

Dieter Anhuf

Naturräumliche Grundlagen

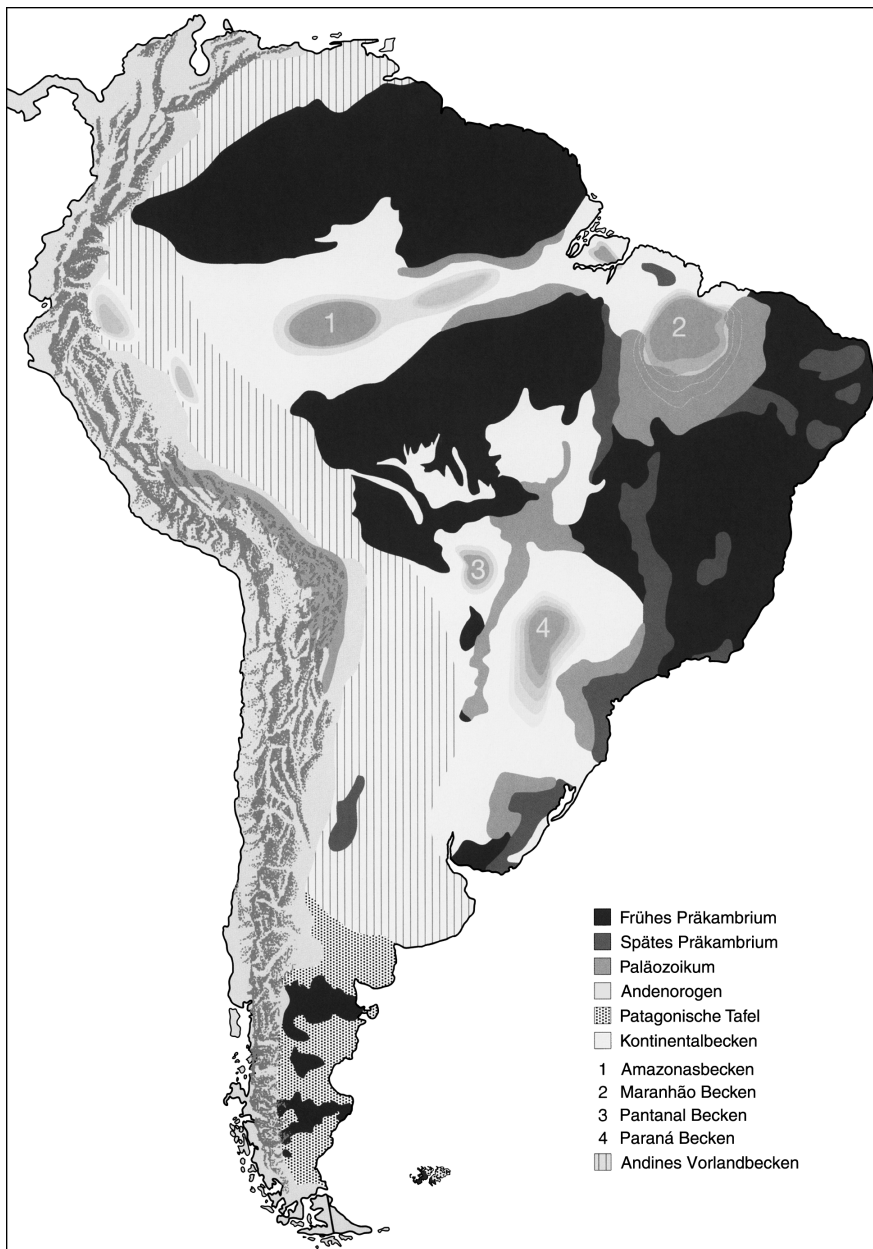
Brasilien weist eine Fläche von 8.511.965 km² auf und ist damit der fünftgrößte Staat der Erde nach Russland, Kanada, der Volksrepublik China und den USA. Das Land ist doppelt so groß wie Europa (ohne Russland) und umfasst nahezu die Hälfte des gesamten südamerikanischen Kontinents (47% der Fläche). Brasilien ist in jeglicher Hinsicht ein Gigant unter den Staaten der Erde. Seine Fläche erreicht kontinentale Ausmaße, denn das Land ist größer als Australien und seine Nord-Süd bzw. West-Ost Erstreckung von jeweils ca. 4.300 km entspricht der Entfernung von Sizilien bis zum Nordkap bzw. von der Atlantikküste Portugals bis zum Ural. Ebenso grenzt Brasilien an alle Staaten Südamerikas mit Ausnahme von Chile und Ecuador. Im Norden, Nordosten, Osten, Südosten und Süden findet Brasilien auf einer Länge von 7.400 km seine Grenze am Atlantischen Ozean. Brasilien besitzt darüber hinaus auch noch einige Inseln außerhalb des Kontinentalsockels, von denen sicherlich die bekannteste die vulkanisch gebildete Insel Fernando de Noronha im Nordosten des Landes ist.

Der größte Teil des Landes befindet sich auf der Südhalbkugel. Klimatisch erstreckt sich Brasilien von den inneren immerfeuchten über die wechselfeuchten Tropen bis hinein in die Subtropen im äußersten Süden des Landes. Die größte Stadt Brasiliens, São Paulo, liegt auf dem südlichen Wendekreis.

1. Geologischer Aufbau und Relief

Etwas verallgemeinernd könnte man Brasilien in drei Großlandschaften unterteilen. Einmal in das brasilianische Bergland mit einer Ausdehnung von über 5 Millionen km², das früher einmal eine große geschlossene Gebirgsmasse bildete und heute in den Guayana-Schild, den zentralbrasilianischen Schild sowie in den ostbrasilianischen Schild zerfallen ist (Abb. 1). Dabei handelt es sich um präkambrische (älter als 600 Millionen Jahre) magmatische wie metamorphe Gebirgsmassive, die durch intensive und wiederholte Faltung entstanden sind, heute allerdings von tektonischen Prozessen nicht mehr beeinflusst werden. Diese Gebirgsmassen waren Teil des riesigen Gondwana-Festlandes, das zwischen dem Ende des Paläozoikums und dem

Abbildung 1: Geotektonische Einheiten Südamerikas



Quelle: Verändert nach Gottsberger/Silberbauer-Gottsberger (2006).

