

Naturräume Lateinamerikas - vom Feuerland bis in die Karibik

1 Klimatologie, oder: Klimatische Grundstrukturen und -prozesse in Lateinamerika

Die **Klimatologie** ist die Wissenschaft vom Klima. Sie gehört zur **Meteorologie** (Wetterkunde), unterscheidet sich von dieser jedoch durch einen anderen räumlichen (weltweite Betrachtung) und zeitlichen (langfristige Betrachtung) Maßstab. Dennoch ist ihre Perspektive auf das atmosphärische Geschehen gerichtet. Die **Klimageographie**, ihre wichtigste Nachbarwissenschaft, dagegen erfasst, beschreibt und erklärt das Klima als räumliches Geschehen, und tut dies, wie jede andere Teildisziplin der Geographie, unter Berücksichtigung anderer räumlicher Erscheinungen. Deswegen sind für die Klimageographie auch regional-, lokal- oder gar mikroklimatische Eigenarten interessant, die durch Relief, Vegetationsbedeckung, menschliche Nutzung und andere räumliche Faktoren beeinflusst werden.

Klimatologie und Klimageographie definieren die Grundbegriffe ihres gemeinsamen Erfahrungsobjektes wie folgt:

Wetter ist das momentan ablaufende Geschehen in der Atmosphäre.

Witterung ist der über eine gewisse Frist (Tage oder Wochen) anhaltende Zustand des Wetters.

Klima ist die langfristige Synthese der Variationsbreite des Wettergeschehens und der Witterungszustände eines größeren Gebietes.

Das Klima ist unter anderem von der Breitenlage, d.h. von der Nähe bzw. Entfernung zu Äquator und Pol, abhängig. Deswegen sind die großen Klimagebiete der Erde tendenziell breitenkreisparallel angeordnet. Wir sprechen daher auch von **Klimagürteln**. Das Relief, die Entfernung zum Meer (Maritimität, Kontinentalität), die Einflüsse kalter und warmer Meeresströmungen sowie die größere oder geringere Kontinentalmasse auf den Breitenkreisen modifizieren jedoch die Ausprägung der Klimagürtel.

Die Klimatologie hat zwei Hauptrichtungen. Die **dynamische Klimatologie** untersucht das atmosphärische Geschehen weltweit und versucht, die Ursachen und Bedingungen der Entstehung der unterschiedlichen Klimagürtel zu erfassen, zu beschreiben und zu erklären. Die **effektive Klimatologie** dagegen ermöglicht erst überhaupt die Abgrenzung der einzelnen Klimagürtel. In Wahrheit gibt es ja keine wirklichen Klimagrenzen, da das Klima sich von Nord nach Süd und West nach Ost kontinuierlich verändert und ständigen Veränderungen unterworfen ist. Jede Klimaklassifizierung kann nur eine Momentaufnahme sein. Die effektive Klimatologie legt daher Grenz- oder Schwellenwerte fest, mit deren Hilfe es gelingt, unterschiedliche Klimaregionen zu definieren. Die **Klimaklassifikation** ist daher das Hauptanliegen der effektiven Klimatologie.

Während die **dynamische Klimatologie Grundstrukturen eines stringenten Theoriegebäudes besitzt** (die Lehre von der atmosphärischen Zirkulation), haben sich in der **effektiven Klimatologie unterschiedliche Schulen** gebildet. Sie werden nach den

wichtigsten Autoren benannt und unterscheiden sich in Methode und Ergebnis. Die wichtigsten Autoren/Schulen sind: **Köppen, v.Wissmann, Troll/Pfaffen, Lauer/Frankenberg**. Das System des baltisch-russischen Klimatologen Wladimir Köppen hat den Vorteil einer klaren, leicht verständlichen Systematik, der Reduzierung der Klimaregionen auf wenige Hauptklassen und der klaren hierarchisch gestaffelten Differenzierung dieser Klassen. Sein Handicap ist die thermische Abgrenzung der Tropen (18° Isotherme des kältesten Monats, d.h. alle jene Orte, in denen die Monatsdurchschnittstemperatur irgendwann im Jahr unter 18°C sinkt, liegen bei Köppen außerhalb der Tropen). Dies ist beispielsweise in den Höhenregionen tropischer Gebirge (ab tierra fría, dem "kalten Land") der Fall.

Die anderen Autoren argumentieren einheitlich und völlig zu Recht, dass die Tropen nicht thermisch zu definieren seien. Sie ziehen daher die **Tropengrenze** dort, wo die Temperaturschwankungen zwischen Sommer und Winter (Jahresschwankungen der Temperatur, auch "Jahresamplitude" genannt) größer werden als die Schwankungen zwischen Tag und Nacht (Tagesamplitude). Tropische Klimate sind demnach **Tageszeitenklimate**, außertropische (=ektropische) dagegen Jahreszeitenklimate. Die größere Präzision dieser Tropendefinition setzt sich bei allen diesen Autoren jedoch leider in der Liebe zum Detail bei ihren Klassifikationen fort, so dass für den Laien die Köppensche Klassifikation immer noch die am leichtesten verständliche ist.

1.1 Deskriptive Klimatologie - Die wichtigsten Klimaelemente und -erscheinungen für Lateinamerika im Überblick

Da es keine Einzelgröße gibt, die das Klima der Erde hinreichend erklärt, ist es notwendig auf mehrere einzelne Klimafaktoren einzugehen und aus diesen synthetische Erkenntnisse zu gewinnen. Die wichtigsten und für den Laien verständlichsten Aussagen lassen sich aus der Beschreibung der Klimaelemente gewinnen. Einige dieser Elemente lassen sich sehr leicht messen und sind auch in der Natur am eigenen Körper zu spüren.

Als wichtige Klimaelemente gelten Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit und Verdunstung, Bewölkung, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und die Sonneneinstrahlung. **Lufttemperatur und Niederschlag** sind die wesentlichsten Elemente des Klimas, da sie verhältnismäßig einfach zu messen sind. Viele der übrigen erfordern zum Teil komplizierte Messeinrichtungen (z.B. Verdunstungsmessung) und fließen daher in viele Klimabeschreibungen nur exemplarisch ein.

Alle aber unterliegen einer räumlichen Veränderung, die in der Regel kontinuierlich erfolgt und durch klimabildende Prozesse und Faktoren hervorgerufen wird. Die Basis des Klimageschehens ist die globale atmosphärische Zirkulation. Diese wird durch die Energie der Sonne hervorgerufen, wobei das Relief der Erdoberfläche modifizierend wirkt. **In Lateinamerika bildet das weitgehend meridianparallel angeordnete (also nord-südlich streichende) Gebirgssystem der Kordilleren eine bedeutende Klimabarriere**, wobei an denn Osthängen häufig völlig unterschiedliche Klima- und Vegetationsverhältnisse vorzufinden sind als an den Westhängen. **Die Anden bilden daher eine markante Klimascheide**. Dadurch tritt in Lateinamerika zur eigentlich zonal (breitenkreisparallelen) Anordnung der großen Klimateinheiten, wie sie idealtypisch – ohne ein nord-südliches Gebirgssystem – in Afrika ausgebildet ist, eine azonale Komponente.

1.1.1 Wichtige Klimaelemente im Überblick

Durchschnittliche Monatsmittel/Jahresmittel	Arithmetischer Mittelwert aus den monatlichen (jährlichen) Mittelwerten aller Einzeljahre einer Beobachtungsperiode. Der einzelne Monats (Jahres-)mittelwert errechnet sich als arithmetisches Mittel aus den Durchschnittswerten aller Einzeltage. Das Tagesmittel wiederum ist der Mittelwert aus den Messungen zu festgelegten Zeitpunkten.
Durchschnittliche Monatsextreme/Jahresextreme	Arithmetischer Mittelwert aus den monatlichen (jährlichen) Maxima bzw. Minima aller Einzeljahre eines Beobachtungszeitraumes.
Durchschnittliche monatliche Tagesextremwerte	Arithmetischer Mittelwert aller Tagesmaxima und –minima einer Beobachtungsperiode.
Absolute Extremwerte	Höchste/niedrigster je gemessener Wert eines Beobachtungszeitraumes
Durchschnittliche Jahresschwankung	Differenz zwischen den extremen durchschnittlichen Monatsmittelwerten
Variabilität	Prozentuelle Abweichung eines Monats (Jahres-)wertes vom langjährigen Mittelwert
Durchschnittliche Monatssumme/Jahressumme	Arithmetischer Mittelwert aus den monatlichen (jährlichen) Summen aller Einzeljahre eines Beobachtungszeitraumes (z.B. des Niederschlags, der Verdunstung, der Sonneneinstrahlung)
Durchschnittliche/absolute monatliche/jährliche Anzahl von Ereignistagen	Mittelwert aus den monatlichen (jährlichen) Summen der Tage mit einem bestimmten Ereignis Tage mit Niederschlag (Schneefall) Frosttage (Tagesminimum unter 0°C) Eistage (Tagesmaximum unter 0°C) Schneedeckentage

Wichtige Begriffe sind zudem Tages- und Jahresamplituden der Temperatur (in °C) und der Niederschläge (in mm), als Maß für die Intensität des Klimageschehens.

1.1.2 Jahresdurchschnittstemperatur Lateinamerikas

Die thermischen Bedingungen Lateinamerikas zeigen natürlich die zu erwartende eine deutliche zonale (breitenkreisparallele) Anordnung, d.h. vom Äquators polwärts sinken die Jahresdurchschnittstemperaturen. In den Anden aber kommt es sehr darauf an, in welche Höhe Temperaturmessungen erfolgen. In den Höhenstockwerken nämlich herrschen Temperaturen, die im Jahresmittel durchaus denen der gemäßigten Breiten, also den in Europa bekannten, entsprechen. Man spricht hier vom sog. „Höhengradienten“ der Temperatur. Die höchsten jährlichen Wärmewerte sind also im äquatornahen tropischen Tiefland (z.B. Amazonasbecken) vorzufinden. Die Temperatur sagt jedoch noch nichts über die tatsächliche Sonneneinstrahlung aus, die in den Anden aufgrund der geringen Bewölkung den höchsten Bereichen sogar wesentlich höher ist als in tiefer gelegenen, aber häufig bewölkten Gebieten.

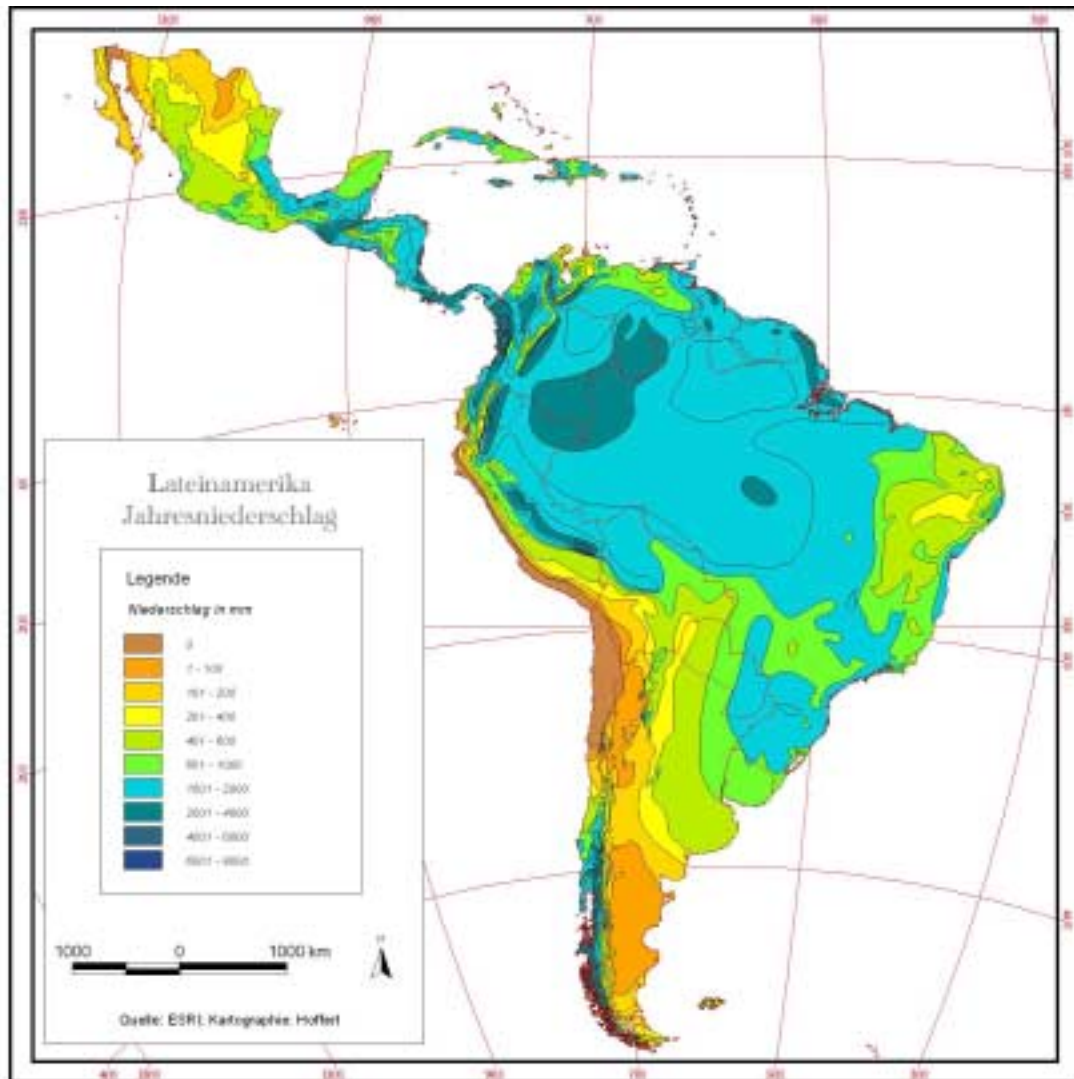
Folgende Karte gibt eine Übersicht über die thermischen Bedingungen Lateinamerikas .



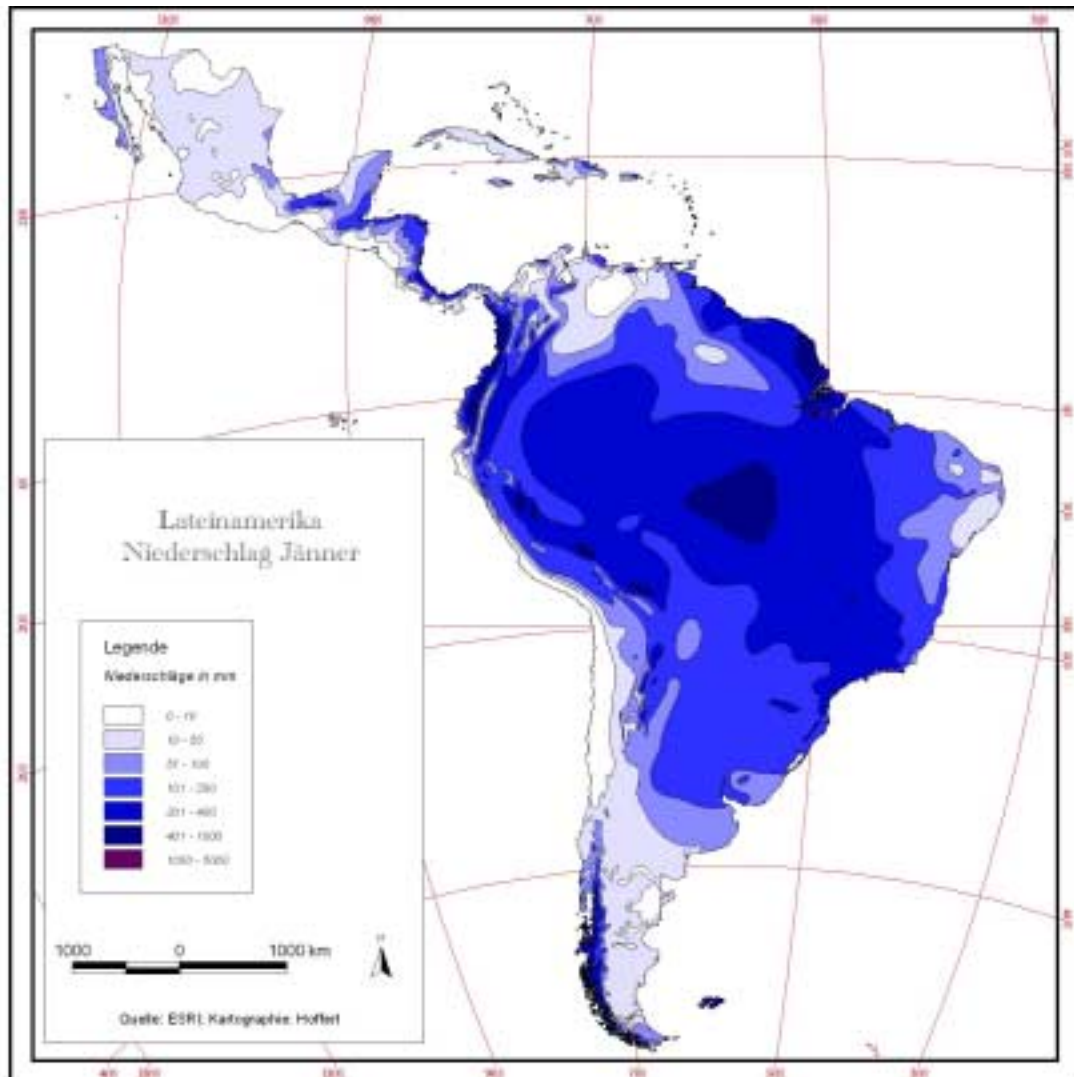
1.1.3 Jahresniederschlag Lateinamerikas

Bezüglich des Niederschlages hat Lateinamerika alle Extreme zu bieten: von tropischen immerfeuchten Regenwäldern mit sehr hohen über das ganze Jahr verteilte Regenmengen bis zur trockensten Wüste der Welt, der Atacama. Betrachtet man die Karte so fällt in Südamerika besonders die sogenannte "aride Diagonale" auf, die sich von der Magellanstraße bis zum Golf von Guayaquil zieht. Nirgendwo auf der Erde kann man einen Trockenraum beobachten, der sich über so viele Breitenkreise erstreckt.

