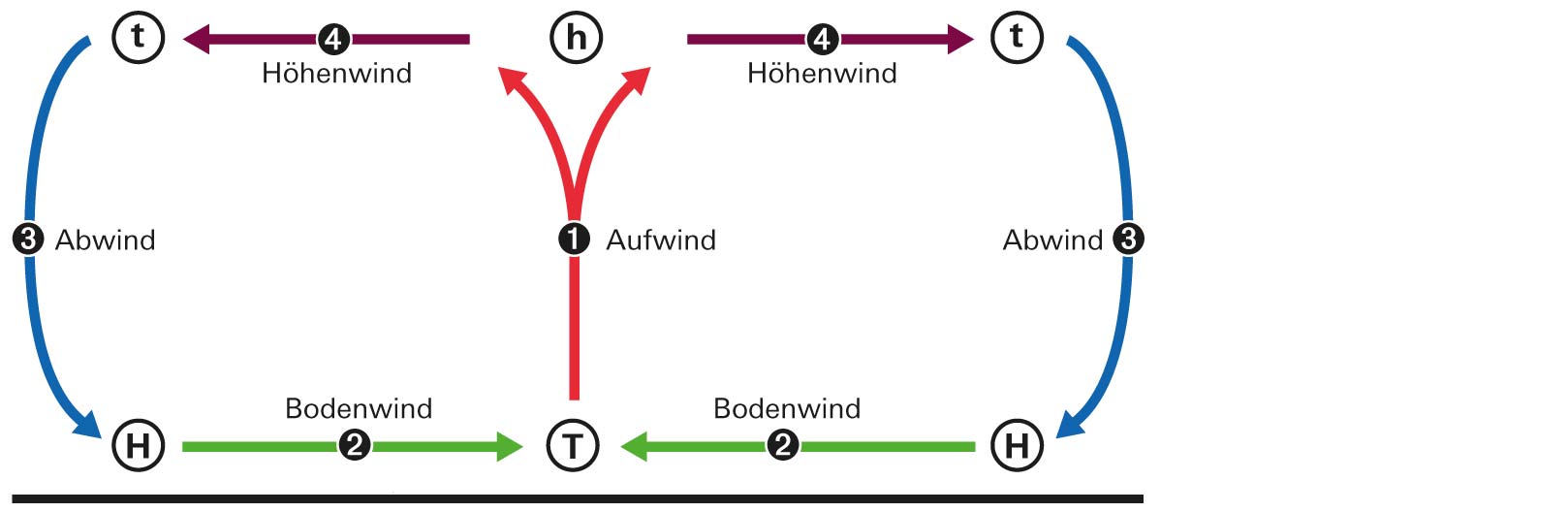
Geographie: Windsystem

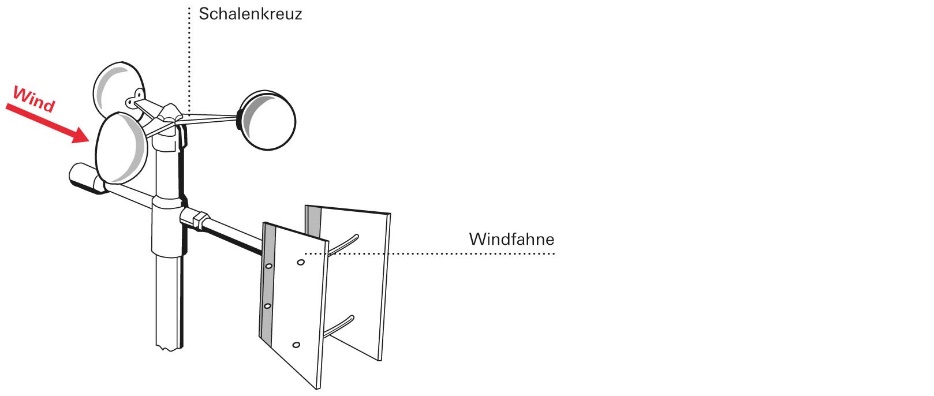
# Physik der Winde (I)

Winde entstehen durch den Ausgleich von Druckunterschiede. Gleich wie wir mithilfe dem vergrössern unseres Lungenvolumens einen künstlichen Unterdruck (Tiefdruckgebiet) erzeugen und nachher Luft von aussen (Hochdruckgebiet) einströmt, funktioniert es auch bei den Winden:



Die Sonne erwärmt an einem bestimmten Fleck den Boden und die Luft darüber erwärmt sich, der Druck nimmt ab (Bodentief in der Graphik), Luft strömt nach oben, wo durch die nach oben strömenden Luftmassen ein hoher Druck entsteht, dieser gleicht sich durch die Höhenwinde aus. Über dem nun kälteren Boden kühlt sich die Luft ab, ein Abwind entsteht, der wiederum ein Bodenhoch und somit einen weiteren Ausgleichswind zum Bodentief erzeugt.

# Windmessung

Die Windgeschwindigkeit wird mit einem Schalenkreuzanemometer gemessen, sie wird in m/s, km/h oder in Knoten angegeben (1 Knoten ~= 1.85 km/h). Die Richtung und Stärke kann auch ungefähr mit einem Windsack bestimmt werden.