Mesozoikum bestand und die alten Kontinentkerne Südamerikas, Afrikas, Indiens, Australiens und der Antarktis miteinander verband. Dieser ehemalige Südkontinent war durch das Tethysmeer vom damaligen Nordkontinent (Laurasia) getrennt. Gondwana zerfiel infolge der Kontinentalverschiebung seit dem Ende des Mesozoikums vor etwa 150 Millionen Jahren vollständig in die heutigen Kontinente, die im Anschluss daran allmählich in ihre heutige geographische Position auf der Erde auseinanderdrifteten.

Der zweite Großlandschaftstyp Brasiliens (und auch Südamerikas) wird von den großen Beckenlandschaften gebildet. Sämtliche südamerikanischen Großbeckenlandschaften liegen, zumindest zu ihrem überwiegenden Teil, wenn nicht sogar vollständig (Maranhão), auf brasilianischem Boden (Abb. 1). Diese Becken existieren seit dem Kambrium und sind nicht verfaltet. Es sind diese das Amazonas-Becken mit einer ca. 4.000 m mächtigen Sedimentabfolge, das Maranhão-Becken (3.000-9.000 m Sedimentmächtigkeit) sowie das Pantanal und das Paraná-Becken mit jeweils ca. 1.200-1.500 m Sedimenten (Gottsberger/Silberbauer-Gottsberger 2006).

Einen nur geringfügigen Anteil hat Brasilien an der großen kontinentalen Senkungszone auf der Andenostseite (Abb. 1). Dieses Becken wurde verfüllt von marinen und kontinentalen gefalteten Sedimenten im Zusammenhang mit der Auffaltung des Andenbogens seit dem Beginn des Tertiärs vor ca. 65 Millionen Jahren. Die kontinentale Schwemmlandebene des Pantanal liegt am Rande dieser Senkungszone.

Der größte Teil Brasiliens wird vom Brasilianischen Bergland mit durchschnittlichen Höhen von 600-1.100 m eingenommen. Im Südosten erreicht das Bergland seine größten Höhen (Serra do Mar), um anschließend in einem Steilabfall zur Atlantikküste abzubrechen. Das Küstengebirge im Südosten ist stark herausgehoben worden und hat dabei seine Sedimentdecken durch Erosion verloren, sodass das kristalline Grundgebirge zutage tritt. Nach Westen und Südwesten hin sinkt das Brasilianische Bergland schichtstufenartig allmählich zum Paraná-Becken hin ab, das durch das La-Plata-Flusssystem entwässert wird. In Südbrasilien liegen über dem eingeebneten kristallinen Grundgebirge auf einer Fläche von rund 1,2 Millionen km² Basaltdecken (Trappdecken, die zu den größten auf der Erde zählen), die beim Auseinanderbrechen von Gondwana in der Kreidezeit vor etwa 150 Millionen Jahren ausgetreten sind. Im Dreiländereck Brasilien, Argentinien und Paraguay stürzen die Iguazu-Wasserfälle, die größten der Erde, über genau diesen Basaltplateaurand in die Tiefe.

Nach Norden und Nordwesten hin senkt sich das Brasilianische Bergland in Form ausgedehnter Hochflächen (Planaltos und Chapadas) allmählich zum Amazonastiefland hin ab. Es handelt sich also um alte Rumpfflächen, die das kristalline Grundgebirge in Jahrtausenden während flächenhafter tropischer Erosion eingeebnet haben. Nördlich der Amazonasdepression hat Brasilien ebenfalls noch Anteil am Bergland von Guayana. Auch dieses Bergland ist aus altpräkambrischen metamorphen Gesteinen aufgebaut, auf denen aber im westlichen Teil noch Sandsteinschichten von zum Teil über 1.000 m Mächtigkeit aufliegen, die die für Südamerika und insbesondere dessen Nordteil berühmten "Tepuis" (isolierte Tafelberge) aufbauen, so zum Beispiel auch den Cerro Neblina, mit 3.014 m der höchste Berg Brasiliens oder den Cerro Roraima mit 2.810 m. Im Gegensatz zur Südseite des Amazonasbeckens, wo das brasilianische Bergland eher sanft zum Amazonas hin abfällt, bricht das Guayana-Bergland sehr schroff nach Süden zum Amazonas hin ab.

Im Bereich der alten kristallinen Schilde verfügt Brasilien über reiche Bodenschätze wie Eisenerze in der Region von Carajás oder in Minas Gerais, aber auch reiche Mangan-, Bauxit- und Goldvorkommen gehören dazu. Eisen- und Manganerzlagertstätten gibt es darüber hinaus in Mato Grosso und Amapá, und nicht zu vergessen die Edel- und Schmucksteinvorkommen in Minas Gerais. Weiterhin verfügt Brasilien über große Lager an Kupfer, Blei, Zink, Zinn, Chrom, Nickel und zahlreiche seltene Erze. Erdöl- und Erdgasvorkommen besitzt Brasilien sowohl in Amazonien als auch entlang der Nordostküste des Landes zwischen Rio de Janeiro und Pernambuco (siehe Beitrag Energiewirtschaft in diesem Band).

Zwischen die beiden kristallinen Massive des brasilianischen Berglandes im Süden und dem brasilianischen Anteil am Bergland von Guayana schiebt sich mit einer West-Ost-Erstreckung von fast 3.500 km das Amazonasbecken, das seit dem Alttertiär absank und sich nach Westen als Meeresbucht zum Pazifik wandte (Kohlhepp 1994). Nach der Auffaltung der Anden seit dem Alttertiär vor etwa 65 Millionen Jahren und dem daraus resultierenden Abschluss vom Pazifik entstand ein riesiger Binnensee, der von Erosionsmaterial der aufsteigenden Anden verfüllt wurde und der erst seit dem Jungtertiär dann eine Verbindung zum Atlantik erhielt und seitdem das heutige hydrografische System des Amazonasbeckens entwickeln konnte.