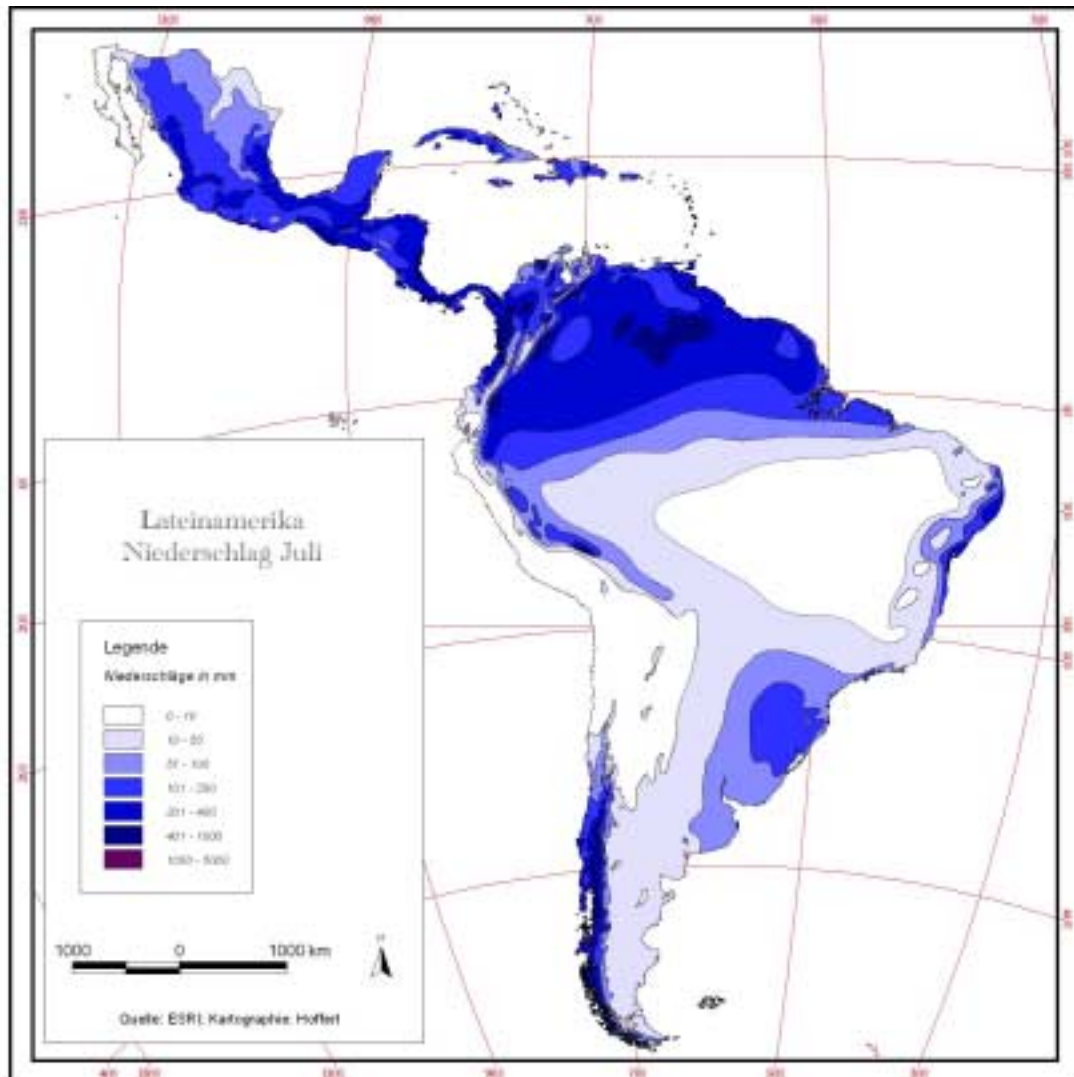
Die großen Regenmengen Lateinamerikas fallen allerdings nicht im Amazonasbecken, sondern an der kolumbianischen Pazifikküste.



1.1.3.1 Niederschlag im Jänner in Lateinamerika



1.1.3.2 Niederschlag im Juli in Lateinamerika



1.2 Dynamische Klimatologie - Grundzüge der atmosphärischen Zirkulation in Lateinamerika

Die Begründung in der **gesetzmäßigen Anordnung der natürlichen Zonen** Lateinamerikas geht – wie im übrigen auch auf der ganzen Erde – auf zwei ganz einfache **astronomische Grundtatsachen** zurück.

1. Die Energie zu allen physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen auf der Erde stammt fast ausschließlich von der **Sonne**. Aus ihr gewinnt nach Budyko (1978) die Erdoberfläche nach Abzug der reflektierten und effektiv wieder abgestrahlten Energiemenge netto 331 kJ/cm^2 .

2. Die annähernde Kugelgestalt der Erde, die Umdrehung der Erde um die eigenen Achse, der Umlauf der Erde um die Sonne, sowie die Schiefe der Ekliptik bewirken, dass die **einzelnen Breiten der Erde verschieden große Anteile an Sonnenenergie erhalten**.

Die Wirkung der **Sonneneinstrahlung** nimmt sowohl über dem Festland als auch über dem Meer mit zunehmender geographischer Breite ab. Die polwärts abnehmende Sonnenhöhe verursacht zunächst eine Verlängerung des Strahlenweges durch die Atmosphäre, außerdem

vergrößert sich mit sinkenden Sonnenstand die Größe der Fläche, die mit Energie zu versorgen ist. Die Folge ist ein **polwärts abnehmender Empfang an Globalstrahlung je Flächeneinheit**.

Die Erdachse steht nicht senkrecht auf der Ebene der Ekliptik (der scheinbaren Ebene der Erdbahn um die Sonne), sondern weicht um etwa $23\frac{1}{2}^\circ$ von der senkrechten ab. Deshalb steht die Sonne über dem Äquator nicht immer im Zenit, sondern ihre scheinbare Bahn verlagert sich im Laufe eines Jahres bis zu $23\frac{1}{2}^\circ$ beiderseits des Äquators. Diese beiden Breitenkreise auf $23\frac{1}{2}^\circ$ nördlicher und südlicher Breite nennt man daher **Wendekreise**, da die Sonne hier auf ihrer scheinbaren Bahn am 21. Juni (Nordhalbkugel) und am 21. Dezember (Südhalbkugel) am Zenit steht, danach „wendet“ und wieder zum Äquator wandert. Dort steht die demnach zweimal am Zenit: am 21. März und am 23. September.

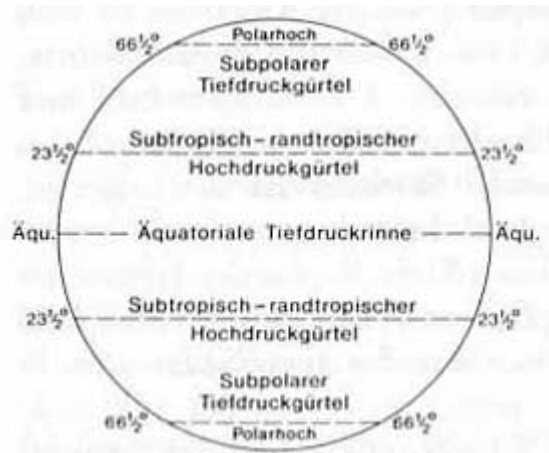
Auch um die Polgebiete gelten an den Breitenkreise, die $23\frac{1}{2}^\circ$ von den Polen entfernt sind (**Polarkreise** auf $66\frac{1}{2}^\circ$ nördl. und südl. Br.) besondere Beleuchtungsbedingungen: hier tritt die Erscheinung von Polartag und Polarnacht nur an jeweils einem Tag auf: am 21. Juni und 21. Dezember. In Lateinamerika wird der (südliche) Polarkreis freilich nur dann erreicht, wenn man die von Argentinien und Chile beanspruchte antarktische Halbinsel zu Lateinamerika rechnet. Aber selbst dann liegt der Polarkreis außerhalb der von den meisten Touristenschiffen befahrenden Routen, und weder Argentinien noch Chile unterhalten in dieser ungastlichen Region irgendeine Station.

Durch die astronomischen Tatsachen lässt sich die Erde, und damit auch Lateinamerika in drei Zonen untergliedern, unabhängig vom tatsächlichen Erscheinungsbild der Vegetation und des Klimas:

Die **tropische Zone zwischen den Wendekreisen**: Zwischen dem Wendekreis des Krebses und dem des Steinbocks steht die Sonne zweimal im Zenit – an den Wendekreisen selbst freilich nur einmal. Die Unterschiede in den Tageslängen, sowie zwischen Sonn- und Schattenseite sind wenig ausgeprägt. Auch gibt es im Jahresverlauf kaum Temperaturunterschiede, wohl aber zwischen Tag und Nacht. Wir sprechen daher auch vom „Tageszeitenklima“ der Tropen. Insbesondere in höheren Lagen, wo die Durchschnittstemperatur schon niedriger als die übliche Tropengrenze (18°C) liegt, können so an einem einzigen Tag drei (oder über 4000 m) sogar vier „Jahreszeiten“ erlebt werden: frühlingshafte Temperaturen am Morgen, sommerliche zu Mittag, herbstliche gegen Abend und winterliche in der Nacht.

Die **gemäßigte Zone zwischen Wendekreis und Polarkreis**: Die Temperaturunterschiede zwischen den Jahreszeiten sind ausgeprägt – hier spricht man also zu Recht vom „Jahreszeitenklima“. Anders als in den Tropen sind auch die Tageslängen – je nach Jahreszeit – verschieden. Die mittleren Breiten umfassen das breite Spektrum von subtropischen bis subpolaren Verhältnissen.

Die durch den Polarkreis begrenzte **Polarzone** um den Nord- und Südpol: In der Polarzone geht die Sonne im Sommer nicht unter, dafür bleibt sie im Winter unter dem Horizont.



Schematische Darstellung der Luftdruckgürtel der Erde.
Aus: W. Weischet (1977), S. 218.

1.2.1 Astronomisch-mathematische Grundlagen zur atmosphärischen Zirkulation

Die Strahlungsenergie der Sonne bleibt über längere Zeiträume konstant. Ein großer Teil wird jedoch in der Erdatmosphäre absorbiert und reflektiert. Wie viel Strahlung also tatsächlich die Erdoberfläche erreicht und dort physikalisch, chemisch, biologisch und somit auch klimatisch wirksam werden kann, hängt vom Zustand der Atmosphäre ab, z.B. von der Luftfeuchtigkeit, der Bewölkung und natürlich von der Länge des Weges, den die Strahlen durch die Lufthülle zurücklegen müssen.

Aus alledem folgt, dass die Klimazonen nicht exakt so angeordnet sein können, wie es Mathematiker oder Astronomen mit der Definition der Wendekreise und Polarkreise vorgegeben haben. Ginge es nach ihnen, wäre die Tropengrenze an den Wendekreisen, die Polargrenze an den Polarkreisen. Ein kurzer Blick auf die Weltklimakarte eines beliebigen Atlanten zeigt jedoch, dass die wahren Verhältnisse komplexer sind. Land und Meer, Bewölkung, Luftfeuchtigkeit, Meeresströmungen, Gebirge und Ebenen beeinflussen die Erwärmung der **Luftmassen der Atmosphäre in unterschiedlichem Maße**. Dazu kommt, dass verschiedene warme und daher auch unterschiedlich dichte Luftmassen aufgrund der physikalischen Gesetze nicht ruhig nebeneinander bestehen können. Im Gegenteil: Sie trachten danach, die Dichte- d.h. korrekterweise: die Druckunterschiede auszugleichen. Das wäre am einfachsten, wenn die unter hohem Druck stehenden Luftmassen sich in horizontaler Richtung auf kürzestem Wege auf die Zonen niedrigen Drucks zu bewegen würden, was sie zunächst auch tun. Sie werden auf diesem Weg aber durch die Erdrotation abgelenkt (sog. Coriolis-Kraft), so dass Wirbel (Zyklonen oder Antizyklonen genannt) entstehen. Schließlich haben Luftmassen verschiedenen Drucks und unterschiedlicher regionaler Herkunft auch jeweils andere Temperaturen. So kommt es, dass sich kältere Luftmassen unter wärmere schieben, oder wärmere auf kältere aufgleiten. In jedem Fall kühlen dabei die zum Aufsteigen gezwungenen warmen Luftmassen ab, verlieren einen Teil ihrer Feuchtespeichervermögens. (Front-)Niederschläge sind die Folge.

Über die ganze Erde reichende Luftbewegungen ergeben in Summe die planetarische Zirkulation der Atmosphäre – **die atmosphärische Zirkulation**.

Die Anordnung der primären Wärmequellen alleine hätte eine direkte Zirkulation zwischen Äquatorial- und Polarregionen zur Folge. Aufgrund der hohen Strahlungseinwirkung über dem Äquator steigt hier die Luft auf und strömt in der Höhe polwärts ab, kühlt dabei unter Ausstrahlung zugleich ab. Im Polarraum sinkt sie ab, und fließt dort an der Erdoberfläche unter Erwärmung in Richtung Äquator ab. Dieser bereits 1735 beschriebene Zyklus wird

jedoch von der Erdrotation und der durch sie bewirkten **Corioliskraft** verhindert. Sie verhindert die direkte Luftzirkulation zwischen Äquator und Polosphäre. Deshalb folgt die tatsächliche atmosphärische Zirkulation nur in einem eingeschränkten Breitenintervall dem zu erwartenden Schema. Die übrigen Bereiche werden von komplizierten multikausalen Teilzirkulationen geprägt, die nichtsdestoweniger im folgenden kurz erklärt werden sollen.

Dazu ist es zunächst nötig, sich klarzumachen, dass die Erdatmosphäre über dem Äquator bei aufsteigender warmer Luft weitaus mächtiger ist als über den Polen, wo die Luft kalt ist und daher am Boden unter hohem Druck steht. Im Polarraum ist im Verhältnis dazu die Luft in der Höhe weniger dicht, in den Tropen dagegen herrscht am Boden Tiefdruck, der Höhe dagegen Hochdruck. An der Obergrenze der Atmosphäre besteht zwischen den beiden Zonen ein starkes Druckgefälle. Wenn nun also die unter hohem Druck stehende Luft hoch über dem Äquator dem natürlichen Druckausgleich folgend nach Norden abfließt, entstehen außerordentlich starke Winde, die als „jet stream“ bekannt geworden sind und bei jedem Flugreisenden, etwa auf der Strecke New York-Europa, gefürchtet sind (Turbulenzen).

Nun ist noch zu bedenken, dass aus den bodennah vom **Pol abströmenden kalten Winden infolge der Corioliskraft Ostwinde werden, aus den polwärts gerichteten warmen Winden in der Höhe dagegen Westwinde entstehen**. Wegen des starken Druckgefälles setzen sich die Jetstreams in den mittleren Breiten bis zum Boden durch, wo sie als Westwinde auftreten. Dort treffen sie mit den vom Pol abströmenden Ostwinden zusammen. Es entsteht im Grenzgebiet der großen Luftmassen die „**Polarfront**“, wobei die kalten Luftmassen unter die warmen geschoben werden und als sog. „Zyklonen“ von West nach Ost ziehen. Diese Zyklonen dominieren im sog. Westwindgürtel das Wettergeschehen. Besonders auf der Südhalbkugel, wo in dieser Breitenlage der Störfaktor Kontinentalrelief wegen der geringen Landmasse keine große Rolle spielt, kommen die Westwinde besonders gut zur Geltung. Bei Seeleuten sind sie als „Roaring Forties“ gefürchtet. Man spricht in diesen Breiten von der **subpolaren Tiefdruckfurche**. Dieser stehen nahe den Wendekreisen die **subtropischen Hochdruckzellen** gegenüber, die sich an der äquatorwärtigen Seite der Westwinde ansiedeln, weil sie aus kühlerer, also dichter Luft gebildet werden. In diesen Hochdruckgebieten herrscht eine absteigende Luftbewegung. Die Luftfeuchtigkeit kommt daher nicht zur Kondensation, der Himmel ist praktisch wolkenlos. An der Erdoberfläche sind Windstillen (sog. Kalmen) häufig. In der Zeit der Segelschiffahrt erhielten diese subtropischen Gebiete hohen Drucks den Namen **Rossbreiten**, da infolge Wassermangels bei der Überfahrt nach Amerika Pferde verendeten oder notgeschlachtet wurden.

