

valley should be considered as of epirogenetic and not of antecedent origin.

The climatic zoning from the rainy Pacific coast to the dry interior of the Columbia Plateau is reflected in a corresponding sequence of vegetation belts. The Columbia Gorge makes it possible to view this sequence in its horizontal as well as its vertical arrangement and thus fused into a three dimensional picture, and further to observe the influence of northern and southern aspect on the vegetation cover. Particularly remarkable is the climatic and ecological gradation in the high mountain region of Mt. Rainier. In the zone of maximum precipitation and immense snow cover during the winter, which coincides approximately with the crest of the Cascade Range with its cloud belt, the upper limit of trees and the climatic snow line (2,000—2,100 m.), lie perhaps closer together than anywhere else in the world. In greater altitudes, on the conical mountain tops which reach high above the cloud belt, precipitation again decreases to such an extent that great dryness, evaporation and insolation give rise to honeycomb and "penitentes" forms of the firn snow, a

phenomenon which resembles the vertical zoning of climate on tropical and sub-tropical volcanic cones like Mauna Kea, Kilimanjaro, Popocatepetl, Teneriffe and Sajama.

The very interesting observations of *D. B. Lawrence* about the effects of the seasonal winds on the shapes of the trees in the Columbia Gorge, directed attention towards the sequence of weather conditions in the oceanic west and the continental east of Washington and Oregon, particularly to the wind system in the Gorge. Advances of cold air during the winter, accompanied by great dryness and glacial storms, make themselves felt very drastically in the western part of the Gorge where the trees are damaged and pruned by ice coating so that the foliage is only able to grow on the west side. In contrast, the trees in the eastern section of the Gorge suffer a deformation where the foliage points eastwards looking almost like flags; this is due to the continual summer winds whose effect is enforced by a daily pulsation. For comparison, a third type of wind pruning of trees is mentioned which is found at the altitudinal limit of trees in the Rocky Mountains.

DER MOUNT RAINIER UND DAS MITTLERE CASCADEN-GEBIRGE

C. Troll

Mit 3 Abbildungen

I. Allgemeine Charakteristik

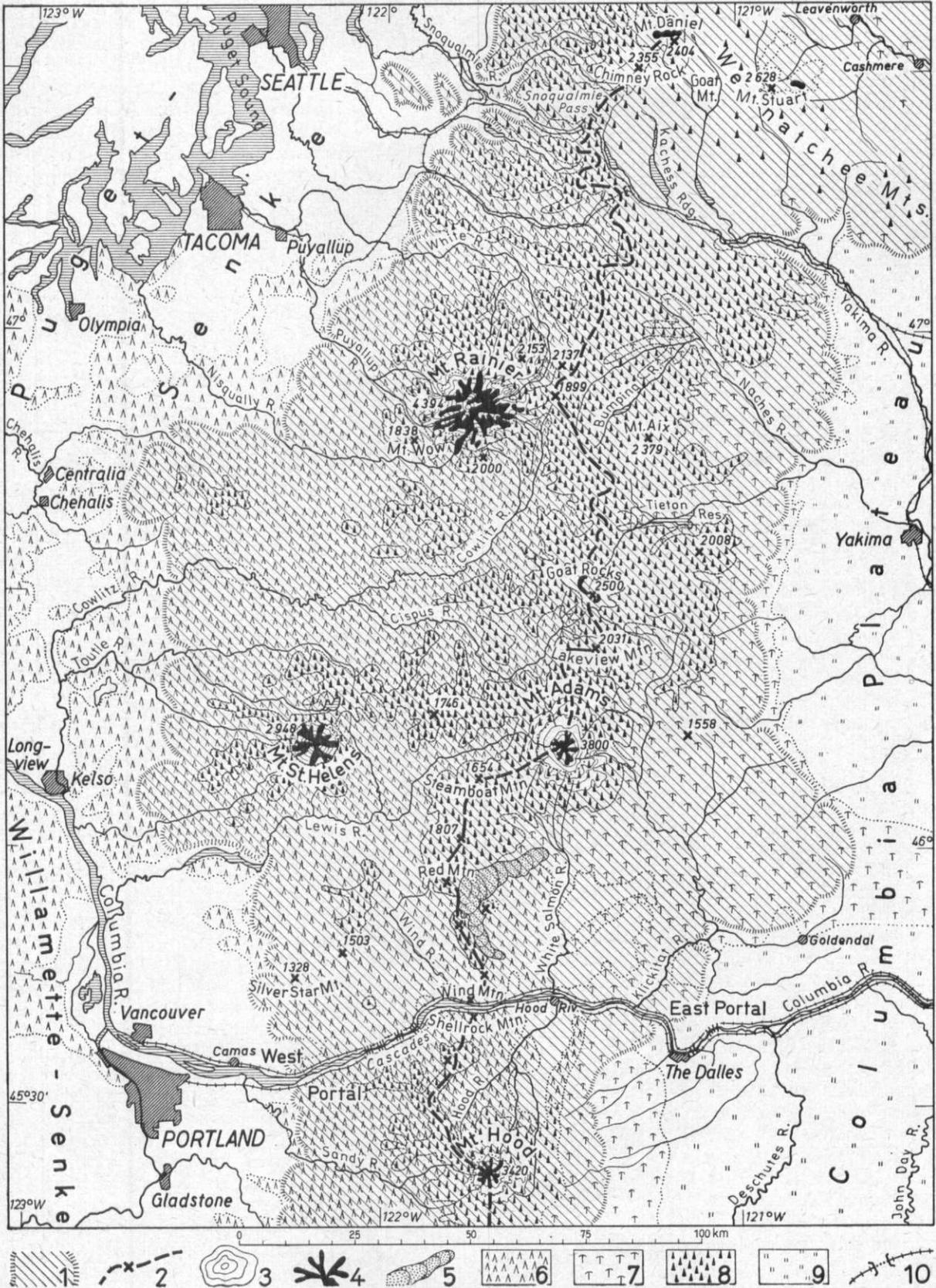
Das mittlere Cascaden-Gebirge in den Staaten Oregon und Washington beiderseits des Columbia-River, der die Grenze der beiden Staaten bildet, ist in seiner geographischen Struktur und landschaftlichen Gliederung von drei Tatsachen beherrscht:

1. Es erstreckt sich in einer Breite von 90 bis 120 km von Norden nach Süden parallel zur pazifischen Küste und zum Küstengebirge zwischen der Längstalsenke (Puget- und Willamette-Senke) und dem Columbia-Becken als ein gegen eine mittlere Kammlinie ansteigendes Plateau von 1800 bis 2500 Metern, das durch ein dichtes Talnetz nach beiden Seiten hin tief zerschnitten ist. Da es sich den vorherrschenden westlichen Winden in ganzer Breite entgegenstellt, ist seine Westflanke von äußerst üppigem, dicht unterwachsenem Regenwald bekleidet, während sich an seinem Ostrand der Übergang über trockenere, grasreiche Waldtypen aus Gelbkiefern und Eichen in die Grassteppe und weiter in die aride, baumlose Sagebrush-Steppe des Columbia-Plateaus vollzieht.
2. Über dieses Plateau erheben sich einzelne große vulkanische Kegelberge weit in die Region des ewigen Schnees. Die Vulkane liegen zum Teil auf der zentralen Kammlinie wie der Mount Adams (3800 Meter) und der Glacier Peak (3053 Meter), zum Teil weit nach Westen vorgeschoben wie der Mount St. Helens (2948 Meter) und der größte von allen, der Mount Rainier (oder indianisch Mount Tacoma) mit

4392 Metern. Der Mount Rainier wird wohl an Gipfelhöhe von einigen anderen Bergen der USA übertroffen, doch ist er als ein über die Waldgebirgskämme seiner Umgebung etwa 2500 Meter aufragender Riesenkegel von 13 km Durchmesser die gewaltigste Berggestalt der USA außerhalb Alaskas. Mit seinen 26, nach allen Seiten ausstrahlenden Gletschern von zusammen 108 qkm Oberfläche bietet er einen höchst imponierenden Anblick und beherrscht das Panorama der Städte am Puget Sound (Seattle, Tacoma, Olympia). Mount St. Helens, Mount Adams und Mount Hood beiderseits des Columbia-Tals sind die „Torwächter des Columbia“ im Osten von Portland (Williams 1912). Höchst bemerkenswert ist die vertikale Zo-

