

Karst



Turmkarst-Landschaft, Guilin (China)



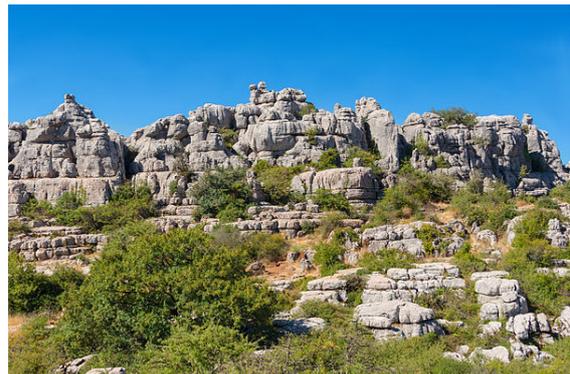
Pinnacle-Karst-Landschaft, Shilin (China)



Karst-Wasserfälle und Seen-Landschaft: Nationalpark Plitwitzer Seen (Kroatien)



Glaziokarst-Landschaft, Orjen (Montenegro)



Karst in El Torcal de Antequera, Andalusien, (Spanien)

Unter **Karst** versteht man in der Geologie und Geomorphologie unterirdische Geländeformen (*Karsthöhlen*) und oberirdische Geländeformen (*Oberflächenkarst*) in Karbonatgesteinen (zum Teil auch in Sulfat- und Salzgesteinen), die vorwiegend durch Lösungs- und Kohlensäureverwitterung sowie Ausfällung von biogenen Kalksteinen und ähnlichen Sedimenten mit hohem Gehalten an Calciumcarbonat (CaCO_3) entstanden sind. Hauptmerkmal ist der überwiegend unterirdische

Wasserhaushalt, der nicht auf einer primären Porosität des Gesteins beruht, sondern vielmehr sekundär durch den in geologischer Zeit stattfindenden Prozess der Verkarstung (d. h. einer Korrosion des Gesteins) bedingt wird.

Dadurch sind Landschaften, die petrologisch überwiegend durch Karbonate aufgebaut werden, als Karstland-

schaften ausgebildet. Großräumig finden sich diese um das Mittelmeer sowie in Südostasien und Südchina, den Großen Antillen und im Indoaustralischen Archipel. Von in globalem Vergleich geringerem Ausmaß sind Karstlandschaften der deutschen Mittelgebirge (Schwäbische Alb, Fränkische Alb), des Französischen und Schweizer Juras sowie allgemein Westeuropas und der Nord- wie Südalpen.

Humangeografisch unterscheidet sich insbesondere die Naturraumnutzung von Karstlandschaften des Mittelmeerraums und Südost- und Ostasiens. Ist Herdenviehhaltung und eine saisonal angepasste halbnomadische Herdentierwanderung im Mittelmeerraum in den Karstgebirgen seit der Antike verbreitet, so findet in tropischen Karstländern durch eine differenziertere agroökonomische Wirtschaftsform mit Kleintierhaltung und Bewässerungsfeldbau kulturtopologisch eine diazentrale Naturraumnutzung statt. Die Nutzung von Karsthochflächen tritt somit außerhalb des Mediterrans kaum auf, daher ist insbesondere in der Kulturregion des Mittelmeeres auch eine stärkere Degradierung von Karsthochländern und Entwaldung mit anschließender Schädigung der Bodendecke für die dortige Problematik des Karstes verantwortlich.

1 Allgemeines

Tiefgründig entwickelte Karstlandschaften können trotz reichlicher und teilweise hoher Niederschlagsmengen völlig trockene Böden aufweisen. Karstlandschaften unterliegen einem alterungsbedingten Erosionszyklus. Prinzipiell bedingt sich dieser durch stärkere Korrosion und Erosion unter feucht-tropischen Klimaverhältnissen. Unterscheidungserheblich sind auch tropische und außertropische Karstformen, ebenso geomorphologisch voll entwickelter Karst (Holokarst) und wenig entwickelter Karst (Merokarst). Verkarstung und zyklische Erosion des Karstreliefs sind Teil eines globalen biogeochemischen Stoff- und geologischen Gesteinskreislaufs, der im Speziellen als Carbonat-Silicat-Zyklus durch biogene und geologische Prozesse als Folge des Erfolges der Evolution des Lebens direkt mit dem Kohlenstoffzyklus zusammenhängt. Carbonate (Calcit CaCO_3 und Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) sind zudem die größten Kohlenstoffspeicher auf der Erde.