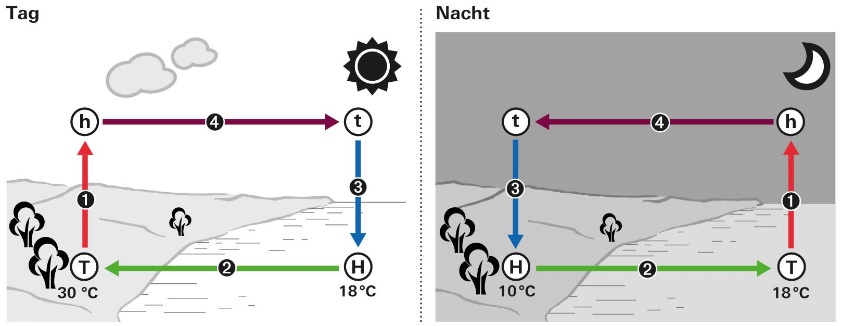
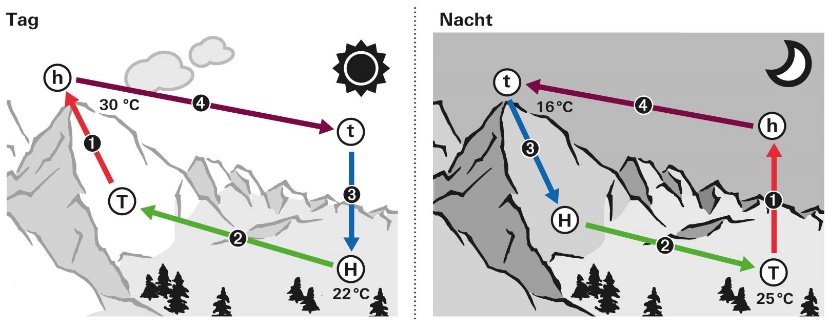
Winde werden immer nach ihrer *Herkunftsrichtung* benannt (z.B.: Ein Wind der nach Osten weht ist ein Westwind. Die Windrichtung kann entweder in Himmelsrichtung (N, E, S, W) oder in Graden angegeben werden.

## XGG003BOBIde.jpgBeaufort-Skala

Die Beaufort-Skala ist eine Möglichkeit die Windstärke nach Beobachtung einzuteilen. Dabei gibt es sowohl Anhaltspunkte für Winde auf dem Land, wie auch auf dem Meer. Die Gradspanne der einzelnen Stufen nehmen gegen oben hin zu (Ein Orkan ist nicht nur 12-mal stärker wie eine Brise!).