Abb. 1: Das mittlere Cascadengebirge (Entwurf C. Troll)

1. Ausdehnung des Gebirges
2. Kammverlauf
3. Dem zerschnittenen Gebirgsrumpf aufgesetzte vulkanische Kegelberge
4. Gletscher
5. Junge Lavaströme
6. Feuchter Nadelwald der westlichen Fußregion (vorherrschend Douglasien)
7. Trockener Gelbkiefern-Eichenwald der östlichen Fußregion
8. Feuchte Nadelwälder der montanen und subalpinen Stufen beider Gebirgsseiten (Zusammensetzung s. Text!)
9. Steppengebiete im Osten des Gebirges, z. T. Bunchgras-Steppe (Columbiagebiet), z. T. Sagebrush-Artemisiensteppe (Yakimabecken)
10. Das Cascadengebirge querende Eisenbahnliesen (mit Tunnels).



nierung des Klimas an diesen Vulkankegeln. Am Mount Rainier ist die Schneegrenze durch die gewaltigen winterlichen Schneefälle der mittleren Lagen so stark herabgedrückt, auf der anderen Seite der Feuchtwald durch das milde ozeanische Klima so begünstigt, daß sich die alpine Baumgrenze und die Grenze des ewigen Schnees sehr nahe kommen, vielleicht näher als an irgendeiner anderen Stelle der Erde. Um so auffallender ist die große Trockenheit und Strahlungsintensität im oberen Teil der nivalen Stufe.

3. Das Durchbruchstal des Columbia River von 90 km Länge bietet einen idealen Querschnitt durch das ganze Gebirge, der in der Mittelachse 1000 bis 1500 Meter tief ist. Dabei liegt die Talsohle schon beim Eintritt in die Schluchtstrecke unterhalb The Dalles nur auf 35 m Meereshöhe. Im mittleren Teil der Schlucht, wo die Achse des Gebirges durchbrochen wird, fällt sie in einer Serie von Stromschnellen, die dem ganzen Gebirge den Namen gegeben haben (G. Gibbs 1870/71) von 12,5 auf 1,8 m Meereshöhe, so daß bis an die Cascaden (200 km oberhalb der Mündung) die Gezeiten spürbar sind (D. B. Lawrence 1939). In diesem Durchbruchstal ist nicht nur der Aufbau des Gebirges tief erschlossen, sondern auch der Übergang der Vegetation vom ozeanisch feuchten Westen zum ariden Columbia-Plateau in horizontaler Richtung und vom Meeresniveau zum Hochgebirge des Mt. Hood zu studieren. Im übrigen wirkt das Tal nicht nur als „Water gap“ sondern meteorologisch auch als „Wind gap“, was sich in der Vegetation in sehr drastischer Weise zu erkennen gibt.

II. Die Entstehung des Reliefs

Das Cascaden-Gebirge hat seine heutige orographische Form nicht durch die Orogenese, die in vortertiärer (jurassischer und laramischer) Zeit stattfand, sondern erst durch tertiäre epirogenetische Aufwölbungen erhalten, nachdem sich vorher im Oligozän und Miozän mächtige vulkanische Deckenergüsse und Tufferuptionen andesitischer und basaltischer Natur abgespielt hatten. Die Heraushebung ist sehr jungen Datums, denn die Columbia-Schlucht erschließt übereinander eine Serie tertiärer Formationen: die oligozäne und untermiozäne Eagle-Creek-Formation, eine Bildung umgelagerten andesitischen Materials mit fossilen Pflanzenresten (z. B. Ginkgo) und darüber eine bis 900 Meter mächtige Serie von Basaltlavadecken, die miozänen bis unterpliozänen „Columbia River-Basalte“, die denen des Columbia- und Snake River-Plateaus entsprechen. Weiter nördlich im Yakima-Gebiet greifen diese weit

auf das Cascaden-Gebirge über und sind mitgehoben worden. Die Aufwölbung des Gebirges in nordsüdlichen Antiklinalen dürfte demnach in der Hauptsache im Pliozän stattgefunden, vielleicht auch noch im älteren Pleistozän angehalten haben. Granitintrusionen bei den Wind Mountains in der Columbia-Schlucht und metamorphe Veränderungen tertiärer Schichten am Snoqualmie-Paß lassen vermuten, daß die Granitkerne, die in vielen Teilen des Gebirges sichtbar werden, Herde des jungen Vulkanismus sind (F. Machatschek 1940).

Eine lange Diskussion ist über die Frage nach der Entstehung und dem Alter der Verebnungsfläche auf der Höhe des Gebirges geführt worden. I. C. Russell (1899) nahm eine frühzeitige völlige Abtragung des älteren Gebirges an („Cascade Peneplain“), die noch eozäne Schichten kappte, aber erst Ende des Tertiärs, vielleicht erst im Pleistozän, vollendet worden sei, so daß sie, wie O. T. Smith (1903) feststellte, auch noch die Lavadecken der Columbia River-Basalte betroffen haben müßte. Die folgende geoantiklinale Hebung habe die Peneplain zum „Cascade Plateau“ aufgewölbt, wodurch die heutige tiefe Zertalung eingeleitet wurde. Das Talnetz wurde entsprechend der antiklinalen Aufwölbung in Form zweier konsequenter Entwässerungssysteme angelegt, und die Wasserscheide wurde zu dem unregelmäßig gewundenen Kamm in der zentralen Wölbungsachse des Gebirges. B. Willis (1903) unterschied am Ostrand des Gebirges im Yakimagebiet drei Abtragungsflächen, deren höchste, sein postmiozänes (pliozänes) Methow-Niveau, Russells Cascaden-Plateau entspricht, während die beiden jüngeren (Entiat- und Twisp-Niveau) in das frühe Pleistozän eingestuft wurden.

Diese klassische Auffassung der Gebirgsentstehung hat aber seitdem, vor allem durch die Arbeiten von E. T. Hodge im Raume des Columbia-Durchbruches (1931 und 1938) eine starke Veränderung erfahren. Er nimmt eine völlige Abtragung im Unteroligozän vor Ablagerung der Eagle Creek-Formation an und eine jüngere im Pliozän nach den großen Ergüssen der Columbia-Basalte („Coriba Surface“). Im Gebiet der heutigen Columbia-Schlucht herrschte damals noch eine ganz andere Entwässerung. Durch die Basaltergüsse wurde im Spätpliozän ein See, der Condon Lake, aufgestaut, der zu Beginn des Pleistozäns in der ältesten der fünf unterschiedenen Eiszeiten (Cascadian Glacial) mit den Schichten der Shutler-Formation aufgefüllt wurde. In der zweiten Eiszeit (Bull Run Glacial) fanden große Andesitausbrüche statt (Cascan-Formation), die den See so hoch aufstauten, daß der Columbia River seinen Lauf von Dallas südwärts

nahm. Im Interglazial zwischen der Bull Run- und der folgenden Willamette-Vereisung erfolgte der Ausbruch und der Aufbau des Mount Hood, wodurch schließlich der Columbia River in die Richtung seiner heutigen Schlucht gezwungen wurde. Die Eintiefung der Schluchtstrecke begann erst in der Willamette-Eiszeit und setzte sich mit Terrassenbildungen während des jüngeren Pleistozäns über die vierte (Jefferson-)Eiszeit bis zur letzten (Hood-Eiszeit) fort. Der gegenwärtige Stand der Eintiefung war aber vor der letzten Eiszeit erreicht. In der Nähe der Mündung des Hood River in das Columbiatal reichen Moränen eines eiszeitlichen Gletschers des Mt. Hood bis in das Tal herab (D. B. Lawrence 1939). Seither hat eine Absenkung des ganzen westlichen Washington und Oregon bis zum Ozean stattgefunden, durch die der unterste Columbia River unter den Meeresspiegel zu liegen kam und der 220 km lange Lauf bis an die Stromschnellen in den Gezeitenbereich geriet, in dem er sich heute befindet. Die klassische Auffassung des antecedenten Columbia-Durchbruches (I. C. Russell 1899, I. Bowman 1911) ist damit der von der epirogenetischen Entstehung (Hodge 1938) gewichen.

