

PASSAUER SCHRIFTEN ZUR GEOGRAPHIE

HERAUSGEGEBEN VON
ERNST STRUCK, DIETER ANHUF, WERNER GAMERITH UND KLAUS ROTHER
Schriftleitung: Erwin Vogl



HEFT **22**

Thomas Fickert

Phytogeographische Studien als Mittel zur Klimaableitung in Hochgebirgen

Eine Fallstudie im Südwesten der USA

Mit 81 Abbildungen (davon 11 Farbkarten), 19 Tabellen und 45 Bildern

XXVII-Anhänge auf CD-ROM

Selbstverlag Fach GEOGRAPHIE der Universität Passau

PASSAUER SCHRIFTEN ZUR GEOGRAPHIE

Inhaltsverzeichnis

HERAUSGEGEBEN VON

ERNSST-STEPHAN DIETER ANHUF, WERNER GAMERITH UND KLAUS ROTHER

Schriftleitung: Win Vogl

| | |
|--|-----|
| Verzeichnis der Abbildungen | 9 |
| Verzeichnis der Tabellen | 12 |
| Verzeichnis der Bilder | 13 |
| Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen | 15 |
| Vorwort | 17 |
| 1 Problemstellung und Zielsetzung | 19 |
| 2 Untersuchungsraum | 21 |
| 2.1 Topographische und geologisch-tektonische Gliederung des Untersuchungsraumes | 21 |
| 2.2 Großräumige klimatische Einordnung | 25 |
| 2.2.1 Atmosphärische Zirkulationsmuster | 25 |
| 2.2.2 Regionalklimatische Gliederung des Untersuchungsraumes | 27 |
| 2.3 Geomorphologische Charakterisierung des Untersuchungsraumes | 30 |
| 2.4 Bodenkundliche Charakterisierung des Untersuchungsraumes | 31 |
| 3 Datenerhebung | 33 |
| 3.1 Vegetationsdaten | 33 |
| 3.2 Standortdaten | 35 |
| 4 Auswertungsmethodik | 39 |
| 4.1 Datentransformation | 39 |
| 4.1.1 Skalartransformation | 39 |
| 4.1.2 Vektortransformation | 40 |
| 4.2 Klassifikation | 40 |
| 4.3 Ordination | 41 |
| 5 Klimabedingte Höhenstufung der untersuchten Gebirge | 43 |
| 5.1 Auswertung und Klassifikation des Gesamtdatensatzes | 43 |
| 5.2 Exkurs zur Benennung der Höhenstufen | 46 |
| 5.3 Höhenstufung der untersuchten Transekte | 47 |
| 5.3.1 Mount Rainier | 48 |
| 5.3.2 Mount Shasta | 50 |
| 5.3.3 Sierra Nevada | 52 |
| 5.3.4 San Bernardino Mountains | 60 |
| 5.3.5 San Jacinto Mountains | 65 |
| 5.3.6 Sierra Juarez im Südwesten der USA | 68 |
| 5.3.7 Sierra San Pedro Martir | 71 |
| 5.3.8 White Mountains | 74 |
| 5.3.9 Panamint Mountains | 77 |
| 5.3.10 Spring Mountains | 77 |
| 5.3.11 Toquima Range | 82 |
| 5.3.12 Jarbidge Mountains | 83 |
| 5.3.13 Albion Mountains | 85 |
| 5.3.14 Schell Creek Range | 87 |
| 5.3.15 Snake Range | 89 |
| 5.3.16 Tushar Mountains | 91 |
| 5.3.17 La Sal Mountains | 94 |
| 5.3.18 San Francisco Peaks | 97 |
| 5.3.19 Pinaleño Mountains | 100 |
| 5.4 Überregionale Betrachtung | 102 |
| 6 Möglichkeiten und Grenzen der Phytoindikation | 111 |

Selbstverlag Fach GEOGRAPHIE der Universität Passau

| | | |
|---------------|--|-------------------|
| 6.1 | Statistische Vorüberlegungen | 113 |
| 6.2 | Klimaökologie | 116 |
| 6.2.1 | Interpretation auf Artenbasis | 116 |
| 6.2.2 | Interpretation auf Basis der „functional types“ | 119 |
| 6.3 | Ableitung von klimatischen Vertikalgradienten für die einzelnen Transekte | 122 |
| 6.4 | Überregionale Ableitung der hygrothermischen Bedingungen | 152 |
| 7 | Abschließende Betrachtung und Ausblick | 155 |
| | Zusammenfassung | 157 |
| | Summary | 159 |
| | Resumen | 161 |
| | Literaturverzeichnis | 163 |
| | Anhänge | <i>auf CD-ROM</i> |
| Anhang I: | Klimadiagramme von Stationen im Untersuchungsraum. | |
| Anhang II: | Korngrößenspektren der Bodenproben auf den Aufnahmeflächen entlang der untersuchten Transekte. | |
| Anhang III: | pH-Werte (H ₂ O und CaCl ₂) der Bodenproben auf Aufnahmeflächen entlang der untersuchten Transekte. | |
| Anhang IV: | Abgeleiteter Ariditätsgrad für Aufnahmen entlang der einzelnen Transekte. | |
| Anhang V: | Binär transformierte Gesamtartenliste aller untersuchten Transekte. | |
| Anhang VI: | Artenliste Mount Rainier. | |
| Anhang VII: | Artenliste Mount Shasta. | |
| Anhang VIII: | Artenliste nördliche Sierra Nevada. | |
| Anhang IX: | Artenliste zentrale Sierra Nevada. | |
| Anhang X: | Artenliste südliche Sierra Nevada. | |
| Anhang XI: | Artenliste San Bernardino Mountains. | |
| Anhang XII: | Artenliste San Jacinto Mountains. | |
| Anhang XIII: | Artenliste Sierra Juarez. | |
| Anhang XIV: | Artenliste Sierra San Pedro Martir. | |
| Anhang XV: | Artenliste White Mountains. | |
| Anhang XVI: | Artenliste Panamint Mountains. | |
| Anhang XVII: | Artenliste Spring Mountains. | |
| Anhang XVIII: | Artenliste Toquima Range. | |
| Anhang XIX: | Artenliste Jarbidge Mountains. | |
| Anhang XX: | Artenliste Albion Mountains. | |
| Anhang XXI: | Artenliste Schell Creek Range. | |
| Anhang XXII: | Artenliste Snake Range. | |
| Anhang XXIII: | Artenliste Tushar Mountains. | |
| Anhang XXIV: | Artenliste La Sal Mountains. | |
| Anhang XXV: | Artenliste San Francisco Peaks W-E. | |
| Anhang XXVI: | Artenliste San Francisco Peaks N-S. | |
| Anhang XXVII: | Artenliste Pinaleño Mountains. | |

Mit 81 Abbildungen (davon 11 Farbkarten), 19 Tabellen und 45 Bildern

5 Klimabedingte Höhenstufung der untersuchten Gebirge



Im folgenden Kapitel soll zunächst auf die Höhenstufung der Vegetation entlang der einzelnen Transekte eingegangen werden, da im weiteren Verlauf der Arbeit immer wieder auf die hier gezeigten Sachverhalte (Höhengrenzen, vertikaler Wandel der Lebensform- und Blattyphen-Spektren, etc.) zurückgegriffen wird. Darüber hinaus wird geprüft, ob bereits über die vertikale Zonierung der Vegetation eine erste klimatische Charakterisierung des Untersuchungsraumes vorgenommen werden kann, wie es beispielweise bei HETZNER et al. (1997), RICHTER et al. (1999) oder RICHTER (2000) gezeigt wurde.

Nicht zuletzt will diese Arbeit aber auch einen Beitrag zur regionalen Pflanzengeographie leisten. Obwohl eine vermeintliche Fülle über Flora und Vegetation des Intermontan-Raumes und seiner flankierenden Bereiche veröffentlicht wurde (siehe beispielsweise BOURGERON et al. 1990), bestehen noch immer große Wissensdefizite. So konnte CHARLET (1995, 1996) in einer Studie über die Koniferen-Diversität im Westen der USA für 14 der 22 in Nevada heimischen Nadelbäume eine beträchtlich weitere Verbreitung nachweisen, als bis dahin bekannt war. Dies veranlasste ihn und Kollegen in einem gemeinsamen Artikel (BRUSSARD et al. 2001) zu der Aussage: "If not even the locations of the trees are known, how much can be known about other floral and faunal distributions and community processes of the region? ... The basic information about plant distributions [within the Great Basin] is skeletal at best." Als Bestätigung dieser Vermutung kann gelten, dass sich auch in den dieser Arbeit zugrunde liegenden Vegetationsaufnahmen etliche Arten fanden, die bisher nicht aus dem betreffenden Gebirge bekannt waren (freundl. mündl. Mitteilung C. Malone, UNR Herbarium, Reno).

5.1 Auswertung und Klassifikation des Gesamtdatensatzes

Die Lage des Untersuchungsraumes im Überschneidungsbereich verschiedener Floren- und Klimaprovinzen sowie die starke Relieferung rufen eine außerordentlich hohe floristische Diversität hervor (siehe MCLAUGHLIN 1986; CHARLET 1991; MUTKE 2000; GRÜNINGER, FICKERT 2003). In den eigenen Erhebungen verteilen sich insgesamt 1.852 Arten auf 508 Gattungen und 97 Pflanzenfamilien (Tab. 5). Die mit Abstand artenreichste Familie bilden die Asteraceen mit insgesamt 318 Vertretern, gefolgt von den Fabaceen mit 136 und den Poaceen mit 129 Arten (siehe Anhang V). Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommt MCLAUGHLIN (1986) bei einer Analyse 50 lokaler Floren im Südwesten der USA. Die artenreichsten Gattungen stellen dagegen das endemische *Eriogonum* (Polygonaceae) mit 65, *Pentstemon* (Scrophulariaceae) mit 44 und *Astragalus* (Fabaceae) mit 43 Taxa dar. Diese drei Gattungen bilden nach MCLAUGHLIN (1986) und CRONQUIST et al. (1996) auch die mannigfaltigsten innerhalb des gesamten Intermontan-Raumes. Erwähnenswert ist die hohe Zahl von Koniferen in den eigenen Erhebungen mit 31 Pinaceae, 12 Cupressaceae und zwei Taxaceae. Der Süd-

Tab. 5: Anzahl der Arten, Gattungen und Familien, die entlang der untersuchten Transekte erfasst wurden.