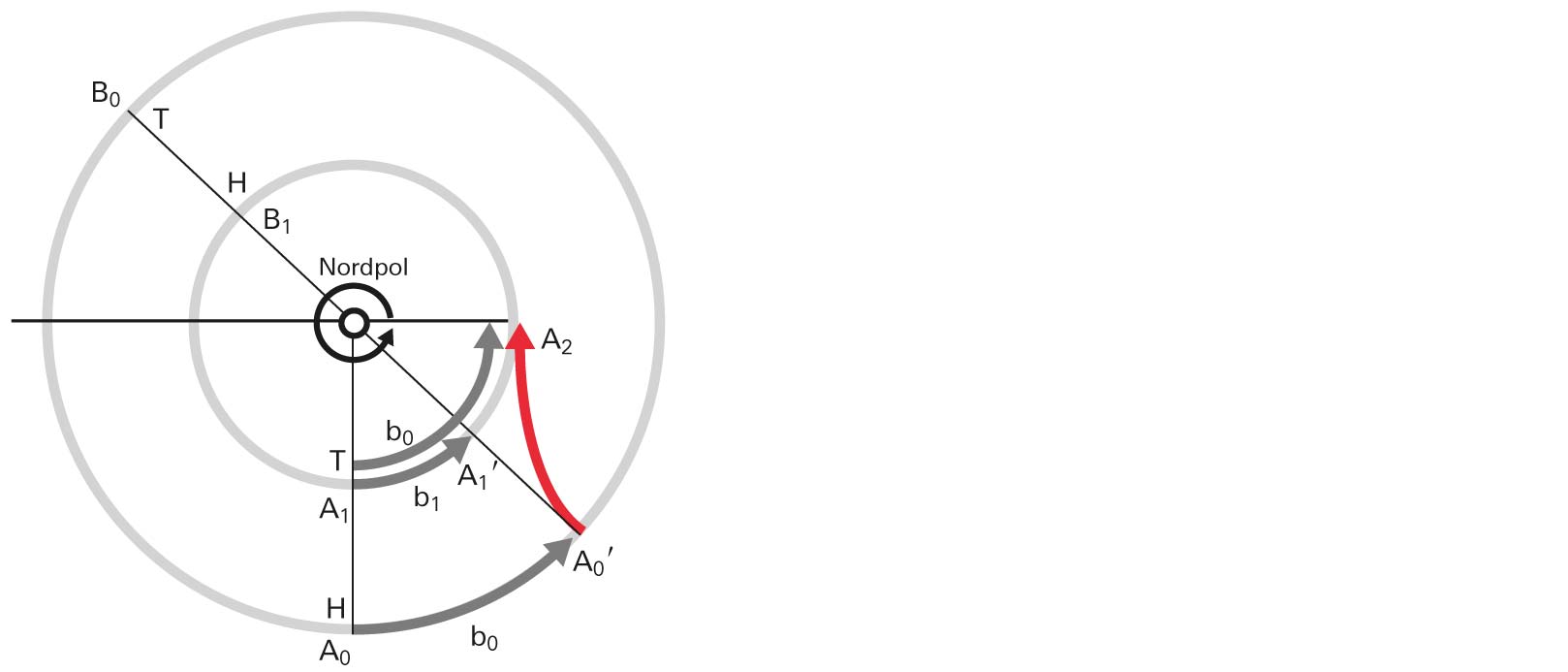
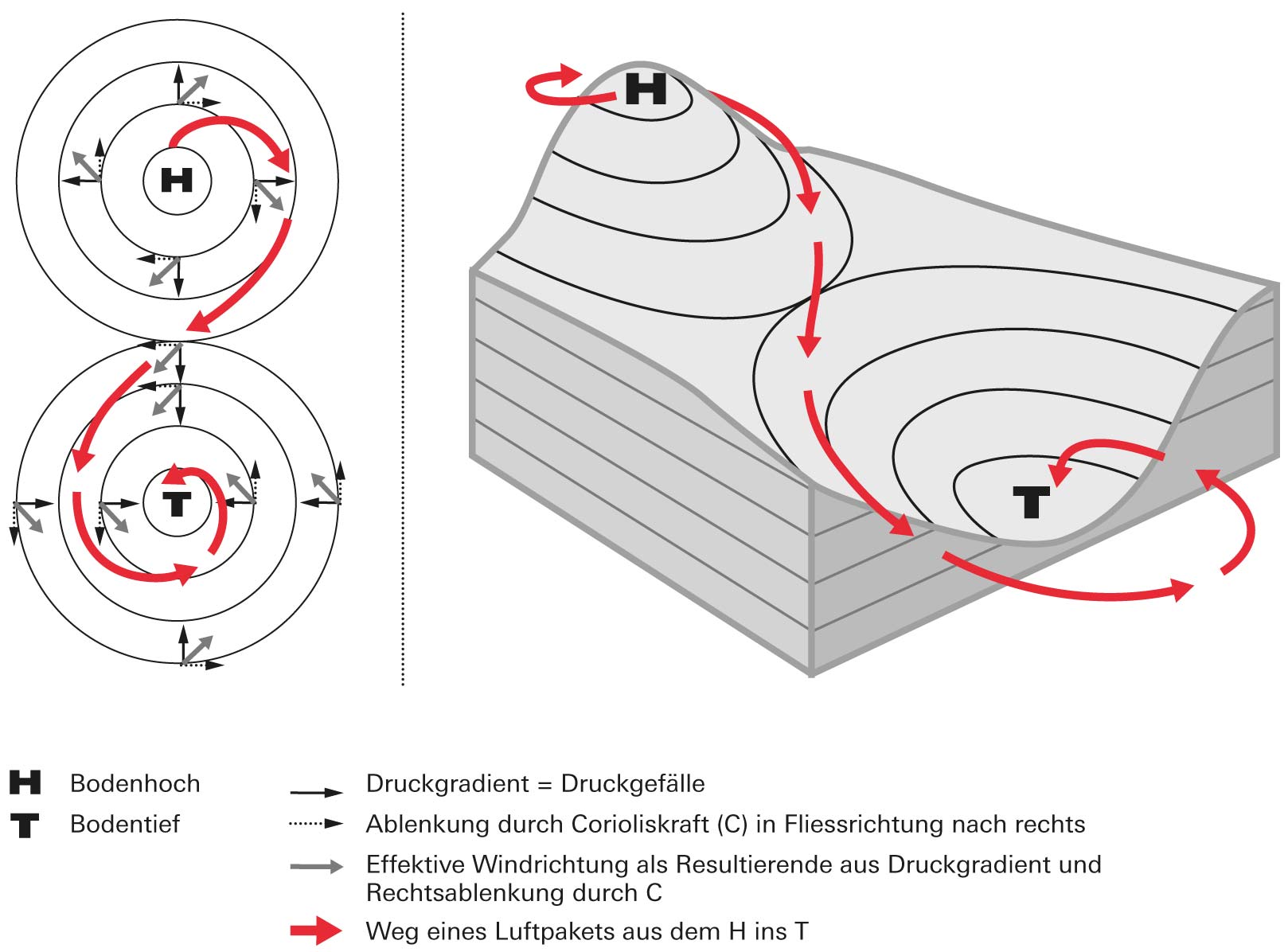
# Lokale Windsysteme

Aufgrund von lokalen Temperaturunterschiede (🡪 Druck) können lokale Windsysteme entstehen. Zwei sind hier von Bedeutung:

* See- und Landwind:  
    
  Durch die stärkere Aufwärmung des Landes am Tag entsteht ein lokales Bodentief, und ein daraus folgender Seewind. Da sich das Land in der Nacht stärker abkühlt, setzt ein Landwind ein.
* Tal- und Bergwind:  
    
  Durch die stärkere Aufwärmung der Bergflanken am Vormittag (das Tal ist schattig), ein Hangaufwind entsteht, am Abend kehrt sich die Situation durch die stark abkühlende Bergflanke entsprechend um.