Eine so genaue Kenntnis wie über das Alter des Mount Hood besitzen wir für den Mount Rainier nicht. Er sitzt mit einer unregelmäßigen Auflagerungsfläche auf dem Cascadenplateau und ist offenbar noch vor der großen Talbildung entstanden (F. E. Matthes 1913), während der Mount Baker im Norden des Gebirges erst nach der Bildung der Täler ausgebrochen ist (N. W. Fenneman 1931). Er ist auch insofern jünger, als er noch im letzten Jahrhundert (1854, 1858 und 1870) Aschenausbrüche hatte. Der Mount Rainier ist ein aus Laven und Aschentuffen aufgebauter Schichtvulkan mit periklinarer Neigung der Schichten. Aus der Form des oberen Aufbaues wird auf einen älteren höheren Kegel geschlossen, dessen Gipfel einem folgenden Ausbruch zum Opfer fiel. Reste dieses alten Kraterandes sind die Vorgipfel Point Success und Gibraltar Rock (vgl. Karte). Aus diesem zerbrochenen Krater ragt der wieder aus drei Teilen bestehende jüngere Gipfelaufbau auf, der einen firnfreien Kraterand (Crater Rocks) trägt.

Das Cascaden-Gebirge blieb in der Eiszeit außerhalb des nordischen Inlandeises, zwischen dessen großem östlichem Eislobus, der sich von Norden in das Becken des Columbia-Plateaus vorschob, und dem Zungenbeckengletscher, der sich vom Vancouver-Gebiet kommend im Gebiet des heutigen Puget Sound ausbreitete. Im Cascaden-Gebirge selbst verfielen die höheren Teile einer starken Lokalvergletscherung, ganz be-

sonders im nördlichen Teil. Dort stießen große Talgletscher beiderseits bis an den Gebirgsrand vor, z. B. der Gletscher des Chelan-Tales, der am Ostrand der nördlichen Cascaden den modellartig übertieften Binnenfjord des Chelan-Sees hinterließ. Aber auch noch in der Umgebung des Mount Rainier zeigt die Karte allenthalben Serien von seerfüllten oder trockenen Karen, die die höheren Bergflanken begleiten, gelegentlich auch einen Zungenbeckensee tiefer unten im Tal. H. Louis (1926/27) hat daraus auf eine eiszeitliche Schneegrenze von ca. 1000 Meter Höhe geschlossen. Rezentere Vergletscherung, die in den nördlichen Cascaden noch sehr stark ist, gibt es im Gebiet Mt. Rainier-Columbia Gorge außerhalb der vulkanischen Kegelberge nur noch auf dem Hauptkamm nördlich des Mount Adams (Old Snow Mtn., vgl. Abb. 1).

III. Horizontale und vertikale klimatische Zonierung

Das Cascaden-Gebirge stellt die markanteste Klimascheide im ganzen Bereich der Vereinigten Staaten dar. Der „Pazifische Nordwesten“ der Staaten Washington und Oregon unterliegt bei dem Vorherrschen der westlichen, zyklonalen, niederschlagbringenden Winde in engster Abhängigkeit von dem meridionalen Verlauf der Gebirge und Senken einer scharfen Zonierung der Klimate von West nach Ost. Die Westhänge der Coast Range und der Olympic Mountains haben ein hochozeanisches Klima und Niederschlagshöhen von 1700 bis maximal 3375 mm, die in allen Monaten des Jahres, aber mit dem Maximum im Winter fallen. Schon am Osthang der Küstenketten nehmen die Niederschläge merklich ab, und die Trockenheit der Sommermonate macht sich fühlbar. Portland hat 1190, Seattle 910 mm Niederschlag. Das Cascaden-Gebirge erzeugt durch seine größere Höhe und Geschlossenheit für die westlichen Winde eine erneute Stauwirkung, und seine Westabdachung ist eine zweite Zone der Steigungsregen. Am Mount Rainier verzeichnet Longmire in 842 m Höhe 1990 mm Niederschlag, Paradise Park am Fuß des Berges in 1668 m Höhe 2550 mm Niederschlag (vgl. Tab. I S. 277). Mit der Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe geht eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und eine Verkürzung und Abmilderung der regenarmen Sommerzeit einher. Jenseits des Hauptkammes des Gebirges nehmen die Niederschläge außerordentlich schnell ab, und am Rande des Colorado-Plateaus ist die Trockengrenze des Waldes erreicht. Das Columbia-Becken selbst weist in seinem Kern nur Regenmengen von ca. 250 mm auf und stellt eine ausgedehnte Insel der Arte-

misien-Steppen (Sagebrush-Formation) dar, die weiter südlich das große Becken und das Colorado-Plateau einnehmen.

Aus diesem Bilde der horizontalen Zonierung fallen aber die über das Cascaden-Plateau aufragenden Schneeberge heraus. An ihnen nimmt der Niederschlag mit der Höhe nicht mehr zu, sondern es macht sich deutlich eine Abnahme der Niederschläge und der Luftfeuchtigkeit bemerkbar, die in den ganz großen Höhen in Verbindung mit der Hochgebirgsstrahlung Verhältnisse erzeugt, die in schroffem Gegensatz zu der Wolken- und Nebelstufe am Fuß der Berge stehen. Dies hat, worauf *Fr. E. Matthes* schon vor langer Zeit hingewiesen hat (1928), darin seinen Grund, daß die Höhe der regenbringenden Wolken von der Kammhöhe des Cascaden-Gebirges bestimmt wird. Sie liegen selten höher als der Kamm. Sie klammern sich sozusagen an die Kämme und Rücken des Gebirges, während der Kegel des Mount Rainier sich hoch in den heiteren Himmel erhebt. Viele Tage kann man vom Gipfel oder auch von halber Höhe bei etwa 3000 Meter herabblicken auf das Wolkenmeer, das die niederen Berge wie mit Baumwollflocken einhüllt.

Bei dem Mangel meteorologischer Stationsmessungen ist es um so wichtiger, die vertikale Zonierung der klimatischen Erscheinungen aus ihren Wirkungen auf die Schneedecke und die Pflanzenwelt zu erschließen. Die Waldregion ist außerordentlich schneereich, da die weitaus größte Menge des Jahresniederschlags im Winterhalbjahr und in der höheren Region als Schnee fällt. In Paradise Park werden im Mittel 14,5 m Schneefall gemessen, und die maximale Schneedeckenhöhe beträgt 7,5 m. Sie hält sich in dieser Höhe bereits bis weit in den Juli hinein. Über 1800 Meter können schon ständige Schneeflecken liegen bleiben, und die Schneegrenze, die recht schwer zu bestimmen ist, hat *Matthes* zu 2150 m angenommen. Sie ist heute auf 2300 m angestiegen (siehe S. 278). Die nivale Stufe hat somit eine vertikale Erstreckung von über 2000 Meter. Nach den Verhältnissen etwa der Alpen müßte man daher eine enorme Vergletscherung mit langen, weit in die Waldregion vorstoßenden Gletscherzungen erwarten. Auch wenn man in Rechnung setzt, daß bei einem isolierten Kegengebirge der Eisabfluß der Nährgebiete sich auf eine große Zahl von Tälern verteilt, kommt man zu dem Schluß, daß die Bedingungen für eine Eisansammlung in den großen Höhen ungünstig sein müssen. Die stärkste Gletscherbildung nahm *Matthes* in 2500 bis 3000 Meter an. Tiefer unten ist es trotz der großen Schneemengen zu warm, höher oben trotz großer Kälte zu trocken für

eine starke Firnansammlung. Die meisten Gletscher haben ihr Nährgebiet überhaupt erst in diesen Höhen. Der Wilson-Gletscher entströmt einem Kar in 2900—3100 Meter Höhe, der Nisqually-Gletscher, der von oben Zufluß hat, regeneriert sich in dieser Höhe.