Trotz aller dieser sehr komplexen Zusammenhänge herrscht auf der Erde eine **zonale** (breitenkreisparallele) **Gliederung in immerfeuchte innere Tropen**, und einen wechselfeuchten randtropischen Bereich, der vor allem dann Regenzeiten hat, wenn die Sonne im Zenit steht und die erhitzte Luft zum Aufsteigen, somit auch um Abkühlen und damit wiederum zum Abregnen zwingt. Den Rossbreiten der Seeleute entspricht auf den Kontinenten eine Wüstenzone extremer Aridität im Bereich der Wendekreise. Während in den Tropen die Niederschläge im Sommer, d.h. bei senkrechtem Sonnenstand, fallen, sind sie polwärts der Wüstenzonen an die Zyklonen gebunden, die nur vor allem im Winter die sich an die Halbwüsten anschließenden Regionen erreichen. Dies sind (an der Westseite der Kontinente) die Winterregenklimate, die auch als „mediterran“ bezeichnet werden. Mit zunehmender Breite fallen die Niederschläge ganzjährig, um schließlich nördlich des Polarkreises immer spärlicher zu werden und den Kältewüsten der Pole Platz zu machen.

In Lateinamerika ist diese Gliederung ebenfalls zu beobachten, durch das stark akzentuierte Relief allerdings in stark modifizierter Form.

Gerade in Lateinamerika haben aber die Passate eine besondere Bedeutung. Diese Winde müssen daher noch erklärt werden. Sie führen uns auch zu einem weiteren wichtigen Faktor

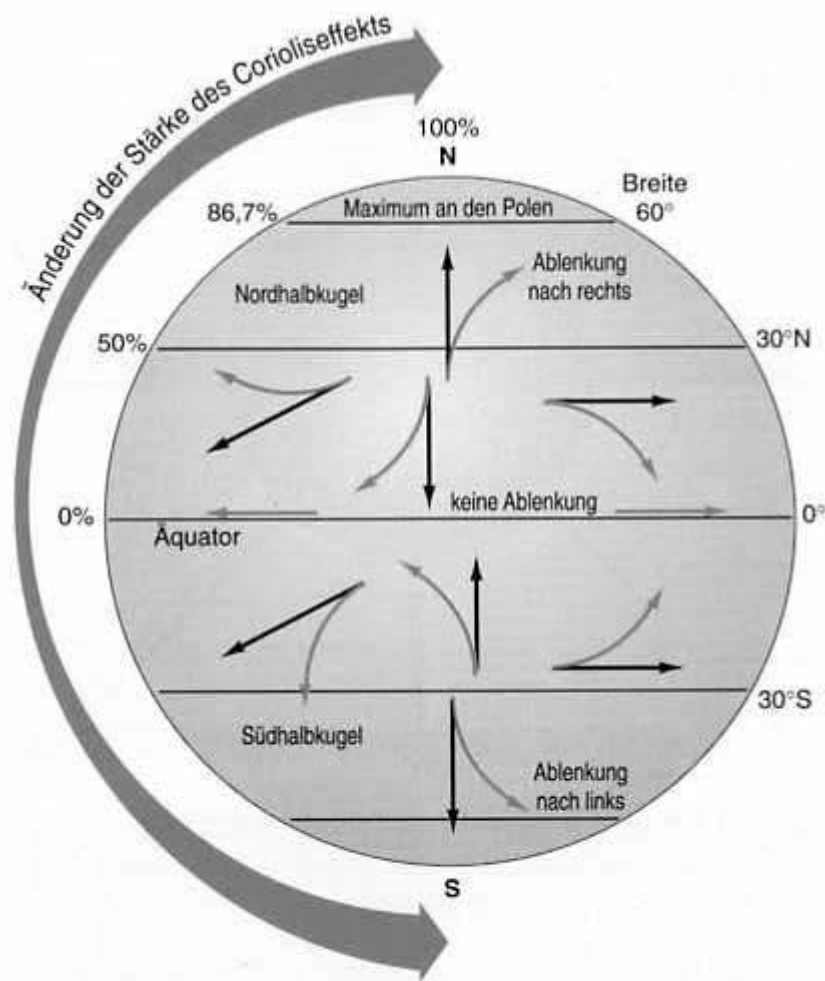
des Weltklimas, der sogenannten „Innertropischen Konvergenz“ (ITC). Passate sind Winde, die ausgehend von den Rossbreiten (also Zonen hohen Luftdrucks) in die äquatoriale Tiefdruckrinne strömen und ihrer Hauptrichtung entsprechend dabei durch die Corioliskraft nach Osten abgelenkt werden. Auf der Nordhalbkugel sind dies die Nordostpassate, in der südlichen Hemisphäre dagegen die Südostpassate. Diese Winde treffen in Äquatornähe aufeinander, haben sich auf ihrem Weg dorthin ständig aufgeheizt und steigen nun, auch unter Einfluss der im Zenit stehenden Sonne rasch auf. Dies wird im lokalen Maßstab als „Konvektion“ bezeichnet, die nachmittäglichen Starkniederschläge während der tropischen Regenzeiten sind daher auf Konvektionsvorgänge zurückzuführen. Im globalen Maßstab dagegen wird das Aufeinandertreffen der an den Wendekreisen wurzelnden Passate als „Konvergenz“ verstanden, die sich in den inneren Tropen ergibt, als als innertropische Konvergenz.

In Wahrheit aber, das haben die vorstehenden Ausführungen gezeigt, trifft dieser Begriff nicht ganz den Kern. Denn eigentlich, und auf dieser Erkenntnis fußt die moderne dynamische Klimatologie, bilden nicht die Passate den Motor des Weltklimas, sondern die starke Erwärmung der Luft am Äquator, die die Passate wie ein gewaltiger Staubsauger anzieht, die Atmosphäre über dem längsten Breitenkreis ausbeulen läßt und jenes Druckgefälle zur Folge hat, das wiederum die Ursache für die Entstehung des Westwindgürtels ist. Wer dieses Geschehen verstanden hat, für den ist es nicht mehr schwer, die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in dieses System, etwa durch Regenwaldkolonisation und Veränderung der (scheinbar) lokalklimatischen Verhältnisse, zu verstehen.

1.2.1.1 Corioliskraft

Die Corioliskraft wird meist als „*ablenkende Kraft der Erdrotation*“ übersetzt. Immerhin dreht sich die Erde am Äquator mit einer Überschallgeschwindigkeit von 465 m/s. Wir merken nur nichts davon, *da sich die Atmosphäre mitdreht*.

Wird ein Luftteilchen z.B. vom Äquator nach Norden oder Süden verfrachtet, so behält es seine am Äquator erhaltene Beschleunigung bei und ist bei etwa 40° nördl. oder südl. Breite um 110 m/s schneller als ein Luftteilchen dieser Breite, da dieses für den Umlauf einer Erdrotation weniger Strecke zurücklegen muss, und daher auch langsamer unterwegs ist. Es eilt den Luftmassen also voraus, woraus, vom Standpunkt des Äquatorluftteilchen aus gesehen, nach Norden ein **Rechtsdrall**, nach Süden ein **Linksdrall** entsteht.



Die Ablenkende Wirkung der Erddrehung.
Aus Strahler/Strahler (1999), S. 100.

Bewegt sich ein Luftteilchen zum Äquator hin, ist es relativ zu langsam und erfährt die gleiche Ablenkungsrichtung: von Süden vom Äquator einen Links-, von Norden zum Äquator einen Rechtsdrall. Dies ist der Grund, warum Hochs und Tiefs in entgegengesetzter Richtung rotieren.

Dieses Geschehen wird an der Erdoberfläche durch die hohe Bodenreibung noch modifiziert. Die Winde wehen demzufolge schräg zu den Isobaren vom Hochdruck zum Tiefdruck.

In größerer Höhe, wo die Bodenreibung fehlt, rasen die Luftmassen aber parallel zu den Isobaren um die Druckgebilde herum, ohne dass es zu einem raschen Luftausgleich kommt. Die Corioliskraft kommt hier voll zur Geltung.

1.2.1.2 Hochs und Tiefs

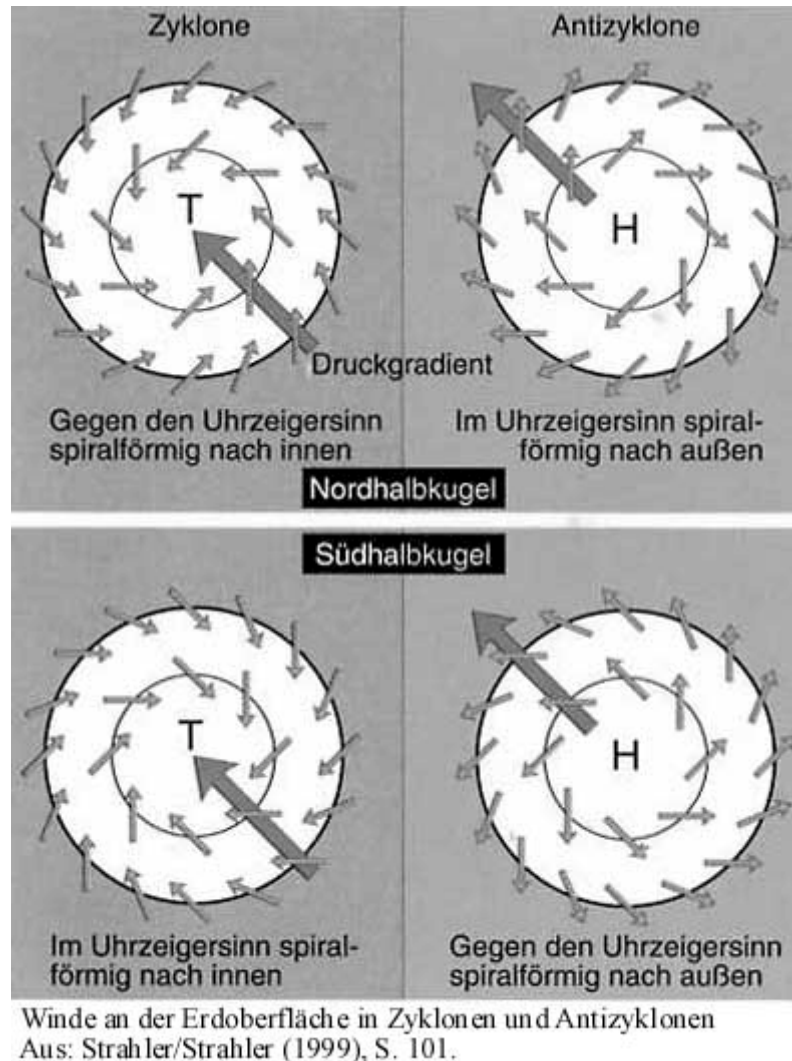
Wenn Luft erwärmt wird, geschieht dies nie direkt durch das kurzwellige Sonnenlicht, sondern immer über die von der Sonne zuvor aufgeheizten und langwelligen Wärmeausstrahlung der Erdoberfläche. Infolgedessen dehnt sich die Luft aus. Nach der Erwärmung haben also in einer Raumeinheit weniger Luftpartikel Platz als vorher, womit dieses Luftvolumen aber auch leichter als ein Kubikmeter kalte Luft ist und übt deshalb auch einen geringeren „Luftdruck“ auf die Erdoberfläche aus. **Warme Luft hat also die Tendenz**

aufzusteigen. Wo Luft wegströmt muss aber auch Luft ersetzt werden, sonst würde ja ein Vakuum entstehen, also entsteht als **Ausgleichsströmung** zwischen „Hochs“ und „Tiefs“.

Unterschiedlich temperierte Luftmassen und damit Luftmassen unterschiedlichen Luftdrucks. Linien gleichen Luftdrucks nennt man Isobaren. Im Tiefdruckgebiet nimmt der Druck gleichmäßig von Außen nach Innen ab, im Hochdruck von Außen nach Innen zu.

Tiefdruckgebiete sind Gebiete **niedrigen Luftdrucks**, in die Luftmassen von allen Richtungen hineinströmen. Durch ablenkende Kraft der Erdrotation (Corioliskraft) werden auf der Nordhalbkugel die Luftmassen gegen den Uhrzeigersinn einströmen, auf der Südhalbkugel im Uhrzeigersinn. Durch diese Wirbel, die man auch als **Zyklone** bezeichnet, führen ausgedehnte Luftdruckgebiete auf der Nordhalbkugel auf ihren Ostseiten warme Luftmassen aus dem Süden und auf ihrer Westseite kalte Polarluft aus dem Norden herbei, auf der Südhalbkugel umgekehrt. Dadurch, dass in einem Tief die Luftmassen aufsteigen, sind sie meistens mit Wolkenbildung und Niederschlag verbunden. Die ausgeprägtesten Tiefs sind die mit starker Aufheizung entstandenen Hitzetiefs (über dem Äquator im Bereiche der ITC) und die Wirbelstürme.

Aus **Hochdruckgebieten** versucht die Luft, nach **allen Seiten auszuströmen**, wobei wieder die Corioloskraft eine Rolle spielt. Die aus Hochdruckzellen stammenden Luftströmungen werden auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn abgelenkt. Hochdruckgebiete sind wolkenarm, da die Luft die aus ihnen in Bodennähe herausströmt von oben her durch neue Luftmassen ersetzt wird. Die absinkenden Luftmassen werden erwärmt, was zur Wolkenauflösung führt. Dennoch kann es in Hochdruckgebieten in schmalen Thermikschläuchen zu aufwärtsgerichteter Luftbewegung und damit kräftiger Haufenwolkenbildung und Wärmegewittern kommen. Hochdruckwirbel bezeichnet man als **Antizyklonen**.



Bei **Hochdruckwetter** kommt es besonders nachts bei fehlender Wolkendecke zu besonders hoher Ausstrahlung der Bodenwärme. Nun kann sich schwere, kalte Luft in Bodensenken, Becken und Tälern sammeln. Jeder, der in den Bergen wandert, weiß, dass es in der Höhe „einen Kittel kälter“ wird. Dieser Grunderfahrung widerspricht es, wenn kalte Luft in Bodennähe zu finden ist. Eine solche Wetterlage nennt man **Inversion**. In Lateinamerika macht man sich die nächtliche Inversion übrigens zunutze. Die Innenhofhäuser (Patiohäuser) fangen nachts die absinkende Kaltluft in den Patios ein, die von dort aus in die zum Atrium mit bodentiefen Türen versehenen Zimmer dringt und dafür sorgt, dass diese auch am Tage kühl wirken.

1.2.1.3 Passate

Die von den subtropischen Hochdruckgebieten zum Äquator abströmenden Winde erscheinen durch die Corioliskraft und Reibungskräfte abgelenkt als regelmäßige Nordostwinde (Nordhalbkugel), bzw. Südostwinde (Südhalbkugel). Diese Winde waren früher auf dem Weg nach Amerika ein willkommener Wind und wurden als **Passate** bezeichnet (portug.: *passate* – Überfahrt, engl.: *trade winds*, da sie dem Handel sehr dienlich waren).

Die Passate sind trocken niederschlagsarme Winde, da die Passatinversion die Konvektion und damit die Wolkenbildung unterbindet. Weil die subtropischen Hochdruckzellen und die

äquatoriale Tiefdruckrinne im System der atmosphärischen Zirkulation persistente Druckgebilde sind, sind auch die Passate, die ja als Folge der Tendenz zum Druckausgleich entstehen, sehr stabile Klimaerscheinungen. D.h. dass sie räumlich und zeitlich außerordentlich konstant sind. Die **Wurzelzonen des Passates sind besonders niederschlagsarm**, während es in den Auslaufzonen des Passates zu Niederschlägen kommen kann.

Im wesentlichen sind passatische Strömungen ein ozeanisches Phänomen, da im Sommer über den Kontinenten der subtropisch-randtropische Hochdruckgürtel durch Hitzetiefs unterbrochen ist. Auch im Winter ist seine Ausprägung schwächer als über den Ozeanen. Weiters herrschen **über den Kontinenten durch Relief und wechselnde klimatische Einflussbedingungen wesentliche Zirkulationsabwandlungen**. Treffen Passatströmungen auf ein topographisches Hindernis, so wird durch die orographisch erzwungene aufsteigende Bewegung der Luftmassen der Passatzyklus unterbrochen. Die Folge sind permanente, hochreichende Wolkenbildungen an der Luv-Seite mit Stauniederschlägen. Beispiele hierfür sind die feuchten Gebiete der Inseln über dem Winde in der Karibik, sowie die subtropischen Ostküsten Südamerikas.

1.2.1.4 Wirbelstürme

In der Klimatologie ist die allgemeine Bezeichnung für jedes Tiefdruckgebiet *Zyklon*, ein Hochdruckgebiet wird demgegenüber *Antizyklon* genannt. Nichtfachleute verwenden den Terminus Zyklon (oder auch: tropischer Zyklon) als Synonym für Wirbelstürme. Tatsächlich sind Wirbelstürme aber als Zyklone definiert, in denen Windstärken von über 117 km/h erreicht werden.

Immer wieder wird in den Medien von verheerenden Hurricans im karibischen Raum berichtet. In der Tat werden sowohl das karibische, als auch das pazifische Küstengebiet **außergewöhnlich häufig von Wirbelstürmen heimgesucht**. Selbst der Nordteil der Meseta Central in Mexiko ist manchmal von Ausläufern betroffen. Von echten Hurricans spricht man ab Windgeschwindigkeiten von über 73 mph, oder Windstärken von über 12 Beaufort. Der Name leitet sich vom indianischen Sturmgott „Huracan“ ab.