Das Amazonastiefland verengt sich in seinem östlichen Teil zwischen den im Norden liegenden Ausläufern des Berglandes von Guayana und dem nördlichen Ausläufer des Brasilianischen Berglandes, der Serra dos Carajás,

bis auf etwa 400 km (Abb. 1). Von hier aus weitet sich das Amazonasbecken nach Westen hin aus und erreicht eine maximale Nord-Süd-Erstreckung von 2.000 km. Es ist hauptsächlich von kreidezeitlichen, tertiären und quartären Ablagerungen verfüllt, wobei die kreidezeitlich/tertiären Ablagerungen den Bereich bilden, der heute nicht mehr von den alljährlichen Überschwemmungen des Amazonas erreicht und in Brasilien als *terra firme* bezeichnet wird.

In diese jungtertiären Ablagerungen haben sich die großen Flüsse Amazoniens zum Teil bis 100 m tief eingeschnitten, insbesondere während der großen Kaltphasen im Quartär auf der Nordhalbkugel, als der Weltmeerespiegel um über 120 m abgesenkt war, denn das Wasser war in den polaren und subpolaren Kontinentalgebieten in Form von Gletschereis gebunden. Neben dem Amazonas wurden so auch der Rio Tapajós, der Rio Xingu und der Rio Tocantins in ihren Mündungstrichtern entsprechend tief eingeschnitten. Infolge der schwachen Sedimentation der im Brasilianischen Bergland entspringenden Flüsse wurden diese Erosionstrichter bis heute kaum wieder verfüllt (Kohlhepp 1994). Der Einfluss der quartären Meeresspiegelschwankungen ist von der Amazonasmündung noch bis 2.500 km landeinwärts spürbar gewesen (Junk 1997).

Das gesamte Amazonasbecken erstreckt sich über insgesamt 7 Millionen km², neun Länder Südamerikas haben Anteil an der größten Süßwasserreserve, die die Erde aufzuweisen hat. Der brasilianische Amazonasregenwald bedeckt heute noch knapp 3,5 Millionen km² und ist damit das größte geschlossene Regenwaldgebiet der Erde (Anhuf 2006). Über 1 Million km² des Amazonastieflandes liegen unter 100 m über dem Meeresspiegel, sodass dessen Schwankungen in der jüngeren Klimageschichte maßgeblich das heutige Landschaftsbild geformt haben und weiter formen. Durch die jährlichen Wasserstandsschwankungen des Amazonas zwischen 8 und 12 Metern im Durchschnitt werden alljährlich riesige Flächen entlang der großen Flüsse überschwemmt und verbleiben einige Monate im subaquatischen Milieu. Insgesamt sind rund 300.000 km² von diesen Überschwemmungen betroffen (Junk 1997). Man unterscheidet die Überschwemmungsgebiete in Brasilien insbesondere danach, welche hydrografischen Systeme für die Überflutung verantwortlich sind. Kommen die Wässer aus dem Andenvorland, dann spricht man von sedimentreichen Flüssen, den sogenannten Weißwasserflüssen wie dem Rio Solimões (Oberlauf des Amazonas oberhalb von Manaus), die für die Bildung der *Várzea*-Überschwemmungswälder verantwortlich sind. Entspringen die Flüsse aber im Bereich des Brasilianischen Berglandes,

dann sind sie extrem sedimentarm und werden entsprechend als Klar- oder Schwarzwasserflüsse bezeichnet wie zum Beispiel der Rio Negro. Die Schwarzwasserüberschwemmungswälder werden als *Igapó* bezeichnet.

An der Landesgrenze zu Bolivien und Paraguay dehnt sich das über 100.000 km² große tektonisch angelegte Senkungsgebiet des Pantanal aus. Das Pantanal gehört geologisch zur großen kontinentalen Senkungszone, die sich zwischen Anden und dem Brasilianischen Bergland vom Gran Chaco im Norden bis ins südargentinische Patagonien erstreckt (Kohlhepp 1994). Nach Osten wird das Pantanal durch eine 500 m hohe Sandsteinstufe begrenzt.

2. Hydrografie

Hydrografisch wird Brasilien von zwei riesigen Flusssystemen geprägt, dem Amazonas und dem Paraná-Paraguay. Beide Stromsysteme haben eine grenzüberschreitende Bedeutung, wohingegen der Rio São Francisco mit 2.900 km Länge der größte rein brasilianische Fluss ist. Der Amazonas entspringt mit seinen Quellflüssen Ucayali-Apurimac und dem Rio Marañón in den peruanischen Anden. Ab der brasilianischen Grenze bis zum Zusammenfluss mit dem Rio Negro bei Manaus trägt der Fluss den Namen Rio Solimões, erst ab Manaus bis zur Mündung in den Atlantik spricht man offiziell vom Amazonas. Der Amazonas gilt zwar als zweitlängster Strom der Erde mit über 6.500 Kilometern Länge, von den Wassermassen her, die in seinem Einzugsgebiet strömen und sich in den Atlantik ergießen, ist der Amazonas eindeutig und unangefochten die Nummer eins. In seinem Einzugsgebiet von über 7,2 Millionen km² besitzt der Amazonas (jetzt gebraucht als Name für den gesamten Strom) allein 15 Nebenflüsse, die alle zusammen über 2.000 km Länge aufweisen (Stromlänge des Rheins: 1.320 km). Die wichtigsten Nebenflüsse des Amazonas, auch weil sie für die Schifffahrt von Bedeutung sind, sind der Rio Madeira (3.380 km), der Rio Purús (3.200 km), der Rio Tapajós, der Rio Xingu, der Rio Tocantins und natürlich der Rio Negro (Kohlhepp 1994).

Das Rio Paraná-Paraguay-Flusssystem wird von insgesamt drei Flüssen dominiert, von denen aber nur zwei auf brasilianischem Territorium entspringen. So hat Brasilien auch nur einen 1,4 Millionen km² großen Anteil an dem insgesamt über 4 Millionen km² großen Gesamteinzugsgebiet. Der Rio Paraná entsteht in Minas Gerais aus dem Zusammenfluss von Rio Paranaíba und Rio Grande und erreicht bis zum Mündungsdelta am Rio de la Plata bei Buenos Aires eine Länge von 3.700 km. Als größter Nebenfluss

des Rio Paraná entspringt der 2.200 km lange Rio Paraguay im Bergland von Mato Grosso, durchfließt das Pantanal und bildet anschließend die Grenze zwischen Paraguay und Brasilien (Kohlhepp 1994).