Die große Trockenheit und Strahlungsintensität in den großen Höhen des Mount Rainier und seiner Nachbarn ergibt sich auch aus den Beobachtungen über Penitentes-ähnliche Schneeoberflächen, die wir vom Mount Rainier erstling *F. E. Matthes* verdanken (1928/1934), und die nach Bildern auch für die Gipfelregionen vom Mount Hood und Mount Adams nachgewiesen sind (*C. Troll* 1943). Es handelt sich dabei um eine auffallende Ablationsform der Firnoberfläche, nämlich Schalen und steile Gruben von etwa 1 Fuß Tiefe, die von scharfen Kämmen und Spitzen getrennt sind. Sie werden als Honigwabenschnee („honey combed snow“) oder „sunpits“ oder „sun cupped ice“ bezeichnet. Bei 2450 Metern sind sie noch kaum zu erkennen. Bei 2750 Metern sind sie einige Zoll tief, bei 3050 Metern stellen sie flache Schneeschalen dar. Erst bei 3650 Metern haben sie die Tiefe von einem Fuß. Besonders steilwandig, so daß sie ein Hindernis für den Bergsteiger darstellen, sind sie erst von 3950 m an aufwärts. Dieser Honigwabenschnee ist, wie wir aus einem Studium seines Vorkommens über die Erde wissen (*C. Troll* 1942), an das strahlungsreiche und trockene, aber kalte Klima der Hochregion gebunden. Seine Voraussetzung ist, daß die Schneeoberfläche nicht durch Schmelzung, sondern durch direkte Verdunstung aufgezehrt wird. In diesen Höhen mögen die Mittagstemperaturen des Sommers beträchtlich über den Gefrierpunkt steigen, bei der großen Trockenheit und Verdunstungskraft bleibt aber die Schneeoberfläche doch gefroren. Deshalb liefern diese Hochregionen auch keinen Eisabfluß in die tieferen Regionen. Der Schneeniederschlag geht in einem sehr engen Wasserkreislauf an Ort und Stelle in die Atmosphäre zurück. In diesem klimatisch-glaziologischen Charakter haben die Gipfel der Cascaden große Ähnlichkeit mit isolierten vulkanischen Schneegipfeln der Tropen und Subtropen. Zum gleichen Typus gehören z. B. der Mauna Kea auf Hawaii, der Pico de Teyde auf Teneriffa, der Kilimandscharo (aber nicht der viel feuchtere Mount Kenya!), der Popocatepetl in Mexiko, der Sajama in Westbolivien und andere Berge der trockenen Punazone. Von allen genannten Bergen liegen denn auch entsprechende Beobachtungen über Penitentes-Firn oder -Eis vor (*Troll* 1949). Was die Berge im übrigen unterscheidet, ist der Klimacharakter nach jahreszeit-

licher Verteilung der Temperatur und der Niederschläge und dementsprechend auch das jahreszeitliche Auftreten der Ablationsformen.

IV. Die Vegetationszonen und Vegetationsstufen

Die scharfe Zonierung der Vegetationsgürtel von der Pazifischen Küste bis zum ariden Columbia-Plateau geht in groben Zügen schon aus der Vegetationskarte von H. L. Shantz und R. Zon im Atlas of American Agriculture hervor (1924). Viel genauer ist sie auf den schönen Forest Type Maps für Oregon und Südwest-Washington dargestellt (1936), die auch den Grad der Waldzerstörung und Regenerierung wiedergeben. Trefflich, nur terminologisch nicht glücklich, ist die Klassifikation der Vegetationstypen in Pipers „Flora of the State of Washington“ (1906). Leider gibt es noch keine genaue vegetationskundliche Aufnahme des Mount Rainier. Wesentliche Beobachtungen teilte E. Rübél von dem Besuch der Intern. Pflanzengeographischen Exkursion 1913 mit. H. St. Johns und F. A. Warren (1937) haben die neueste und vollständige Liste der Blütenpflanzen des Mount Rainier veröffentlicht. F. Querengässer untersuchte die Wälder des Cascaden-Gebirges als Forstmann hauptsächlich mit Hinblick auf die Anpflanzungsbedingungen der dort wachsenden Waldbäume in Europa.

Das Gebiet der Staaten Washington und Oregon von der Küste bis zum Rand der trans-cascadischen Steppe wird zum „Pazifischen Nadelwaldgebiet“ Nordamerikas gerechnet. Nach Breitenlage und Klimacharakter, nicht aber nach dem Vegetationscharakter ist es dem westlichsten Europa vergleichbar. Die Klimawerte von Seattle und Brest entsprechen sich weitgehend, wie die folgende Zusammenstellung zeigt:

Tabelle I

	Seattle	Brest
Breitenlage	47 1/2°	48 1/2°
Jahresmitteltemperatur	10,6°C	11,7°C
Mitteltemperatur des wärmsten Monats	17,7°C (Juli)	17,9°C (Juli)
Mitteltemperatur des kältesten Monats	4,3°C (Jan.)	6,3°C (Jan.)
Jahresamplitude d. Temp.	13,4°C	11,6°C
Jahressumme d. Niederschlags	910 mm	900 mm
Niederschlagsmenge des regenreichsten Monats	160 mm (Dez.)	100 mm (Dez.)
Niederschlagsmenge des regenärmsten Monats	20 mm (Aug.)	50 mm (Aug.)

Seattle ist durch seine Lage im Innern etwas weniger ozeanisch als Brest und hat einen trockeneren Sommer. Der Vergleich unterstreicht die bekannte Tatsache, daß im westlichen Nordamerika die kühl-ozeanischen Klimate, die in Europa von sommergrünen Laubwäldern eingenommen sind und keine oder nur wenige Koniferen beherbergen, artenreiche, zum Teil luxuriös entwickelte Nadelwälder tragen. Dieser ökologisch nicht erklärbare Unterschied ist in der verschiedenen Florengeschichte der beiden Kontinente begründet (tertiäre Koniferenflora,

die sich in Nordamerika über die Eiszeiten hinweg erhalten konnte). Laubbäume fehlen zwar keineswegs ganz. Es kommen z. B. Arten der Gattungen *QUERCUS*, *ACER*, *POPULUS*, *ALNUS*, *SALIX*, *PRUNUS*, *FRAXINUS*, *MESPILUS* vor. Im Gesamtbild der Vegetation treten sie aber zurück, außer in den Auen- und Uferwäldern oder, wie *POPULUS TREMULOIDES* auf Brandflächen. Bemerkenswert und mit den Verhältnissen in den westeuropäischen Laubwäldern übereinstimmend ist aber die starke Beteiligung immergrüner Holzarten im Unterwuchs der pazifischen Nadelwälder.

Washington und Oregon, nordwärts bis 51°, südwärts bis 43°, bilden den mittleren Abschnitt der pazifischen Nadelwaldregion, für die die mächtige Douglasie (*PSEUDOTSUGA DOUGLASHII* = *P. TAXIFOLIA* = *P. MUCRONATA*) die charakteristische Baumart darstellt. Ihre Hauptverbreitung hat die Douglasie, die Wälder von 60 m Höhe aufzubauen vermag, von der Ostabdachung der Küstenkette über die Längssenke und den Westteil des Cascaden-Gebirges. Da sie sehr schnellwüchsig ist und dadurch nach Waldbränden, Kahlschlag, Windwurf und Insektenfraß schnell sekundäre Reinbestände zu bilden vermag, ist ihr großer Anteil am gesamten Waldbestand nicht nur natürlich bedingt. Am überfeuchten Westhang der Küstenkette und in den Olympic Mountains wird der Douglasienwald von mindestens gleichmächtigen Beständen zurückgedrängt, die zu über 50% von der nordischen Sitka- oder Alaska-Fichte (*PICEA SITCHENSIS*), dem Western Hemlock (*TSUGA HETEROPHYLLA*) und der Western Red Cedar oder Giant Cedar (*THUJA PLICATA* oder *GIGANTEA*) gebildet werden. Es sind die „Spruce-Hemlock Forests“ der Forest Type Map. Diese Küstenwälder werden an Höhe, Dichte des Bestandes, Üppigkeit des Unterwuchses an immergrünen Holzarten (vor allem des lorbeerblättrigen Erdbeerbaumes *ARBUTUS MENZIESII*) nur noch von den Nebenwäldern der *SEQUOIA SEMPERVIRENS* im kalifornischen Küstengebiet übertroffen. *Arbutus* ist hier ein Einwanderer aus dem Süden, die Sitka-Fichte aus den nördlichen Küstengegenden British Columbiens und Südalaskas.