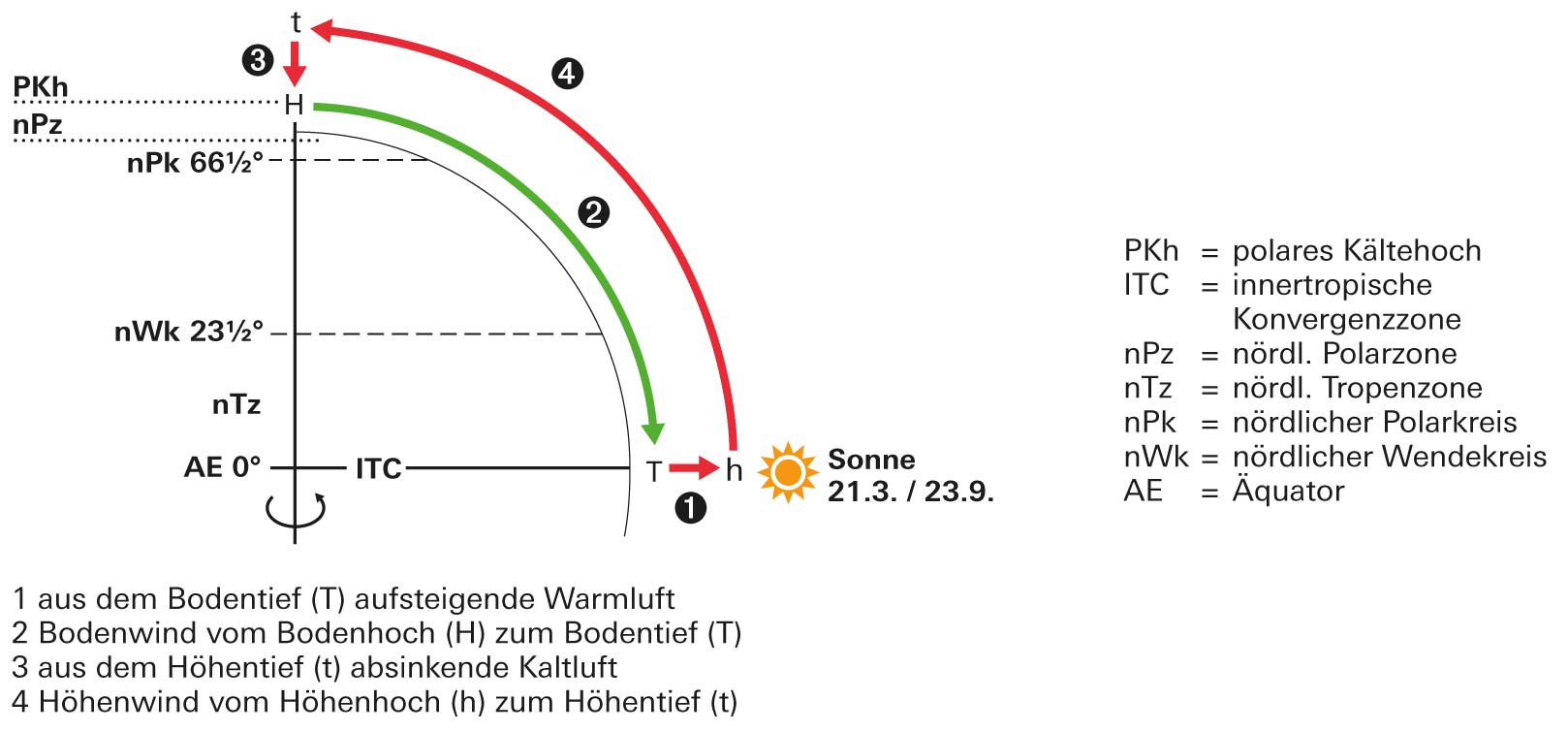
# Physik der Winde (II)

Beim globalen Windsystem das nachfolgend betrachtet wird kommen zwei wichtige Scheinkräfte zum Zug: Die Zentrifugalkraft und die Coriolis-Kraft. Es sind der Einfachheit halber «pedagogical facilitations» nötig um die Sache nicht zu komplex werden zu lassen.