2 Etymologie der Begriffe

Der Begriff *Karst* ist indogermanischen Ursprungs (so in karre für *stein* oder *karg*) und wurde im 19. Jahrhundert von deutschen Geographen von der Landschaft *Kras* zwischen Triest in Italien und dem Krainer Schneeberg in Slowenien als Typlokalität für geomorphologisch ähnliche Landschaften auf der Erde abgeleitet.^[1]



Karst-Seenlandschaft Baćina-Seen nahe Ploče im Süden Kroatiens

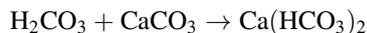
Mit der Etablierung und dem bedeutenden Aufschwung der Karstforschung vom späten 19. Jahrhundert bis 1914 in Wien in der neuentstandenen Wissenschaft der Geomorphologie unter Albrecht Penck und insbesondere durch das Wirken des ersten Karstologen Jovan Cvijić wurden die Lokalbezeichnungen von Karstformen der dinarischen Länder aus dem slowenischen, kroatischen und serbischen insbesondere in die deutsche und großteils auch französische Sprache übernommen (so *dolina*, *polje*, *ponor*, *hum*). Mit der Erforschung tropischer Karstgebiete der Karibik und Südasiens erweiterte sich das Begriffsspektrum (so um die spanischen Bezeichnungen *Mogote* und *Cenote* und den englischen Begriff *Cockpit*). Die Karstterminologie nutzt damit heute eine Vielzahl von Begriffen unterschiedlicher Sprachen. Insbesondere unterscheiden sich die im Englischen genutzten Begriffe von denen in Mitteleuropa durch die historische Entwicklung der Karstforschung in den angelsächsischen Ländern.

3 Entstehung und Merkmale

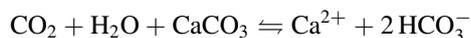
3.1 Karbonat und Kohlensäureverwitterung

Karst entsteht in humiden bis semi-ariden Gebieten, die aus harten und durch im Wasser gelöste Kohlensäure korrodierbare Massengesteine mit hohem Calciumcarbonatgehalt (CaCO_3), wie Kalkstein, aufgebaut sind. Grundsätzlich darf dabei das Ausgangsgestein jedoch keine hohe primäre Porosität aufweisen. Primär poröse Carbonate wie Kreide verhindern jede tiefe Verkarstung, die Grundzug hoch entwickelter Karstgebiete ist. Die Verkarstung reicht in Gebieten, die aus einförmigen mächtigen Massenkalken aufgebaut sind, daher bis mehrere tausend Meter Tiefe unter die Erdoberfläche.

Die chemische Reaktion zur Lösung von Kalziumkarbonat lautet:



Die Gesamtgleichung lautet:



Dieser Prozess ist beliebig umkehrbar und kalkgesättigte Lösungen kohlensäurehaltigen Wassers können durch Wiederausfällung von Kalziumkarbonat als Travertin oder Tropfstein neu bilden, aber auch kalkgesättigte Lösungen können durch Mischungskorrosion von neuem aggressiv werden. Gerade der Effekt der Mischungskorrosion erklärt erst, warum die im Karstgebirge beobachteten großen Lösungshohlräume nicht an der Eintrittsstelle des Wassers, sondern im Innern des Gebirges zu finden sind. Es ist ein „Paradoxon der Mischungskorrosion“, dass umso mehr zusätzlicher Kalk gelöst wird, je höher die Konzentration des einen kalkreicheren Ausgangswassers war.

3.2 Verkarstung



Jurazeitliche Viñales-Formation eines tropischen Karstkegels (Mogote) im Valle de Viñales auf Kuba

Da das Gestein durch Kohlensäure (Kohlensäureverwitterung) gelöst wird und Niederschlagswasser durch die entstandenen Kanäle unterirdisch abfließt, erfolgt innerhalb der Karstregionen großteils keine autochthone fluviale-Formung und Erosion. Weil die Verbreitung der Karbonate und Position zu Nicht-Karbonaten je nach Landschaftsraum stark variiert, fließen durch alle Karstregionen allochthone Flüsse, die insbesondere in den feucht-humiden Tropen stark zur Formung tropischer Karstregionen beitragen. Sind Karsterscheinungen im Mikro- und Makrobereich ausnahmslos die Folgen chemischer Vorgänge, so sind die Karst-Großlandschaften aufgrund hydrologischer

und klimatischer Bedingungen und der tektonischen Voraussetzungen im Laufe der Zeit unterschiedlichen Prozessen unterworfen, die bei der Formung des Reliefs mitwirken. Die Entwicklung der speziellen Karstrelieftypen kontrollieren endogene neotektonische Bewegungen, die lokale Hydrologie sowie Niederschläge.