| Transekt | Anzahl Arten | Anzahl Gattungen | Anzahl Familien |
|-------------------------|--------------|------------------|-----------------|
| Mount Rainier | 133 | 91 | 34 |
| Mount Shasta | 103 | 74 | 37 |
| Nördliche Sierra Nevada | 227 | 128 | 41 |
| Zentrale Sierra Nevada | 350 | 181 | 55 |
| Südliche Sierra Nevada | 359 | 198 | 55 |
| San Bernadino Mountains | 257 | 146 | 53 |
| San Jacinto Mountains | 178 | 108 | 48 |
| Sierra Juarez | 240 | 156 | 56 |
| Sierra San Pedro Martir | 243 | 145 | 53 |
| White Mountains | 249 | 123 | 39 |
| Panamint Mountains | 161 | 96 | 34 |
| Spring Mountains | 204 | 138 | 55 |
| Toquima Range | 120 | 75 | 30 |
| Jarbidge Mountains | 126 | 81 | 35 |
| Albion Mountains | 142 | 104 | 35 |
| Schell Creek Range | 159 | 101 | 38 |
| Snake Range | 169 | 115 | 40 |
| Tushar Mountains | 163 | 116 | 40 |
| La Sal Mountains | 220 | 136 | 50 |
| San Francisco Peaks W-E | 163 | 110 | 40 |
| San Francisco Peaks N-S | 129 | 94 | 40 |
| Pinaleno Mountains | 207 | 144 | 55 |
| alle Transekte | 1.852 | 508 | 97 |

Quelle: Th. Fiedert 2004.

westen der USA – und hier speziell das nördliche Kalifornien und Süd-Oregon – ist als eines der Koniferenzentren der Welt bekannt (ARNO, HAMMERLY 1984; LANNER 1999). Diese hohe Koniferen-Diversität beruht zum einen auf der Lage des Untersuchungsraumes im Überschneidungsbereich verschiedener Klima- und Florenprovinzen, zum anderen auch auf pleistozänen bzw. post-pleistozänen Ausbreitungsmustern und lokaler Speziation. Insbesondere die Kiefern ragen mit 20 Taxa heraus, unter ihnen zahlreiche lokale bzw. regionale Endemiten. Von den 1.852 erfassten Arten wurde nur eine – die Poaceae *Elymus elymoides* – in allen 22 untersuchten Transekten angetroffen, während über 50% der Arten jeweils in nur einem Gebirge aufgenommen wurde (Abb. 11, vgl. auch CHARLET 1991 und McLAUGHLIN 1986).

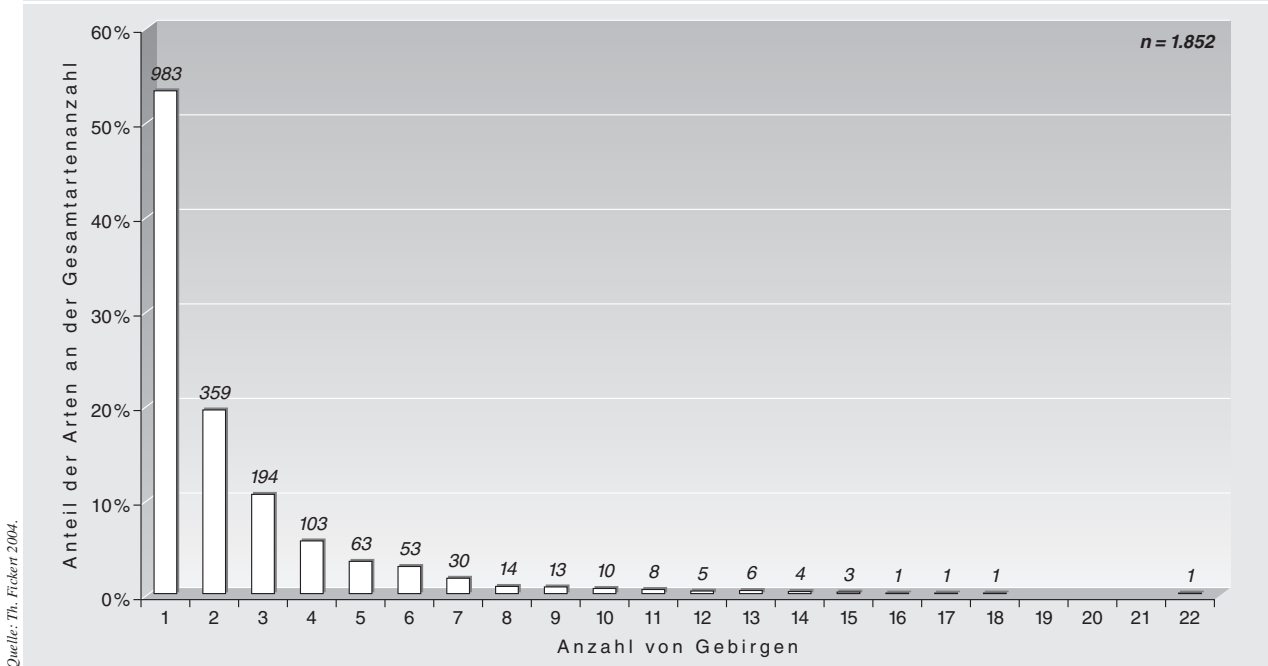
Abbildung 12 zeigt eine Klassifikation der binär transformierten Gesamtartenliste aller Untersuchungsgebiete (Anhang V, zur Lage siehe Abb. 1). Obwohl in den eigenen Aufnahmen bei weitem nicht das gesamte Artenspektrum der einzelnen Gebirge erfasst wurde (vgl. z.B. die lokalen Gebirgsfloren von CHARLET 2001), zeigen sich doch Gruppen einer relativen Ähnlichkeit. Relativ deshalb, da aufgrund einer hohen Geodiversität im Untersuchungsraum (v.a. im petrographisch-geologischen Sinn, vgl. BARTHLOTT et al. 1996; KIER et al. 2005) Artwechselraten schon bei unmittelbar benachbarten und makroklimatisch vergleichbar ausgestatteten Gebirgen sehr groß sein können.

Als einziges Beispiel der humiden, temperierten Zone setzt sich in Abbildung 12 erwartungsgemäß zunächst der Mount Rainier in den nördlichen Cascades mit dem Vorkommen vieler circumborealer Arten, die den übrigen Gebirgen fehlen, ab.

Die trockeneren südlichen Cascades, dargestellt am Beispiel des Mount Shasta, weisen dagegen schon gewisse Ähnlichkeiten zur Sierra Nevada auf, schließen sich innerhalb dieses Clusters aber erst auf einem recht niedrigen Ähnlichkeitsniveau der Sierra Nevada-Gruppe an. Ein Grund hierfür dürften sicher petrographische Unterschiede mit Vulkaniten in den Cascades gegenüber vorwiegend Plutoniten in der Sierra Nevada sein. Hinzu kommen deutliche topographische Unterschiede und damit Differenzen hinsichtlich der Massenerhebung (einzelstehender Vulkangipfel bzw. massige Gebirgskette mit geringem respektive großem Einfluss), die zu ganz verschiedenen Advektions- und Strömungseffekten führen.

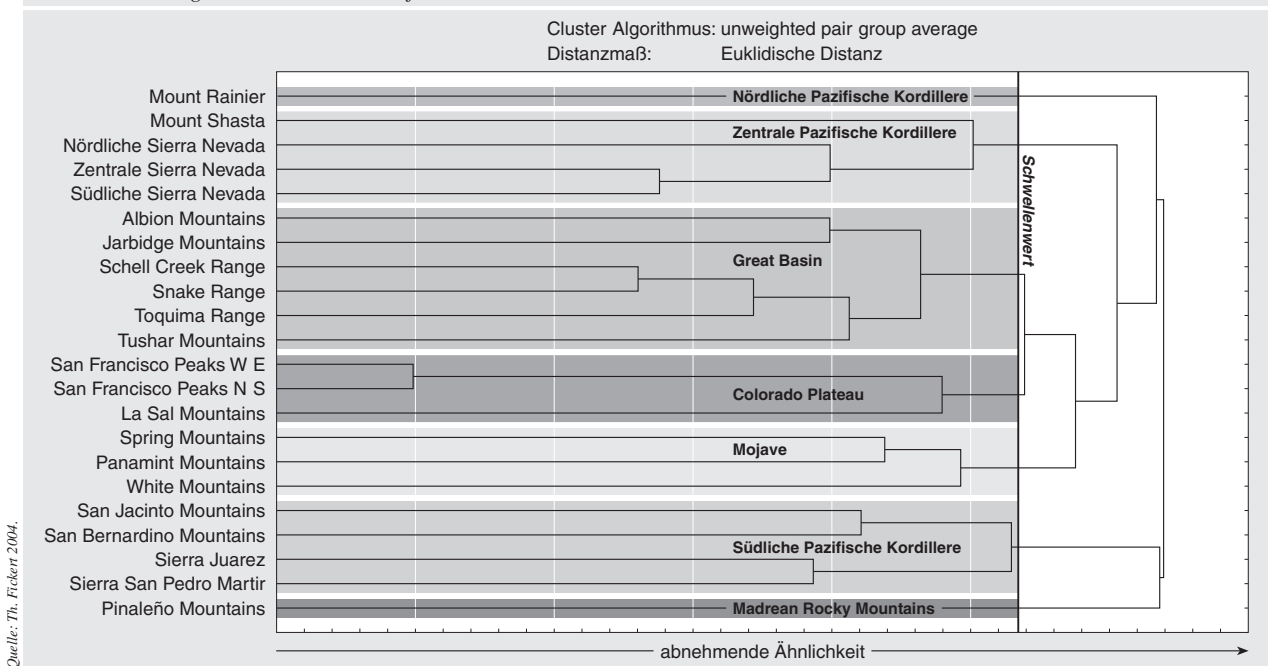
Das nächste Cluster vereint die untersuchten Gebirge des Great Basin, wobei sich die Albion und Jarbidge Mountains im Nordosteck des Great Basin (zur Lage siehe Abb. 1) von den zentralen Basin Ranges absondern. Pleistozäne und post-pleistozäne Ausbreitungs- und Auslöschungsmuster in Verbindung mit damals wie heute modifizierten Klimabedingungen spielen dafür wohl die entscheidende Rolle. In der Tat zeichnen sich die beiden Gebirge in Abbildung 6 als Bereiche überdurchschnittlicher Feuchtigkeit innerhalb des Great Basin ab. So finden sich hier etliche hygrophile Arten (Taxa der Rocky Mountains und der Pazifik-Kordillere), die den Gebirgen des zentralen Great Basin fehlen. Auch in der biogeographischen Karte Nordamerikas von RIVAS-MARTÍNEZ et al. (1999) wird diese Region als *Snake River Plain Sektor* vom *Upper Nevada Basin Sektor* unterschieden, zu dem die Schell Creek Range, die Snake Range und die Toquima Range zählen. Die Tushar Mountains als natürliche Grenze zwischen dem Great Basin und dem östlich anschließenden Colorado Plateau ordnen sich ebenfalls hier ein

Abb. 11: Artenzahl (in % der Gesamtartenzahl n sowie absolut) in Bezug zur Anzahl von Gebirgen, in denen die jeweiligen Arten angetroffen wurden.



Quelle: Th. Fieker 2004.

Abb. 12: Dendrogramm der binär transformierten Gesamtartenliste aller 22 untersuchten Transekte.



Quelle: Th. Fieker 2004.