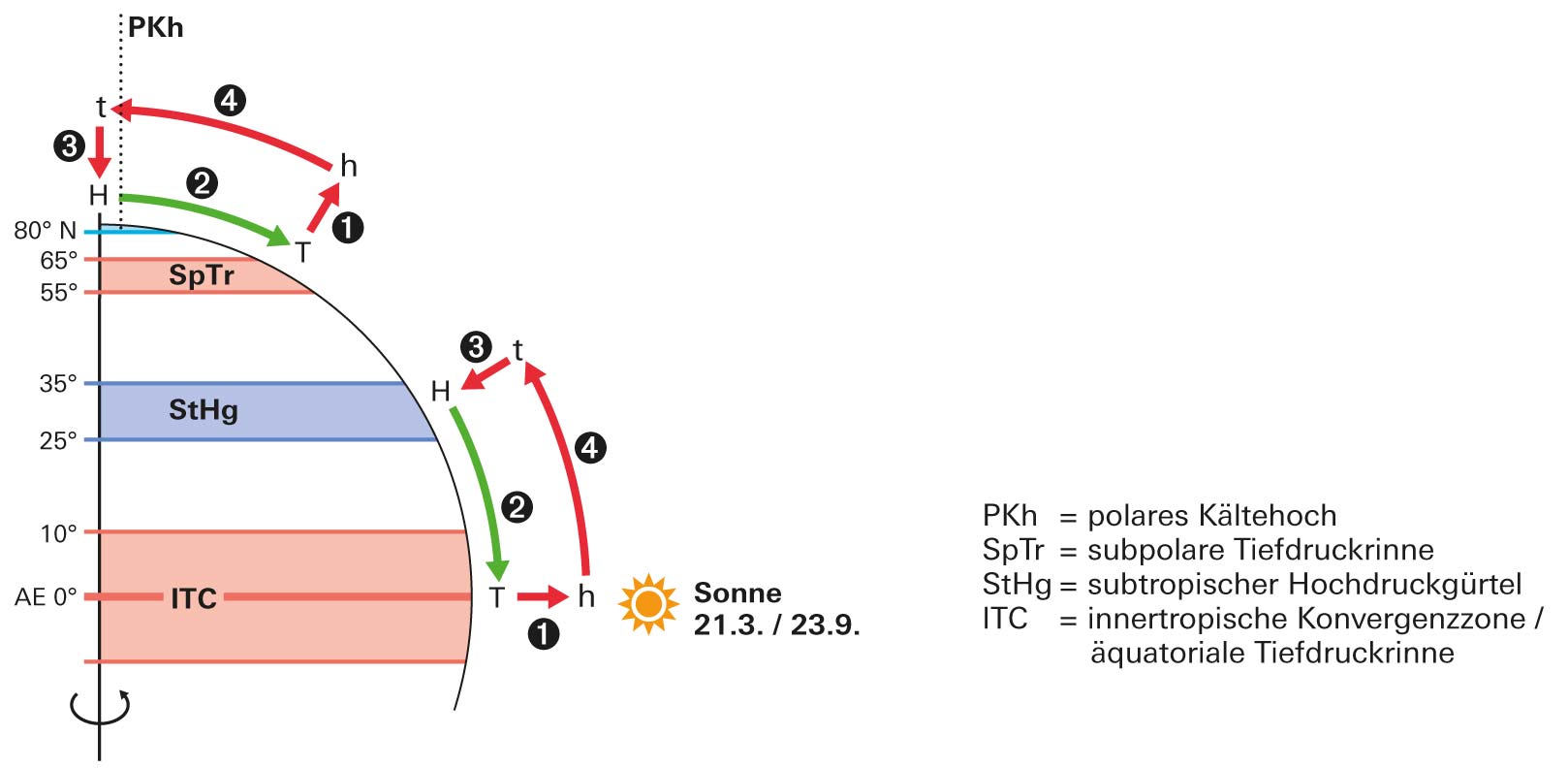
* **Zentrifugalkraft**: Die Zentrifugalkraft ist jedem bekannt: Wenn Objekte kreisen werden sie nach aussen gestossen, ein gutes Veranschaulichungsbeispiel ist das Kettenkarussell: Die Sitze werden bei der Drehbewegung nach aussen gestossen.
* **Coriolis-Kraft**: Die Erde dreht sich um ihre eigene Achse in Richtung Osten (rechts), sie bewegt sich aber nicht überall mit gleicher Geschwindigkeit um ihre eigene Achse, da der Weg am Äquator der Längste ist, bewegt sie sich hier am schnellsten, zu den Polen hin nimmt die Geschwindigkeit also ab. Man stelle sich vor, man werfe einen Stein Richtung Nordpol:  
    
  Solange man diesen Stein in den Händen hält, dreht er mit der Erde in der dortigen Geschwindigkeit mit. Wirft man ihn nun Richtung Nordpol, behält er diese höhere «Seitengeschwindigkeit» bei und wird nach rechts abgelenkt. Macht man nun dasselbe auf der Südhalbkugel passiert das Gegenteil: Der Stein wird nun nach links abgelenkt, das Prinzip bleibt aber das gleiche. Daraus ergibt sich für ein Hoch-Tief-Drucksystem auf der Nordhalbkugel folgendes:  
    
  Die Luft will rechtwinklig zu den Isobaren, dem Druckgefälle folgend wegströmen, die Coriolis-Kraft setzt an und lenkt das Luftpaket in Bewegungsrichtung nach rechts ab: Die Luft bewegt sich im Hoch im Uhrzeigersinn und im Tief im Gegenuhrzeigersinn. Auf der Südhalbkugel trifft hier wieder das Gegenteil zu. Die Coriolis-Kraft nimmt ab, je näher ein Wind zum Boden ist.

# Aufbau des globalen Windsystems

Wir gehen nun von einem Urmodell schrittweise zum Endmodell über. Zu Beginn können wir annehmen, dass sich über dem Äquator wohl ein Bodentief befinden muss, da hier die Sonne am intensivsten scheint. Weiter kann man annehmen, dass sich über dem Nordpol ein Bodenhoch befinden muss, wir sind somit beim einfachen Urmodell des Windsystems:



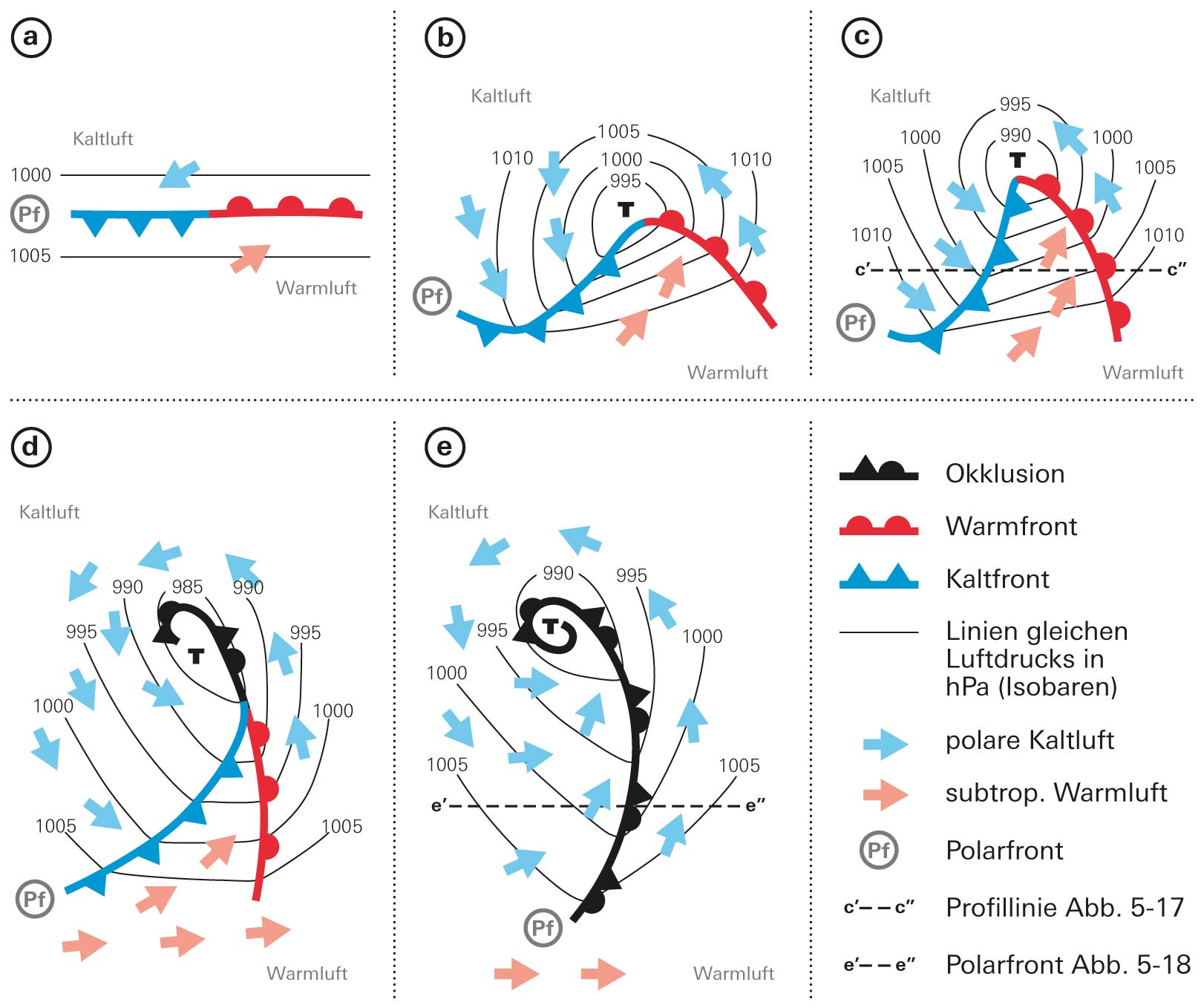
Dieses Modell ist aber nicht genau genug, denn die Luft die am Äquator aufsteigt, kühlt schneller wieder ab, sinkt also nicht erst am Nordpol, dasselbe gilt für die Bodenwinde aus dem Norden, sie sind schneller warm und beginnen aufzusteigen. Wir sind beim erweiterten Urmodell:



Der Äquatorialkreislauf ist hierbei der Hauptmotor des globalen Windsystems, die Polsysteme lediglich «Nebenmotoren». Dieses Modell hat aber wieder eine entscheidende Lücke: nicht die ganze Luftmasse der Höhenwinde (4) kann im Hochdruckgürtel absinken. Ein Teil der Luft wird also weiter nach Norden transportiert und durch das grosse Druckgefälle stark zu einem Strahlstrom (Jetstream) beschleunigt.