Alle drei genannten Flüsse spielen für die brasilianische Energiewirtschaft eine herausragende Rolle. Dem Rio Paraná kommt insbesondere für die Energieversorgung des stark industrialisierten Südostens (Bundesstaaten Rio de Janeiro und São Paulo) eine herausragende Rolle zu. Bis vor wenigen Jahren war das Großkraftwerk Itaipú am Rio Iguazu kurz vor der Einmündung in den Rio Paraná das größte Wasserkraftwerk der Erde. Aber auch am Rio São Francisco wurden in den vergangenen Jahrzehnten mehrere Großkraftwerke errichtet, einmal zu Bewässerungszwecken entlang des Flusses im trockenen Sertão, aber auch für die Stromversorgung der Millionenmetropolen im Nordosten des Landes. 90% des brasilianischen Stromverbrauches wird in hydroelektrischen Kraftwerken erzeugt. Damit liegt Brasilien bei der Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie weltweit an erster Stelle.

3. Rezentenes Klima

Aufgrund der geographischen Lage Brasiliens hauptsächlich auf der Südhalbkugel ($5^{\circ}10'N$ bis $33^{\circ}47'S$) sind die jahreszeitlichen Ausprägungen spiegelverkehrt zu denen auf der Nordhalbkugel. Das bedeutet, das Sommerhalbjahr dauert von Oktober bis März und das Winterhalbjahr von April bis September. Dabei sind die Begriffe *Sommer* und *Winter* auf eine tropische Region natürlich nicht übertragbar, denn die Tropen kennen keine Jahreszeiten in unserem Sinne, da die Temperaturen über das Jahr hinweg sehr ausgeglichen sind und Fröste nur in den Gebirgslagen auftreten. Vielmehr wird der Jahresgang in den Tropen von dem Verlauf der Regenzeiten dominiert. Jahreszeitliche Unterschiede werden hier durch die Anzahl der trockenen und der feuchten Monate charakterisiert (Tab. 1).

Der größte Teil Brasiliens liegt in den inneren und äußeren Tropen und nur ein kleiner Bereich, die Region Süden (Bundesstaaten Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) und Paraná (PR)), wird von subtropischem Klima beherrscht. Der hygrischen Untergliederung der Tropen liegt die regelhafte Veränderung des Regenregimes von den Bereichen des Äquators zu den Wendekreisen hin zugrunde. Im Regelfall wird die Regenzeit vom Äquator zu den Wendekreisen hin auch kürzer, ebenso nehmen die Regenmengen ab (Lauer 1975). Denn durch den Sonnengang verschiebt sich jahreszeitlich die tropische Passatzirkulation jeweils von Nord nach Süd und umgekehrt. Im Bereich zwischen den Wendekreisen dominieren mit Ausnahme der ITCZ

(innertropische Konvergenzzone) die tropischen Ostwinde (Passate), die vom Atlantik kommend Feuchtigkeit und Niederschläge auf den südamerikanischen Kontinent bringen. Im Südsommer regnet es am stärksten im Norden und Nordosten, insbesondere von Februar bis Mai, denn dann ist die ITCZ weit nach Süden ausgelenkt und der Nordostpassat bringt Regen an die Nord- und Nordostküste Brasiliens. Der Südosten des Landes steht zwar das ganze Jahr über unter Passateinfluss aus dem Südosten, aber die Hauptniederschläge fallen hier in den Südsommermonaten. Der subtropische Süden des Landes steht im Südsommer unter Passateinfluss, im Winter allerdings dringen kalte subarktische Luftmassen ein, deren Einfluss bis weit in die Tropen hinein spürbar sein kann (*friagens*).

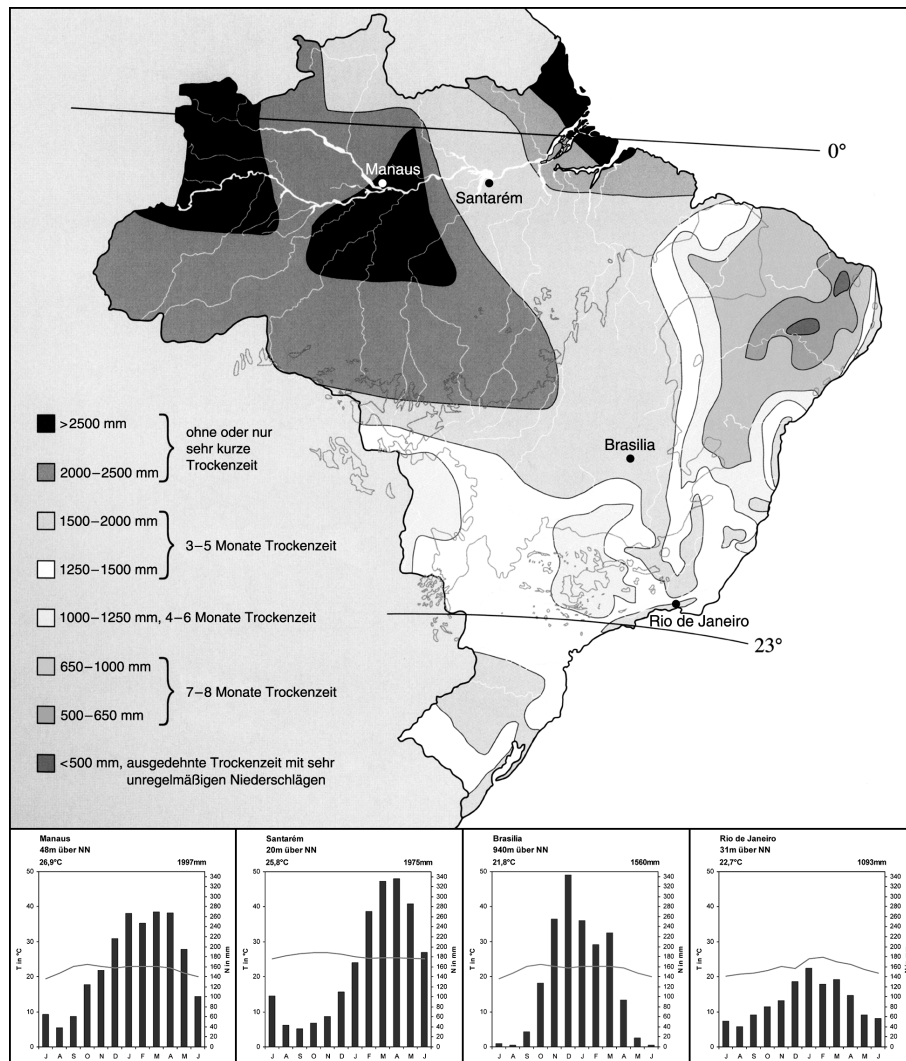
Eine Besonderheit Brasiliens ist eine weitere entscheidende Wasserdampfquelle neben dem tropischen Atlantik, nämlich das Amazonasbecken, das mit seinen Regenwäldern, seinen zahlreichen Flüssen und den weiten Überschwemmungsebenen eine wesentliche Rolle für die Niederschläge im Land spielt. Insgesamt ist die Evapotranspiration über dem Amazonasbecken sogar höher als über dem tropischen Atlantik, was zur Folge hat, dass die Niederschlagsmengen im westlichen Amazonasbecken sogar höher ausfallen als entlang der Küste (Anhuf 2008, Abb. 2).