(Abb. 12), was einen nur langsamen Artwechsel zwischen den beiden physiographischen Großräumen Great Basin und Colorado Plateau andeutet.

Weiter südöstlich sind die Unterschiede im Arteninventar schließlich groß genug, um die San Francisco Mountains und die La Sal Mountains als eigenständige Colorado Plateau-Gruppe auszuweisen. Wenig überraschend weisen das Nord-Süd-Transsekt und das West-Ost-Transsekt an den San Francisco Peaks sehr hohe Ähnlichkeiten in der Artenzusammensetzung auf.

Das nächste Cluster in Abbildung 12 umfasst als typische Gebirge der Mojave-Wüste die Spring und Panamint Mountains, sowie die ebenfalls aus extrem trockenen Lagen aufragenden

den White Mountains am Übergang von der Mojave zum Great Basin. Obwohl diese drei Gebirge v. a. in den Mittel- und Hochlagen etliche Arten mit den Gebirgen des Great Basin bzw. des Colorado Plateaus teilen, führt die Artenzusammensetzung der ariden Tieflagen mit reichem Endemismus (siehe STEBBINS, MAJOR 1965) zu einer Separierung.

Alle bisher genannten Gebirge stehen auf einem Level geringerer Ähnlichkeit noch miteinander in Verbindung. Eine eigene Gruppe bilden demgegenüber die Transverse und Peninsular Ranges (hier als Südliche Pazifische Kordillere bezeichnet), die die San Bernardino und San Jacinto Mountains sowie die im nördlichen Baja California (Mexiko) gelegene Sierra Juarez und die Sierra San Pedro Martir umfassen.

Ebenfalls innerhalb dieses Großclusters, jedoch deutlich abgesetzt, finden sich die Pinaleno Mountains in Südostarizona. Sie fußen am Übergang der Sonora- zur Chihuahua-Wüste und werden aufgrund starker floristischer Parallelen in den mittleren Höhenlagen mit den beiden meridional verlaufenden Sierra Madres in Mexiko den „Madrean Rocky Mountains“ zugeordnet (PEET 2000). So finden beispielsweise zahlreiche Eichen und Kiefern, die in Mexiko ihren Schwerpunkt besitzen, hier ihre nördliche Verbreitungsgrenze. Florenelemente der Sonora-Wüste in den Fußstufen rufen allerdings einige Gemeinsamkeiten mit der südlichen Pazifik-Kordillere hervor, während die höchsten Lagen floristisch klar den Rocky Mountains zuzuordnen sind.

5.2 Exkurs zur Benennung der Höhenstufen

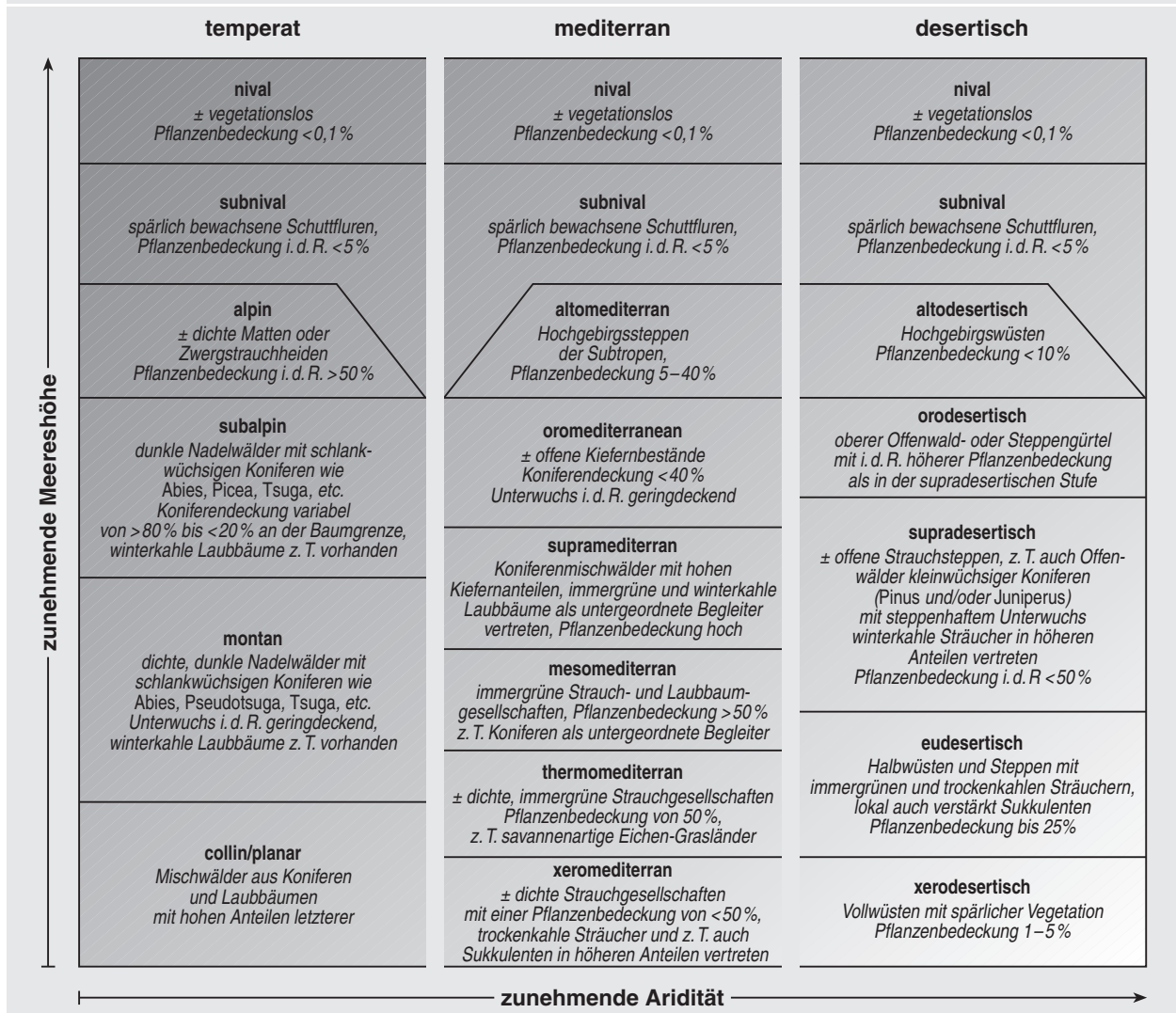
Die Benennung der Höhenstufen in den folgenden Kapiteln folgt RICHTER (2001), der auf Probleme bei der Verwendung der gängigen ekotropischen Höhenstufen-Nomenklatur (collin, montan, subalpin, alpin, subnival, nival) außerhalb dieser Klimazone hingewiesen hat. Am offensichtlichsten wird dies in den Tropen, in denen von „tropisch-montan“ und „tropisch-alpin“ oder auch „afro-montan“ und „afro-alpin“ gesprochen wird, obwohl kaum

Parallelen zu den entsprechenden außertropischen Vegetationsformationen vorliegen. Aber auch unter mediterranen und subtropisch-ariden Klimabedingungen bilden sich Vegetationsformationen, die wenig Gemeinsamkeiten mit jenen in Gebirgen der Mittelbreiten aufweisen und eine eigenständige Benennung rechtfertigen.

RICHTER (2001) schlägt daher unter Berufung auf OZENDA (1975) und RIVAS-MARTÍNEZ (1981) für Gebirge der hier behandelten Klimazonen eine Unterscheidung in temperate, mediterrane und desertische Stufenfolgen vor. Abbildung 13 sind die wichtigsten Charakteristika zu entnehmen, die für die Benennung der Vegetationsstufen im Untersuchungsraum herangezogen wurden. Ergänzt und illustriert werden die Ausführungen durch Aspekte der verschiedenen Formationen, typische Lebensformenspektren und repräsentative Klimadiagramme in Abbildung 14 (im Farbteil, S. III bis VIII). Obwohl sicher noch Details für die Zuordnung der einen oder anderen Stufe zu klären sind, wird hier versucht, Vegetationsmerkmale vorzustellen, die diese Nomenklatur über den Untersuchungsraum hinaus – zumindest nordhemisphärisch – in vergleichbaren Klimazonen anwendbar macht.

Die temperate Stufenfolge ist von (nahezu) ganzjährig humiden Verhältnissen von den Fußstufen bis in die Hochlagen gekennzeichnet. Entsprechend herrschen bis zur thermischen

Abb. 13: Temperate, mediterrane und desertische Stufenfolge sowie wichtige Merkmale der einzelnen Vegetationsstufen.



Quelle: Th. Fricke 2004.

Obergrenze von Baumwuchs dichte Wälder vor, die in der Nordhemisphäre von Laub- und Nadelbäumen in der collinen bis zur unteren montanen Stufe, weiter oben (montan bis subalpin) fast ausschließlich von schlankwüchsigen „dunklen“ Koniferen (*Picea*, *Abies*, *Pseudotsuga*, *Tsuga*, etc., im Baumgrenzökoton auch *Pinus*) charakterisiert sind. Der Begriff „subalpin“ wird hier im Sinne der schweizerischen bzw. amerikanischen Auffassung für die obere Nadelwaldstufe der Mittelbreiten verwendet. Der schlanke, pyramidenförmige Wuchs der vorherrschenden Koniferen ist in beiden Waldstufen als Anpassung an hohe winterliche Schneemengen anzusehen.

Die mediterrane Stufenfolge ist demgegenüber bereits von einer mehr oder weniger deutlich ausgeprägten sommerlichen Trockenzeit geprägt, die sich in den Tieflagen durch eine immergrüne, sklerophylle Belaubung vieler mediterraner Strauch- und Baumarten ausdrückt. In der xeromediterranen Stufe als trockenstem „mediterran“ gesellen sich zu den immergrünen Arten aufgrund fast ganzjährig arider Verhältnisse vermehrt trockenkahle Arten (siehe auch MOONEY et al. 1974). Ein hoher Sukkulantenanteil lässt auf eine relativ gleichmäßige (wenn auch geringe) Feuchteversorgung schließen, die im Falle des südlichen Kalifornien und des nördlichen Baja California durch regelmäßige Küstennebel entlang der Pazifikküste in Verbindung mit dem kalten Kalifornien-Strom bereitgestellt wird.

Unter günstigeren hygrischen Bedingungen dominieren in der thermomediterranen Stufe des Untersuchungsraumes dichte, immergrüne Strauchformationen des Chaparral, der außerhalb Nordamerikas in der Macchia (Europa) bzw. im Matorral (Chile) und im Fijnbos (Kap-Provinz) auf der Südhalbkugel eine Entsprechung findet. Im Kalifornien tritt zudem eine untere thermomediterrane Stufe in Form ausgedehnter savannenartiger Eichen-Grasländer („oak savanna“) am Rand des Central Valley auf.