Karstformen bilden sich dadurch morphologisch nicht nur als geschlossene Formen im Relief zwischen Mikro- und Megaformen ab, sondern bilden insbesondere in den Tropen Interferenzen zu den offenen Erosionsformen fluvialer Relieftypen. Der Karst ist also kein grundsätzlicher Gegenpol fluvialer humider und außerpolarer Regionen wie oft behauptet wird. Zusätzlich tragen andere physikalische Vorgänge wie glaziale Vorgänge (Karstgletscher) in Gebirgen (Glaziokarst) zu einer Modifikation im Karstrelief bei.

3.3 Klimatisch-geologische Vorbedingungen

Voraussetzungen für Karstlandschaften sind für die Lösungsverwitterung anfälliges Gestein und Wasser im flüssigen Zustand. Typischerweise bildet sich Karst auf anstehendem Kalkstein in subhumiden bis humiden Klimazonen der Tropen bis kühlgemäßigten Breiten. Dabei ist die aktive Entwicklung des Karstreliefs immer von Temperatur, Lithologie, Vegetation und Verfügbarkeit von Wasser abhängig. Die morphogenetische Verbreitung der Karstformen hängt unter anderen auch noch von der Höhenstufe und der klimatischen Zonierung ab. Dabei bildet sich Karst von der Küste bis in subnivale Höhenlagen der Hochgebirge durch entsprechende Reliefformen auf.

Qualitativ ist die Bildung des Karstreliefs aber vor allem niederschlagsabhängig und von der Reinheit sowie Mächtigkeit der Massenkalke bedingt. Reinheiten im Kalziumkarbonat von 99 % und jährliche durchschnittliche Niederschlagssummen von < 5000 mm im Jahr in Montenegro und Neuguinea sowie 2500 mm pro Jahr in Südwest-China sind bei der Entstehung ausgeprägter Karstformen förderlich. Geringere Reinheiten des Kalziumkarbonats und Niederschläge unter 500 mm im Jahr verhindern die stärkere Verkarstung. Weiche Kalksteine mit hohen Tongehalten (Mergel) sind für die Verkarstung daher ungeeignet, aber ebenso harte korrosionsbeständige Carbonate mit hohen Magnesiumgehalten wie der Dolomit, der sehr langsam verkarstet.

3.4 Bedeutende Karbonatserien

Im alpinen Mitteleuropa ist besonders der Dachsteinkalk ein verkarstungsfähiges Gestein, während der Hauptdolomit hier keine Karstlandschaften bildet. Der Hauptteil der dinarischen Geosynklinale, dem größten europäischen Karstgebiet, wird fast ausschließlich von karbonatischen und dolomitischen Sedimenten



Ausgang der Karsthöhle der Eisriesenwelt (Dachsteinkalk)

(devonisch bis neuzeitlich) gebildet. Die Mächtigkeit der kretazischen und jurassischen Kalke beträgt hier in der Hochkarstdecke mehr als 4 km und die Verkarstung reicht bis unter das Meeresniveau hinab, was untermeerische Karstquellen belegen. Verwandte Karstregionen finden sich in den zirkummediterranen Kalkdecken der jungalpidischen Faltengebirge des Thetysbeckens zwischen Marokko und Iran.

Harte, reine mesozoische Kalke sind auch unerlässliche Grundvoraussetzung für Turm- und Kegelkarstformationen der Tropen wie die geologischen Formationen des Oberen Jura (vor 160 bis 140 Mio. Jahren) im kubanischen Valle de Viñales belegen, wo der älteste, *Jagua* genannte Abschnitt, hauptsächlich aus sehr unreinen Kalken wechselnder Ablagerungsbedingungen die Basis der *Mogoten*, der mittlere Abschnitt, die *Viñales-Formation*, ein sehr reiner Massenkalk (über 98 % CaCO_3), dagegen die *Mogoten* selbst bildet. Hierbei spielen auch tektonische Vorgänge eine wichtige Rolle, da starke tektonische Hebungen für die Entstehung von Turm- und Kegelkarst ungeeignet sind. Diese Karstlandschaften bilden sich nur, wenn neotektonische Vorgänge zu kontinuierlichen und langsamen Hebungsraten führen. Sind die Hebungsraten hoch, so können sich trotz reiner mächtiger Kalke und hoher Niederschlagssummen keine dem Turmkarst vergleichbaren Formen bilden, wie dies an der Bucht von Kotor zu beobachten ist, wo die hohe neotektonische Hebungen der Dinarischen Platte den über tausend m tiefen erosiven Einschnitt an der Küste bewirkt hat. Mit solch schnellen Hebungen kann die korrosive Lösung nicht mithalten und das Relief bildet sich in Form einer Steilstufe.