Die Amazonasregion ist allerdings nicht überall perhumid. Es existiert ein nur mäßig feuchter Sektor, der sich wie eine Diagonale von Roraima bis zum Süden des Bundesstaates Pará erstreckt und dann sich nach Westen fortsetzt und Teile von Rondônia und Acre ebenfalls beeinflusst. Belém, am Amazonas gelegen, erhält etwa 2.200 mm Niederschläge pro Jahr. Westlich davon reduzieren sich die Niederschläge auf unter 1.800 mm, bevor sie in Santarém wieder knapp 2.000 mm erreichen (Abb. 2).

Eine weitere klimatische Besonderheit findet sich im Nordosten des Landes. Obwohl in den inneren Tropen gelegen, weist die Nordostküste des Landes sowie das Landesinnere der Staaten Ceará, Piauí, Alagoas, Sergipe und Bahia ein ausgedehntes und ausgeprägtes Trockengebiet auf. Während die gesamte brasilianische Ostküste bis zum Kap São Roque ganzjährig vom Südost-Passat hohe Niederschläge erhält, liegen diese Gebiete im Lee der Küstengebirge sowie die Nordwest streichende Küste zwischen Natal und Fortaleza im Regenschatten (Kohlhepp 1994). Insgesamt fast 1 Million km² erhalten weniger als 600 mm Regen im Jahr, auf der Ostseite des Rio São Francisco werden sogar nur knapp 400 mm pro Jahr registriert, bei einer Trockenzeit von 10-11 Monaten im Jahr (Monate mit weniger als 100 mm)

(Sanches Ross 2008). In Brasilien wird dieses Trockengebiet als *sertão* bezeichnet (Abb. 2).

Abbildung 2: Niederschlagskarte Brasiliens



Quelle: Verändert nach Gottsberger/Silberbauer-Gottsberger (2006) und ergänzt.

Im Zusammenhang mit dem Klima Amazoniens zeigen die Mittelwerte der Klimadaten, dass es sich bei dem Regenwaldklima stets um ein immer feuchtes Klima handelt mit Regenfällen zu allen Jahreszeiten und keinem trockenen Monat im Jahresverlauf. Diese überlieferte Annahme ist heute sicherlich nicht mehr ohne Weiteres zutreffend, denn viele Stationen in Amazonien weisen wenn auch kurze, aber markante Trockenphasen im Jahresverlauf auf. Doch auch zum Beispiel Manaus erhält in den Monaten Juli, August und September Niederschläge, die deutlich unter 100 mm liegen (64, 38, 60 mm). Wenn man die klimatische Wasserbilanz für diese Station berechnet, so sind die genannten Monate aufgrund der hohen Einstrahlung und damit der Verdunstung klimatisch als arid zu bezeichnen. Dass dennoch der tropische Regenwald dort existiert, ist ein Zeichen dafür, dass das überschüssige Wasser aus den anderen Monaten des Jahres dieses Defizit ausgleichen kann.

Eine weitere Besonderheit gerade für Amazonien ist das gelegentliche unregelmäßige Auftreten von extrem trockenen, aber auch extrem feuchten Jahren. Dieses Phänomen ist insbesondere entlang der peruanischen Pazifikküste bekannt und wird dort als "El Niño/La Niña-Phänomen" beschrieben und ist aus historischen Quellen seit einigen hundert Jahren an der Pazifikküste dokumentiert. Damit wird das Auftreten ungewöhnlicher veränderter Strömungen im ozeanographisch-meteorologischen System des äquatorialen Pazifiks beschrieben. Die Wassertemperatur des Pazifiks vor der Küste Perus liegt in normalen Jahren um die Weihnachtszeit nur bei 24°C, denn durch die Passatwinde kommt es zu einem Auftriebsphänomen von kühlem Wasser (Humboldtstrom). Bei einem "El Niño" schwächt sich der kalte Wasserauftrieb ab und kommt zum Erliegen. Das Oberflächenwasser vor der Küste Perus erwärmt sich so sehr, dass es zu starken Regenfällen an der südamerikanischen Küste kommt. Erst in jüngerer Vergangenheit hat man festgestellt, dass diese besagten Phänomene nicht nur an der Pazifikküste auftreten, sondern sogar im entfernten Amazonien zumindest in den letzten Jahrzehnten ebenfalls in den Klimadaten auftauchen. Anders als an der Pazifikküste sind "El Niño"-Jahre in Amazonien extrem trockene Jahre und "La Niña"-Jahre besonders feucht und nass ausgeprägt. Die markantesten "El Niño/La Niña" waren im letzten Jahrhundert sicherlich die Ereignisse von 1982/83 sowie 1997/98 und einer längeren Anomaliephase zwischen 1990 und 1995. Eine Analyse der vorhandenen Klimadaten und neue Arbeiten über Zuwachsringe bei tropischen Regenwaldarten haben gezeigt, dass auch schon im zweiten Jahrzehnt des letzten Jahrhunderts ein starkes "El Niño/La

Niña"-Ereignis stattgefunden hat, ebenso wie in den letzten drei Dekaden des 19. Jahrhunderts. Mittlerweile kann das Klima für Amazonien, zumindest was die Extremjahre betrifft, mit großer Sicherheit zumindest für die letzten 200 Jahre rekonstruiert werden, wobei Klimadaten erst seit knapp 100 Jahren vorliegen. Es hat sich gezeigt, dass "El Niño/La Niña"-Ereignisse auch in der Vergangenheit auftraten. Was sich allerdings in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts verändert hat, ist die Intensität der Extremereignisse. Die Auswirkungen sind also extremer (trockener/feuchter) geworden (Schöngart et al. 2004).