In der mesomediterranen Stufe mischen sich zu den immergrünen Sträuchern und Bäumen (v.a. der Gattung *Quercus* und *Arctostaphylos*) die ersten Koniferen, von Nadelwäldern kann aber erst in der supramediterranen Stufe gesprochen werden. Sie erstreckt sich im Untersuchungsraum über z.T. mehr als 1.000 Höhenmeter. In Abhängigkeit der sich höhenwärts verschärfenden Klimavorgaben können verschiedene Phasen (Abb. 14 im Farbteil, S. III bis VIII) ausgewiesen werden. Unter naturnahen Bedingungen dominieren im unteren Bereich relativ trockenresistente Gelbkiefern, höhenwärts mischen sich „dunkle“ Koniferen als untergeordnete Begleiter hinzu.

Im Gegensatz zum pyramidenförmigen Wuchs der temperaten Koniferen (Schneeanpassung!), handelt es sich bei ausgewachsenen supramediterranen Nadelbäumen in der Regel um weit ausladende Baumriesen mit hohem Astansatz und dicker Borke, was als Anpassung an eine natürlicherweise erhöhte Feuerfrequenz in mediterranen Ökosystemen mit sommerlicher Trockenphase anzusehen ist. Einige Arten wie etwa *Sequoiadendron giganteum* benötigen zur Verjüngung als Keimungsimpuls sogar regelmäßige Grundfeuer schwachen Ausmaßes. Auf die Problematik einer langjährigen Feuerunterdrückungspolitik für das ökologische Gleichgewicht der Nadelwälder im Westen der USA hat HÖLLERMANN (1993) hingewiesen. Anthropogen verlängerte Feuerwiederkehrintervalle führen dabei nicht nur zu zwar seltenen, dann aber katastrophalen Bränden, es wird dadurch auch die heute vielerorts festzustellende Dominanz schattenliebender Tannen und Douglasien auf Kosten lichtbedürftiger Kiefern in den supramediterranen Wäldern gefördert (siehe auch VANKAT 1970; LANNER 1999; BARBOUR, MINNICH 2000).

Oberhalb der supramediterranen Wälder lichten sich die Baumbestände stark. Mit einer Dominanz weitständiger Weißkiefern (siehe LANNER 1999) unterscheiden sich die oromediterranen Offenwälder („woodlands“) klar von den subalpinen Nadelwäldern. Im Untersuchungsraum sind neben *Pinus albicaulis* und *P. flexilis* die nahe verwandten (gemeinsame kanozoische Vorfahren *Pinus crossii* und *P. balfouriioides*, siehe AXELROD 1986), aber regional klar abgegrenzten *P. longaeva*, *P. aristata* und *P. balfouriana* wichtige Elemente der oromediterranen Stufe.

Unter nahezu ganzjährig ariden Bedingungen kennzeichnen offene (Halb-)Wüsten und Steppen eine desertische Stufenfolge. Bei einer nur geringen Niederschlagszunahme mit der Höhe spielen v.a. die Temperatur- und Verdunstungsverhältnisse (also der Grad der Aridität) eine Rolle zur Differenzierung der einzelnen Stufen, wobei heiße Vollwüsten mit äußerst spärlicher Vegetation als xerodesertisch, Halbwüsten mit diffus verteilter Vegetation als eudesertisch und z.T. recht dichte Strauchsteppen als supra- bzw. orodesertisch zu bezeichnen wären. Nanophyllie und gedrungener, z.T. polsterförmiger Wuchs ist als Anpassung an erhöhte Strahlung und als Verdunstungsschutz weit verbreitet. Trotz großer Trockenheit in den Fußstufen kann auch in „desertischen“ Gebirgen in größeren Höhen noch Baumwuchs auftreten. Auf der Nordhalbkugel sind häufig niedrigwüchsige, trockenresistente Koniferen (v.a. der Gattung *Juniperus* und/oder *Pinus*) im oberen Teil der supradesertischen bzw. auch den orodesertischen Steppen beigemischt. Bei Gesamtdeckungswerten von in der Regel deutlich unter 50% sind diese Bestände als Offenwälder zu bezeichnen.

Sofern eine entsprechende Höhe erreicht wird, ist allen drei Stufenfolgen (temperat, mediterran und desertisch) eine subnivale Stufe gemein, da höhenwärts der hygrische Faktor, der in erster Linie für die Differenzierung in den Tief- und Mittellagen verantwortlich ist, gegenüber dem thermischen an Bedeutung verliert und ähnliche Strukturmerkmale einen übergreifenden Begriff rechtfertigen (RICHTER 2001). Bei geringer Bodenentwicklung – wie im Untersuchungsraum häufig der Fall – schließen sehr offene, mobile Schuttfluren direkt an die obersten Waldstufen an. Bei einer weiter fortgeschrittenen Bodenbildung zeigen sich dagegen auch oberhalb der thermischen Baumgrenze Unterschiede genug, um alpine Matten von altomediterranen „Steppen“ zu differenzieren, die aufgrund des Zusammenfallens von thermischer Gunstphase mit hygrischer Ungunst weitaus offener sind als die alpinen Matten. Echte Hochgebirgswüsten (z.B. Atacama, Tibet, Ost-Pamir), sollten ferner als altodesertisch bezeichnet werden, sind aber im Untersuchungsraum nicht repräsentiert.

Je nachdem, wie stark der vertikale Niederschlagsgradient in einem Gebirge ausgeprägt ist, sind Kombinationen von Höhenstufen der desertischen, mediterranen und temperaten Stufenfolge möglich (siehe auch Kap. 5.4 für eine Einordnung der in dieser Untersuchung behandelten Transekte).

5.3 Höhenstufung der untersuchten Transekte

Im Folgenden sollen nun die wichtigsten floristischen und strukturellen Grundzüge der untersuchten Transekte aufgezeigt werden. Die Beschreibungen werden illustriert durch Vegetationsprofile (Abbildungsteil (a) in Abb. 15 bis 37), denen jeweils Klassifikationen der Artenzusammensetzung entlang des be-

treffenden Transektes zugrunde liegen (Abbildungsteil (b) in Abb. 15 bis 37, für eine detaillierte Auflistung der erfassten Arten mit ihren jeweiligen Deckungswerten siehe Anhang VI bis XXVII). Ergänzt werden die Ausführungen durch Darstellungen der Lebensform- und Blatttypen-Spektren (Abbildungsteil (c) in Abb. 15 bis 37).

5.3.1 Mount Rainier

Der Mount Rainier liegt bei 46°51' nördlicher Breite und 121° 46' westlicher Länge und erreicht eine Höhe von 4.392 m ü.d.M. Damit ist er der höchste Vulkan der Cascades. Es handelt sich um einen Stratovulkan mit Wechsellagen von andesitischen und basaltischen Laven und pyroklastischen Auswurfmassen, der auch heute noch nicht gänzlich zur Ruhe gekommen ist. Mit einer eisbedeckten Fläche von 87 km² weist der Mount Rainier die stärkste rezente Vergletscherung in den USA außerhalb Alaskas auf (DRIEDGER 1986). Gemäß den vollhumiden, maritimen Klimabedingungen (vgl. Klimadiagramme 1 bis 3 in Anhang I) finden sich im pazifischen Nordwesten Nordamerikas (entlang der Pazifikküste von Alaska bis Nord-Kalifornien) temperierte Regenwälder, die hier ihr größtes zusammenhängendes Verbreitungsgebiet der Erde bilden (FRANKLIN, DYRNESS 1988; GLAWION 1993). Aufgrund hoher Biomassenproduktion werden diese Wälder seit langem forstwirtschaftlich genutzt. Primärwälder gibt es daher außerhalb staatlich geschützter Areale kaum mehr. Innerhalb des Mount Rainier National Park, der als fünfter Nationalpark der USA bereits 1899 unter Schutz gestellt wurde, sind dagegen noch ausgesprochen naturnahe Verhältnisse anzutreffen. Die Aufnahmen des Mount Rainier-Transektes liegen durchwegs innerhalb der Nationalparkgrenzen, weshalb Erhebungen unterhalb 900 m ü.d.M. auf der Westseite bzw. 700 m ü.d.M. auf der Ostseite, fehlen.

Die Clusteranalyse in Abbildung 15b weist vier Aufnahmegruppen mit erhöhter Ähnlichkeit aus. Die Fußstufen unterhalb etwa 1.200 m ü.d.M. sind sowohl in West- als auch in Ostexposition von dichten, dunklen Wäldern mit hohem Kronenschluss charakterisiert. Die dominante Baumart ist *Tsuga heterophylla*, in der Regel vergesellschaftet mit *Thuja plicata* und *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Abb. 15a). Die klare Dominanz mächtiger Koniferen in diesem Höhengniveau ist Abbildung 15c zu entnehmen. Sträucher und Zwergsträucher v.a. aus den Familien der Ericaceen (*Vaccinium* div. spec., *Chimaphila* div. spec., *Gaultheria shallon*) und der Rosaceen (v.a. *Rubus* div. spec.) sowie geringe Anteile an perennen Kräutern bilden den spärlichen Unterwuchs dieser unteren montanen Wälder.

Ab etwa 1.000 m ü.d.M. sind bereits häufiger einzelne Individuen von Tannen (*Abies amabilis*) eingestreut, die aber erst oberhalb 1.200 m ü.d.M. zusammen mit *Tsuga mertensiana* und *Chamaecyparis nootkatensis* bestandsbildend sind. Sowohl strukturell als auch bezüglich der floristischen Zusammensetzung des Unterwuchses ähneln diese oberen montanen Wälder den darunter liegenden Waldbereichen.

Zu einer Auflichtung der Waldbestände (siehe Abb. 15c) in einzelne Bauminseln kommt es oberhalb 1.600 m ü.d.M. in der subalpinen Stufe (Bild 1), in der nun *Abies lasiocarpa* var. *lasiocarpa* vorherrscht. Vereinzelte *Tsuga mertensiana*-Exemplare sind häufig an topoklimatisch feuchtere Standorte gebunden (vgl. HOLTMEIER 2000). Die Baumgruppen werden von einem oder mehreren Individuen kälte- und frostunempfindlicher Pionier-Bäume (*Abies lasiocarpa* var. *lasiocarpa* und *Pinus albicaulis* sowie *Tsuga mertensiana* an feuchteren Standorten, FRANKLIN, DYRNESS 1988) initiiert, in deren Schutz sich

Bild 1: Von *Abies lasiocarpa* initiierte Bauminsel bei 1.900 m ü.d.M., Spray Park, Mount Rainier. Im Schutz der älteren und höheren Tannen haben sich zahlreiche kleine *Tsuga mertensiana*-Exemplare etabliert.