In der Längssenke und in den unteren Waldregionen des Cascaden-Gebirges hat die Douglasie ihre ausgedehntesten Bestände. An natürlichen, nicht durch Brand zerstörten Standorten ist sie begleitet von Western Hemlock und Giant Cedar, an feuchten Stellen treten Auenwälder aus Erlen und Pappeln (*ALNUS OREGONA* und *POPULUS TRICHOCARPA*), auf steinigem Gefilden der Längsebene auch Parkformationen mit Eichen (*QUERCUS GARRYANA*) auf.

Den Übergang zu den trockenen Wäldern der östlichen Gebirgsseite können wir in horizontaler Richtung im Durchbruchstal des Columbia-River studieren. Im Westteil der Schlucht herrscht noch der genannte feuchte Douglasienwald. Im Ostteil dagegen macht sich bereits der trockene Gelbkiefern-Eichenwald von *PINUS PONDEROSA* und *QUERCUS GARRYANA* breit, der am Ostfuß des Cascaden-Gebirges einen Gürtel von 500 bis 1000 m Höhe über der Steppe bildet. An sonnigen Südhängen treten bereits innerhalb der Schlucht die „Bunch Grass“-Steppe oder die Prärie-Formationen auf, in denen hier das Gras *AGROPYRUM SPICATUM* tonangebend ist. Die noch trockenere Artemisien-Halbstrauchsteppe folgt erst im offenen Columbia-Becken östlich des Gebirgsrandes. Die Grenze zwischen dem feuchteren Klima des westlichen Schluchtabchnittes und des trockeneren östlichen liegt nach *D. B. Lawrence* etwa beim Wind Mountain. Auch über den Einfluß der Strahlungsexposition im Columbia-Durchbruch hat derselbe Autor interessante Beobachtungen mitgeteilt, auf die im einzelnen verwiesen werden muß. An den sonnigen der sommerlichen Verdunstung stark ausgesetzten Südhängen greifen die Gelbkiefern und andere Gewächse des trockenen Ostens viel weiter westwärts. Auf den Nordhängen treten die Gelbkiefern-Eichenwälder erst im östlichsten Teil der Schlucht auf. Im feuchten Westteil dagegen beherrscht die Douglasie beide Hangseiten, nur mit dem Unterschied, daß Waldbrände und ihre Folgen auf der sonnigen Seite viel stärker sind. Auch die Schluchtwälder der Seitentäler mit Oregon-Ahorn, Garry-Eiche, Hasel- und Blauhulunder sind auf der Südseite des Tales viel üppiger entwickelt.

An den Seitenhängen der westlichen Columbia-Schlucht und am freien Gebirgsabfall vom Hauptkamm des Gebirges und vom Mount Rainier zur Längssenke lassen sich die verschiedenen Höhenzonen des feuchten Gebirges verfolgen. Man unterscheidet eine montane Stufe von 600 bis 1500 m und eine subalpine bis zur Waldgrenze bei etwa 2000 m, für die *C. V. Piper* nach Merriams System die Bezeichnungen Canadian und Hudsonian Zone gebraucht. Der montane, sehr üppige Feuchtwald ist von vielen Baumarten gebildet: Weißkiefer (*PINUS MONTICOLA*), Tannen (*ABIES NOBILIS* und *AMABILIS*), Alaska-Zeder (*CHAMAECYPARIS NOOTKATENSIS*) und Western Hemlock (*TSUGA HETEROPHYLLA*). Er hat immergrünen Strauchunterwuchs, besonders von *GAULTHERIA SHALLON* und *MAHONIA NERVOSA*, und ist gelegentlich von Riedgras-, Wollgras- und Reisermooren (*CALMIA*, *LEDUM*) durchsetzt.

Noch feuchter ist der subalpine Wald der Wolkenstufe, der in den höheren Teilen bereits

von alpinen Matten unterbrochen wird. Er hat nur noch drei Baumarten: Alpine Fir (*ABIES LASIOCARPA*) die hauptsächlich Waldgrenzbildnerin, Mountain Hemlock (*TSUGA MERTENSIANA* = *PATTONIANA*) und die Weißrindkiefer (*PINUS ALBICAULIS*). Soweit der Wald noch geschlossen ist, bildet weithin die lorbeerblättrige Ericacee *MENZIESIA GLABELLA* den Unterwuchs. Auch *RHODODENDRON ALBIFLORUM* gehört der Zone an. An Stelle von zerstörtem Wald breitet sich die Heidelbeere *VACCINIUM DELICIOSUM* in ausgedehnten Zwergstrauchbeständen aus. Die vielgerühmten blumenreichen Matten des Mount Rainier, die während der zwei Hochsommermonate blühen, enthalten besonders schöne Blüher der Gattungen *ANEMONE*, *CASTELLEJA*, *ERYTHRONIUM*, *GENTIANA*, *CASSIOPE*, *PHYLLODOCE*, *POLYGONUM*, *MIMULUS*, *LUPINUS* etc. Die teils krüppeligen, unter dem Schutz der Schneedecke sich dicht verzweigenden, teils aufrechten und windgepeitschten Kampfformen der Bäume wechseln in Anpassung an Schneeschutz, Geländeschutz und Windexposition mit Zwergstrauchbeständen von *JUNIPERUS NANA*, *CASSIOPE HYPNOIDES* und *PHYLLODOCE EMPETRIFORMIS*. Die Höhengrenze des Waldes dürfte mit ca. 2000 m anzusetzen sein (vgl. auch die Karte). *Pipers* Angabe von 2300 m ist sicher zu hoch gegriffen, aber auch mit 2000 m bleibt die Tatsache bestehen, daß sich die Baumgrenze und die Grenze des ewigen Schnees am Mount Rainier beinahe berühren, während sie in den Alpen 800—1000 m auseinanderliegen, worauf *E. Rübél* (1915) mit Recht hingewiesen hat. Noch in der teilweise baumbestandenen Zone waren im heißen Sommer 1913 zahlreiche echte Firnflecken vorhanden, und auch *F. E. Matthes* (1928) gab an, daß von 2000 m an ständig Schneeflecken erhalten bleiben. Die Schneegrenze setzte er auf 2100 m an. Das würde bedeuten, daß die alpine und subnivale Stufe zusammen im Mittel nur 100 m Höhenausdehnung haben. Der Rückgang der Gletscher unter Anstieg der Schneegrenze auf heute 2300 m (vgl. S. 278) hat dieses Bild verändert. Wie weit die Vegetation und die Baumgrenze schon auf die Klimaverbesserung reagierten, ist nicht untersucht. Das Pflanzenkleid über der Waldgrenze erinnerte *Rübél* an den Wechsel der Krummseggenrasen (*CURVULETUM*) und Schneetälchen der Hochalpen. *CAREX HEPBURNII* bildet am Mount Rainier trockene Rasenhänge bis 3000 m, *SALIX NIVALIS* steigt an Felsen bis 2400 m, die Crucifere *SMALOWSKIA OVALIS* wurde als höchstreichende Blütenpflanze bei 3300 m gefunden.

