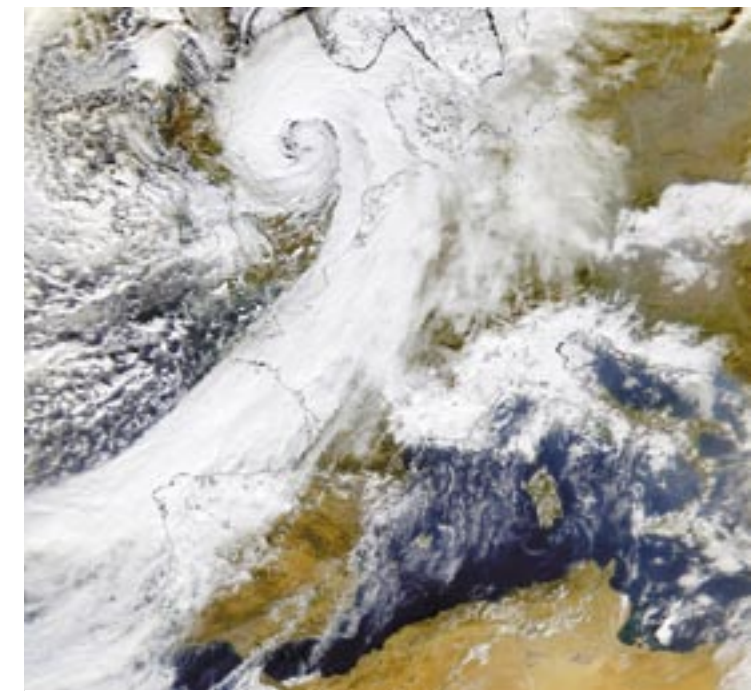
Hochdruckgebiet: Die Luft fließt zunächst aus dem Hochdruckzentrum heraus und sogleich beginnt auf sie die ablenkende Kraft der Erdrotation zu wirken (Corioliseffekt). Auf der Nordhalbkugel wird die Luft dabei in Zugrichtung nach rechts abgelenkt. Anstatt sternförmig aus dem Hochdruckgebiet auszufließen, beginnt die Luft um das Druckzentrum zu zirkulieren, und zwar mit Blick auf die Wetterkarte, also mit Blick von oben, im Uhrzeigersinn.

Solange von oben Luft nachströmt und diese am Boden nicht gleich schnell abfließen kann, verstärkt sich das dynamische Hoch, der Luftdruck steigt. Drückt von oben keine Luft mehr nach, oder der Ausfluss unten vollzieht sich rascher, baut sich der hohe Druck mit der ausströmenden Luft ab. Das Hoch verliert seine Kraft, die Rotation lässt nach und es löst sich auf.

Tiefdruckgebiet: In einem Tiefdruckgebiet herrscht ein geringerer Luftdruck, als in seiner Umgebung. Um diesen auszugleichen, strömt von allen Seiten Luft in Richtung des Tiefkerns. Während der Unterdruck die Luft in Richtung Tiefkern zieht, lenkt die Erdrotation sie nach rechts ab (Corioliseffekt) und verhindert so, dass die Luft den Tiefkern auf geradem Wege erreicht. Stattdessen beginnt die Luft gegen den Uhrzeigersinn um den Kern des Tiefs zu rotieren, während sie dabei wie von einem atmosphärischen Staubsauger langsam in die Höhe gezogen wird. Je stärker der Tiefdruck, desto schneller rotieren dabei die einströmenden Luftmassen. Diese Luftströmung in Bodennähe (vom Hoch zum Tief) ist das, was wir als Wind wahrnehmen.