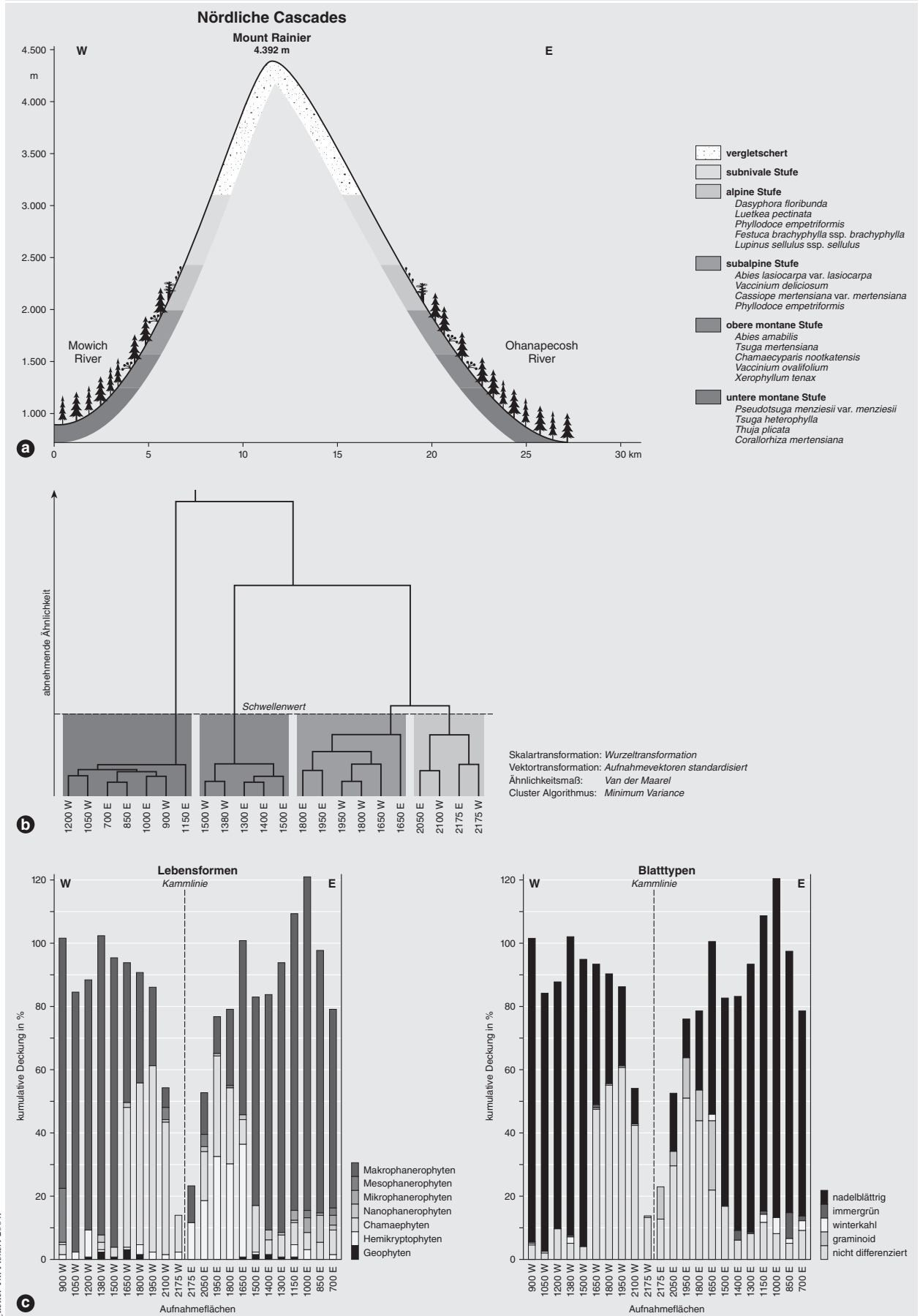


Aufnahme: Th. Fickert, September 2000.

aufgrund begünstigter mikroklimatischer Bedingungen weitere Baum- und Straucharten etablieren können. Daneben spielt aber auch vegetative Ablegerbildung der Pioniere beim Wachstum der Baumgruppen eine Rolle. Sterben die älteren Bäume im Zentrum der Baumgruppen, entstehen „Atoll“-förmige Baumringe (LOWERY 1972).

Insgesamt zeigen sich in dieser „Parklandschaft“ etwas geringere syntaxonomische Ähnlichkeiten zwischen Aufnahmen gleicher Höhe in West- und Ostexposition als in den montanen Wäldern (siehe Abb. 15b). Der Grund dafür liegt im unterschiedlich ausgeprägten Unterwuchs. Während in Westexposition hauptsächlich *Vaccinium deliciosum*, *Cassiope mertensiana* und *Phyllodoce empetriformis* recht dichte Zwergstrauchheiden bilden, dominieren auf der gegenüberliegenden Flanke kraut- und grasreiche Fluren, in denen neben den genannten Zwergsträucher die Graminoiden *Poa secunda*, *Festuca viridula* und *Luzula piperi* sowie Kräuter wie *Lupinus arcticus* ssp. *subalpinus* oder *Veronica wormskjoldii* deutlich stärker vertreten sind. Diese leichten Expositionsunterschiede, die sich im Dendrogramm (Abb. 15b) nur schwach, im Lebensformspektrum (Abb. 15c) aber deutlich abzeichnen, setzen sich bis in das Baumgrenzökoton fort. Die zwergstrauchreichen Bestände entsprechen dabei weitgehend der von HENDERSON (1973) beschriebenen „*Phyllodoce empetriformis*-*Vaccinium deliciosum*-Community“, während die krautigen Bestände je nach Lokalität verschiedenen Gesellschaften zuzurechnen wären (vgl. FRANKLIN, DYRNESS 1988). Für die unterschiedliche Ausprägung des Unterwuchses könnten pedologische Ursachen verantwortlich sein, wie der deutliche Einbruch der Sandfraktion im betreffenden Höhengniveau auf der Westseite belegt (siehe Anhang II – Mount Rainier), aber auch Unterschiede in der Dauer der winterlichen Schneebedeckung in Abhängigkeit von Windverfrachtung sind denkbar. Bei einer Übereinstimmung von immerhin noch ca. 50% im Arteninventar (unter Berücksichtigung der Deckungswerte), scheinen jedoch nicht makroklimatische Gründe (im Sinne eines Luv-Lee-Effektes) für das Auftreten des einen oder anderen Typus entscheidend zu sein. FRANKLIN,

Abb. 15: Profil (a), das zugrunde liegende Dendrogramm (b) sowie Lebensformen- und Blatttypen-Spektren (c) des Mount Rainier-Transsektes.



Quelle: Th. Fieckert 2004.

DYRNESS (1988) weisen auch hin auf das ausgesprochen breite „forest-tundra“-Ökoton von mehreren hundert Metern in den Cascades und ein Mosaik verschiedener Pflanzengesellschaften in den baumfreien Bereichen in Abhängigkeit von Substrat, Bodenfeuchtebedingungen und Schneedeckendauer sowie Störungen durch Feuer (vgl. auch MOIR 1989) und Stress.

Bei 2.100 m ü.d.M. bilden weitverstreute, krüppelwüchsige *Pinus albicaulis*-Individuen die obere Baumgrenze. Bereits wenig höher lösen sich die dichten alpinen Matten und Zwergstrauchheiden auf (Abb. 15c) und gehen sukzessive in subnivale Schuttfuren über, die aber in der eigenen Studie nicht repräsentiert sind.

Insgesamt zeigt die Höhenstufung am Mount Rainier hohe syntaxonomische und, abgesehen von den diskutierten unterschiedlichen Kraut- bzw. Zwergstrauchanteilen in den höheren Lagen, auch strukturelle Ähnlichkeiten zwischen Ost- und Westseiten, was vergleichbare hygrothermische Bedingungen nahe legt. Klimadaten aus vergleichbaren Höhenlagen sowohl auf der Luv- als auch auf der Leeseite fehlen, um dies zu belegen. In Kapitel 2.2 wurde allerdings schon die insgesamt weniger deutliche Regenschatteneinwirkung der isolierten Cascades-Vulkane angesprochen, da sie als Einzelberge eher umströmt werden, als dass sie eine Barriere bilden. Auch WEISCHET (1996, S. 124) weist darauf hin, dass „der pazifisch-ozeanische Einfluß noch jenseits der Cascades bis weit nach Washington und Idaho den Grundcharakter des Klimas beherrscht“. Zudem ist der Mount Rainier der eigentlichen Cascade Divide westlich vorgelagert, was Luv-Lee-Effekte weiter reduziert. Eine Regenschatteneinwirkung, die sich in einem Anheben der Waldgrenze widerspiegelt, wird von ARNO, HAMMERLY (1984) nur für die Nordostecke des Mount Rainier angeführt. Wichtiger noch ist der enorme Niederschlagsüberschuss gegenüber dem Trockengrenzwert (nach JÄTZOLD 1961), den der Mount Rainier erhält. Selbst eine Abnahme der Niederschläge im Lee auf die Hälfte der luvseitigen Menge würde noch immer fast ganzjährig vollhumide Klimabedingungen bedeuten. Der Übergang zu den intermontanen *Artemisia*-Steppen und Trockenwäldern mit einer Dominanz trockenresistenter Kiefern erfolgt jenseits der Cascade Divide erst in größerer Entfernung (siehe auch TROLL 1955; FRANKLIN, DYRNESS 1988; GLAWION 1993).

5.3.2 Mount Shasta

Der Mount Shasta, bei 41°25'N und 122°12'W gelegen, stellt mit 4.317 m ü.d.M. den höchsten der südlichen Cascades Vulkane dar. Wie die meisten Vulkane der Cascade Range ist auch er ein junger Stratovulkan pleistozänen bis holozänen Alters, der noch nicht vollständig zur Ruhe gekommen ist. Fumarolen im Gipfelbereich dokumentieren dies (CHRISTIANSEN, MILLER 1976). Die letzte Eruption am Mount Shasta erfolgte Ende des 18. Jahrhunderts. Da erst postglaziale Ereignisse den Mount Shasta in seine heutige Höhe brachten, war das Ausmaß der pleistozänen Vergletscherung relativ gering, obwohl er heute die stärkste Vergletscherung in Kalifornien besitzt (DRIEDGER, KENNARD 1986). Nach MAJOR, TAYLOR (1988) ist er der einzige Gipfel Kaliforniens, der in die nivale Stufe, also über die klimatische Schneegrenze ragt. Die rezenten Gletscher bleiben jedoch nahezu ausschließlich auf die Nord- und Ostseiten beschränkt (RHODES 1987).

Die Fußstufen am Mount Shasta (Abb. 16a) sind von einem schmalen Saum dichten Chaparrals (v.a. *Arctostaphylos*- und *Ceanothus*-Arten) umgeben, der hier aber als anthropogen bedingte Sekundärformation infolge intensiver Holzgewinnung zu

Beginn des letzten Jahrhunderts anzusehen ist (COOKE 1941). Natürlicherweise würden hier hochwüchsige Mischwälder aus *Abies concolor* var. *concolor*, *Pinus ponderosa* var. *ponderosa*, *Pinus lambertiana* und *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* vorherrschen, wie sie oberhalb 1.300 m auch heute noch weit verbreitet sind (vgl. MERRIAM 1899). Diese unteren supramediterranen Wälder werden in der Regel von zwei Baumstockwerken aufgebaut und erreichen Deckungswerte von über 80% (Abb. 16c). Der Unterwuchs ist insgesamt gering und besteht v.a. aus immergrünen und winterkahlen Sträuchern wie *Symphoricarpos mollis*, *Chrysolepis sempervirens* oder *Ceanothus velutinus* var. *velutinus* in unterschiedlichen Anteilen sowie verschiedenen Kräutern und Gräsern mit geringen Deckungswerten (Anhang VII).