3.5 Erosionszyklus von Karstlandschaften

Da die Verkarstung in erdgeschichtlichen Zeitdimensionen fortschreitet, werden in Gebieten, wo reichliche Niederschläge fielen oder noch fallen, die Karsterscheinungen immer größer, tiefer und/oder flächiger. Dabei spie-

len die Mächtigkeit und Beschaffenheit der Kalksteinschichten, die Faltungen, Verwerfungen und weiteren geologischen Einflüsse auf die Gesteinsschichten, die klimatischen Entwicklungen und die Erosionen eine entscheidende Rolle. Wenngleich ähnliche Erscheinungen zwischen den ausgemachten Karstregionen beobachtbar sind, sind die Häufung bestimmter Erscheinungsformen und Topographien je nach Region unterschiedlich.

Auf eine zyklische Entwicklung der Karstlandschaften hatte insbesondere die von William Morris Davis begründete Anschauung des Erosionszyklus großen Einfluss. Das von Alfred Grund (1914) durch Betrachtung des Jamaikanischen *Cockpit country* vorgestellte einfache vierstufige Modell ist heute ein Modell für Karstgebiete der Tropen. Jovan Cvijićs komplexes Erosionszyklus-Modell (1918) für die ursprünglich exemplarisch gehaltene Karstlandschaft der Dinariden (*Dinarischer Karst*) trifft nur auf Karstgebiete zu, die durch Wechsel von wasserundurchlässigen und wasserundurchlässigen Sedimenten (z. B. der *Flysch* in den Dinariden) aufgebaut sind.^[2]

3.6 Karsthydrologie



Karstquelle der Loue

Der Karstformenschatz entwickelt sich allgemein durch Ausbildung eines speziellen Abflussregimes, das als unterirdisches karsthydrologisches System aufs Engste mit der geomorphologischen Entwicklung von Karstlandschaften verbunden ist. Die Art und Weise, wie sich Wasser unter den Bedingungen der Karsthydrologie verhält, führte in der Karstologie wissenschaftlich zu heftigen Debatten und unterschiedlichen Anschauungsrichtungen, zum einen die Schule des Karstgrundwassers und zum anderen die der unterirdischen Karstflüsse.^[2] Erst Alfred Grund (1903, 1914) und Jovan Cvijić (1893, 1960) gelang es durch Anschauung und Beobachtung der karsthydrologischen Prozesse in den Dinariden, die Karsthydrologie zu entschlüsseln, die bis heute, insbesondere durch die hydrogeologischen Ingenieurwissenschaften, die im Karst besonders schwierige und aufwändige Trinkwasserversorgung, den Hochwasserschutz und die Errichtung von Wasserbauingenieurbauten wie großen

Stauwehren und **Wasserkraftwerken**, einen Schwerpunkt der Karstforschung bildet. Die Untersuchung der Karstgebiete im Hinblick auf die dort auftretenden wasserwirtschaftlichen und kulturlandschaftsbezogenen Probleme hat zur Anwendung eigener hochentwickelter karsthydrologischer Untersuchungen geführt, in denen insbesondere **Tracer** und geologische Bomben zur Verfolgung des Karstwassers eingesetzt werden.

Zur Karsthydrologie zählen alle Formen des unterirdischen Karstformenschatzes sowie alle speziellen karsthydrologischen Formen, die im Speziellen durch Ponore, Estavellen, Karstquellen, Poljen, Trockentäler, Turloughs und Sickerflüsse im Karst auftreten. Von grundsätzlicher Bedeutung ist dabei die hydrologische Zonierung des karsthydrologischen Systems, wie sie erstmals von Grund und Cvijić als dreischichtiges System erkannt und mit einem Karstgrundwasserspiegel richtig beschrieben wurde.