Wirbelstürme oder echten Hurricans entsprechen folgenden Regelmäßigkeiten:

1. **Das Auftreten ist an die Monate Juni bis November gebunden**. Nur 1,4% aller zwischen 1886 und 1972 beobachteten Ereignisse sind außerhalb der „Saison“ aufgetreten. Die Hauptperiode liegt zwischen Mitte August und Anfang Oktober. 79% aller tropischen Wirbelstürme treten in diesen Monaten auf. Die eigentliche Touristensaison der Karibik, die Monate der winterlichen Trockenzeit von Dezember bis April sind frei von Sturmereignissen dieser Wucht..
2. Die **meisten Wirbelstürme treten über den offenen Wasserflächen** vor der Pazifischen Küste Mexikos und Mittelamerikas, des Karibischen Meeres und des Atlantiks ostwärts der Küste der Westindischen Inseln auf. Mit Näherung an das Festland geht die Wirkung und das Auftreten deutlich zurück.
3. Die entscheidende Voraussetzung ist die **Wasserdampfzufuhr von einer mindestens 27°C warmen Meeresoberfläche**. Die Lebensdauer und die Hauptzugbahnen sind an diese Temperatur gebunden. Das hat zur Folge, dass Wirbelstürme mit tropischen Inseln und Küstenbereichen, in denen solche Bedingungen herrschen, eine quasi symbiotische Beziehung eingehen. Die Westküste Südamerikas ist durch den kalten Humboldtstrom vor Hurricans geschützt.

4. Innerhalb des von Sturmkatastrophen bedrohten Gebietes gibt es eine **deutliche zeitliche und räumliche Differenzierung**. Von Mai bis Juli sind besonders die karibischen Küstengebiete der mittelamerikanischen Landbrücke betroffen. Im Juli verlagert sich der Schwerpunkt auf die Kleinen Antillen, wobei die Inseln unter dem Winde außerhalb des Gefahrenbereiches liegen. Die Großen Antillen werden von August bis Oktober heimgesucht, wobei das Vorkommen von Hurricans nicht auf die jeweilige Zeit beschränkt ist.

Wo sie genau die Küstenbereiche erreichen und wo sie in weiterer Folge große Verwüstungen anrichten ist, mehr oder weniger Zufall. Die große Energie, die den Wirbelstürmen innewohnt, entlädt sich durch **heftige Orkanwinde, sintflutartige Regengüsse und Sturmfluten an der Küste**, die der Zyklon vor sich hertreibt. Über dem Festland entladen sich Hurricans meist schnell, so dass es nur selten vorkommt, dass Hurricans das Hochland von Mexiko erreichen.

An der **Pazifikküste** sind die tropischen Wirbel im allgemeinen kleiner und weniger energiereich als im karibischen Meer, dafür ist das Risiko des Eintreffens einer solchen Zyklone doppelt so hoch als an der Golfküste Mexikos. Durch die am Gebirgsrand des Mexikanischen Hochlandes aufsteigende Luftbewegung kommt es allerdings zu ergiebigen Stauregen. Die größte Gefährdung an der pazifischen Küste ist entlang des Südeils der Küste Niederkaliforniens anzutreffen. Eine Häufung solcher Ereignisse kann man auch zwischen Manzanillo und Acapulco beobachten.

Von der **Genese** her sind diese tropischen Zyklonen sehr stark mit der Innertropischen Konvergenz verbunden. Sie bestehen aus einem rotierenden, kompakten **Wolkenring mit einem Durchmesser von 60 bis 200 km**, in dem eine konvektive Umlagerung der Luftmassen stattfindet wie in einer überdimensionalen Gewitterwolke. Im Zentrum, dem „**Auge des Zyklons**“ besteht häufig eine wolkenfreie ruhige Zone von 15-30 km Durchmesser. Die extrem große Wirbelenergie entsteht durch die latente Energiegewinnung, die bei Wolkenbildungen entstehen. Hier findet diese Energiegewinnung auf engstem Raum statt, zudem ist durch das warme Meereswasser genug Feuchtigkeit zu einer intensiven Wolkenbildung verfügbar. Nahe dem Erdboden entstehen so sich drehende **Stürme von 120 bis 130 km/h, oft mehr als 200 km/h**, während sie entlang der Zugbahnen nur langsam vorankommen. Mit nur 20-30 km/h legen sie über den Ozeanen zurück, bevor sie über dem Meer sterben, oder sich über dem Festland aufreiben. Starkregen und extrem hohe Luftdruckschwankungen. Alle absoluten Klimarekorde auf der Erde bezüglich Windstärke, Luftdruck und Niederschlagsintensität gehen auf tropische Zyklonen zurück.

Durch **Satellitenüberwachungssysteme** und Radarbeobachtungen sowie durch spezielle Kommunikations- und Frühwarnsysteme ist der menschliche Schaden enorm reduziert worden. Was bleibt ist die Ungewissheit, welchen Weg ein Hurrican einschlagen wird.

Früher wurden Wirbelstürme in der Reihenfolge ihres Auftretens nummeriert und erhielten früher von amerikanischen Wetterdiensten Frauennamen in alphabetischer Reihenfolge. Durch emanzipatorische Bewegungen werden seit einiger Zeit auch Männernamen für die Verwüstungen verantwortlich gemacht. So richtete der Hurrican „Hugo“ über der Karibik einen immensen Schaden an. Von besonderer Heftigkeit war der Hurrican „Andrew“ 1992, der zuvor noch nie dokumentierte Schäden verursachte.

1.2.1.5 Außertropische Zirkulation

Die Zirkulation der außertropischen Atmosphäre wird vom Luftdruckgefälle zwischen den subtropisch-randtropischen Hochdruckzellen, den subtropischen Tiefdruckgebieten und den großen Temperaturgegensatz zwischen der tropischen Warmluft und der Kaltluft höherer Breiten beherrscht. Das gewaltige Druckgefälle ist verantwortlich für die Höhenwinde des

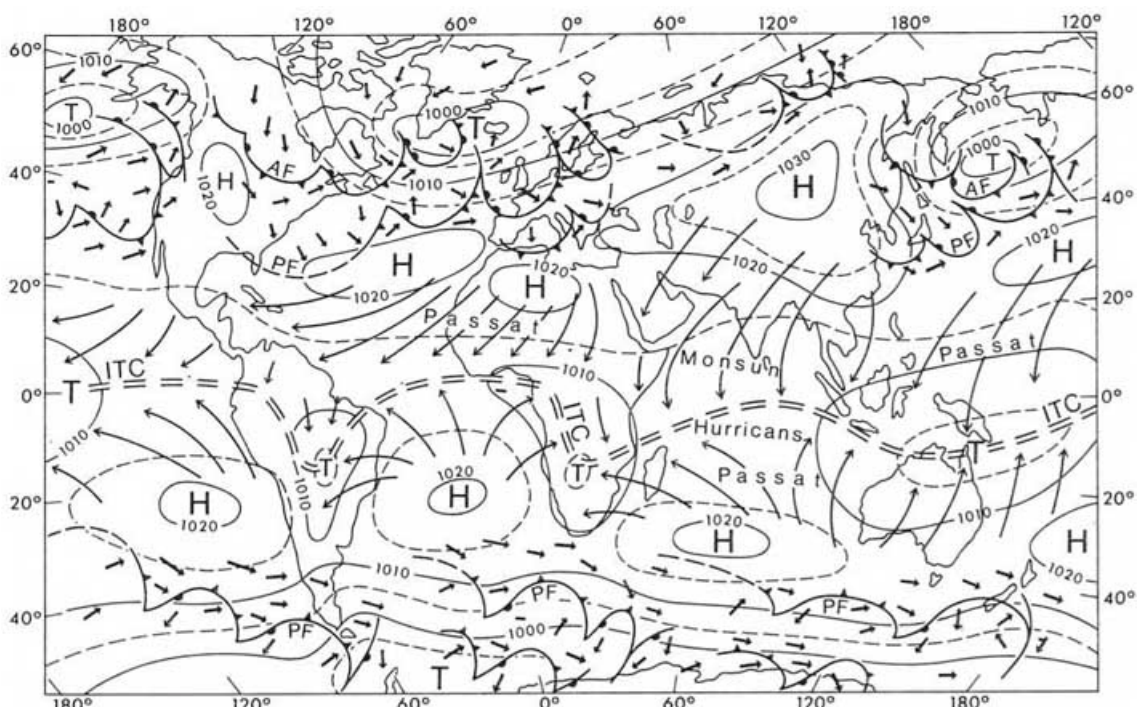
sog. Jetstreams, der sich bis zur Erdoberfläche durchsetzt und unter Einwirkung der Corioliskraft die sogenannte **außertropische Westwinddrift** entstehen lässt, die den **Großteil des südlichen Südamerikas beeinflusst**. Besonders Patagonien und Feuerland stehen im Einfluss der kräftigen Westströmung. Im Gegensatz zur Nordhalbkugel ist sie über Südamerika ungemein gut ausgebildet, da der zirkumatlantische Kältегürtel und die fehlende Beeinflussung durch große Landmassen und Meeresströmungen kaum überlagernde Querströmungen zulassen.

1.2.1.6 Jet-Strams

Im Übergang polarer Luftmassen zu den subtropischen Wärmezellen entsteht an der Kontaktlinie zwischen warmer und kalter Luft der sogenannte Jetstream. Es handelt sich um einen pulsartigen von West nach Ost fließenden Luftstrom in etwa 10-11 km Höhe, der eine maximale Geschwindigkeit von weit über 300 km/h erreichen kann. Die Richtung und Geschwindigkeit dieser Höhenströmung wird nicht mehr durch die ablenkende Reibung der Erdoberfläche beeinflusst, sondern nur durch das Fließen von Hochdruck- zu Tiefdruckgebieten und der Corioliskraft. Durch des Kontaktes polarer Kaltluft und tropischer Warmluft wird er daher Polarfront-Jetstream genannt. Seine Existenz hängt stark von dem steilen Druckgradienten zwischen den beiden Luftmassen ab. Die Höhenlage des Polarfront-Jetstreams entspricht der normalen Flughöhe von Verkehrsflugzeugen. Je nach Flugrichtung erhöht oder vermindert er in die Fluggeschwindigkeit relativ zum Erdboden.

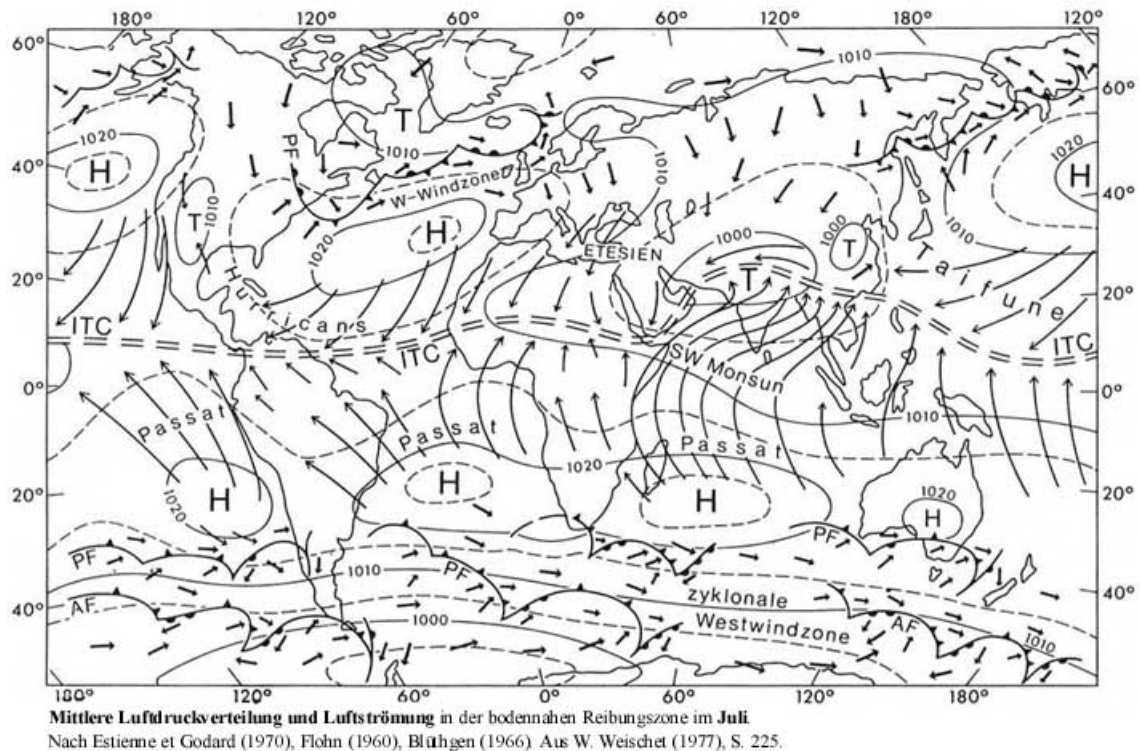
Ein zweiter für die globale Zirkulation der Atmosphäre wichtiger Jetstream bildet sich in den Subtropen. Der Subtropische Jetstream, ebenfalls eine Westströmung, liegt unmittelbar über der Hadley-Zelle und erreicht Maximalgeschwindigkeiten von bis zu 380 km/h.

1.2.1.7 Das Zirkulationsschema der Atmosphäre im Januar



Luftdruckverteilung und Luftströmungen im Mittel für die Bodennahe Reibungszone im Januar.
Nach Stienne et Godard (1970), Flohn (1960), und Blüthgen (1966). Aus: W. Weischet (1977), S. 224.

1.2.1.8 Das Zirkulationsschema der Atmosphäre im Juli



1.2.2 Was sind eigentlich die Tropen

Neben den astronomischen Definitionen gibt es noch andere Möglichkeiten sich der Abgrenzung der Tropen zu nähern, die dem tatsächlichen Erscheinungsbild vielleicht besser entsprechen.

Mathematisch-astronomisch sind die Tropen als das Gebiet definiert, in denen die Sonne jährlich mindestens einmal im Zenit steht. Dies ist der breite Gürtel der niederen Breiten zwischen den Wendekreise.

Klimatologische und geobotanische Beobachtungen zeigen aber, dass eine so schematische Abgrenzung der Wirklichkeit nicht gerecht wird. Der bedeutende Klimatologe **Wladimir Köppen** hat aus einer Unzahl von Beobachtungen induktiv die **18°C-Isotherme** des kältesten Monats als Tropengrenze vorgeschlagen, d.h. dass innerhalb der Tropen die Monatsmitteltemperatur nicht unter 18°C absinken darf. Jeder Ort, in dem diese Grenze unterschritten wird, liegt nach Köppen schon außerhalb der Tropen. Tatsächlich entspricht diese Grenzziehung weit mehr der Verbreitung der tropischen Vegetation, die von Köppen zu Recht als komplexer Klimaindikator angesehen wurde.

In der Höhe und der Breite entspricht diese Grenze in etwa auch der absoluten Frostgrenze. Auch diese wird zur Abgrenzung der Tropen verwendet, d.h., dass dort, wo (Nacht-)Fröste auftreten können, die Ektropen bereits erreicht sind.

Schließlich hat der bekannte Tropengeograph **Carl Troll** die Tropen als jene Klimazone definiert, in denen die **Tagesamplitude** der Temperatur größer ist als die **Jahresschwankung**. Mit anderen Worten: Wo der Unterschied zwischen Tag und Nachttemperatur größer ist als der zwischen dem Monatsmittel des kältesten und wärmsten Monats im Jahr, dort befindet man sich in den Tropen.

Alle diese Definitionen haben ihren Wert und ihre Berechtigung. Für die klimatologische Forschung haben sich die Definitionen von Köppen und von Troll am fruchtbarsten erwiesen und eine ganze Reihe von Weltklimakarten hervorgebracht, die die von diesen beiden Wissenschaftlern definierten Tropengrenzen in kartographische Darstellungen umsetzen. Beim Vergleich von Karten, die auf den Überlegungen dieser Klimaforscher stellt sich heraus, dass keine der Karten ganz ideal ist, jede also „Fehler“ aufweist, so dass es letztlich vom Einsatzzweck abhängt, welche der verschiedenen Darstellungen man wählt. Wichtig ist freilich, dass man sich der Mängel bewusst ist.

Bei Köppen geht die vielleicht wichtigste Ungenauigkeit auf seine „thermische“ Definition der Tropen zurück. Da das Monatsmittel des kältesten Monats in der Höhe rasch unter 18°C sinkt, in den inneren Tropen ist das bei rund 2000 m Meereshöhe der Fall, liegen Köppen zufolge die Höhenstockwerke der Anden, also die *Tierra fría* bis zur *Tierra nevada*, außerhalb der Tropen.