Oberhalb 1.700 m ü.d.M. erfolgt der Übergang zu Nadelwäldern, die nun klar von *Abies x shastaensis*, einem Hybriden zwischen *Abies magnifica* und *Abies procera*, dominiert sind. Im Verzahnungsbereich der unteren und oberen supramediterranen Stufe ist noch *Abies concolor* var. *lowiana* beigemischt. Dieser Bereich entspricht dem „white fir-red fir-forest ecotone“, das von BARBOUR, MINNICH (2000) mit etwa 250 m Mächtigkeit angegeben wird. Alle beteiligten Koniferen der oberen und unteren supramediterranen Stufe erreichen hier ihre ökologischen (Ober- bzw. Unter-)Grenzen. Daneben wird eine unterschiedliche Toleranz der beiden jeweils dominierenden Tannenarten gegenüber Mächtigkeit und Andauer der winterlichen Schneebedeckung als Ursache für die Ausprägung der beiden Waldgürtel angeführt. Als charakteristische Unterwuchsart der oberen supramediterranen Tannenwälder ist der in großen Matten wachsende *Arctostaphylos nevadensis* zu nennen.

Ab 2.300 m ü.d.M. gehen die Tannenwälder in recht offene, oromediterrane Baumbestände über, die von der mesophanerophytischen Kiefer *Pinus albicaulis* dominiert werden (Abb. 16a und b). *Tsuga mertensiana* und *Abies x shastaensis* sind im unteren Bereich der Stufe noch vertreten, in der auch *Lupinus obtusilobus* z.T. hohe Deckungswerte erreicht. Stete Begleiter von *Pinus albicaulis* sind *Arabis platysperma* var. *howellii* und *Eriogonum marifolium*. Die Gesamtdeckungswerte liegen nurmehr um 40 bis 50% und nehmen zum Baumgrenzökoton bei etwa 2.700 bis 2.800 m ü.d.M. sukzessive ab. Ob diese Höhe tatsächlich das thermische Limit von *Pinus albicaulis* darstellt, ist unklar. Neben Wärmemangel spielen nach MAJOR, TAYLOR (1988) wohl auch schwach entwickelte Böden auf den jungen Vulkaniten des Mount Shasta sowie eine verkürzte Vegetationsperiode aufgrund langwährender Schneebedeckung eine entscheidende Rolle für die Lage der Baumgrenze. Letzteres deutet sich im krüppelhaften Wuchs der obersten Baumindividuen mit klaren Anzeichen von Schneedruck an (Bild 2).

Oberhalb 2.800 m ü.d.M. herrschen sehr offene (Deckung <5%), als subnival zu bezeichnende Schuttfuren (Abb. 16c) mit *Hulsea nana*, *Carex breweri* und dem basisnah verholzten Zwergstauch *Penstemon davidsonii* var. *davidsonii* als Charakterarten vor.

Auch am Süden der Cascade Range stellen demnach die zwar hohen, aber einzelstehenden Vulkane keine starke Niederschlagsbarriere dar, wie die insgesamt hohen syntaxonomischen und strukturellen Ähnlichkeiten zwischen korrespondierenden Aufnahmen der W- und E-Abdachung am Mount Shasta andeuten (Abb. 16b und c). Der Übergang zu den trockenen intermontanen *Artemisia*-Steppen im Osten erfolgt wie am Mount Rainier nur allmählich und erst in einer gewissen Entfernung von der Cascade Range.

Abb. 16: Profil (a), das zugrunde liegende Dendrogramm (b) sowie Lebensformen- und Blatttypen-Spektren (c) des Mount Shasta-Transektes.

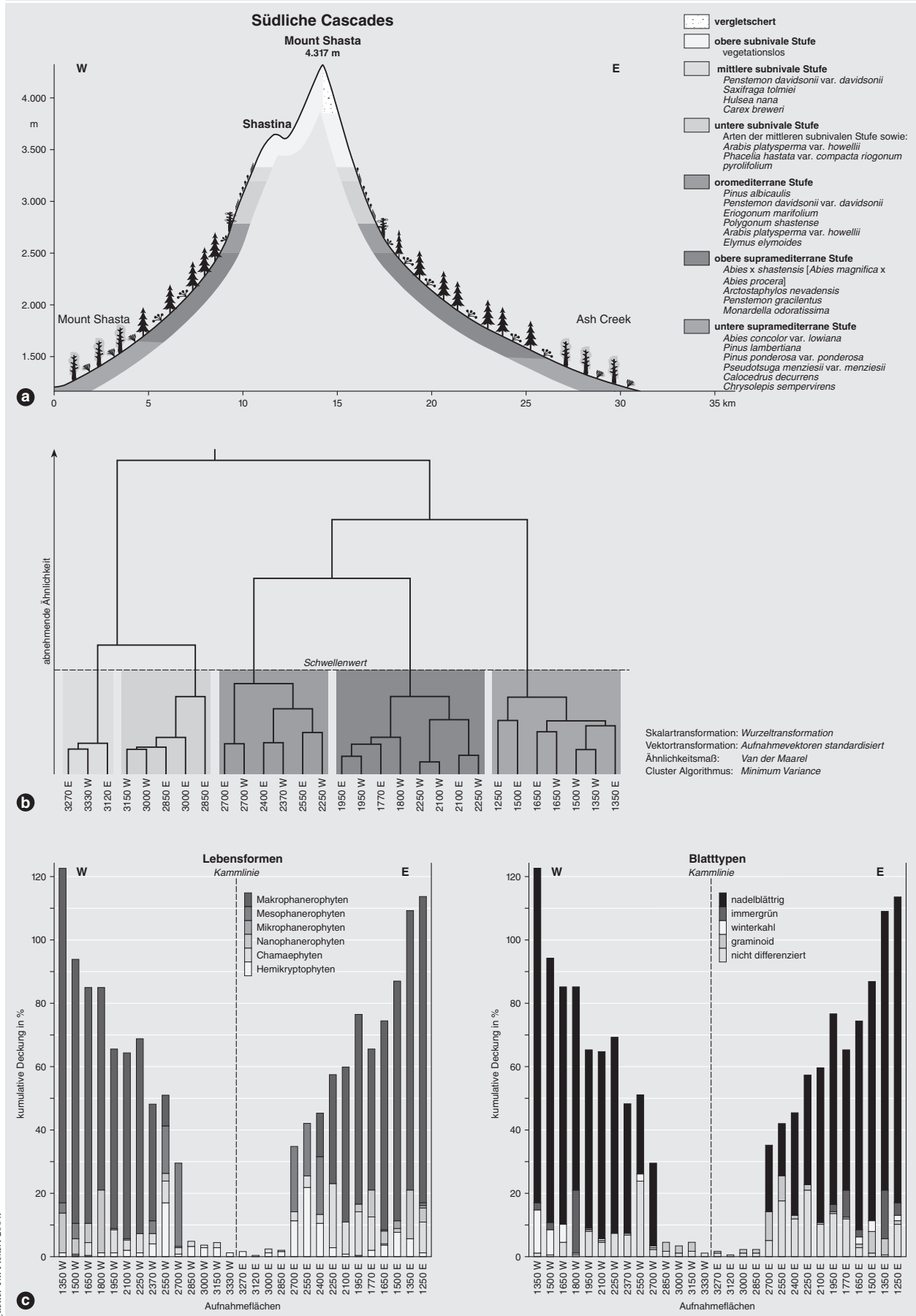


Bild 2: Krüppeliger Wuchs von *Pinus albicaulis* mit deutlichen Anzeichen von Schneedruck an der Baumgrenze des Mount Shasta bei 2.800 m ü.d.M.



Aufnahme: Th. Fickert, August 2000.

5.3.3 Sierra Nevada

Die Sierra Nevada erstreckt sich in NNW-SSE-Richtung über mehr als 600 km zwischen 35°N und 41°N und ist damit das größte zusammenhängende Gebirgsmassiv der USA außerhalb Alaskas (Abb. 2). Ihre größte Höhe erreicht die Sierra Nevada im 4.417 m hohen Mount Whitney im südlichen Teil des Gebirges. Trotz dieser großen Höhe erlangt die Sierra Nevada die klimatische Schneegrenze nicht (MAJOR, TAYLOR 1988). Die rezente Vergletscherung bleibt auf schattenseitige Gunstlagen beschränkt und fällt mit nur 13 km² insgesamt sehr gering aus (vgl. HÖLLERMANN 1980). Während des Pleistozäns waren dagegen weite Bereiche der Sierra Nevada stark vergletschert (Bild 3 und 4), was das heutige Landschaftsbild entscheidend prägt. Mächtige Moränenzüge in heute ganzjährig ariden Bereichen an den Flanken des Owens Valley verdeutlichen das Ausmaß der kaltzeitlichen Vergletscherung.

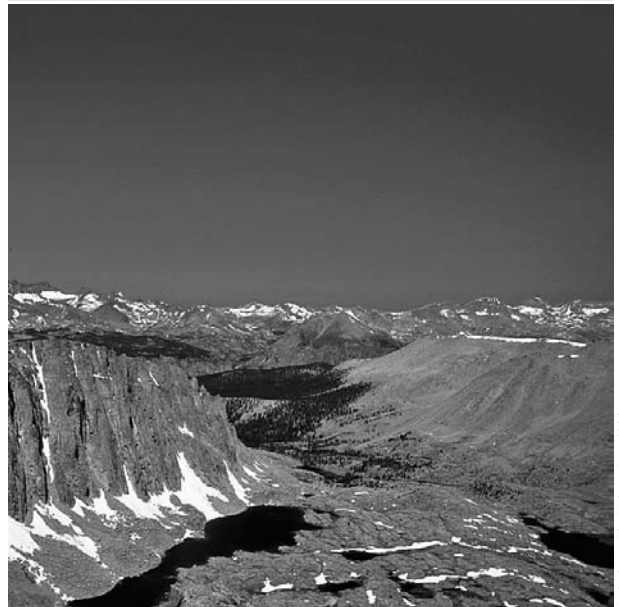
Als verkippte Pultscholle batholithischen Ursprungs (vgl. Kap. 2.1) weist die Sierra Nevada eine steile Ostflanke und eine flachere Westabdachung auf. Zahlreiche große Flüsse wie Feather, American, Mokelumne, Merced, San Joaquin, Kings und Kern River entwässern die Westseite und bilden die Basis für intensive landwirtschaftliche Nutzung im Central Valley. Während die erstgenannten mehr oder weniger geradlinig die Westabdachung der Sierra zerschneiden, folgt der Kern River für etwa 80 km einer Verwerfung in südlicher Richtung, der die sonst aus einer Kammlinie bestehende Sierra Nevada in ihrem südlichen Teil in zwei Ketten (Great Western Divide und High Sierra Nevada) teilt (Bild 3). Die Wasserführung der Flüsse der Ostseite ist aufgrund der Leelage und kleinerer Einzugsgebiete deutlich geringer, aber dennoch perennierend. Sie entwässern im Norden über Walker und Truckee River zum abflusslosen Pyramid Lake, in den südlichen zwei Drittel erfolgt die Entwässerung zum Owens River und ursprünglich über ihn zum ebenfalls endorheischen Owens Lake. Heute trägt das Wasser des Owens River, das über ein mehrere hundert Kilometer langes Aquädukt abgeleitet wird, zur Wasserversorgung von Los Angeles bei. Die Kammlinie der Sierra Nevada bildet somit die westliche Begrenzung des hydrographischen Great Basin.