4 Karsttypen und geologische Entwicklung von Karst

4.1 Klimageomorphologische Karsttypen



Tropischer Kegelkarst, *Chocolate Hills* auf der Insel Bohol, Philippinen



Subtropische Karstkegel (Humi, im Bild rechts) im Skutarisee in Montenegro

Klimageomorphologisch wird zwischen den Karstformen der *gemäßigten*, *subtropischen* und *tropischen* Regionen unterschieden. Da in den gemäßigten Breiten außerhalb der Hochgebirge meist mächtige Massenkalke fehlen und die geologische Evolution des Karstreliefs hier durch die Eiszeiten besonders stark beeinträchtigt wurde, haben



Tropischer Turmkarst (Fengcong) am *Li Jiang* in Guilin in Südwest-China

sich keine ausgeprägten reinen Karstlandschaften (zumeist Fluviokarst) gebildet. Diese werden geomorphologisch als *Merokarst* bezeichnet.

Tropische- und subtropische Karstlandschaften gehören dem voll entwickelten Karst, dem *Holokarst* an. Der Holokarst des **Mediterrans** unterscheidet sich grundsätzlich vom tropischen durch das überwiegende Fehlen sogenannter Vollformen, die durch *Kegel-* (*Mogotes*, *Cockpit*, *Honeycomb*) oder *Turmkarst* (*Fengcong* und *Fengling*) mit seinen steil aufragenden Bergkuppen in **Südostasien** und der **Karibik** verbreitet ist.^[3] Im mediterranen Raum ist durch die **pleistozäne Kaltzeit** die Bildung von Vollformen unterbrochen, die durch die vereinzelt, Hum genannten Karstkegel in den feuchteren und wärmeren Regionen des dinarischen Karstes (**Herzegowina**, **Montenegro**) bezeugt ist. Karst-Vollformen sind immer Ergebnis einer ununterbrochenen geologischen Entwicklung, die durch nur geringe klimatische Variation der Erdvergangenheit und der auch durch die artenreiche tropische Vegetation und mit der ständigen hohen Konzentration an **Huminsäuren** (die von Vegetation verstärkte **Bioerrosion** ist in temperaten Klimazonen nur im Mikrobereich wirksam, vor allem unter Moospolstern) weit intensivere **chemischen Lösung** von Kalkstein in Form von **Calciumhydrogencarbonat** möglich ist.

4.2 Entwicklung und Einteilung von Karsttypen

Karstlandschaften unterscheiden sich vor allem durch die Ausprägung der unterirdischen Karsthydrologie, die einen Großteil der oberflächlichen Karstformen erklärt. Ist die Karsthydrologie vollständig entwickelt, so erfolgt ein praktisch vertikaler Wasserabfluss, der sich besonders im Holokarst zeigt. Hier fungieren als Besonderheit Poljen als intermittierende horizontale hydrologische **Knoten** des karsthydrologischen Geschehens, in dem diese oft kurze periodische oder beständige Sickerflüsse haben, sowie saisonal überschwemmt werden können.

Ist ein karsthydrologisches System nicht vollständig ent-

wickelt, wird vom Mero- oder fälschlich Fluviokarst gesprochen. Fluviokarst kann in vielen Fällen auch ein voll entwickelter Karst sein, hier sind aber zusätzlich fluviale Formen, häufig als Großschuchten oder **Klämme**, vorhanden, die allochthon in anderen geologischen Formationen entspringen. Merokarst ist dann die Bezeichnung von Karstlandschaften, die nur einen Teil des Karstformenschatzes zeigen, in dem Großformen wie Uvalas, Poljen sowie tiefe Karstschlote und alle Vollformen fehlen.

4.2.1 Merokarst

Merokarst ist die nicht voll entwickelte Karstform der kühlgemäßigten Breiten, die von Mitteleuropa und Westeuropa bekannt ist. Typisch entwickelt sind Karren und Schlucklöcher sowie kleine und flache Dolinen. Da diese Karstlandschaften immer vegetationsbestanden sind, wird hier auch vom „Grünen Karst“ (Karst unter Humus oder **Sedimentschichten**) gesprochen.