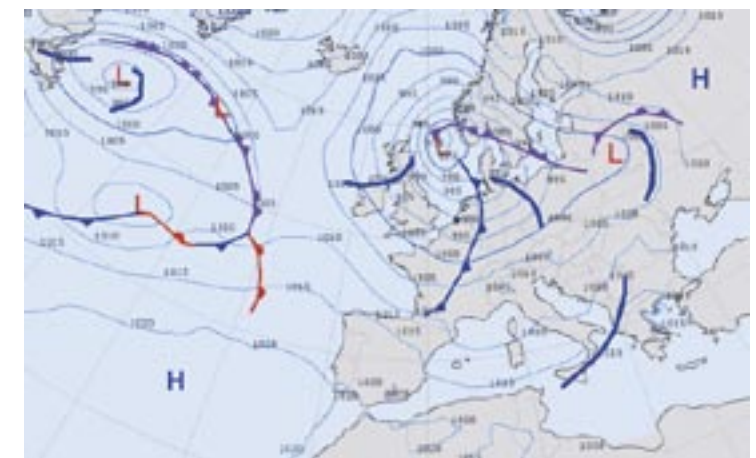
Die Rotation der einströmenden Luft gegen den Uhrzeigersinn sorgt dabei für eine bestimmte Abfolge von Windrichtungen, während das Tiefdruckgebiet über eine Region (üblicherweise von Westen nach Osten) hinwegzieht. Auf seiner Vorderseite werden zuerst südliche, dann südwestliche Winde auftreten. Während des Durchzuges dreht der Wind auf West und auf der Rückseite des Tiefs schließlich auf Nordwest bis Nord. Zieht es unterhalb (südlich) des Betrachters durch, erleben wir an seinem Nordrand auch östliche Winde.

Allen voran der hochatmosphärische Jet-Stream sorgt für die Bildung von Druckunterschieden, aus denen sich dynamische Hoch- und Tiefdruckgebiete entwickeln. Wenn er hohe Luftschichten zusammendrückt oder auseinanderzieht resultiert daraus auch eine Luftdruckveränderung in den unteren Schichten der Atmosphäre. Wird bspw. in den oberen Schichten die Luft auseinandergezogen, führt dies in den unteren Schichten zu einem niedrigeren Luftdruck und durch die rotierend in das Zentrum des geringeren Luftdruckes nachströmende Luft, beginnt dort die Entwicklung eines dynamischen Tiefs. Mit ihrem wellenförmigen Verlauf in der Atmosphäre versorgen die Jetstreams in der nördlichen Hemisphäre besonders den Nordatlantik mit zahlreichen dynamischen Tiefdruckgebieten. Da überdies zwischen dem 40. und 60. Breitengrad große Mengen subtropischer Warmluft und polarer Kaltluft zusammentreffen,



Sturmtief Oratia über dem nördlichen Europa

ist hier die Entstehung von mächtigen Tiefdruckgebieten zusätzlich begünstigt. Angezogen von dem durch den Jetstream ausgelösten Tiefdruck, beginnen Warm- und Kaltfront um den Tiefdruckkern zu rotieren. Bis die schnellere Kaltluft die langsamere Warmluft eingeholt hat, dauert es i.d.R. einige Tage und solange verstärkt die Rotation um den Kern die Windgeschwindigkeiten der einströmenden Luft. Dabei folgt das Tief, quasi wie an einer Liftbahn gezogen, dem Jetstream über den Atlantik nach Nord-Osten und damit auf Europa zu. Nicht selten zieht der die Bildung des Tiefs auslösende Jetstream dabei die Luft über dem Tief noch weiter auseinander, wodurch der Unterdruck noch erhöht wird und sich das Tief weiter vertieft. Wenn sich dann noch die Reisegeschwindigkeit des Tiefs in Zugrichtung des Jetstreams beschleunigt, werden die durch seine Rotation entstehenden Winde nochmals verstärkt, aus dem dynamischen Tief wird ein Sturmtief.



Isobaren

Das Maß für den atmosphärischen Luftdruck ist Hektopascal, kurz hPa. Wie die Höhenlinien eines Berges auf einer Landkarte kennzeichnet man die Stellen gleichen Luftdruckes auf der Wetterkarte, indem man sie zu Linien, den Isobaren verbindet. Je näher die Isobaren aneinander liegen, desto größer ist der Druckunterschied auf gleichem Raum und desto mehr Wind wird dort für Druckausgleich sorgen.

Vorsicht bei der Interpretation von Wetterkarten: Im kontinentaleuropäischen Raum üblich ist die Einzeichnung von Isobaren mit jeweils 5 hPa Druckunterschied, im anglo-amerikanischen Raum sind es dagegen nur 4 hPa, wodurch die Isobaren hier bei gleicher Wind- und Wetterlage also enger beieinander liegen.