Bild 3: Glazial geformtes U-Tal des Kern River Canyon in der südlichen Sierra Nevada.



Aufnahme: Th. Fickert, Juli 2002.

Bild 4: Talasymmetrie mit glazial überprägten Hangnordseiten und periglazial geformten Glatthängen in Südexposition am Talschluss des Whitney Creek in der südlichen Sierra Nevada. Aufnahmestandpunkt unterhalb des Mount Muir bei 4.100 m ü.d.M.



Aufnahme: Th. Fickert, Juni 1999.

Um den graduellen N-S-Wandel der Vegetationszusammensetzung und der Höhengrenzen zu erfassen, wurden in der Sierra Nevada drei Transekte aufgenommen: Das nördliche Profil erstreckt sich zwischen 38°N und 38°30'N von der Stadt Sonora über den 3.526 m hohen Leavitt Peak zum Walker Valley (Abb. 17a), d.h. die Nord-Sierra i.e.S. wird hier aufgrund ihrer geringen Gipfelhöhen nicht berücksichtigt. Das mittlere Profil verläuft grob zwischen Fresno und Bishop bei etwa 37°N über eine Vertikalerstreckung von 3.600 Metern auf der Westseite und 2.700 Metern auf der Ostseite (Abb. 18a). Das Südprofil erstreckt sich mit einer vergleichbaren Reliefenergie bei etwa 36°30'N zwischen Visalia und Independence über die beiden, vom Kern River getrennten Hauptkämme der südlichen

PASSAUER SCHRIFTEN ZUR GEOGRAPHIE

Zusammenfassung

HERAUSGEGEBEN VON

EFFGT GERUK DIETZ ANHLE WERNER GAMETH UND KLAUS RÖTHER
Schriftenreihe der Geographischen Kommission der Universität Passau

Weltweit sichern Hochgebirge als natürliche „Wassertürme“ das Überleben der Bevölkerung in den besiedelten Tiefländern, insbesondere in semiariden Regionen. Viele der Megastädte der Erde sind heute von den Wasserressourcen oft weit entfernter Gebirge abhängig. Wasserverbrauch und Wasserverfügbarkeit stehen allerdings häufig nicht im Gleichgewicht, was zum großen Teil auch aus der geringen Kenntnis der klimatischen Bedingungen der Hochgebirge resultiert, da die Stationsdichte in den Hochlagen aus Kostengründen und aufgrund technischer Schwierigkeiten noch immer sehr dünn ist.

Eine unmittelbare kausale Beziehung zwischen Klima und Vegetation wurde bereits vor über 200 Jahren von Alexander von Humboldt erkannt. Zahlreiche Studien haben seit dieser Zeit den bedeutenden Einfluss des Klimas auf die Vegetation eines bestimmten Raumes aufgezeigt. Wenn dieses Thema hier erneut aufgegriffen wird, geschieht dies mit der Intention, anhand der Vegetation bestimmte Klimaparameter, die die Vegetationsausprägung entscheidend beeinflussen, abzuleiten. Würde dies gelingen, läge eine wertvolle Alternative zu zeitintensiven und teuren, direkten Klimamessungen in entlegenen (subtropisch-semiariden) Gebirgen der Erde vor, um erste Anhaltspunkte zur klimatischen Ausstattung der betreffenden Region zu erhalten.

Die Vegetationsaufnahmen im Rahmen dieser Studie wurden entlang von 22 Transekten, die quer zum Gebirgsstreifen über beide Hauptabdachungen der Gebirgszüge verlaufen, im Westen der USA und im nördlichen Baja California, Mexiko (etwa zwischen 31°N und 41°N sowie zwischen 109°W und 122°W) durchgeführt. Da sich die meisten Gebirge Nordamerikas von Norden nach Süden erstrecken, wurden überwiegend West-Ost-Transekte untersucht. Die insgesamt 714 Aufnahmen, die präferentiell in für das jeweilige Höhengiveau typischen, möglichst naturnahen Vegetationseinheiten platziert wurden, wurden in der Regel in vertikalen Abständen von 150 Höhenmeter erhoben und umfassen jeweils fünf quadratische Flächen von 10 × 10 Meter (insgesamt 3.570 Einzelaufnahmen), die nach Mittelung der Artdeckungswerte im weiteren Verlauf der Analysen als eine 500m²-Aufnahme behandelt werden. Die Lage der untersuchten Transekte wurde dabei so gewählt, dass unterschiedliche klimatische Regionen (vollhumid bis vollarid, mediterran im westlichen Kalifornien und zunehmender „monsonaler“ Sommerregeneinfluss in Richtung Südosten des Untersuchungsraumes) abgedeckt werden, um eine Klimainterpretation auf floristischer und pflanzenmorphologischer Basis entlang von vertikalen, longitudinalen und latitudinalen Gradienten zu ermöglichen.

Die vorliegende Arbeit ist inhaltlich und methodisch in zwei Hauptabschnitte gegliedert. In einem ersten Auswertungskapitel werden über statistische Klassifikationsverfahren zunächst syntaxonomische Ähnlichkeiten bzw. Unähnlichkeiten zwischen höhengleichen Aufnahmen der beiden gegenüberliegenden Hauptabdachungen für die einzelnen Untersuchungsgebiete berechnet und die daraus resultierenden Höhenstufenprofile klimatisch interpretiert. Dabei lassen sich die einzelnen

Transekte auch drei Typen der Höhenstufenkonfiguration zuordnen:

- Massige Gebirgskörper wie etwa die Sierra Nevada in Kalifornien, die eine starke Barriere für die vorherrschenden advektiven westlichen Luftmassen darstellen und damit deutliche Luv-Lee-Effekte hervorrufen, sind von geringen syntaxonomischen Ähnlichkeiten höhengleicher Aufnahmen der beiden Hauptabdachungen, also von einem heterogenen Stufungstyp, gekennzeichnet. Dies trifft insbesondere für die Tief- und Mittellagen der Gebirge zu, während sich in den Hochlagen die Humiditätsverhältnisse und damit die Vegetationsausprägungen sukzessive angleichen, da hier die niederschlagsbringenden Luftmassen noch über die Kammlinie hinweggreifen.
- Eine homogene Stufung mit hohen floristischen Gemeinsamkeiten der beiden Abdachungen im gleichen Höhengiveau belegen dagegen vergleichbare makroklimatische Bedingungen. Dies ist unabhängig vom Grad der Humidität bzw. Aridität, wie die Beispiele des vollhumiden Mount Rainier in Washington und der aus vollariden Fußstufen aufragenden Gebirge des westlichen Great Basin zeigen.
- Dem intermediären Typ gehören schließlich Gebirge an, bei denen schwache Luv-Lee-Effekte und/oder strahlungsbedingte Differenzen zwischen Nord- und Südexpositionen zu einer einseitigen Anhebung von Vegetationsgrenzen bzw. zum einseitigen Einschub bestimmter Vegetationskomplexe führen.

Die syntaxonomischen Gemeinsamkeiten bzw. Differenzen spiegeln sich auch in strukturellen Merkmalen der Vegetation wider, die in einem zweiten Auswertungsteil zur Ableitung verschiedener steuernder Klimaparameter herangezogen werden. Bei einer generell sehr hohen Phytodiversität innerhalb des Untersuchungsraumes (mit nur einer einzigen Art, die in allen Transekten angetroffen wurde, während mehr als die Hälfte der insgesamt 1.852 Taxa auf ein Transekt beschränkt bleiben) bestehen deutlichere Zusammenhänge zwischen der Vegetationsstruktur und den jeweiligen Klimabedingungen als zwischen floristischer Ausstattung und Klima.

Zur Ableitung von klimatischen Vertikalgradienten für die einzelnen Transekte werden Ordinationsverfahren verwendet. Durch kanonische Korrespondenzanalysen (CCAs) wird für 69 Vegetationsaufnahmen, die im Umfeld von Klimastationen liegen und verschiedene Höhengiveaus des gesamten Untersuchungsgebietes repräsentieren, eine Kalibrierung bestimmter struktureller Vegetationsmuster geschaffen. Die Kalibrierung erfolgt dabei auf Grundlage der in die Analyse einfließenden Klima- und Bodenvariablen. Anschließend werden die übrigen Aufnahmen, für die keine Klimainformationen vorliegen, der Ordination als supplementäre Flächen hinzugefügt. Sie haben keinen Einfluss auf die Berechnung der Ordinationsachsen, sondern ordnen sich nachträglich über Ähnlichkeitsbeziehungen hinsichtlich struktureller Merkmale zu kalibrierten Aufnahmen im Ordinationsraum ein.

Über dieses Verfahren werden die Vertikalgradienten der Klimaparameter „Januarmitteltemperatur“, „Julimitteltempera-

tur“, „Jahresniederschlag“ und „Anzahl arider Monate“ für die einzelnen Transekte abgeleitet. Die Qualität der Ableitungen ist dabei regional und höhenabhängig unterschiedlich gut. Eine schlechte Kalibrierungsgrundlage aufgrund einer mangelhaften Stationsdichte in den Hochlagen sowie durch nicht mehr als naturnahe zu bezeichnende Bestände aufgrund langjähriger Feuerunterdrückungspolitik führen z.T. zu einer Über- bzw. Unterschätzung der tatsächlichen Bedingungen. Die insgesamt höchsten Korrelationen zeigen sich für den Parameter „Anzahl arider Monate“, insbesondere im Großraum des Great Basin. Für diesen Bereich wird daher neben den Vertikalgradienten

auch eine flächenhafte Darstellung in Form einer Isoxeromenkarte (Karte der Anzahl der ariden Monate) vorgelegt, deren Grundlage eine Vegetationskarte des Raumes darstellt.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass für naturnahe Bestände im Westen der USA die Vegetationsstruktur einen hohen indikativen Wert zur Beurteilung der Dauer negativer bzw. positiver Wasserbilanz besitzt. Bedingt lassen sich auch Aussagen zu Temperatur- und Niederschlagsbedingungen ableiten. Ob eine Übertragung der Methodik in klimatisch vergleichbare Räume der Nordhemisphäre möglich ist, bleibt zu überprüfen.