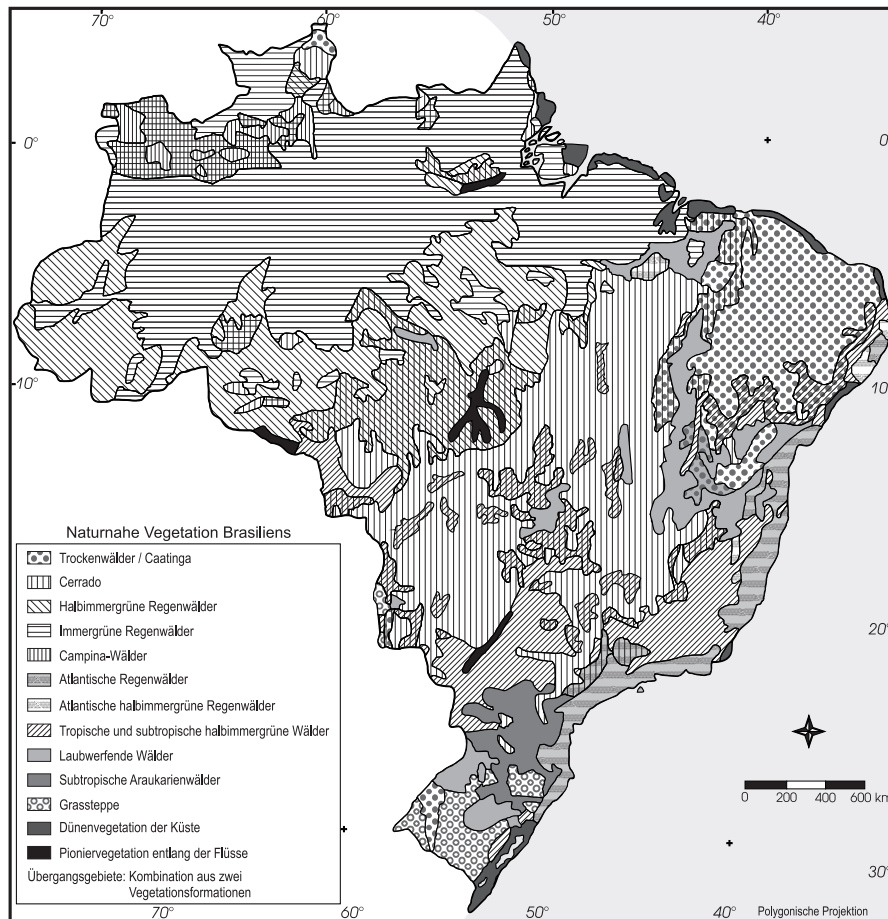
Das jüngste Extremereignis, nämlich die große Trockenheit 2005 in Amazonien, stand jedoch nicht im Zusammenhang mit "El Niño/La Niña". In diesem Jahr waren die Oberflächentemperaturen des nördlichen tropischen Atlantik zwischen einem und zwei Grad wärmer als normal und diese Anomalie hat die Trockenheit in Amazonien verursacht.

4. Vegetation

Basierend auf einer vielfältigen klimatischen Differenzierung des Landes kann es nicht verwundern, wenn auch das natürliche Pflanzenkleid durchaus sehr reichhaltige Facetten aufzuweisen hat. Dass in vielen Bereichen die natürliche Vegetation im Laufe der vergangenen 500 Jahre seit der Kolonialisierung des Landes zum Teil massive Umwandlungen erfahren hat, soll in diesem Kapitel jedoch noch nicht behandelt werden.

Die rezente natürliche Vegetationsbedeckung Süd- und Südost-Brasilien (zu Südost-Brasilien gehören die Bundesstaaten São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ) sowie Espírito Santo (ES)) setzt sich zusammen aus Primärwald-Ökosystemen wie dem Tropischen Atlantischen Regenwald, den Araukarienwäldern, den halbimmergrünen Laubwäldern, dem Cerrado (Savannen-Wald Mosaik) und den Campos, bei denen es sich um ein primäres Höhengrasland handelt (Abb. 3). Der Atlantische Regenwald tritt in Süd- und Südost-Brasilien als ein 100 bis 250 km schmaler Gürtel in den Küstenniederungen entlang des Atlantischen Ozeans und an den östlichen Küstenhängen der Serra Geral sowie der Serra do Mar auf. Der frostempfindliche Atlantische Regenwald reicht bis in die südlichen Bereiche des Bundesstaates Santa Catarina. Das Klima ist warm und humid mit einer nur kurzen Trockenzeit von weniger als zwei Monaten. Der Jahresniederschlag beträgt zwischen 1.250 und 3.000 mm, in den höher gelegenen Regionen kann dieser Wert auch übertroffen werden (Tab. 1).

Abbildung 3: Die naturnahen Vegetationsformationen Brasiliens



Quelle: Verändert nach IBGE (*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*) (1993).

Der subtropische Araukarienwald tritt in den südbrasilianischen Hochländern zwischen 24 und 30°S (in einer Höhenlage von 1.000-1.400 m), in Süd-Ost-Brasilien auf kleinen isolierten Flächen zwischen 18 und 24°S (1.400-1.800 m Höhe) auf. Das Klima ist gemäßigt und humid ohne eine ausgeprägte Trockenperiode. Der Jahresniederschlag reicht von 1.400-2.400 mm (Tab. 1).

Die halbimmergrünen Wälder befinden sich weiter im Landesinneren Südost-Brasilien in Regionen mit einer jährlich auftretenden Trockenzeit

von drei bis fünf Monaten und Jahresniederschlägen zwischen 1.000 und 1.500 mm (Tab. 1).