Der Gegensatz der West- und Ostseite des Gebirges in der Fußregion, das Vorherrschen der Douglasienbestände im feuchten Westen, das ausschließliche Vorkommen der Gelbkiefern auf

der trockenen Ostseite wurde bereits besprochen. Auch die mittleren, montanen Lagen der beiden Gebirgsabdachungen sind recht deutlich unterschieden. F. Quereingässer (1953) unterscheidet über den Gelbkiefernwäldern der östlichen Fußregion einen Mischwaldgürtel aus Douglasie, Weißtanne (*ABIES GRANDIS*), Lärche (*LARIX OCCIDENTALIS*), Gelbkiefer (*PINUS PONDEROSA*), Weißkiefer (*PINUS MONTICOLA*) und Lodgepole Pine (*P. CONTORTA*) und noch eine etwas höhere Unterstufe, in der auch Western Hemlock und die Engelmanns-Fichte, ein

Baum der Rocky Mountains, hinzukommen. Wir können diese beiden Unterstufen als montane Stufe der Ostabdachung zusammenfassen und dem feuchteren Montanwald der Westabdachung gegenüberstellen. Erst in der subalpinen Wolkenstufe in der Nähe der Kammregion verschwinden die Unterschiede von West und Ost. Im Gesamtbild ergibt sich eine dreidimensionale Anordnung der Vegetationsgürtel im mittleren Cascaden-Gebirge, wie sie schematisiert in Abb. 2 wieder gegeben ist.

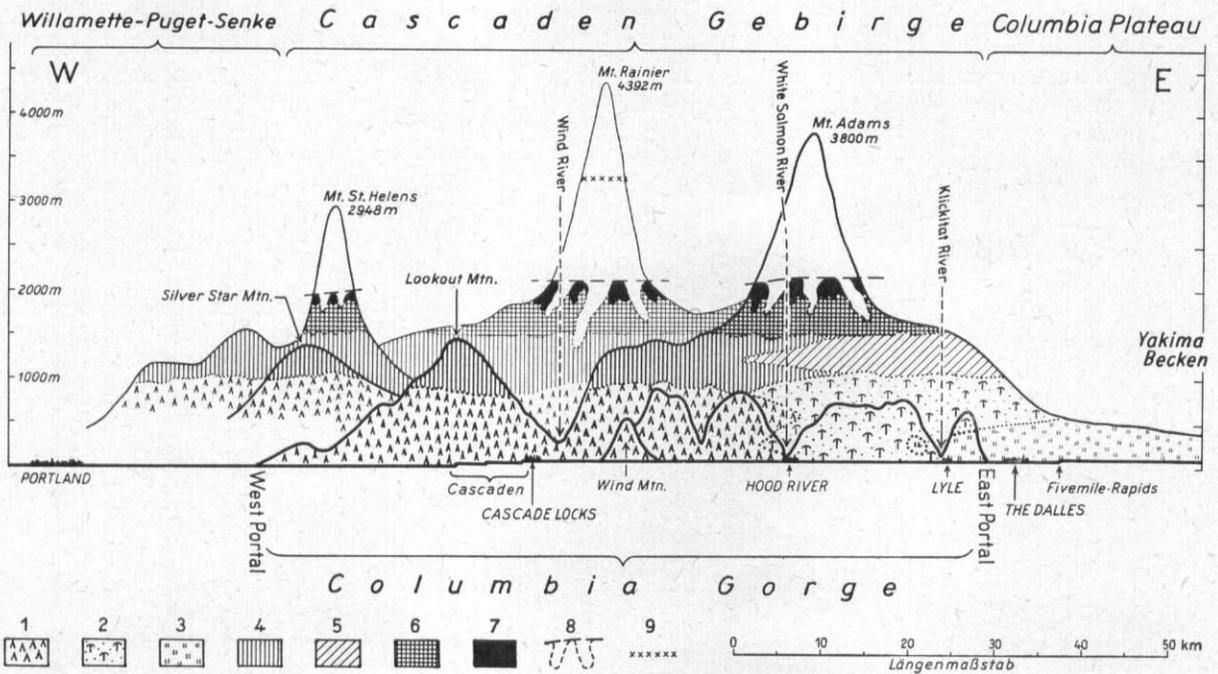


Abb. 2: Vegetationsprofil durch das Cascaden-Gebirge und die Columbia-Schlucht (10fach überhöht).

1. Feuchter Wald der westlichen Hügelstufe: Douglasien (*Pseudotsuga Douglasii*) mit Western Hemlock (*Tsuga heterophylla*) und Giant Cedar (*Thuja gigantea*).
2. Trockenwald der östlichen Hügelstufe mit Gelbkiefer (*Pinus ponderosa*) und Garry-Eiche (*Quercus Garryana*)
3. Prärie (Büschelgrassteppe von *Agropyrum spicatum*)
4. Feuchter Bergwald der Westseite mit Weißkiefer (*Pinus monticola*), Tannen (*Abies nobilis* und *amabilis*), Western Hemlock und Alaska-Cedar (*Chamaecyparis nootkatensis*)
5. Bergwald der Ostseite mit Lodgepole Pine (*Pinus contorta*), Weißkiefer, Gelbkiefer, Lärche, Douglasie und Weißtanne (*Abies grandis*)
6. Subalpiner Nadelwald mit Alpine Fir (*Abies lasiocarpa*), Mountain Hemlock (*Tsuga Mertensiana*) und *Pinus albicaulis*.
7. Alpine Matten und Zwergstrauchheiden
8. Schneegrenze und Gletscherzungen
9. Höchstreichende Blütenpflanzen

NB.: Die Vegetationsabstufung in der Columbia-Schlucht ist auf die sonnigen Hänge der nördl. Talseite bezogen.

V. Wind und Wetter in der Columbia-Schlucht und ihre Auswirkungen auf die Baumform

D. B. Lawrence hat höchst interessante Beobachtungen über die Auswirkungen der jahreszeitlichen Winde auf die Kronenformen der Nadelbäume, besonders der Douglasie, innerhalb der

Columbia-Schlucht mitgeteilt, die eine weitere Bekanntschaft unter Geographen, Meteorologen und Botanikern verdienen. Die Schlucht wird in ihrer ganzen Länge von einem Ausgang zum anderen von bestimmten, kräftigen Winden in östlicher oder westlicher Richtung benutzt, wobei zu beachten ist, daß die Windgeschwindigkeiten

in beiden Richtungen vom Eintritt in die Schlucht bis zum Austritt beträchtlich zunehmen. Im Westteil der Schlucht zeigen die Bäume eine auffallende Deformation gegen Westen, d. h. die Äste der Kronen fehlen auf den nach Osten, Nord und Süden gerichteten Seiten und sind einseitig nach Westen gerichtet. Die Stämme sind gerade, stehen auch aufrecht oder nahezu aufrecht, aber sie sind von steifen, zerfetzten Ästen mit abgestorbenen Spitzen besetzt. Die lebenden Äste beschränken sich auf einen Sektor von etwa 45° , haben in der Nähe des Stammes ebenfalls dichte Verzweigung, wie das von jungen, vom Wild verbissenen Bäumen bekannt ist, aber auch an diesen lebenden Zweigen sind die Spitzen abgestorben. Die Kronen unterliegen offensichtlich alljährlichen Verletzungen. Diese erfahren sie nicht in der sommerlichen Zeit, in der Ostwinde im Westteil der Schlucht selten und nur schwach ausgebildet

sind, und in der die vorherrschenden Westwinde ebenfalls schwach sind. Sie gehen vielmehr zurück auf äußerst heftige winterliche Ostwinde und Stürme, die von Eisregen, Glatteis- und Rauhreifbildung („silverthaw“) begleitet sind. Das dabei in dicken Klumpen an der Wetterseite der Bäume entstehende Eis bricht schließlich die Zweige nieder. Es handelt sich also um ein mechanisches Beschneiden der Bäume durch die Eisstürme („storm-pruning“). Dazu kommt noch eine weitere Wirkung, die später im zeitigen Frühjahr beobachtet wird und die als „parch blight“ beschrieben wurde (T. T. Munger 1916). Dabei zeigen sich stehengebliebene Zweige und ganze Gipfelpartien, auch die Spitzen längerer Zweige auf der Westseite, abgestorben und wie vom Feuer versengt. Zur rein mechanischen Wirkung der Stürme kommt also auch noch eine Dürrewirkung (Abb. 3a).