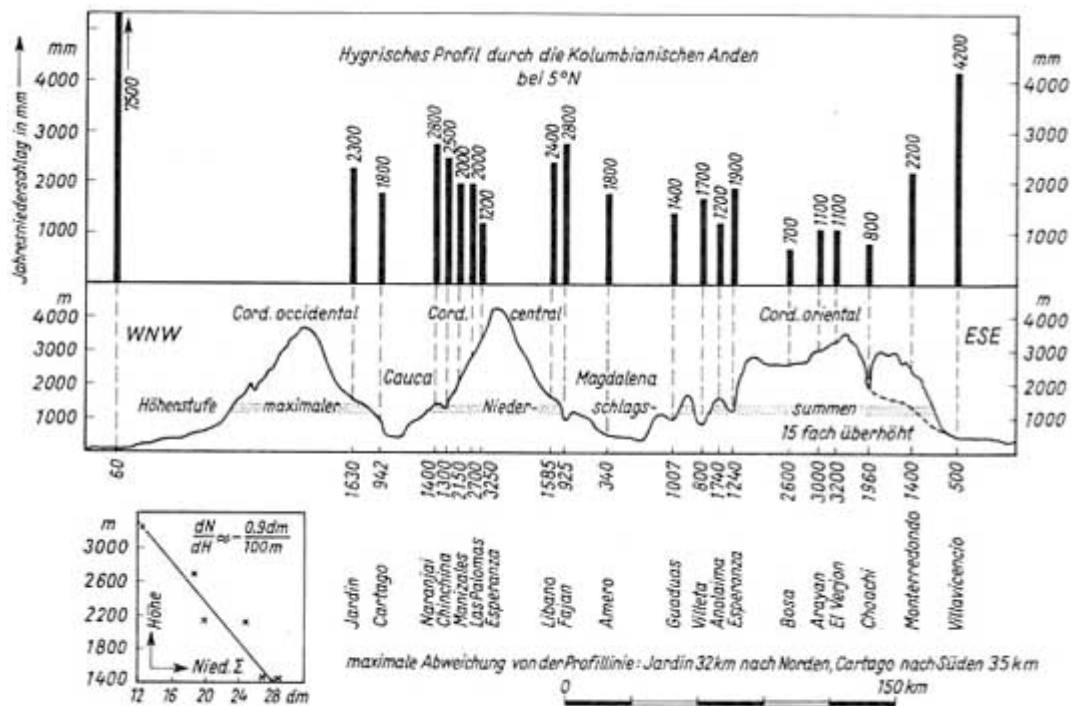
Dies ist – richtigerweise – bei Troll nicht der Fall. Bei ihm sind die Kältestufen der Anden allenfalls eine „Höhenfazies“ des Tropenklimas, da auch dort die Tagesamplituden größer als die Jahresamplituden. Bei der Troll-Paffenschen Klimakarte und allen von anderen Autoren auf ähnlichen theoretischen Überlegungen folgenden Weltklimakarten entstehen aber Verbreitungsmuster, die große Kongruenzen zu den Breitenkreisen aufweisen. Gerade in Lateinamerika aber ergibt das ein falsches Bild.

Ursächlich dafür ist die Vernachlässigung der hygrischen Verhältnisse. Köppen bezieht nämlich in seine Klimaklassifikation die Trockenzonen ausdrücklich ein. Dies ermöglicht die klare Definition der für Südamerika so prägenden sogenannten „*Trockendiagonale*“.

Es muss aber klar herausgestellt werden, dass für die Abgrenzung der Tropen ausschließlich thermische Verhältnisse ausschlaggebend sind, nicht aber hygrische. Das heißt, dass in den Tropen sowohl sehr humide als auch extrem aride Bedingungen herrschen können. Die Unschärfe der Tropengrenze in hygrischer Hinsicht zeigt sich bei Betrachtung ihrer geographischen Lage: Sie verläuft mitten im rand-subtropischen Wüstengürtel. An ihn schließen sich beidseits wechselfeuchte Gebiete an: zum Äquator die von Sommerregen charakterisierten Savannenklimate, zu den Polen die Steppenklimate, die stärker durch Winterregen gekennzeichnet sind.

Für die innere Differenzierung der Tropen sind aber die hygrischen Verhältnisse das wichtigste Kriterium. Sie *lassen eine horizontale Gliederung zu*. Als Steuerfaktor des tropischen Niederschlags wirkt die scheinbar zwischen den Wendekreisen hin und her pendelnde Sonne. Die sogenannten **Zenitalregen** fallen kurz nach dem Höchststand der Sonne als intensive Konvektionsniederschläge. Sie fallen durch den senkrechten Sonnenstand wie bei einem Hitzegewitter durch den starken Luftauftrieb und fallen mit nur geringer Verzögerung im März und September über den inneren Tropen. Hier haben die Gebiete ein doppeltes Niederschlagsmaximum, wenn sich diese Regenperioden nicht sowieso ineinander übergehen.

Freilich kommt es auch in den Tropen zu einer starken Abwandlung der Niederschlagsverhältnisse durch die Orographie:



Hygrisches Querprofil über die kolumbianischen Anden als Beispiel für den tropischen Konvektionstyp der vertikalen Niederschlagsverteilung. Nach W. Weischet (1969); aus W. Weischet (1977), S. 207.

Zu den Wendekreisen hin kommt es nur mehr zu einer Regenzeit im Sommer (Sonne im Zenit) bis sie gar nur mehr episodisch auftreten und von absteigenden Passatströmungen aufgelöst werden. Demnach lassen sich weitere drei tropische Gürtel abgrenzen:

- Den **immerfeuchten äquatorialen Tropen** (Af-Klimate nach Köppen)
- Den **wechselfeuchten semihumiden bis semiariden Tropen** (Köppen: Aw)
- Den **semiariden bis ariden Randtropen** (Köppen: BWh/BSH)

1.2.3 Was sind eigentlich die Subtropen

Einer genauen Definition der Subtropen versuchen viele Autoren wissenschaftlicher Literatur auszuweichen, obwohl der Begriff oft verwendet, freilich meist einfach als bekannt vorausgesetzt wird.

Die **Hauptmerkmale** sind:

Die Subtropen gehören weder den thermisch definierten Tropen an (Grenze: 18°C Jahresisotherme nach Köppen), noch den durch vier Jahreszeiten geprägten gemäßigten Breiten. Sie bezeichnen einen zugegebenermaßen äußerst **vielgestaltigen Übergangsbereich** zwischen beiden

In diesem Bereich **sinkt die Temperatur des kältesten Monats nicht unter 5°C** (Ausnahme: Höhenklimate). Pflanzen finden daher ein Klima vor, dass theoretisch ganzjähriges Wachstum ohne thermische Winterruhe zulässt, was sie von den gemäßigten Breiten unterscheidet. Von den Tropen unterscheiden sich die Subtropen von ihren thermischen Eigenschaften durch das **Vorkommen von Frost** (wieder eine Ausnahme: tropische Höhenstufen). Dadurch fehlen in den Subtropen frostempfindliche Biozöosen.

Aufgrund ihrer Niederschlagsverhältnisse kann man in Lateinamerika **drei subtropische Klimatypen** unterscheiden:

- Die **immerfeuchten Subtropen** an der Ostküste Südamerikas (Cf-Klimate nach Köppen) umfassen Südbrasilien, Uruguay bis zur nordöstlichen Pampa Argentiniens.
- Die **trockenen Subtropen**, die durch ganzjährige Wasserarmut gekennzeichnet sind. Hierzu zählen die Trockengebiete im NW-Argentiniens, im Prinzip auch die Atacama und die Trockengebiete Nordmexikos.
- Die **winterfeuchten Subtropen** (Cs-Klimate nach Köppen).

1.2.3.1 Die Subtropen in Südamerika

Die subtropischen Gebiete erstrecken sich in Südamerika von 25° bis 40° südl. Breite. **Im Winter dringen die wandernden Tiefdruckgebiete der Westwindzone bis maximal 32° südl. Breite vor.** Die Westwinddrift bringt in Mittelchile wechselhaftes Wetter und Niederschläge. An der Leeseite der Anden bleibt es hingegen trocken. Im **Sommer** jedoch steht der gesamte Bereich des subtropischen Südamerikas **unter dem Einfluss der subtropischen Hochdruckzellen** über den benachbarten Ozeanen. Das Tiefdruckgebiet des Gran Chaco zieht die vom Atlantikhoch abströmende Luftmassen tief in das Innere des Kontinentes bis an den Andenrand. Dadurch bekommt der **gesamte östliche Teil Südamerikas feuchte Luftmassen und Niederschläge – abnehmend von Ost nach West.** Die Westseite des subtropischen Südamerikas steht unter Einfluss des pazifischen Hochs, von dem trockene Luftmassen an der Küste entlang nach Norden strömen – hier bleiben Niederschläge aus. Im Südwinter wird dieses Hoch verstärkt, da sich über dem Andenfuß ein zusätzlich kleines Hochdruckgebiet aufbaut. Sie verhindern das Vordringen feuchter Winde aus dem atlantischen Bereich, die kaum über den Paraná hinausreichen. Der innerandine Festlandbereich des Altiplano und der Puna, sowie Teile der Pampinen Sierras werden durch mächtige Gebirgszüge von allen Seiten vor Niederschlag geschützt, sodass hier ebenfalls große Trockenheit herrscht. Die Wüstenbereiche der Westküste überqueren hier die Anden und setzen sich auf argentinischer Seite bis nach Südpatagonien fort, wo die feuchtigkeitsbringende Westwinddrift bereits in den Anden aufgehalten wird. Ostpatagonien bleibt trocken: die **aride Diagonale**, eine azonale Trockenachse vom Golf von Guayaquil bis zur Magellanstrasse durchschneiden den Kontinent von NNW nach SSO.

Innerhalb der Subtropen ergeben sich daher vier Klimabereiche:

1. Das sommertrockene und winterfeuchte Mittelchile (nach Köppen Cs-Klimate)
2. Die davon nördlich gelegenen Trockenzone der pazifischen Küstenwüste (nach Köppen: BWh-Klimate)
3. Die inneren trockenen bis halbtrockenen Gebiete mit Sommerregen (Hochlandklimate - klimatische Höhenstufen)
4. Der atlantische Klimabereich, in dem Niederschläge zu jeder Jahreszeit möglich sind (nach Köppen: Cfa und CwKlimate).

Der **subtropische Bereich Argentiniens ist Treffpunkt vieler verschiedener Luftmassen**, an deren Genese die Anden maßgeblich beteiligt sind. Neben den dominanten Ostströmungen bringen Westwinde einen trockenen dem europäischen Föhn vergleichbaren warmen Fallwind, den **Zonda**. Zeitweise dringen auch kalte Luftmassen aus dem Süden in die Subtropen. Die berühmten **Pamperos** sind stürmische Kaltlufterbrüche, die zu allen Jahreszeiten auftreten können, im Südwinter aber besonders weit nach Norden ausufernd können. Fast das gesamte subtropische Gebiet Argentiniens, Uruguays, Paraguays, sowie höhere Lagen Südbrasilien sind frostgefährdet.

1.2.4 Allerlei wissenswertes über die Trockengebiete Lateinamerikas

Rund 32 % der Erdoberfläche und etwa **18 % Südamerikas werden von Trockengebieten eingenommen**. Dabei sind in Lateinamerika aride Regionen auffällig **azonal**, also nicht den Breitenkreisen folgend, angeordnet. Bis auf eine kurze Unterbrechung auf der Mittelamerikanischen Landbrücke und im Bereich des Äquators zieht sich ein Streifen trockenem Klimas von Nord nach Süd. Demnach muss es für Trockenheit **verschiedene Kausalfaktoren** geben.

So vielfältig die Ursachen und das Erscheinungsbild von Wüsten und Trockengebieten auch sein mögen – allen ist das Fehlen von Wasser gemeinsam. Eine eindeutige Abgrenzung ist, wie bei allen klimatischen Gliederungen nur annäherungsweise möglich. Hierfür gibt es zahlreiche Versuche, klimatische Variablen zueinander in Relation zu setzen, um zu aussagekräftigen Abgrenzungen zu kommen:

Die einfachste Abgrenzung geht auf Albrecht Penck (1910) zurück, der das Fehlen von Oberflächenwasser darauf zurückführt, dass die **Verdunstung den Niederschlag zur Gänze aufzehrt** und sogar potentiell ihn um einiges übertreffen kann. In diesem Fall ist die Trockengrenze jene Linie, an der die potentielle Verdunstung und die tatsächliche Niederschlagsmenge gleich sind.

Nach wie vor häufig angewandt wird der Jahresariditätsindex nach de Martonne:

In tropischen Klimaten hat sich der Wert für $i = 20$ als Trockengrenze bewährt und wurde von Lauer erweitert:

Lauer berechnet also monatsweise den Trockenindex, womit sich natürlich genauere Aussagen über die Verbreitung und Art von Trockengebieten machen lassen.

Im allgemeinen gliedert man Trockengebiete nach folgenden Ariditäts- (Trocken-) Stufen:

Semiarid	Jahresniederschlag ist kleiner als die Verdunstung. Periodische Feuchtphasen. Jahresniederschläge allgemein zwischen 150 und 250 mm. Allerdings können auch Gebiete mit 400 mm ariden Gebieten zugeordnet werden. Nach dem Ariditätsindex von Lauer 8-10 Trockenmonate.
Arid	Jahresniederschlag ist kleiner als die Verdunstung, bei ständigem Wasserdefizit. Nur kurze Feuchtphasen. Über 10 Trockenmonate. Niederschlagssummen zwischen 50 und 100 mm.
Per-, Hyper-, bzw. Extremarid	Jahresniederschlag ist kleiner als die Verdunstung. Keine Feuchtphasen mehr. Extremes Wasserdefizit. Episodische Niederschlagsereignisse. 12 Trockenmonate. Nicht mehr als 50 mm Jahresniederschlag; hyperaride Gebiete unter 20 mm.

Eine dritte Abgrenzung von Trockengebieten findet man auch in der Klimaklassifikation von Köppen, wo ja B-Klimate als Trockenklimate ausgegeben werden.

1.2.4.1 Ursachen von Trockenheit

Generell lassen sich drei große Lagetypen von Trockengebieten unterscheiden:

- **Passat- oder Wendekreiswüsten**
- **Regenschattentrockengebiete**
- **Küstenwüsten**

Auch in Lateinamerika entsprechen viele aride Räume diesen Lagetypen, jedoch muss man in einigen Regionen auch von einigen **Sonderfällen** ausgehen, die durch keine der drei Ursachen ausreichend erklärt werden können.

1.2.4.1.1 Passat- oder Wendekreiswüsten

Sie liegen, wie der Name schon sagt, im Bereich der Wendekreise und stehen unter dem **Einfluss der Rossbreiten** und unter den von ihnen ständig abwehenden **Passatwinden**. Die **dauernd absinkende Luft** der Passatwinde erzeugen ein konstantes Hoch und führt zu einer starken Erwärmung der Landmassen. Zudem lassen diese Verhältnisse **kaum Wolkenbildung** zu (im Gegensatz zu aufsteigender Luftbewegung). Die weitere Folge sind extrem **hohe Sonneneinstrahlung**, die durch die geringe Wolkenbedeckung höher als in den inneren Tropen ausfällt, und geringe Luftfeuchte. Dies alles bedingt extrem trockene Verhältnisse. Die äquatorwärts gerichtete Verfrachtung trockenheißer Luftmassen führt überall zur Wüstenbildung, wo die Winde Festlandflächen überwehen und daher keine Feuchtigkeit aus dem Meer mit sich führen, die sich über dem Festland abregnen könnte.

Obwohl die größte Wüste der Erde, die Sahara, eine fast reine Passatwüste darstellt, so ist in Lateinamerika extreme Trockenheit nicht ausschließlich dem Passat zuzuschreiben. Er ist wohl Auslöser saisonaler Trockenheit am Rande der inneren Tropen, die Regionen intensivster Aridität haben aber auch andere Ursachen.

Unter **passatischen Einfluss stehen aber ohne Zweifel die Trockenzonen des subtropischen Südamerikas** (NW-Argentinien, Chaco), NE-Brasiliens und einigen Teilen Mittelamerikas und Mexikos.

1.2.4.1.2 Regenschattentrockengebiete, Binnenwüsten

Trockengebiete im Regenschatten von Gebirgen können **nur in Bereichen mit relativ konstanten Winden** auftreten, die feuchte Luftmassen heranführen. Dies ist in Südamerika vor allem im Bereich der ständig wehenden Westwinde **Westpatagoniens** der Fall. Verläuft noch dazu ein hoher Gebirgszug quer zu Windrichtung ist die **Trockenheit auf der Leeseite des Gebirges** vorprogrammiert. Im Luv regnen sich die feuchten Luftmassen ab (immerfeuchte C-Klimate Westpatagoniens), im Lee bewirken die absteigenden und sich erwärmenden Luftmassen Wolkenauflösung und Niederschlagsarmut (mit einem permanent wehenden Föhn vergleichbar). Auch die Trockenbereiche im Nordwesten Argentinien sind zum Teil von diesem Effekt beeinflusst. Westströmungen sind hier selten. Kommen dennoch Luftmassen aus dem Westen, sind sie nach der Überquerung der Anden extrem trocken und heiß. Man spricht vom berühmten **Zonda**, der den Nordwesten Argentinien in eine Glutwolke verwandelt.

Binnenwüsten unterscheiden sich von Regenschattentrockengebieten insofern, als bei diesen die Gebirgsbarriere nicht zur Erklärung notwendig ist. Binnenwüsten liegen so weit vom feuchtigkeitsbringendem Meer entfernt, dass auch ohne Reliefbarrieren nur spärlich Feuchtigkeit zugeführt wird. Dieser Effekt tritt in **Südamerika** eher selten auf, trägt aber besonders in den Zentralen Teilen Südamerikas (Puna, Altiplano, NW-Argentinien) seinen Teil zur Trockenheit bei. Die **Trockenzonen des Hochlandes von Mexiko** können ebenfalls durch Regenschatten, bzw. Binnenlage erklärt werden.

Wolken erreichen wohl den Rand des Altiplanos. Regenereignisse sind dort allerdings selten.

1.2.4.1.3 Küstenwüsten

Wo an tropischen und subtropischen Küsten **kalte Meeresströmungen** vorbei ziehen, wie dies durch den **Humboldtstrom** entlang der **chilenisch-peruanischen Küste** und durch den Kalifornienstrom entlang Niederkaliforniens gegeben ist, entstehen durch einfache physikalische Vorgänge **extrem aride Gebiete** – die trockensten der Erde!