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen dem Klima und den Vegetationsformationen

Vegetation	Klima		
	Länge der Trockenzeit in Monaten	Niederschlag (in mm)	Temperaturen (Min./Max.) in °C
Höhengrasländer	0 - 1	<1.400 - ~2.000	-10 - +36
Araukarienwälder	0 - 1	>1.400 - 2.400	-10 - +38
Atlantischer Regenwald	0 - 2	1.250 - >3.000	>±0 - +42
Tropische u. subtropische halbhimmergrüne Wälder	3 - 5	1.000 - 1.500	>10 <15 - +38
Cerrado	5 - 6	1.000 - 1.750	>15 - +38
Caatinga	> 8	500 - 700	>15 - +38
Amazonas Regenwald	0 - 2	1.500 - >3.000	>15 - +38

Der Cerrado ist ein tropisches Grasland mit verschiedenen physiognomischen Vegetationstypen (Grasland: *Campo limpo*; Grasland mit kleinen Büschen oder Bäumen: *Campo sujo*; offenes oder geschlossenes Waldland mit niedrigen Bäumen und/oder Büschen: *Campo Cerrado*; Baum- und Buschland mit 2-5 m hohen Bäumen und einem offenen Kronendach: *Cerrado* im engeren Sinne; offene Trockenwälder mit 5-15 m hohen Bäumen und einem halb oder ganz geschlossenen Kronendach: *Cerradão*). Der Cerrado ist vor allem im Osten Zentralbrasilien (Mato Grosso do Sul (MS), Mato Grosso (MT), Goiás (GO), dem Bundesdistrikt (Brasília: DF) als auch im Nordosten Brasilien (Bahia (BA), Piauí (PI), Maranhão (MA)) ebenso verbreitet wie im östlichen Teil Nord-Brasilien (Tocantins (TO) und Pará (PA)), wobei er eine Fläche von über 2,1 Mio. km² einnimmt (Abb. 3; Tab. 2). Der durchschnittliche Jahresniederschlag reicht in den meisten Regionen des Cerrado von 1.000 bis 1.750 mm mit einer Trockenzeit von fünf bis sechs Monaten (Tab. 1). Der Cerrado tritt ebenso im nördlichen Teil Südost-Brasilien auf (São Paulo, Minas Gerais).

Tabelle 2: Die flächenhafte Ausdehnung der Vegetationsformationen in Brasilien

Ökosystem	Ausdehnung in km ² (http://www.mre.gov.br)*
Amazonas Regenwald	3.500.000
Atlantischer Regenwald	320.000
Tropische und subtropische halbimmergrüne Wälder	1.180.000
Cerrado	2.125.000
Caatinga	700.000
Pantanal	150.000
Araukarienwälder	155.000
Andere (nicht spezifiziert)	370.000
Total	8.500.000

* Die Angaben über die Ausdehnung der jeweiligen Ökosysteme Brasiliens sind in Abhängigkeit der verwendeten Quellen teilweise sehr unterschiedlich. Dieses gilt auch für Zahlen, die von unterschiedlichen brasilianischen Ministerien und Nichtregierungsorganisationen verwendet werden. In diesem Beitrag beziehe ich mich auf die Zahlen des brasilianischen Außenministeriums (MRE – *Ministério das Relações Exteriores*).

Die *Caatinga*, welche sich vom Cerrado unterscheidet, aber dennoch ein tropisches Wald-/Grasland darstellt, prägt den nordöstlichen Teil von Brasilien. Vornehmlich ist sie in den Bundesstaaten Bahia (BA), Piauí (PI), Pernambuco (PE), Ceará (CE), Paraíba sowie Rio Grande do Norte (RN) verbreitet und bedeckt eine Fläche von 700.000 km² (Tab. 2). Der durchschnittliche Jahresniederschlag bewegt sich in weiten Teilen der *Caatinga* zwischen 500 und 700 mm. Die Regenzeit dauert von Februar bis Mai an, während die übrigen acht Monate trocken sind. Die Vegetation kann als ein Mosaik von offenen Trockenwäldern, Baum- und Dornsavannen beschrieben werden. Charakteristisch für die *Caatinga*-Vegetation (indianisch "weißer Wald" aufgrund der hellen Baumrinden) sind der Laubwurf während der Trockenzeit, die Bedornung zahlreicher Sträucher und Bäume sowie der große Reichtum an wasserspeichernden Pflanzen wie Kakteen und Flaschenbäumen (*Bombacaceae*).

Ein weiterer Savanntentyp bestimmt die Regionen der nördlichen Hemisphäre, welcher in Kolumbien "Llanos Orientales", in Venezuela "Llanos de Orinoco" genannt wird. Der wesentliche Unterschied zum klassischen Cerrado besteht in der lang andauernden jährlichen Überschwemmung dieser Savannen. Ein Homolog der "Llanos" stellt das brasilianische Pantanal dar.

Die Zusammensetzung der Vegetation in den ausgedehnten Gebieten des Cerrado ist nicht homogen und hat Übergangsbereiche zu anderen Vegetationstypen wie beispielsweise dem Amazonasregenwald und den halbimmergrünen Laubwäldern (Gottsberger/Silberbauer-Gottsberger 2006).

An den Regenwald der Küstenebenen schließen sich über viele Kilometer helle Sandstrände mit Dünen an, die zum Teil auch als Wanderdünen ausgeprägt sind. Die Breite dieses Küstenstreifens erreicht vielfach nur wenige Kilometer, in einigen Ausnahmefällen dehnen sich die Dünengebiete auch bis über 20 km ins Landesinnere aus, so zum Beispiel in den "Lençóis Maranhenses". Diese Vegetationsformation wird in Brasilien als "Restinga" bezeichnet (Seibert 1996).