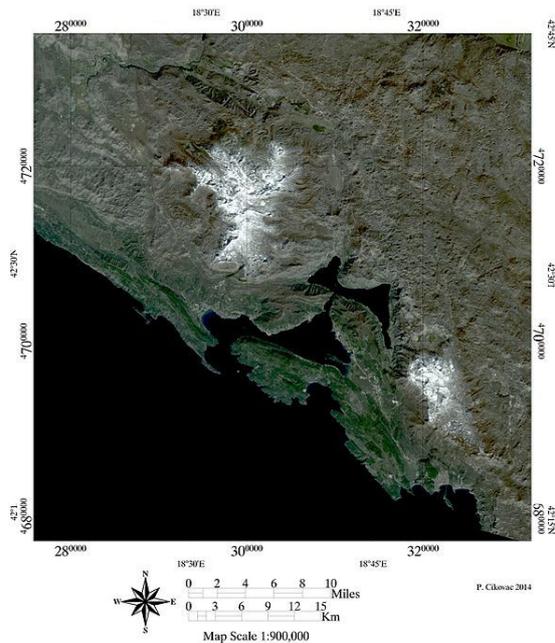
4.2.2 Holokarst

Als Holokarst wird der voll entwickelte Karst tropischer, subtropischer und Teile der in den gemäßigten Breiten liegenden Karstgebiete gesprochen.

Das karsthydrologische System ist im Holokarst voll entwickelt und alle Karstformen, insbesondere die großen Einebnungsflächen der Poljen, sowie in den Tropen die Vollformen der Karstkegel treten gehäuft auf. Das karsthydrologische System ist dabei nicht zwangsläufig nur unterirdisch und eine Wechselwirkung zwischen geomorphologischen Prozessen der Verkarstung und fluvialer Reliefdynamik, so insbesondere im Süd-Chinesischen Karstgebiet von **Guilin**, können kennzeichnend sein. Für den Holokarst der Subtropen ist zudem die Interferenz zu den pleistozänen Prozessen von Bedeutung. Durch eisenzeitliche Abkühlung und vermehrte glaziale, fluvioglaziale und periglaziale Prozesse sind insbesondere Karsthochgebirge sowie an deren Gebirgsfuß liegende Poljen durch die Dynamik von fluvioglazialen- und teilweise auch glazialen Ablagerungen umgestaltet. Dies trifft insbesondere für alle Karstgebirge des Mediterrans zu.

Zum Holokarst zählen die Karstlandschaften des *Dinarischen Karstes*, *Kegelkarstes* und *Turmkarstes*.

Dinarischer Karst Dinarischer Karst oder „Dolinenkarst“ ist Typform des mediterranen Karstes, der durch Dolinen-Reichtum, Großpoljen und oberflächliche Wasserarmut gekennzeichnet ist. Er ist im mediterranen Becken verbreitet. Übergänge des Typs des Dinarischen Karstes erfolgen bei hohen Niederschlägen (per-humides Klima) zum Polygonalen Karst und bei hohen Niederschlägen und gleichzeitig hohen Temperaturen (subtropisch (per)-humid) zum Cockpit-Karst. Alle Hochgebirge des Dinarischen Karstes haben insbe-



An der montenegrinischen Küste ist das überflutete Karst-Trochental der Bucht von Kotor über 1000 m in die Hochkarstzone eingeschnitten. Im Orjen-Gebirge ist trotz des Extremkarstes eine Wolkenwaldstufe mit dichten Tannen-Buchenwäldern sowie subalpinen Schlangenhaut-Kiefernwäldern auf Standorten des Glazialkarstes ausgebildet. Selbst das vereinzelt Auftreten des an die Wasserversorgung anspruchsvollen Griechischem Ahorns wird in glazialen Karen durch Schneeretention ermöglicht

sondere Mindelzeitlich eine starke Vergletscherung erfahren. Die Schneegrenze sank hier auf unter 1200 m und geomorphologische Formen des Glazialkarstes, sowie glaziale- und galziofluviale Sedimente nehmen große Bereiche ein.

Polygonaler Karst An den Stellen, wo sehr viele Dolinen auf sehr engem Raum auftreten, und zum Teil nur schmale Rücken dazwischen stehen bleiben, spricht man von polygonalem Karst, die Durchmesser bis zu 400 m erreichen. Diese Form ist in Neuguinea, Neuseeland und den littoralen Dinariden verbreitet.

Cockpit-Karst Cockpit-Karst leitet sich von einer Landschaft Jamaikas ab, die *Cockpit country* heißt. Das Cockpit-Country war eine der ersten bekannt gewordenen Karstlandschaften der Tropen.