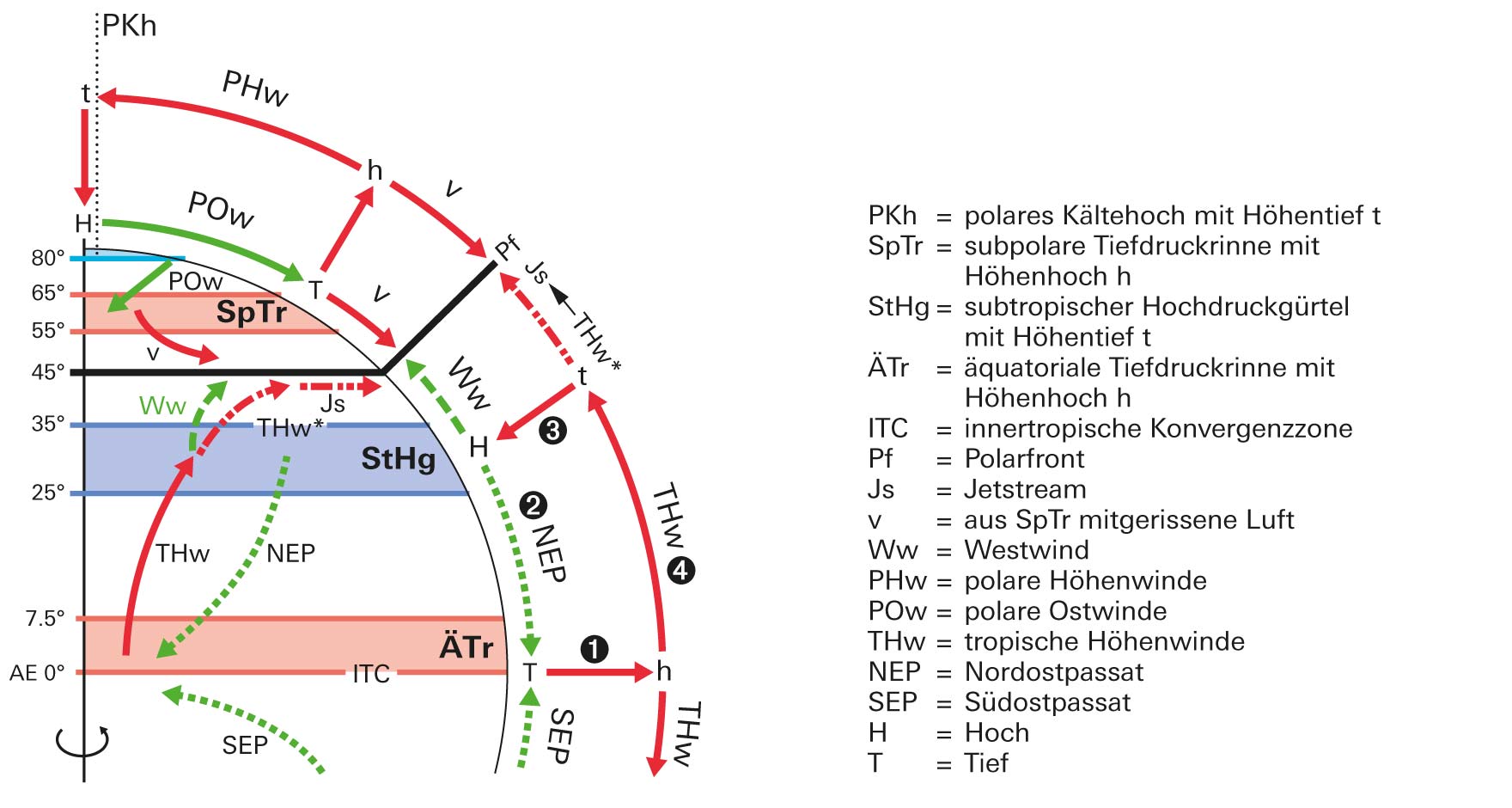
Als Polarfront bezeichnet man die Grenzstelle zwischen Kalt- und Warmluft und der daraus resultierenden Unterschiede in der Dicke der Atmosphäre und Druckunterschiede. An dieser Polarfront treffen nun Warmluft des Westwindes (Strahlstrom; Höhenwinde werden sehr stark abgelenkt!) auf die mitgerissene Kaltluft aus der subpolaren Tiefdruckrinne, die ebenfalls von der Coriolis-Kraft zu einem Westwind abgelenkt wurden.