HEFT 22

Thomas Fickert

Phytogeographische Studien als Mittel zur Klimaableitung in Hochgebirgen

Eine Fallstudie im Südwesten der USA

Mit 81 Abbildungen (davon 11 Farbkarten), 19 Tabellen und 45 Bildern

Selbstverlag Fach GEOGRAPHIE der Universität Passau

PASSAUER SCHRIFTEN ZUR GEOGRAPHIE

Summary

HERAUSGEGEBEN VON

ERHART OBRUCK-DIETER ANHILF, WERNER GAMBETHI UND VIKTOR FÖTTLER

High mountains as natural “water towers” guarantee the survival of human populations in lowlands, especially in (semi)arid regions. Today, many mega-cities depend on water resources of high mountains, sometimes far away. However, water consumption and water availability are often not in balance, which – at least partly – is the result of poor knowledge about climatic conditions at higher altitudes from an insufficient density of weather stations due to financial, technical, and logistical problems.

A close relation between climate and vegetation was recognized by Alexander von Humboldt more than 200 years ago. Since then numerous studies have shown the important influence of climate on vegetation of a particular region. This topic is revisited in this study, and is done with the intention to directly derive climatic parameters by using vegetation characteristics. If successful, this method could be a valuable alternative to expensive and time consuming direct measurement of climatic data for an estimation of climatic conditions in remote (subtropical semi-arid) high mountains of the world.

Vegetation sampling for this study was conducted along 22 transects in the western USA and northern Baja California, Mexico (between 31°N and 41°N as well as between 109°W and 122°W), running perpendicular to the main orientation of the mountain ranges on both flanks. As most ranges in the USA trend north to south, most transects have an east-west direction. A total of 714 releves, comprising five quadratic 10×10 meter plots each and separated by 150 vertical meters as a rule, were located preferentially in vegetation units as natural and typical as possible for the respective altitudinal belt. The mean of the species' cover-values occurring in those five plots is treated as one 500 m²-sample in the analyses. The transects cover different climatic regions (perhumid to perarid, Mediterranean climate in western California and an increasing “monsoonal” influence with summer precipitation in the Southeast of the study area), to allow a climatic interpretation of floristic and structural patterns along altitudinal, longitudinal, and latitudinal gradients.

The study consists of two major parts regarding both content and methods. In a first result-chapter (chapter 5) syntaxonomic similarities or dissimilarities between releves of the same altitude but with contrasting solar aspect are calculated using statistical classification methods. The resulting sequences of vegetation belts are then climatically interpreted. Three types of vertical zonation are thus distinguished:

- Massive mountain ranges (e. g. the Sierra Nevada of California), which are a strong barrier to the predominant advective western airstreams and thus create a pronounced rain shadow effect, are characterized by high syntaxonomic dissimilarities between samples of the two main flanks at corresponding altitude, i. e. by a heterogeneous type of vertical zonation, particularly at the lower to middle elevations. At higher elevations the vegetation of the two opposite aspects becomes more alike as the moisture carrying clouds overlap the crestline, resulting in comparable conditions even on the leeward side.

- A homogeneous type, in contrast, with high floristic similarities between the two flanks verifies similar climatic conditions on both sides; this occurs independently of the degree of humidity or aridity as the examples of the perhumid Mount Rainier in Washington on one hand, and the several mountain ranges of the arid western Great Basin on the other confirm.

- Finally, there is an intermediate type of the vertical zonation of vegetation where weak rain shadow effects, or differences in radiation input between north and south slopes, cause a rise of vegetation boundaries on one side of a mountain range or even the replacement of vegetation belts in a particular altitudinal level.

Syntaxonomic similarities and dissimilarities are reflected by structural patterns of the vegetation, which are used in a second analysis chapter (chapter 6) for the deduction of several climatic parameters. As vascular plant diversity in the region is generally high (with just one species occurring in all 22 transects and more than 50% of the total of 1.852 taxa restricted to one transect), a more significant correlation exists between vegetation structure and climatic conditions than between species composition and climate.

For the deduction of vertical climatic gradients along the different transects, statistical ordination methods are used. Canonical correspondence analyses (CCAs) of 69 releves located nearby weather stations and representing different altitudinal levels within the study area serve as calibration of specific structural vegetation patterns. The calibration is based on different explanatory climate- and soil-variables available. The remaining releves without any climatic information are included in the analysis as supplementary samples. Those “passive” samples do not influence the calculation of ordination axes, but are arranged within the ordination space due to structural similarities to calibrated releves.

Using this procedure for each of the 22 transects vertical gradients for the climatic parameters of “mean temperature in January”, “mean temperature in July”, “annual precipitation”, and “number of arid months” are deducted. The quality of the estimations shows regional and altitudinally dependent differences. A deficient calibration due to the small number of high elevation weather stations as well as unnaturally dense forests due to long-lasting fire suppression, leads partly to an over- or underestimation of the actual conditions. The highest correlations between climate and vegetation exist for the parameter “number of arid months”, particularly within the Great Basin. For this region, in addition to the vertical gradients, a map of the number of arid months is presented, which is based on the actual vegetation of the region.

Within quasi-natural stands in the western USA vegetation structure possesses a high indicator value for estimating the duration of arid and humid conditions, and to a lesser degree also for temperature and precipitation. Whether this method is transferable to climatically comparable regions of the northern hemisphere remains to be tested.

Weltweit gelten Hochgebirge als natürliche „Wassertürme“, die das Überleben der Bevölkerung in den besiedelten Tiefländern sichern, besonders in den semiariden Regionen. Häufig stehen Wasserverbrauch und Wasserverfügbarkeit allerdings nicht im Gleichgewicht. Dies hängt mit der geringen Kenntnis der Klimaverhältnisse in den Hochlagen der Gebirge zusammen, in denen die Stationsdichte aus Kostengründen und aufgrund technischer Schwierigkeiten noch immer sehr gering ist.

Die vorliegende Arbeit versucht, über indirekte Verfahren der Klimaökologie zu einem erweiterten Verständnis des Hochgebirgsklimas zu gelangen. Anhand floristischer und struktureller Merkmale der Vegetation werden die Vertikalgradienten verschiedener Klimaparameter quantitativ abgeleitet. Zugrunde liegen Geländeaufnahmen entlang von 22 Transekten in den Gebirgen der westlichen USA. Die einzelnen Untersuchungsgebiete zwischen 31° und 41°N sowie zwischen 109° und 122°W erfassen unterschiedliche Klimagebiete, so dass eine verlässliche Interpretation möglich wird.

Neben diesem primär methodisch orientierten Ziel der Dissertation geht es darum, eine in der einschlägigen deutschsprachigen Fachliteratur wenig bekannte Region, denen auch die US-amerikanischen Wissenschaftler bisher wenig Beachtung geschenkt haben, vegetationsgeographisch vorzustellen.

Thomas Fickert, Dr. rer. nat., geb. 1968 in Münchberg, 1990–1997 Diplomstudium der Geographie mit den Nebenfächern Biologie und Geologie an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 1999 Aufnahme des Promotionsstudiums im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsprojektes „Möglichkeiten der Phytoindikation zur Beurteilung der hygromischen Verhältnisse in den Hochgebirgen der südwestlichen USA“, 2004 Promotion an den Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Seit Herbst 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Physische Geographie der Universität Passau.

FICKERT, THOMAS: Phytogeographische Studien als Mittel zur Klimaableitung in Hochgebirgen. Eine Fallstudie im Südwesten der USA. 172 S., 81 Abb., 19 Tab. und 45 Photos mit CD-ROM. Passauer Schriften zur Geographie 22. Selbstverlag Fach Geographie der Universität, Passau 2005, € 29,-

High mountain areas play an important role in the earth's climate system, as well as in biodiversity, ecosystems and ecosystem services. Particularly in recent years, much attention has been paid to their importance as natural water reservoirs for numerous cities located in their lowlands. Nonetheless, poor knowledge of the climatic conditions at high altitudes due to an insufficient density of weather stations leads to an increasing imbalance between water availability and water consumption by man. In order to close the gap of knowledge, THOMAS FICKERT makes an important contribution in his dissertation thesis.

A close relation between climate and vegetation was recognized by ALEXANDER VON HUMBOLDT more than 200 years ago. Since then numerous studies have shown the important influence of climate on vegetation of a particular region. This topic is revisited in this study, and is done with the intention to directly derive climatic parameters by using vegetation characteristics.

Vegetation sampling was conducted along 22 transects in the western USA and northern Baja California. As most ranges in the USA trend north to south, most transects have an east-west direction. A total of 714 relevees, comprising five quadratic 10x10 meter plots each and separated by 150 vertical meters as a rule, were located preferentially in vegetation units as natural and typical as possible for the respective altitudinal belt. Different climatic regions are covered by the transects to allow a climatic interpretation of floristic and structural patterns along altitudinal, longitudinal, and latitudinal gradients.

First, syntaxonomic similarities or dissimilarities between relevees are calculated using statistical classification methods. Massive mountain ranges (e.g. the Sierra Nevada of California), which are a strong barrier to the predominant advective western air-streams and thus create a pronounced rain shadow

effect, are characterized by high syntaxonomic dissimilarities between samples of the two main flanks as corresponding altitude particularly at the lower to middle elevations. A homogeneous type with high floristic similarities between the two flanks verifies similar climatic conditions on both sides of the per-humid Mount Rainier in Washington on one hand, and the several mountain ranges of the arid western Great Basin on the other. Finally, there is an intermediate type of the vertical zonation of vegetation where weak rain shadow effects or differences in radiation input between north and south slopes.

Syntaxonomic similarities and dissimilarities are reflected by structural patterns of the vegetation, which are used in a second analysis chapter for the deduction of several climatic parameters. For the deduction of vertical climatic gradients along the different transects, statistical ordination methods are used (canonical correspondence analysis of 69 plots located to nearby weather stations at different altitudinal levels). Using this method, highest correlations between climate and vegetation exists for the "number of arid months", particularly in the drier sections of the Great Basin. To a lesser degree, vegetation structure possesses also an indicative value for temperature and precipitation.

In summary, the dissertation of THOMAS FICKERT is an impressive and very interesting contribution to the field of applied vegetation sciences. The work is characterized by a high scientific level and the methodological details are of primary interest to scientists dealing with similar issues in other parts of the world. The thesis is richly equipped with figures, tables, and photos. The enclosed CD-ROM contains e.g. the complete plant lists of all relevees. Nonetheless, such investigations can only be a first step to calculate the water balance of high mountain areas. A sound and detailed water management plan for such areas still rely on meteorological data. However, for all readers this dissertation thesis serves as an excellent example of how scientific studies with time and fund limitations can result in useful tools to improve our understanding of the differentiated climate conditions in high mountain areas.

DIETER ANHUF