Die feuchtheißen, in Richtung Kontinent strömenden Luftmassen werden durch die starke Abkühlung (vor Nordchile und Peru beträgt die negative Temperaturanomale bis zu 12°C) beim Überstreichen der kalten Meeresströmung schon über dem offenem Meer zur **Kondensation** gezwungen, was **permanente Nebel- und Wolkenbildung** zur Folge hat. Die Feuchtigkeit erreicht die Landmassen jedoch nie in Form von Regen, sehr wohl aber in Form von Nebel, in Südamerika Garúa genannt.

Am Land saugt die Luft, physikalischen Dampfgesetzen folgend, letzte Feuchtigkeitsreste aus den küstennahen Landstrichen. So entsteht ein mehr oder weniger breiter Streifen extremer Trockenheit.

Paradebeispiel hierfür ist die durchschnittlich 30-300 km breite aber bis zu 3500 km lange **Atacama**, wo in manchen Teilen jahrzehntlang kein nennenswerter Niederschlag fällt, oder die **Trockengebiete Niederkaliforniens**.

1.2.4.1.4 Sonderfälle

Es sind noch andere trockene Küstenbereiche in Südamerika zu finden. Dazu gehört auch das **litorale Trockengebiet Patagoniens**. Obwohl dort mit dem Falklandstrom zwar auch ein kalter Meeresstrom vorbeizieht, ist die Trockenheit immer noch mit der Regenschattenwirkung der Anden zu erklären. Diese Wirkung wird bestenfalls verstärkt.

Einige Trockengebiete liegen relativ nahe dem Äquator, wo das Klima normalerweise den Köppenschen A-Klimaten zugerechnet werden sollte. Hierzu gehören die venezolanische **und die kolumbianische Halbinsel Guajira, die Halbinsel Paranagua mit den vorgelagerten Inseln unter dem Winde**. Die Aridität setzt sich hier aus drei Komponenten zusammen:

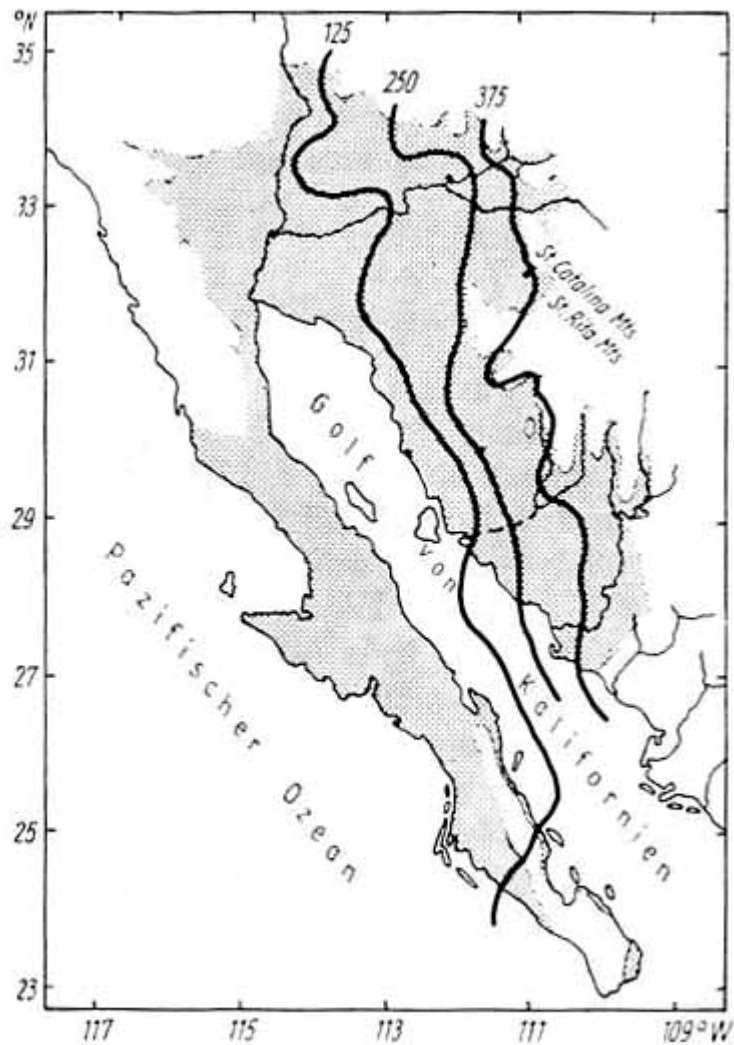
- Das Gebiet liegt ganzjährig im Bereich der annähernd küstenparallel wehenden Passate.
- Diese werden durch das zunehmende Druckgefälle gegen das äquatoriale Hitzetief über den Anden beschleunigt, was eine Zunahme der Windgeschwindigkeit zur Folge hat.
- Im Bereich der Inseln unter dem Winde geht der an sich warme Süd-Äquatorial-Meeresstrom in die noch wärmere Karibische Strömung über. Aufgrund der Corioliskraft erfährt aber dieser warme Strom genau hier eine Rechtsablenkung und strömt ablandig weiter, sodass kühleres Tiefenwasser aufdringen kann. Der Folgeeffekt kann mit klassischen Küstenwüsten verglichen werden.

In kaum ein Schema lassen sich die **Trockengebiete Nordostbrasilien** pressen. Hier wäre monsunaler (zenitaler) Sommerregen zu erwarten, der mit der Innertropischen Konvergenz nach Süden wandert. Die Verschiebung kann durch Umpolungen der WALKER-Zirkulation (breitenkreisparallele tropische Zirkulation mit abzeigenden Ast über Kaltwasser- und aufsteigendem Ast über Warmwassergebieten oder Festland, die mit Schwankungen der Ozeanoberflächentemperatur korreliert) erklärt werden. Hinzukommen ein abgeschwächtes Azoren-Hoch, das Trockenheit bringt. Auch dringt die Innertropische Konvergenz in manchen Jahren nicht weit genug nach Süden vor, woraus eine hohe Niederschlagsvariabilität resultiert.

1.2.4.1.5 Das Wüstenklima

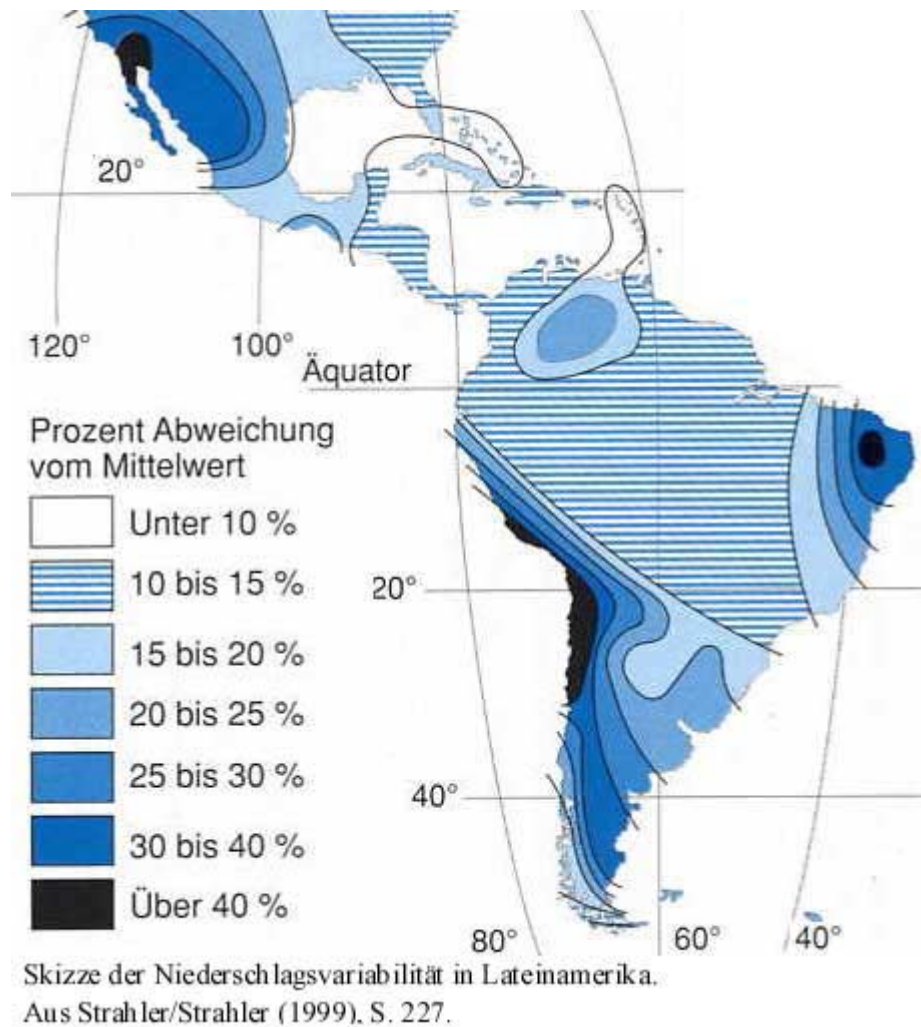
Mögen Ursachen und Erscheinungsbild mancher verschieden sein, bestimmte **klimatologische Eigenschaften gelten für alle Trockengebiete.**

- **Niederschläge** fallen (außer aus Taufall in Nebelwüsten) bestenfalls **periodisch**, meistens **episodisch**, jedoch konzentriert auf eine bestimmte Jahreszeit. Wenn Regen fällt, dann oft als **wolkenbruchartiger Platzregen**, der gefährliche Flutwellen verursachen kann. Die Folge sind sogenannte Schichtfluten, die den flächenhaften Abtrag, der für diese klimageomorphologische Zone reliefbildend ist, fördern.



Die Sonora-Wüste (punktiert) mit den Kurven jährlicher Niederschlagssumme in mm. Aus H. Walter (1991), S. 221.

- Die **Niederschläge fallen mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität.** Die Regenfälle treten lokal sehr begrenzt auf und weisen eine für alle Trockengebiete charakteristische Niederschlagsvariabilität auf. Demnach sind langjährige Mittelwerte ohne wirkliche Aussagekraft. **Es gilt die Faustregel: je trockener das Klima, desto höher auch seine Niederschlagsvariabilität.** Besonders dort, wo Ackerbau und Viehzucht auf einen gewissen jährlichen Betrag an Niederschlag angewiesen sind, leiden Landwirte ganz besonders unter dem Phänomen der jährlich stark wechselnden Regenmengen.



- Alle **Wüsten zeigen hohe Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht**, da die Wolkenarmut tagsüber durch die hohe Sonneneinstrahlung zu intensiver Erwärmung der Erdoberfläche führt, nachts indessen hohe Abstrahlungsverluste für kalte Temperaturen sorgen. Selbst in die randtropischen Trockengebieten Südamerikas sind vor Nachtfrost nicht ganz sicher, es bleibt aber festzuhalten, dass dies Ausnahmen sind. Im Jahresgang auftretende hohe Temperatur sind auf außertropische Wüstengebiete beschränkt. Hier können sehr tiefe Temperaturen auftreten, auch mit **Schneefällen** durchaus gerechnet werden.
- **Wüsten sind durch geringe Luftfeuchte, häufige Winde und extrem hohe potentielle Evapotranspirationsraten** (theoretisch mögliche Gesamtverdunstungsraten) gekennzeichnet. In der Atacama treten z.B. potentielle Verdunstungsraten bis zu 5000 mm pro Jahr auf.
- Freilich haben nicht alle Wüsten geringe Luftfeuchtigkeitswerte. In den **Nebelwüsten** der chilenisch-peruanischen Küste können nächtliche Werte von 100% relativer Luftfeuchte auftreten. Durch die nächtliche Abkühlung kommt es dort zu **Tauniederschlag**, der durch spezielle Netzkonstruktionen („Nebelfallen“) zur Sammlung dieses reinen Trinkwassers, auch wirtschaftlich nutzbar gemacht werden kann.

Dringt Wasser in den Boden ein, so verläuft die Wasserbewegung im Boden, nicht wie sonst üblich, der Schwerkraft folgend, sondern nimmt die entgegengesetzte Richtung ein

(aszendierende Wasserbewegung). Durch die starken Verdunstungssog wird dem Boden Wasser entzogen. Salze und Minerale bleiben zurück und bilden so **Krusten und Salzböden**.

1.2.5 Die Westwindzone der gemäßigten Breiten

Die Westwindzone Südamerikas reicht im Sommer von 40° südl. Br., im Winter von 32° südl. Br. bis nach Feuerland. **Die Anden teilen das südliche Südamerika in zwei vollkommen unterschiedliche Klimazonen:**

Das chilenische Westpatagonien liegt im Luv der Westströmung. Die Anden bilden für die Feuchtigkeit der pazifischen Luftmassen eine markante Hürde, sodass der gesamte Bereich westlich des Gebirges ganzjährig **hohe Niederschlagssummen** erreicht. Geringe Sonnenscheindauer und durch den ozeanischen Einfluss geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen kennzeichnen das Klima Südchiles. Nach Köppen vollzieht sich hier von den subtropischen Csb-Klimaten zu den immerfeuchten, kühlen Cfb-Klimaten.

Das argentinische Ostpatagonien hingegen liegt zwar in Lee der Anden, dennoch wehen dort ständig stürmische Westwinde, nur tragen diese Winde keine Feuchtigkeit mehr. Ostpatagonien ist sogar eines der windreichsten Gebiete der Erde. Da diese aber trocken sind, und zudem den Boden auch noch weiter austrocknen, breitet sich hier ein **Trockengebiet** ohne markante jahreszeitlich gebundene Feuchtphase aus in dem im Jahr kaum mehr als 100 mm Niederschlag gemessen werden. Erst ganz im Süden sind bis knapp über 200 mm möglich. Das Wasser zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen kommt aus Fremdlingsflüssen, die das Wasser aus den regenreicheren Anden nach Osten bringen.

Am Ostandenrand sind auch die größten Unterschiede der mittleren Monatstemperaturen zu beobachten: 16°C beträgt der Unterschied zwischen kältesten und wärmsten Monatsmittel. Doch gleicht der ozeanische Einfluss an den Küstenbereichen die Unterschiede etwas aus. Auf den Falkland Inseln liegen die Monatsmittel des kältesten und wärmsten Monat bei 2,6°C und 9,6°C. Daher ist das gesamte Ostpatagonien entweder BWk oder BSk-Klimaten, also dem Bereich kalter Wüsten und Steppen, zuzuordnen.

Infolge der **fehlenden Landmasse und des zirkumantarktischen kalten Meeresstroms kommt hier die Westwinddrift extrem zu Geltung**. In den südlichsten Bereichen Südamerikas, sowie in den Höhenbereichen der Anden kann man von **subarktischen Bedingungen** sprechen. Nur so konnten sich bis heute die riesigen Eismassen der beiden **patagonischen Eisschilde** erhalten. Der südlichsten Inseln Südamerikas und die Hauptinsel des Falkland Archipels wird von Köppen bereits dem Klimatyp E zugerechnet.

1.2.6 Das Klima Mexikos im Überblick

Das Klima Mexikos ist größtenteils durch den **subtropischen Trockengürtel**, der den **nördlichen Teil** und die Provinz Baja California einnimmt gekennzeichnet. Nach der Köppenschen Klimaklassifikation entsprechen diese Bereiche den Klimaten BSh, bzw. BWh. **Der Süden wird dagegen den Tropen zugeordnet**. Die Küstenbereiche gehören jeweils zu den wechselfeuchten Tropen (nach Köppen: Aw), nur die südlichen karibischen Küste des Landes, sowie Teile der Insel Yucatans im Übergang zu Guatemala sind bereits immerfeucht-tropisch (Af-Klima). Eine weitere klimatische Abfolge kann man auch, wie innerhalb der gesamten Kordillere Lateinamerikas, **zwischen den Tiefländern und den Höhenregionen**, den Küstengebieten und den in den Sierren eingeschlossenen Plateaubereichen verfolgen. Hier ist vor allem anhand der Vegetation die klimatische Vertikalgliederung deutlich zu erkennen.

Das **Jahresmittel der Temperatur** von Mexiko-City beträgt 15,4°C. Die Unterschiede zwischen wärmsten und kältesten Monat sind im allgemeinen als gering einzustufen, jedoch gibt es im Detail wesentliche Unterschiede. Die Schwankungen sind im Süden und an der Küste generell niedriger als im Norden und den im Inneren des Landes gelegenen Plateauflächen. Salina Cruz, im Süden an der Westküste gelegen, hat eine Schwankung von nur 3,4°C, während Chihuahua im inneren des Landes eine Schwankung des wärmsten und des kältesten Monats von 17°C aufzuweisen hat.

Die **Niederschlagsverteilung** zeigt ebenfalls große Unterschiede. Während das Hochland, vor allem in seinem östlichen Teil und im Bereich der Sonora-Wüste **extremer Trockenheit** ausgesetzt ist, fallen im Süden an der Küste zum Golf von Mexiko **reichlich Niederschläge**, bis weit über 2800 mm im Jahr.

Verantwortlich für die klimatischen Verhältnisse ist der Austausch der Luftmassen zwischen dem nordatlantischen und nordpazifischen Hochdruckgebiet und der äquatorialen Tiefdruckrinne. Nordmexiko, und vor allem Nordwestmexiko, werden vom subtropischen pazifischen Hochdruckgebiet beeinflusst. Die absteigende Luftbewegung bei gleichzeitiger starker Erwärmung führt zu extremer Trockenheit in Baja California, in der Provinz Sonora und im Bolsón von Mapimi. Nur vereinzelte Starkregen bringen – im Moment zwar viel, im Jahresmittel aber nur wenig - Feuchtigkeit. Der äußerste Nordwesten der Halbinsel Baja California steht noch unter dem Einfluss des sommertrockenen-winterfeuchten Mittelmeerklimas Kaliforniens. Nur der südlichste Zipfel der Halbinsel bei La Paz erhält durch den Ausläufer der tropischen Zirkulation etwas mehr Feuchtigkeit als der sonst wüstenhafte Rest des Nordwestens. Der Nordosten empfängt etwas mehr Niederschlag. Grund dafür sind die von Norden herbeiströmenden kalten und feuchten Luftmassen, die in den Wintermonaten Niederschläge mit sich führen.