## Bildung von dynamischen Tief- und Hochdruckzellen

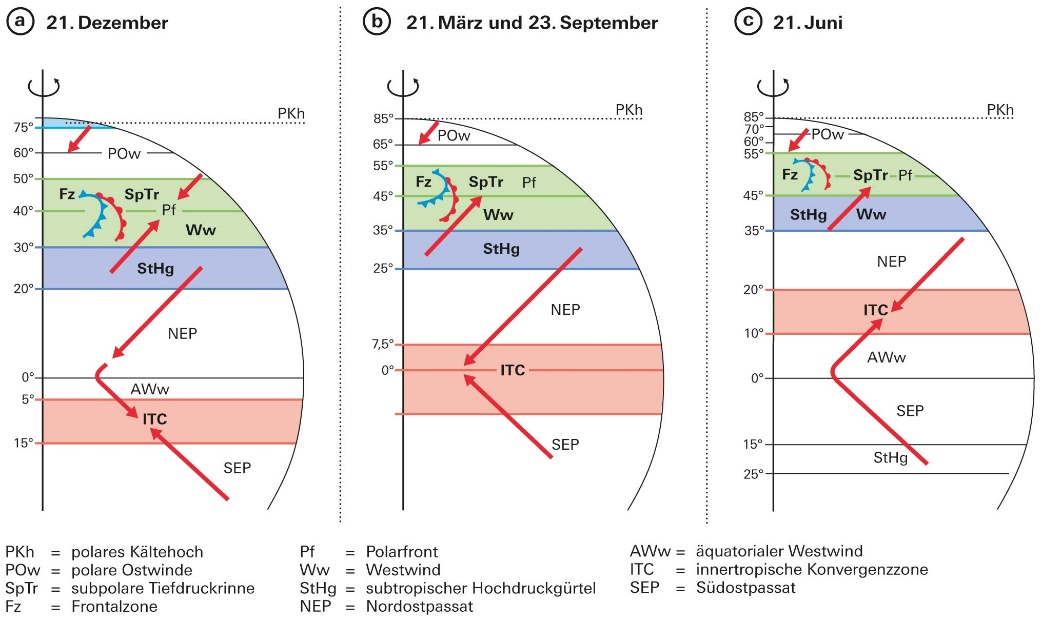


Dies führt nun zur Bildung von dynamischen Tiefdruckgebieten, da sich an der Polarfront immer kleine Wellen aus Kalt- und Warmluft bilden. Die eindringende Warmluft verursacht eine Drehbewegung, da sie von unten her hineindrängt. Die Zentrifugalkraft beginnt zu wirken, Luftteilchen werden nach aussen gezogen, es entsteht ein Tiefdruckgebiet mit Warmfront, und dem nachfolgenden Warmsektor mit Warmluft aus dem Süden und mit nachfolgender Kaltfront mit nördlicher Kaltluft. Die Kaltfront bewegt sich schneller, weil die Warmfront durch die Aufwärtsbewegung verlangsamt wird. Schlussendlich holt die Kaltfront die Warmfront ein: eine Okklusion entsteht.

Abschliessend ergibt sich folgendes Windsystem:

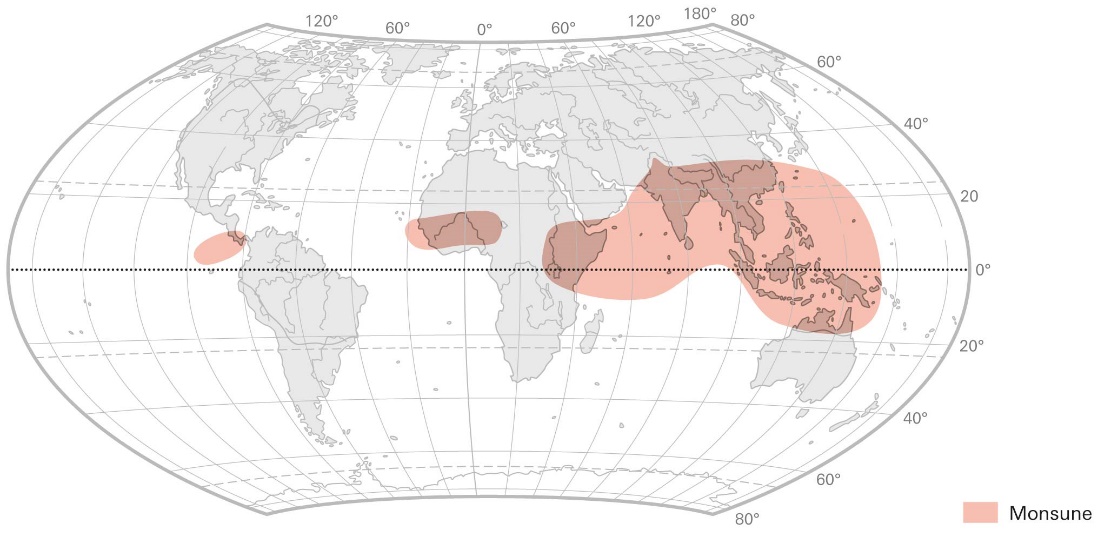


## Jahreszeitliche Wanderung des Windsystems



Durch die jahreszeitliche Wanderung des Sonnenzenits, verschiebt sich auch das Druck- und Windsystem nach Norden oder nach Süden. Die Bodenwinde zur ITC (Passate) werden gebremst und abgelenkt, es entstehen äquatoriale Westwinde.

# Monsune



Monsune sind jahreszeitlich wechselnde, grossräumig wirkende Winde, deren Winkelunterschied mindestens 120 Grad betragen muss. Des Weiteren müssen sie während 60% der Zeit in ihrem Halbjahr wehen.

Jahreszeitliche Windrichtungsänderungen entstehen zunächst wegen der Verlagerung der ITC. Durch den vergleichsweise niedrigen Druck der ITC wird Luft angezogen und es entstehen Winde, die Passate. Die innertropische Konvergenzzone (ITC) folgt mit leichter Verzögerung der durch die Neigung der Erdachse hervorgerufenen Wanderung des Zenit der Sonne zwischen den Wendekreisen. Dabei wird die ITC im Falle eines Monsunphänomens durch ein kontinentales Bodentief beeinflusst, welches man auch als Monsuntief bezeichnet und durch die starke Erwärmung der über den Kontinenten befindlichen Luftmassen hervorgerufen wird. Grund für die stärkere Erwärmung der Luft über den Kontinenten sind die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Land- und Meeresoberflächen. Die Erwärmung, aber auch die Abkühlung der Landoberfläche erfolgt dabei etwa zwei- bis dreimal so schnell wie die der Wasseroberfläche.

Während seines Weges vom Ozean zum Kontinent nimmt der Monsunwind über den Wasserflächen Feuchtigkeit auf und regnet diese am Luv von Wetterscheiden wie dem Himalaya zu grossen Teilen ab.

Im jeweiligen Winter bilden sich hingegen Hochdruckgebiete über den Kontinenten aus. Die ITC verlagert sich in der Folge wieder in Äquatornähe bzw. überschreitet diesen in Richtung der jeweils anderen Erdhalbkugel. Dadurch wird der Nordost-Passat auf der Nordhalbkugel und der Südost-Passat auf der Südhalbkugel zum jeweils dominierenden Wind. Diese werden auch als Wintermonsun bezeichnet und führen trockene, kontinentale Luftmassen mit sich. Sie äußern sich daher auch meist in einer ausgeprägten Trockenzeit.