An den Flussmündungen und hinter vorgelagerten Inseln gedeihen Mangrovenwälder und -gebüsche. Sie kommen im Salz- und Brackwasser an Flachküsten aller tropischen Länder vor. Der Wasserstand in den Mangroven schwankt gezeitenbedingt, bei Niedrigwasser ist der Boden (Schlick) frei von Wasser. Die Bäume und Sträucher bilden Atemwurzeln aus, die entweder als Stelzwurzeln oder als pfahlförmig aus dem Boden herausragende Luftwurzeln ausgebildet werden. Die Artverbreitung der Mangrovenbäume ist vivipar, das heißt, dass die Samen schon vor dem Abwurf keimen, um so in dem aquatischen Lebensraum mit wechselnden Wasserhöhen eine Überlebenschance zu haben. Die genannten Mangrovenarten sind in bestimmter Weise entlang der Küste zoniert. Diese Zonierung wird zum einen von der Höhe der Überflutung und zum anderen vom Salzgehalt des Bodens bestimmt. Heute existieren an den brasilianischen Küsten vielleicht noch 20-30% der ursprünglichen Mangrovenwälder, etwa 20.000 km². Mangroven findet man in Brasilien von der Nordgrenze des Landes in Amapá bis in den Süden des Landes bei etwa 28°30'S. Als klimatischer Grenzfaktor für das Entstehen dieses Ökosystems könnte man die 15°C Isotherme des kältesten Monats angeben. Die Mangroven Brasiliens sind ausgesprochen artenarm, nur drei Baumarten sind über den gesamten Küstenstreifen verbreitet, *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* und *Languncularia racemosa*.

Der Amazonasregenwald Brasiliens dehnt sich heute über eine Fläche von ungefähr 3,5 Millionen km² aus. Das auffälligste Merkmal dieser Vegetationsform ist ihre enorme Menge an lebender Biomasse sowie die äußerst hohe Biodiversität (Ozanne et al. 2003). Tropische Regenwälder sind mit ihren drei bis vier Stockwerken klar strukturiert; einzelne Bäume können Höhen von bis zu 50 Metern und mehr erreichen. Das Kronendach ist geschlossen und weniger als 3% des einfallenden Sonnenlichtes erreicht den

Waldboden (Anhuf/Rollenbeck 2001). Das Klima ist heiß und humid mit einer gänzlich fehlenden oder nur kurz auftretenden (weniger als zwei Monate) Trockenphase. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt zwischen 1.500 und >3.000 mm, wobei an den Osthängen der Anden auch höhere Werte erreicht werden können. Darüber hinaus schützen und regulieren Wälder kleinere bis hin zu riesigen Wassereinzugsgebieten. Sie verursachen Regen, forcieren die Bodenbildung und sind zu einem großen Teil für die Stabilität unseres Klimasystems verantwortlich, nicht zuletzt durch ihre Bedeutung für den regionalen und globalen CO²-Haushalt.

Die selektive Abholzung führt neben der Artenverarmung zu einem teilweisen Öffnen der Wälder. Mehr Sonnenlicht erreicht den Waldboden, das Waldinnere wird dadurch wärmer und anfälliger für Trockenstress. Die durchschnittliche tägliche Niederschlagsmenge des Amazonasbeckens beläuft sich auf 5,9 mm/Tag (Marengo 2004), was einer mittleren Jahressumme von ca. 2.150 mm entspricht. Von den gefallenen 5,9 mm verdunsten pro Tag durchschnittlich wieder etwa 3,5 mm. Das entspricht knapp 60% des Niederschlages. Der größte Teil dieser Evapotranspiration wird als Transpiration von den großen Bäumen des *Canopy* (Walddach) erbracht, die 70-80% der gesamten Evapotranspiration leisten. Weitflächige Rodungen dieser Wälder werden zumindest auch weitreichende Folgen für das regionale südamerikanische Klima, wenn nicht sogar für das globale Klima nach sich ziehen. Denn die Evapotranspirationsleistung einer Vegetationseinheit ist proportional zum Blattflächenindex, so dass Wälder wesentlich mehr Wasser verdunsten als Weiden. Bei fortgesetzter Abholzung ist durchschnittlich von einer Reduktion der Evapotranspiration in der Größenordnung von etwa 200 mm/Jahr und einer Niederschlagsabnahme von ca. 20% der Jahressumme auszugehen.

Literaturverzeichnis

- Anhuf, Dieter (2006): "Quo vadis Amazonia – Probleme im tropischen Regenwald". In: Glaser, Rüdiger/Kremb, Klaus (Hrsg.): *Nord- und Südamerika*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 51-62.
- (2008): "Der Amazonas-Regenwald im zukünftigen Treibhausklima – Perspektiven eines bedrohlichen Szenarios". In: *Passauer Kontaktstudium*, 9, S. 51-61.
- Anhuf, Dieter/Rollenbeck, Rütger (2001): "Structure of the Surumoni Forest Canopy and its Influence on Micro-climate". In: *Ecotropica*, 7, S. 21-32.
- Gottsberger, Gerhard/Silberbauer-Gottsberger, Ilse (2006): *Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation*. Bd. I. Ulm: Reta.

- IBGE (*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*) (1993): *Mapa de Vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Junk, Wolfgang (Hrsg.) (1997): *The Central Amazon Floodplain*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer (Ecological Studies, 126).
- Kohlhepp, Gerd (1994): "Raum und Bevölkerung". In: Briesemeister, Dietrich/Kohlhepp, Gerd/Mertin, Ray-Güde/Sangmeister, Hartmut/Schrader, Achim (Hrsg.): *Brasilien heute*. (Bibliotheca Ibero-Americana, Bd. 53). Frankfurt am Main: Vervuert, S. 9-107.
- Lauer, Wilhelm (1975): *Vom Wesen der Tropen*. Wiesbaden: Franz Steiner.
- Marengo, José (2004): "Interdecadal Variability and Trends of Rainfall Across the Amazon Basin". In: *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 1-3, S. 79-96.
- Ozanne, Claire/Anhuf, Dieter/Boulter, Sarah/Keller, Michael/Kitching, Roger/Körner, Christian/Meinzer, Frederick/Mitchell, Andrew/Nakashizuka, Tohru/Silva Dias, Pedro Leite/Stork, Nigel/Wright, Joseph/Yoshimura, Mitsunori (2003): "Biodiversity Meets the Atmosphere: A Global Review of Forest Canopies". In: *Science*, 301, S. 183-186.
- Sanches Ross, Jurandy Luciano (2008): *Geografia do Brasil*. São Paulo: EDUSP.
- Schöngart, Jochen/Junk, Wolfgang/Piedade, Maria Theresa/Ayres, José Marcio/Hüttermann, Aloys/Worbes, Martin (2004): "Teleconnection Between Tree Growth in the Amazonian Floodplains and the El Niño–Southern Oscillation Effect". In: *Global Change Biology*, 10, S. 683-692.
- Seibert, Paul (1996): *Farbatlas Südamerika – Landschaften und Vegetation*. Stuttgart: Ulmer.