Der Süden Mexikos steht unter dem Einfluss der tropischen Zirkulation und erfreut sich vor allem in der Zeit von Mai bis Oktober, also im Nordsommer, starker Niederschläge. An der Golfküste bringen die hier auslaufenden und daher regenbringenden Passatwinde verhältnismäßig hohe Niederschläge.

1.2.7 Das Klima mittelamerikanischen Landbrücke im Überblick

Oft wird das festländische Zentralamerika in **zwei Klimaregionen** unterteilt, einem **atlantischen** und einen **pazifischen** Bereich. Zum Karibischen Meer hin bestimmen die ansteigenden **Passate** das Geschehen, die sich an den Gebirgsketten stauen. Große Feuchtigkeit und hohe Temperaturen ließen tropische Regenwälder entstehen, die mit zunehmender Höhe in feuchte Bergwälder übergehen. Die Hochländer Zentralamerikas sind mit zunehmender Entfernung von der atlantischen Seite trockener. Generell bleibt aber der dem Atlantik zugewandte Teil ständig feucht, eine ausgeprägte Trockenperiode ist hier nicht zu beobachten (Af), während je weiter nördlich man kommt, die Sommerniederschläge immer mehr dominieren.

Das **atlantische Mittelamerika** wird vom warmen Meereswasser der Karibik umspült. Der Nordostpassat trägt die Feuchtigkeit bis weit in das Landesinnere. Die **Luftfeuchtigkeit ist sehr hoch**, die **Temperaturen zeigen nur geringe jahreszeitliche Schwankungen** und die Niederschläge fallen in Form von Starkregen. Eine längere Trockenperiode bleibt durch Wärmegewitter im Sommer und Kaltlufteinbrüchen aus dem Norden sowie passatische Steigungsregen aus, im Unterschied zu anderen Bereichen der äußeren Tropen, die meist eine Trockenphase beinhalten. Dazu kommt, dass Zentralamerika im Frühsommer und Frühherbst durch das nördliche Ausufer der Innertropischen Konvergenz (ITC) durch starken

Zenitalregen zusätzlich Feuchtigkeit erhält. Es können bis zu 4000 mm, in manchen Gebieten sogar bis zu 5000 mm, Niederschlag fallen.

Das **pazifische Mittelamerika** ist etwas **trockener** als der dem Atlantik zugewandte Teil (nach Köppen: Aw). Feuchtigkeit bringt vor allem ein westlicher Luftstrom, der seine Feuchtigkeit an der Luv-Seite der Gebirge abgibt. Das Innere des Festlandes ist trockener. Der an der atlantischen Seite regenbringende Nordostpassat wandelt sich an der pazifischen Seite zu einem trockenem Fallwind, sodass während der Passat weht, an der Pazifikküste trockene Bedingungen herrschen. Die pazifische Küste empfängt etwa 1000 mm Niederschlag. Dort, wo die Halbinseln von Nicoya und Azuero den Südwestwinden ausgesetzt sind, fallen natürlich größere Regenmengen. Wegen der ungünstigen Klimabedingungen an der tropisch-feuchten Ostküste liegen die größeren Siedlungen Zentralamerikas meist im kühleren und trockeneren Hochland, wo zwischen 600 und 700 mm Niederschlag fallen.

1.2.8 Das Klima der Westindischen Inseln im Überblick

Im gesamten Raum des warmen Karibischen Meeres herrscht **ozeanisches Tropenklima** mit Jahresdurchschnittstemperaturen zwischen 21°C und 28°C und nur geringen jahreszeitlichen Schwankungen (selten mehr als 4°C). Die Küstenniederungen, die dem Passat nicht ausgesetzt sind, sind schwül. Der Nordostpassat bringt im Winter den Steilküsten noch dazu reichlich Steigungsniederschläge. Daher findet man in der Niederschlagsverteilung (weniger in der Temperaturverteilung) einen scharfen Gegensatz zwischen Luv und Lee.

Der **Sommer** ist durch **Zenitalregen** mit vorherrschenden Ost- bis Südostwinden die Hauptregenzeit (daher nach Köppen den Aw-Klimaten zugeordnet). In den Übergangsperioden mit dem Hin- und Herpendeln kommt es zu den gefürchteten **Wirbelstürmen**, die meist von Ost nach West verlaufen. Wegen dieser Stürme und des ebenfalls sehr kräftig wehenden Passates befinden sich alle Häfen der Kleinen Antillen auf der West- bzw. Südwestseite. **Die Kleinen Antillen** gliedern sich klimatologisch in zwei Teile: **Die Inseln über dem Winde sind sehr feucht**. Die Niederschläge liegen im Mittel über 2000 mm. Kälteeinbrüche aus dem Norden sind hier, im Gegensatz zu den Großen Antillen, nicht mehr zu befürchten. Auch die Wassertemperaturen der umgebenden Meere unterliegen kaum Schwankungen. Sie können entsprechend der Köppenschen Klimaklassifikation durchaus als Af-Klimate bezeichnet werden. **Die Inseln unter dem Winde leiden dagegen, genauso wie die Nordküste Venezuelas und Kolumbiens, unter großer Trockenheit.**

1.3 Effektive Klimatologie - Klimatologische Zonierung Lateinamerikas nach KÖPPEN

Von den zahlreichen effektiven Klimaklassifikationen zählt diejenige von **Wladimir Köppen** zu den verständlichsten. Sie wurde erstmals bereits 1918 entworfen und später mehrfach ausgebaut und von seinen Schülern **R. Geiger** und **W. Pohl** verbessert und neu kartiert. Köppens Ziel war es, Klimagrenzen zu bestimmen, die annähernd mit den Grenzen wesentlicher Vegetationstypen übereinstimmen. Obwohl dies vielleicht nicht in allen Fällen detailgenau gelang und auch manchen Abgrenzungen zu diskutieren sind (wie etwa die Abgrenzung der Tropen in der Höhe), wird das System wegen des einfachen Aufbaus und der auf integrativ-phänomenologischen, die Vegetation als Klimaindikator und Korrektiv benutzenden Erkenntnisgewinnung bis heute geschätzt. Es war das erste System, das nach einer formelmäßigen Buchstabenkennzeichnung von Klimatypen von einfach zu erkundenden

Mittel- und Andauerwerten vorging. Es wurde dadurch die Möglichkeit geschaffen, klimatische Gemeinsamkeiten auf der Erde zu erkennen und Vergleiche anzustellen. Dennoch darf man sich von der klaren Karten Köppens nicht täuschen lassen: Die dort angegebenen Linien sind in der Natur keine scharfen Grenzen, sondern bilden im Idealfall die Mittellinie von Grenzsäumen.

Die Vorteile dieser Klimaklassifikation:

Jedes Klima wird entsprechend seiner mittleren Monats-, bzw. Jahreswerte der Temperatur und des Niederschlags definiert, im Vergleich mit bestimmten Schwellenwerten der jeweiligen Größen.

Jede Klimastation kann auf Basis ihrer Temperatur- und Niederschlagswerte ihrer Klimagruppe und Untergruppe zugeordnet werden – also aufgrund jener Größen, die am einfachsten zu messen sind und auf den meisten Stationen in einer ausreichenden Zeitreihe vorhanden sind.

Um das System von Köppen anzuwenden, ist es nicht nötig, die komplexen Klimaprozesse zu verstehen, auch wenn dies nicht der Fall ist, können die Klimaverhältnisse eines jeden Ortes auf der Welt anhand der Köppenschen Karte ermittelt werden.

Kein effektives Klimasystem kann jedoch alle Phänomene der Erde hinreichend charakterisieren. Gerade in Lateinamerika gibt es zahlreiche Gebiete, die durch keine der bekannten Klassifikationen hinreichend beschrieben werden. Dazu gehören die Nebelwüste der Atacama ebenso wie etwa die Besonderheiten der klimatischen Höhenstufen der Kordilleren.

1.3.1 Charakterisierung der Haupttypen

Die Köppensche Klimaklassifikation gründet also auf den Beziehungen zwischen Klima und Vegetation. *Die abgrenzenden Schwellen- oder Andauerwerte basieren entweder auf dem Vergleich mit geeigneten Vegetationsgrenzen, oder sie stellen Zahlenwerte klimatischer Größen dar, die nachweislich Einfluss auf die Vegetation haben.*

Das System verwendet einen Buchstabenschlüssel, mit dem die großen Klimagruppen und ihre Untergruppen hinsichtlich jahreszeitlicher Besonderheiten der Temperatur und des Niederschlages definiert werden.

Die **fünf Großbuchstaben bezeichnen die großen Klimagruppen**, wobei für Lateinamerika nur drei, nämlich A, B und C von Relevanz sind. E-Klimate kommen nur im südlichsten Südamerika vor:

Klimagruppe	Grenzwerte	Charakteristik
A <i>Tropische Regenklimate</i>	Mitteltemperatur des kältesten Monats über 18°C	Klimate haben keinen Winter Der Jahresniederschlag ist hoch und übersteigt die jährliche Verdunstung
B <i>Trockenklimate</i>	$r < 2t + 28$ bei Sommerniederschlag $r < 2t$ bei Winterniederschlag $r < 2t + 14$ bei fehlender Niederschlagsperiode	Die Verdunstung übertrifft das ganze Jahr den Niederschlag. Kein Wasserüberschuss. B-Klimate entspringen keine perennierenden Gewässer
C <i>Warmgemäßigte Regenklimate</i>	Mitteltemperatur des kältesten Monats zwischen 18°C und -3°C. Mindestens ein Monat im Mittel über 10°C	C-Klimate haben sowohl Sommer als auch Winter
D <i>Boreale Schneewaldklimate</i>	Mitteltemperatur des kältesten Monats unter -3°C Mitteltemperatur des wärmsten Monats über 10°C	10°C-Isotherme des wärmsten Monats verläuft ungefähr an der polwärtigen Grenze des Baumwuchses
E <i>Schneeklimate</i>	Mitteltemperatur des wärmsten Monats unter 10°C	E-Klimate haben keinen wirklichen Sommer

B-Klimate sind durch das Verhältnis Niederschlag zu Verdunstung gekennzeichnet, der Rest durch die Temperaturverhältnisse. A, C und D-Klimate bieten genug Wärme und Niederschlag zum Wachstum von Hoch- und Buschwäldern.

Ein zweiter Buchstabe dient der näheren Unterscheidung der großen Gruppen:

S Semiarides Klima

W Arid (Wüste) – Die Großbuchstaben werden nur für B-Klimate verwendet

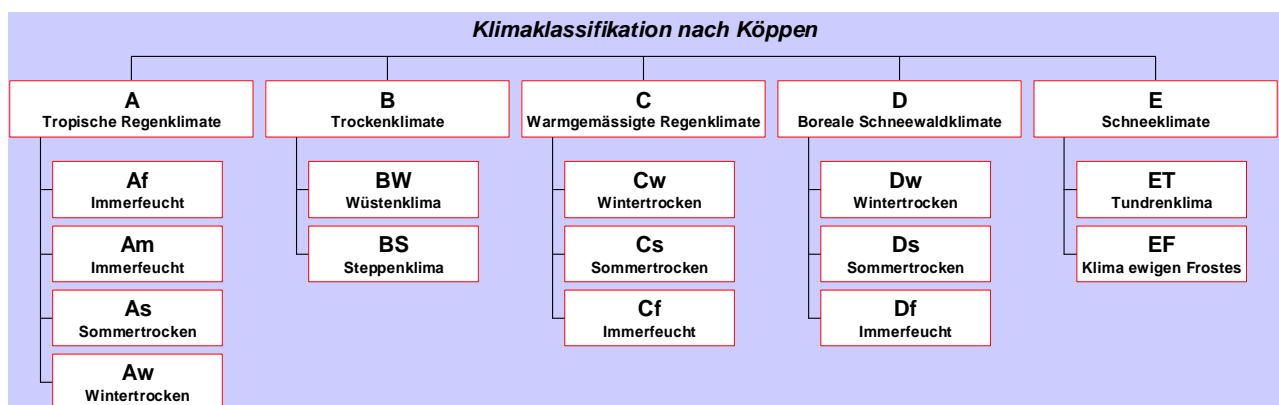
f feucht. Ausreichender Niederschlag in allen Monaten, keine Trockenzeit (wird für Klimate der Gruppen A, C und D verwendet)

w Trockenzeit im Winter der jeweiligen Halbkugel.

s Trockenzeit im Sommer

m Regenwaldklima, trotz kurzer Trockenzeit

Aus der Kombination der beiden Buchstabengruppen ergeben sich verschiedene Kombinationen:



In der Karte scheint zusätzlich zu den zwei Buchstaben häufig ein dritter auf, um weitere Klimavariationen anzuzeigen, die in Lateinamerika wichtige Differenzierungen innerhalb eines Klimatypus ergeben:

a Mit heißem Sommer; die Mitteltemperatur des wärmsten Monats ist höher als 22°C. Wird für C- und D-Klimate verwendet

b Mit warmen Sommer; die Mitteltemperatur des wärmsten Monats ist niedriger als 22°C. Wird für C- und D-Klimate verwendet

c* Mit kühlem, kurzen Sommer; weniger als vier Monate haben eine Mitteltemperatur über 10°C. Wird für C- und D-Klimate verwendet

d* Mit sehr kaltem Winter; Mitteltemperatur des kältesten Monats unter –38°C. Nur für D-Klimate.

h Heiß und trocken. Mittlere Jahrestemperatur liegt über 18°C. Nur für B-Klimate

k Kalt und trocken. Mittlere Jahrestemperatur liegt unter 18°C. Nur für B-Klimate

* kommt nicht in Lateinamerika vor.

Weitgehend unberücksichtigt bleibt dabei die **Veränderung der Klimas mit der Höhe**, weshalb eine **klimatische Vertikalgliederung** die fehlenden Elemente der Köppenschen Klimaklassifikation (in manchen Erweiterungen einfach als H – Hochlandklimate bezeichnet) ergänzt.

1.3.1.1 A-Klimate in Lateinamerika

<p>Af Immerfeucht</p>	<p>Niederschlagssumme des niederschlagsärmsten Monats 60 mm und mehr</p>	<p>In Lateinamerika einer der bestimmendsten Klimatypen. Betrifft den Bereich um das Amazonastiefland bis über den morphologischen Andenrand hinaus. Weitere Vorkommen: Kolumbianische Pazifikküste, Ostteil der Mittelamerikanischen Landbrücke, einige Bereiche an brasilianischer Küste</p>
<p>Am Immerfeucht</p>	<p>Niederschlagssumme des niederschlagsärmsten Monats unter 60 mm</p>	<p>Im Mündungsbereich des Amazonas wird von einer kurzen Trockenphase unterbrochen.</p>
<p>Aw Wintertrocken</p>	<p>Niederschlagssumme des niederschlagsärmsten Wintermonats unter 60 mm</p>	<p>Wechselfeuchtes tropisches Klima mit ausgeprägter Trockenphase im Winter der jeweiligen Halbkugel. Nimmt bei weitem den größten Teil Lateinamerikas ein:</p> <ul style="list-style-type: none"> - beiderseits des Amazonas geht das immerfeuchte tropische Klima in Aw-Klimate über - Westindische Inseln sind trotz des Regenreichtums diesem Klimatyp zuzuordnen (ausgeprägte Trockenperiode) - Westküste Mittelamerikas - Übergangsbereich von Af-Klimate in BW-Klimate an der Pazifikküste Ecuadors/Kolumbiens