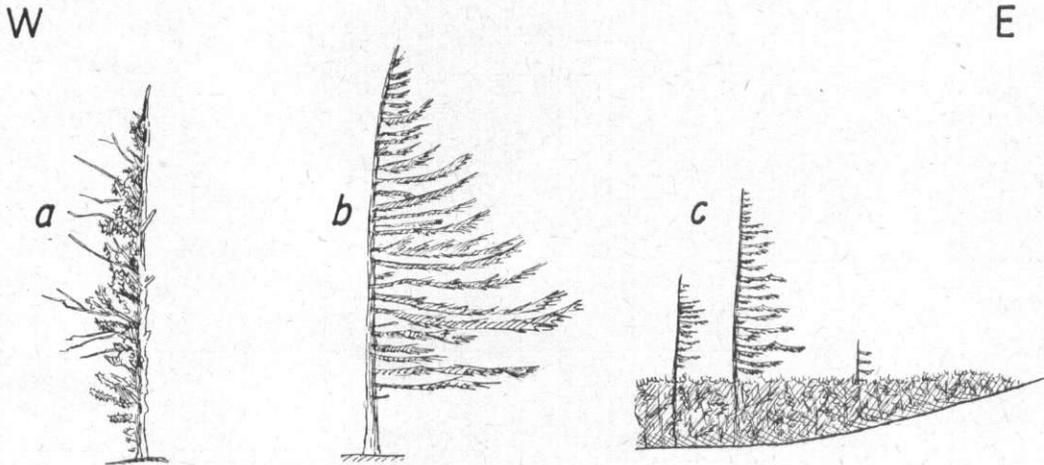


Abb. 3: Einseitig windgeformte Kronen von Nadelbäumen

- Westwärts gerichtete Kronen von Douglasien im Westteil des Columbiatales in den Cascaden, als Wirkung winterlicher Eisregenstürme und mechanischer Beschneidung der Kronen durch das Eis (nach D. B. Lawrence).
- Ostwärts gerichtete Kronen von Douglasien im Ostteil des Columbiatales in den Cascaden, als Wirkung starker und kontinuierlicher sommerlicher Westwinde (nach D. B. Lawrence)
- Ostwärts gerichtete Kronen von Wetterfichten (*Picea Engelmanni*) an der alpinen Baumgrenze der Rocky Mountains von Colorado bei 3500 m, als Wirkung winterlichen Erfrierens, z. T. auch des Schneegebüses. Die aufrechten Stämme mit einseitigen Kronen wachsen einzeln aus einem dicht verzweigten Buschwerk, das die unteren Teile der Bäume bis zur Höhe der schützenden winterlichen Schneedecke entwickeln können (nach Beobachtungen des Verf.s.).

Ganz anders sind die Deformationen, die an den Baumkronen im östlichen Teil der Schlucht beobachtet werden. Dort weisen die einseitigen Astfahnen umgekehrt nach Osten. Außerdem verrät ihr ganzes Aussehen, daß sie nicht vom Eis verletzt, sondern windgepeitscht sind, ähnlich wie die bekannten Windformen von Bäumen an der Meeresküste. Außerdem sind die Stämme sichtbar gegen Osten geneigt, besonders ihre weicheren Spitzen. Abgebrochene und blattlose Zweigstumpen fehlen. Von allen Seiten sprossen

gutentwickelte, belaubte Zweige aus dem Stamm, aber die nach Westen, Norden und Süden gerichteten Zweige sind scharf umgebogen und bilden auffallende nach Osten gekehrte und horizontal stehende Fahnen. Sie haben diese Formen nicht im Winter bekommen, sondern durch dauerhaft starke Winde in der Wachstumszeit. Im Ostteil der Schlucht sind auch tatsächlich solche Westwinde im späten Frühling und Sommer, ganz besonders bei Tage, sehr regelmäßig entwickelt. Im mittleren Teil der Schlucht kom-

men beide Kronenformen nebeneinander vor, gelegentlich sogar in seltsamer Weise kombiniert an den gleichen Bäumen. An einer Talstrecke verteilen sich die beiden Formen auf die Nord- und Südseite des Tales. (Abb. 3b).

Es handelt sich also im gleichen Tal um entgegengesetzt orientierte Windformen der Baumkronen, die aber auch zwei ganz verschiedene Typen darstellen: den gewöhnlichen Typ der windgeformten Kronen und einen selteneren mit einseitiger Verletzung der Baumkronen durch den Wind, wobei Eisregen (glace storms) entscheidend beteiligt sind. Es darf an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß es noch einen dritten Typ einseitiger Windkronen gibt, nämlich an der alpinen Baumgrenze in winterkalten Hochgebirgen. Ich habe ihn am schönsten in den Rocky Mountains von Colorado beobachten können. Dabei wachsen die Bäume — es handelte sich um *PICEA ENGELMANNI* — im Schutze der Schneedecke zu einem ganz dichten Buschwerk heran, das nach oben mit dem Niveau der winterlichen Schneedecke scharf abschneidet. (Abb. 3c) Aus diesem „windgeschorenen“ Buschwerk wachsen einzelne aufrechte Stämme hervor, deren Äste ganz ausgeprägte, nach Osten gerichtete Windfahnen bilden. Diese aufrechten Wetterfichten erschienen im Juni zur Zeit der Schneeschmelze braun, vertrocknet und wie abgestorben, gegenüber dem frischen Grün des schneegeschützten Buschwerk. Hierbei handelt es sich nicht um eine mechanische Windverformung, sondern um ein Absterben der Äste an der Wetterseite durch Erfrieren bzw. durch ein vom Frost verursachtes Vertrocknen, zum Teil auch um die mechanische Wirkung des winterlichen Schneegebälges, vor allem in der Höhe über der winterlichen Schneeoberfläche. Es bleibt die Frage, ob an der alpinen Baumgrenze unter bestimmten Klima- und Wetterbedingungen nicht auch Eisregen mitbeteiligt sind.

In der Columbia-Schlucht war die Beobachtung dieser auffallenden Baumformen die Veranlassung, dem jahreszeitlichen Wettergeschehen im Verlauf des Durchbruchstales nähere Aufmerksamkeit zu schenken. Die winterlichen Oststürme, die von Eisregen begleitet sind, können 24 Stunden und länger dauern und haben Geschwindigkeiten von 40 bis 50 km/h. Sie sind in der Lage, die Zweige an der Wetterseite bis zu 10 cm Dicke in Eispanzer zu hüllen. Unverständlich bleibt zunächst nur, warum diese Wirkung auf die Kronen am Westende der Schlucht am stärksten ist und gegen deren Mitte hin ganz verschwindet, obwohl dort die Windgeschwindigkeiten nicht abnehmen. Dies hängt damit zusammen, daß in der Zeit solcher Wetterlagen zwei

getrennte Luftmassen in der Schlucht wirksam sind. Normalerweise geht einem Eisregensturm ein gewöhnlicher Kaltlufteinbruch mit trockenkalten Ostwinden voraus. Dieser wird abgelöst von warmer Westluft, die sich offenbar in der Schlucht über die Kaltluft schiebt. Die Folge ist Schneeniederschlag bei starkem Ostwind und langsam steigender Temperatur. Das Schneetreiben kann in wenigen Stunden in Graupel und schließlich Hagel übergehen. Nach einigen weiteren Stunden beginnt der typische Sturm mit Eisregen (Cameron a. Carpenter 1936). Dabei verhält sich der Westausgang anders als das Innere. Je weiter man in das Innere fortschreitet, desto größer wird der Anteil des normalen Niederschlags und desto geringer der Anteil der Eisregen. Vom mittleren Teil der Schlucht gegen den Ostausgang schwächt sich das ganze Phänomen, Windstärke, Niederschlag und Eisregen, ab und hat nicht mehr die sichtbare Wirkung auf die Baumkronen. Diese kommt also durch den Antagonismus der trockenen kontinentalen Kaltlufteinbrüche und der feucht-ozeanischen Westwinde im Westteil der Schlucht zustande. Die zusätzliche Erscheinung des „parch blight“ geht auf längere Einbrüche kalter kontinentaler Luft von wenigstens einwöchiger Dauer zurück. Dabei werden große Massen Kaltluft von Temperaturen bis minus 32° C durch das Tal geblasen mit nach Westen steigender Geschwindigkeit (65 bis 80 km/h bis gelegentlich zu Hurricanstärke), mit Anstieg der Temperatur und Erhöhung des Sättigungsdefizits (Cameron 1931). Am Westausgang wirkt sich die Trockenheit, zumal bei der großen Windgeschwindigkeit in einer Zeit, wo die Wasserversorgung der Bäume aus dem gefrorenen Boden ohnehin erschwert ist, auf die exponierten Zweige tödlich aus.