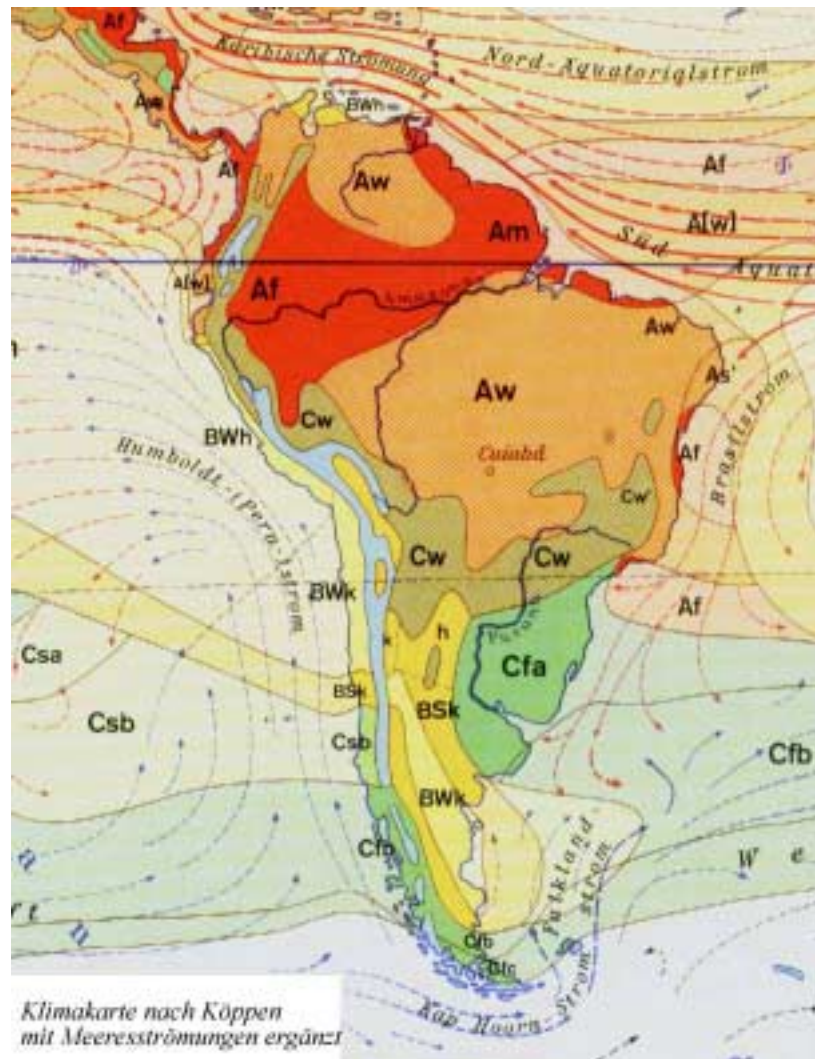
1.3.1.2 B-Klimate in Lateinamerika

<p>BS Steppenklima</p>	<p>$r > t + 14$ (bei Sommerniederschlag) $r > t + 7$ (bei fehlender Niederschlagsperiode) $r > t$ (bei Winterniederschlag)</p>	<p>Steppen-, bzw. Trockensavannenklimate. Semiarides Klima mit Kurzgras- und Dornbuschvegetation. Zwischenstellung zwischen BW und humideren Klimaten. Vier weit voneinander entfernte Regionen Lateinamerikas gehören diesem Typus an:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hochlandklima Mexikos - Küstenbereich Venezuelas und Nordostkolumbiens - Dornbusch (Monte)- und Trockenwaldgebiete (Chaco) und die trockene Pampa (pampa seca) Argentiniens - Ostpatagonien, sofern nicht BW-Klimaten zugeordnet.
<p>BW Wüstenklima</p>	<p>$r < t + 14$ (bei Sommerniederschlag) $r < t + 7$ (bei fehlender Niederschlagsperiode) $r < t$ (bei Winterniederschlag)</p>	<p>Arides (trockenes) Klima. Drei Bereiche lateinamerikas sind BW-Klimaten zuzuordnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Niederkaliforniens (Sonora-Wüste) - Zentralbereiche des Hochlandes von Mexiko - Aride Diagonale Südamerikas: chilenisch-peruanische Küstenwüste (Atacama)-Puna-Nordwestargentinien-Osten Ostpatagoniens

1.3.1.3 C-, D- und E-Klimate in Lateinamerika

Cw/Dw Wintertrocken	Keine D-Klimate in Lateinamerika	Niederschlag des niederschlagsreichsten Sommermonats mind. 10mal so hoch wie jener des niederschlagärmsten Wintermonats	Mildes Klima mit trockenen Winter. In Lateinamerika thermische Übergangsbereich von Aw-Klimaten in höheren Regionen bzw. höheren Breiten. Weit verbreitet am westlichen Andenrand und in Südbrasilien
Cs/Ds Sommertrocken		Niederschlag des niederschlagsreichsten Wintermonats mind. 3mal so hoch wie jener des niederschlagärmsten Sommermonats (r darf 30 mm des letzteren nicht überschreiten)	Milde Sommertrockene Klimate, auch als Etesienklima oder Mittelmeerklima bezeichnet, kommen in Lateinamerika nur in Mittelchile um die Hauptstadt Santiago de Chile vor.
Cf/Df Immerfeucht		Geringe Niederschlagsdifferenzen zwischen den extremen Monaten. R des trockensten Monats > 30 mm	Kommt nur im südlichen Südamerika vor, hier vor allem in zwei Regionen: - An der warmgemäßigten Atlantikküste Brasiliens, Uruguays und Argentinien , einschließlich der feuchten Gebiete des Gran Chaco. In dieser Einteilung nicht zu erkennen: Abgrenzung der subtropischen Regenwälder Südbrasilien/Norostargentiniens - Westpatagonien im Einflussbereich der Westwindzone und Feuerland.
ET Tundrenklima		Mitteltemperatur des wärmsten Monats über 0°C	Nur der südlichste Bereich Patagonien und Feuerlands ist den Schneeklimaten zuzuordnen. Bemerkenswert ist hier der Vergleich mit Europa. Während in Südamerika auf etwa 55° südl. Br. Raues Tundren- und Schneeklima herrscht, liegt Europa (etwa die Breite Dänemarks und Südschwedens) noch im warmgemäßigten Klima.
EF Klima ewigen Frostes		Mitteltemperatur des wärmsten Monats unter 0°C	

1.3.3 Klimakarte nach Köppen mit Meeresströmungen



1.4 Thermische Vertikalgliederung - tropische Höhenklimata

Die **Gebirge bilden eine ganz westliche Einflussgröße für das Klima** in Lateinamerika. Zum einen sind sie **Klimascheide**; die Klimate westlich und östlich der Gebirge unterscheiden sich häufig sehr stark von einander – zum anderen ist die **klimatische Vertikalgliederung** von besonderem Interesse, da hier innerhalb von relativ kurzer Distanz viel größere Unterschiede auftreten können, als es in horizontaler Betrachtung überhaupt möglich wäre. In allen Gebirgen, egal welcher Klimazone sie angehören, ändern sich wesentliche biotische und abiotische Umweltbedingungen mit der Höhe. Das Abnehmen der Temperatur, des Luftdrucks und zunächst auch eine Zunahme der Bewölkung und des Niederschlags und der Einstrahlung führen zu einem stockwerkartigen Aufbau unterschiedlicher Lebensbedingungen, der ganz allgemein als klimatische Höhenstufung der Gebirge, bezeichnet wird. Gerade aber in Lateinamerika ist die Ausbildung von klimatischen Höhenstockwerken von besonderer Bedeutung, da hier ein mächtiges Gebirge mitten in den Tropen zu finden ist. So kommt es, dass im Bereich der normalerweise heißen Tropen auf kurzen Distanzen Übergänge von ewigem Sommer zu permanenten Winter zu erleben sind.

Es war **Alexander v. Humboldt**, der dieses Phänomen als erster ausführlich beschrieb, nachdem er zwischen 1799 und 1804 die Gebirge Südamerikas bereiste, und dabei ständige barometrische und thermische Messungen vornahm. Im fiel auch als erstem auf, dass sich die Pflanzenformationen der Höhe, also den jeweiligen klimatischen Bedingungen der einzelnen Stockwerke anpassen. So wurde Humboldt zum Entdecker der Höhenstufen der Vegetation.

Für die Beschreibung der Höhenstockwerke benutzte **Humboldt** ältere, von den Spaniern eingeführte Bezeichnungen, die sich bis heute in der wissenschaftlichen Nomenklatur durchsetzten.: *Tierra caliente* – das heiße, von Regenwäldern bedeckte Land; *tierra templada* – das gemäßigte, von tropischen Bergwäldern bewachsene Land; *tierra fría* – das kalte Land, indem die europäischen Feldfrüchte beste Bedingungen finden; *tierra helada* – das eisige Land der Paramós und Puna-Steppen; *tierra nevada* – das Land der Gletscher, in dem nur noch vereinzelt niedere Pflanzen gedeihen können. Diese Begriffe beschreiben also sowohl die thermischen als auch die biotischen Verhältnisse. Für das Klima sind besonders die Temperaturverhältnisse für ihre Unterscheidung von Bedeutung.

Die Bezeichnungen umfassen freilich wesentlich mehr. Es sind Ausdrücke für Gebirgs-Lebensräume, in denen die ganze Komplexität des Klimas, der Agrarnutzung, der Ausprägung der potentiellen Vegetation und die damit zusammenhängende Gestaltung der Kulturlandschaft mit ihrer Bevölkerungsverteilung einfließt. Die genaue Höhenzonierung ist natürlich ein Richtwert und schwankt von Gebiet zu Gebiet. Die Höhenstufen zeigen in Mexiko, Mittelamerika und dem tropischen Südamerika in ihrem klimatischen Aufbau kaum Unterschiede, außer bezüglich der vertikalen Lage der Höhenstufen. Bei der Betrachtung des Veränderungen der Vegetation sind allerdings Unterschiede zu erkennen.

An erster Stelle ist die Temperaturabnahme mit der Höhe zu nennen. Sie beträgt je 100 m Anstieg bei trockener Luft etwa 1°C, bei feuchter Luft 0,55 °C. Das Gegenstück bildet die Temperaturinversion, bei der die kalte und schwerere Luft absinkt, sich in den Tälern sammelt und so zu einer Umkehr des Temperaturgefälles führt.

Die Strahlung wächst indes mit 1 % je 100 Höhenmeter. Man muss sich vor Augen führen, dass die Strahlung in den Tropen von Haus aus etwa doppelt so hoch ist wie in den gemäßigten Breiten. Der Niederschlag nimmt allgemein von 2000 m bis 3600 m zu, verringert sich darüber aber wieder. Verschiedene Winde haben im Gebirge große Wirkung: seien es Staueffekte, Aufwind, Abwind, föhnartige Winde, Düseneffekte, oder Talwinde.

1.4.1 Lage und klimatische Eigenschaften der tierra caliente

Tierra caliente – das heiße Land – umfasst die ständig heißen Tieflandregionen unterhalb von etwa 800 – 1000 m Höhe. Die Jahresmittel der Temperatur liegen hier über 24°C. An den Gebirgsflanken ist durch den Wolkenstau mit dem meisten Niederschlag zu rechnen. Extreme Jahressummen von 4000 mm sind hier normal.

1.4.2 Lage und klimatische Eigenschaften der tierra templada

Tierra templada – das gemäßigte Land – beschreibt eine temperierte Höhenstufe etwa zwischen 800 und 2000 m. Die Temperaturmittelwerte liegen zwischen 18 und 22°C und sind somit schon wesentlich niedriger als in der Tiefebene. An der Obergrenze liegen die Mittelwerte nur mehr bei 16 bis 17 °C. Es herrschen alles in allem als angenehm geltende thermische Bedingungen. Auch die Niederschläge nehmen oberhalb der Niederschlagsmaximalzone (etwa bei 1100 bis 1200 m Höhe) merklich ab. Frost ist dieser Höhenzone nicht bekannt, also ist die Kultivierung aller kälteempfindlichen Gewächse noch möglich.

1.4.3 Lage und klimatischen Eigenschaften der tierra fría

Tierra fría – das kühle Land – bezeichnet eine kalte Höhenstufe zwischen 2000 und 3500 m, mit einem Jahresmittel von 12-22°C. Dieser Höhengürtel reicht bis zur Obergrenze der Anbaumöglichkeit europäischer Feldfrüchte, die andinen Getreide und Knollenfrüchte gedeihen dagegen z.T. auch noch in der darüber liegenden Höhenstufe. Die thermischen Bedingungen kann man – freilich nur zu Mittag – mit einem ganzjährigen außertropischen Frühsommer vergleichen. Auch die Niederschlagsverhältnisse gehen mit 700-800 mm bis auf außertropische Verhältnisse zurück. Tierra templada und Tierra fría sind die bevorzugten Lebensräume und somit auch die bevölkerungsreichsten Gebiete der tropischen Gebirge.

1.4.4 Lage und klimatische Eigenschaften der tierra helada

Tierra helada ist die Froststufe der Gebirge. Sie nimmt die Regionen über 3500/4000 m ein und weist meist ein Jahrestemperaturmittel von unter 6°C auf. Die täglichen Temperaturschwankungen sind extrem und betragen oft 40-50°C, ja sogar 60°C. Es ist keine Seltenheit, dass die Temperatur in der Nacht auf -20°C abkühlt, und die maximalen Bodentemperaturen unter Tags aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung auf bis zu 40°C steigen. Man kann sagen, dass während der starken nächtlichen Ausstrahlung jede Nacht der Winter einkehrt, unter Tags kann man aufgrund der intensiven Sonneneinstrahlung jedoch frühlings- bis sogar sommerliche Verhältnisse antreffen. Die Frostwechselhäufigkeit ist extrem hoch. Die Belastung ist hier nicht nur für den Menschen extrem. Auch das Gesteinsmaterial hat darunter zu leiden. Es kommt zu intensiver Schuttbildung. In vielen Teilen, etwa auf dem Altiplano oder in der Puna gibt es kein Wasser, um die Schuttmassen abzutransportieren – die Berge ertrinken förmlich in ihrem eigenem Schutt. Der Grad, mit denen Pflanzen den Boden überdecken, beträgt höchstens 10-15%.

1.4.5 Lage und klimatische Eigenschaften der tierra nevada

Als **Tierra nevada** bezeichnet man die Stufe ewigen Eises. Die Schneegrenze liegt äquaturnah bei etwa 5000 m und steigt gegen südlich des Wendekreises bis etwa 6700 m an – dies ist die höchste Schneegrenze der Erde. Die höchsten Vulkankegel und Gebirgsspitzen ragen in die Zone ewigen Eises mit nächtlichen Extremtemperaturen von -40 bis -50°C hinein. Die Gipfel ragen meist über das mittlere Wolkenniveau hinaus, somit ist die Sonneneinstrahlung während des Tages sehr hoch.

1.5 Literatur zur Klimatologie

- BLUME, H. 1962. Beiträge zur Klimatologie Westindiens, *EK*, 16, 271-289
- CAVIEDES, C./ENDLICHER, W. 1989. Die Niederschlagsverhältnisse in Nordperu während des El Niño-Southern Oscillation-Ereignisses von 1983, *Die Erde*, 120, 81-97
- ENDLICHER, W. 1991. Zur Klimageographie und Klimaökologie von Südpatagonien *Freiburger Geogr. Hefte*, 32, 181-211
- ERIKSEN, W. 1983. Aridität und Trockengrenzen in Argentinien. Ein Beitrag zur Klimageographie der Trockendiagonale Südamerikas *Coll. Geogr.*, 16, 43-68
- ERIKSEN, W. 1986. Frostwechsel und hygri-sche Bedingungen in der Punastufe Boliviens – ein Beitrag zur Ökoklimatologie der randtropischen Anden. *Jb. der Geogr. Ges. zu Hannover für 1986*, 1-21
- GRAF, K. 1981. Zum Höhenverlauf der Subnivalstufe in den tropischen Anden, insbesondere Bolivien und Ecuador. *Zschr. Geom, NF, Suppl.* 37, 1-24
- KESSLER, A. 1985. Zur Rekonstruktion von spätglazialem Klima und Wasserhaushalt auf dem peruanisch-bolivianischen Altiplano. *Zschr. Gletscherk. U. Glazialgeol.*, 21, 107-114
- KESSLER, A. 1991. Zur Klimaentwicklung auf dem Altiplano seit dem letzten Pluvial. *Freiburger Geogr. Hefte*, 32, 141-147
- KLAUS, D., JÁURGUI, E., LAUER, W. 1988. Schadstoffbelastung und Stadtklima in Mexiko-Stadt. *Abh. der Math.-Nat. Kl der Akad. der Wiss. u. Lit.*, Mainz, 5, Stuttgart
- LAUER, W. 1959. Klimatische und pflanzengeographische Grundzüge Zentralamerika. *EK*, 13, 344-354
- LAUER, W. 1975b. Klimatische Grundzüge der Höhenstufung tropischer Gebirge 40. DGT Innsbruck 76-90
- LAUER, W. 1981. Klimawandel und Menschheitsgeschichte auf dem mexikanischen Hochland. *Abh. der Math.-Nat. Klasse der Akad. d. Wiss. u. d. Lit.*, Mainz, 2
- LAUER, W. 1952. Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehungen zu den Vegetationsgürteln. *Bonner Geogr. Abh.* 9, 19-98
- PORTIG, H. 1976. The climate of Central America. W. Schwerdtfeger (Hg.), *Climates of Central and South America, World Survey of climatology*, Bd. 12, Amsterdam, Oxford, New York, 405-478
- PROHASKA, F. 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay W. Schwerdtfeger (Hg.), *Climates of Central and South America, World Survey of climatology*, Bd. 12, Amsterdam, Oxford, New York, 13-112
- REINKE, R. 1962. *Das Klima Amazoniens*. Diss. Tübingen
- TROLL, C., PFAFFEN, K.H. 1964. Karte der Jahreszeitenklimate der Erde *Erdkunde* 18, 5-28
- WEISCHET, W. 1966. Zur Klimatologie der nordchilenischen Wüste. *Met. Rdsch.*, 19, 1-7
- WEISCHET, W. 1969. Klimatologische Regeln zur Vertikalverteilung der Niederschläge in Tropengebirgen. *Die Erde*, 100, 287-306
- WEISCHET, W. 1977. *Einführung in die allgemeine Klimatologie*. Teubner, Stuttgart.

- WEISCHET, W. 1977. *Die ökologische Benachteiligung der Tropen*. Stuttgart
- WEISCHET, W. 1985. Die ökologische Benachteiligung südamerikanischer Tieflands- gegenüber Gebirgsräumen. *Zbl. Geol. Paläont.*, Teil I, 1127-1138
- WEISCHET, W. 1990. Das Klima Amazoniens und seine geoökologische Konsequenz. *Ber. Naturfr. Ges. Freiburg i.Br.*, 80, 59-91
- HASTENRATH, S. 1963. Über den Einfluss der Massenerhebung auf den Verlauf der Klima- und Vegetationsstufen in Mittelamerika und im südlichen Mexiko. *Geografiska Annaler*, 45, 76-83