Ganz andere Wetterbedingungen herrschen im Ostteil der Schlucht in der Sommerzeit. Im Frühjahr hören die kalten Ostwinde auf und werden ersetzt von beharrlichen Westwinden, die im Juni und Juli Geschwindigkeiten von 50 km/h erreichen können. Man könnte fast von einem Sommermonsun sprechen. Diese sommerlichen Talaufwinde, die am stärksten am Ostausgang der Schluchtstrecke sind, haben zudem noch eine sehr ausgeprägte tageszeitliche Verstärkung. Ganz besonders von Mai bis August, also in der Zeit des größten Wachstums, nehmen sie alltäglich an Kraft zu bis zu einem Maximum von 50 km/h am Nachmittag, während sie nachts auf Geschwindigkeiten von 15 km/h abflauen. Es handelt sich also um Ausgleichwinde von der kühleren Küstenregion in das tageszeitlich erhitze Columbia-Plateau, die das „wind gap“ des Durchbruchstales benutzen. Ihnen ist die eindrucksvolle

Verformung der Baumkronen im östlichen Teil der Schlucht zuzuschreiben.

Literaturverzeichnis

1. Allgemeines

- Topographic Map of Mount Rainier National Park, 1:62 500, mit Text von *Fr. E. Matthes*. Reprint 1947. U. S. Geological Survey 1947.
 Mount Rainier National Park. U. S. Department of the Interior, Washington 1914.
Gibbs, G.: Physical Geography of the northwestern boundary of the United States. Journ. Americ. Geogr. Soc., vol. 3, 1870—71.
Matthes, Fr. E.: Mount Rainier and its glaciers. U. S. Dep. of the Interior, National Park Service, Washington 1928.
Meany, E. S.: Mount Rainier, a record of exploration. 1916.
Schmoë, F. W.: Our greatest mountain. 1925.
Williams, J. H.: The guardians of the Columbia. Tacoma 1912.

2. Bau und Formen:

- Bowman, I.*: Forest Physiography. New York 1911.
Buwaldta, J. P. a. Moore, B. N.: The Dallas and Hood River formations and the Columbia River gorge. Carnegie Inst. Washington, Publ. 404, 1930.
Chaney, R. W.: Ecological significance of the Eagle Creek flora of the Columbia River gorge. Journ. of Geol., 26, 1918.
Fenneman, N. M.: Physiography of Western United States. New York a. London 1931.
Hodge, E. T.: Columbia River fault. Bull. Geol. Soc. America, 42, 1931.
Hodge, E. T.: Geology of the Lower Columbia River. Bull. Geol. Soc. America, 49, 1938.
Louis, H.: Die Verbreitung von Glazialformen im Westen der Vereinigten Staaten. Zeitsch. f. Geomorphologie, 2, 1926/27.
Piper, A. M.: Geology and ground water resources of the Dallas region, Oregon. U. S. Geolog. Survey, Water Supply Paper, 659, 1932.
Russell, I. C.: A preliminary paper on the geology of the Cascade Mountains in Northern Washington. U. S. Geolog. Survey, 20th Annual Report, pt. II, 1899.
Smith, G. O. and Willis, B.: Contributions to the geology of Washington.
 1. *Smith, G. O.*: Geology and Physiography of Central Washington.
 2. *Willis, B.*: Physiography and Deformation of the Wenatchee-Chelan District, Cascade Range. U. S. Geol. Survey, Prof. Paper No. 19. Washington 1903.
Williams, I. A.: The Columbia River gorge, its geologic history interpreted from the Columbia River Highway. Min. Resources Oregon, vol. 2, No. 3, 1916.

3. Gletscher des Mount Rainier.

- Brockman, C. F.*: The recession of glaciers in Mount Rainier National Park, Washington. Journ. of Geol., 46, 1938.
Harrison, A. E.: Ice advance during the recession of the Nisqually Glacier. The Mountaineer, 1951, No. 13. Seattle.
Le Conte, J. N.: The motion of the Nisqually Glacier, Mt. Rainier, U. S. A., Zeitschr. f. Gletscherkunde, 1, 1906.
Matthes, Fr. E.: Ablation of snow fields at high altitudes by radiant solar heat. Americ. Geophysical Union, Transact., Fifteenth Annual Meeting. Pt. II, 1934.

- Russell, I. C.*: Glaciers of Mount Rainier. 18th Annual Report, U. S. Geol. Survey, Pt. II, 1897.
Troll, C.: Büsserschnee (Nieve de los Penitentes) in den Hochgebirgen der Erde. Peterm. Geogr. Mitteil., Erg.-Heft 240. Gotha 1942.
Troll, C.: Schmelzung und Verdunstung von Eis und Schnee in ihrem Verhältnis zur geographischen Verbreitung der Ablationsformen. Erdkunde, Bd. III, Bonn 1949.

4. Vegetation.

- Forest Type Map State of Washington (Southwestern Quarter. 1 inch : 4 miles, prepared by the Forest Survey Staff. U. S. Departm. of Agric., Forest Service, Pacific Northwestern Experimental Station, Portland, Oregon, 1936.
 Forest Type Map. State of Oregon 1 inch : 4 miles. Ebenda 1936.
Baker, F. S. et al.: Forest Cover Types of Western North America. Soc. Americ. Foresters, Washington D. C., 1945.
Flett, J. B.: Features of the flora of Mount Rainier National Park. U. S. Dept. of the Int., Nat. Park Service, Washington D. C., 1922.
Harshberger, J. W.: Phytogeographie Survey of North America. Die Vegetation der Erde, Bd. 13, Leipzig 1911.
Lawrence, D. B.: Some features of the vegetation of the Columbia River gorge with special reference to asymmetry in forest trees. Ecological Monographs, vol. 9, No. 2, Durham, N. C., 1939.
Piper, C. V.: Flora of the State of Washington. Contrib. fr. the U. S. National Herbarium, Smithson. Inst. Washington, 11, 1906.
Plummer, F. G.: Mount Rainier Forest Reserve. U. S. Geol. Survey 21st Ann. Report, Pt. V, Washington 1900.
Plummer, F. G.: Forest conditions in the Cascade Range, Washington, between the Washington and the Rainier Forest Reserves. U. S. Geol. Survey, Prof. Papers, 6, Series H, Forestry 3, 1902.
Querengässer, F.: Beiderseits der Kaskaden-Kammlinie. Sonderheft „Die Forstwirtschaft der USA in deutscher Schau“. Forstarchiv, 24. Jg., H. 1/3, Hannover 1953.
Rübel, E.: Die auf der „Internationalen pflanzengeographischen Exkursion“ durch Nordamerika 1913 kennengelernen Pflanzengesellschaften. Englers Botan. Jahrb., Bd. 53, Beibl. 116, Leipzig 1915.
Shantz, H. L. and Zon, R.: Natural Vegetation. Atlas of American Agriculture, Part I, Sect. E. Washington 1924.
St. John, H. and Warren, F. A.: The plants of Mt. Rainier National Park, Washington. The Americ. Midland Naturalist, vol. 18, Nr. 6. Notre Dam, Ind., 1937.
Sudworth, G. B.: Forest trees of the Pacific slope. Washington 1908.
Uphof, J. C. Th.: Die Waldflora im Staate Washington. Vegetationsbilder, hrsg. v. G. Karsten u. H. Schenk, 13. Reihe, H. 7, Jena 1920.

5. Wettererscheinungen.

- Cameron, D. C.*: Great dust storm in Washington and Oregon, April 21—24, 1931. Monthly Weather Rev., 59, 1931.
Cameron, D. C.: Easterly gales in the Columbia River gorge during the winter of 1930—1931. Monthly Weather Rev., 59, 1931.
Munger, T. T.: Parch blight on Douglas Fir in the Pacific Northwest. Plant World, 19, 1916.
Wells, E. L.: Storm of November 19—22 in Oregon, Washington and Idaho, and stormy period following. Monthly Weather Rev., 49, 1921.