Das eigentliche Cockpit-Country ist eine unzugängliche, wie mit Pockennarben übersäte Landschaft, das aus sehr steilen, zum Teil bis 120 m tiefen Vertiefungen, den so genannten Cockpits, und diese trennende Hügel und Grate aufgebaut ist. Cockpits finden sich in allen Karstregionen, die über sehr hohe Niederschläge verfügen, haben aber regional unterschiedliche Namen: Jamaica *Cockpit*, Neuguinea *Polygonaler Karst*, Dinarische Region *Boginjavi krš*.

Der Boden der Cockpits ist meist flach und kann von eingeschwemmten Sedimenten bedeckt sein. Im Unterschied zur Doline ist der Boden deutlich ausgeweitet und die Hänge sind nicht trichterförmig (nach innen konkav), sondern bestehen aus mehreren zum Inneren des Cockpits konvex vorgewölbten Segmenten. Deshalb ist der Boden der Cockpits auch nicht rund, sondern sternförmig.



Pinnacle Karst, Shinlin Süd-China

Pinnacle Karst Zuerst als Karstform des südchinesischen Karstes beschrieben, ist der Pinnacle Karst eine Form der Großkarrenbildung tropischer Klimate.

Kegelkarst Kegelkarst ist Typform des volltropischen Karstes, der durch Cockpits, **Mogoten** und Poljen und ohne starke fluviale Erosionsbasis entsteht. Verbreitung: Kuba, Jamaica, Indonesien, Philippinen.

Turmkarst Turmkarst ist Typform des randtropisch-subtropischen und tropischen Karstes der mit Turmwald (*peak forest*, chin. *fengling*) und Turmcluster (*peak cluster*, chin. *fengcong*) durch aktive und starke fluviale Erosion entsteht und häufig in Verbindung zu wasserreichen Flüssen oder der Küste steht. Dieser Typ ist in Südwest-China, Vietnam, Indonesien, Malaysia und Thailand verbreitet.

4.2.3 Glaziokarst

Als Glaziokarst oder Alpiner Karst werden rezent aktive Karstlandschaften der Hochgebirge bezeichnet, die während der Eiszeiten vergletschert waren und reliktsch alpine Glazialformen aufweisen, jedoch meist keine rezente fluviale Dynamik mehr zeigen. Charakteristische Formen im Glaziokarst sind Karst-Hochplateaus, steile Karschwellen und Kartreppen, Schichttreppen und Rundhöcker, die durch glaziale Abrasion von Karstgebirgen gekennzeichnet sind und auf denen es nur langsam zu Bodenbildung kommt. Die rezente Verkarstung der ehemals vergletscherten Gebiete ist daher meist sehr



Glazial umgestaltetes Trochental mit Grund-, Seiten- und Endmoräne sowie Erratische Blöcke, Orjen

jungem Datums und von geringer meist oberflächlicher Entwicklung, jedoch fehlen in den meisten der zum Glaziokarst gehörenden Gebirge üblicherweise Quellen und zumeist auch die sonst üblichen Karseen, da auch hier die unterirdische Karsthydrologie rasch nach dem Abschmelzen der Gletscher überwiegt. Dolinen sind klein und flach, Höhlen können aber schon während glazialer Phasen durch Schmelzwasser der Gletscher teilweise auch direkt unter den Gletscheroberfläche entstanden sein. Das präglaziale Relief spielte für die Bildung von Gletschern zum Teil eine entscheidende Rolle und ein besonderer Gletscher-Typus wird auch nach seiner geomorphologischen Begünstigung als **Karstgletscher** bezeichnet. Glaziokarst findet sich insbesondere in den Hochplateaus der Nördlichen Kalkalpen (z. B. Zugspitzplatt, Leutascher Platt, Koblat, Hoher Ifen, Reiteralpe, Steinernes Meer, Lattengebirge, Untersberg) und in einigen Hochgebirgen der Dinariden sowie weiteren eiszeitlich vergletscherten mediterranen Gebirgen. Die Umbildung von Karstformen zu glazialen Formen ist meist gut zu erkennen und zeigt überdies auch einen anderen glazialen Formenschatz, da die Karbbildung in Karstgebirgen andere morphologische Vorbedingungen nutzte und insbesondere Karst-Hochplateaus als reliktsch Tertiäre Landschaftsformen die Vereisungen modifiziert überstehen konnten. Ehemalige *Karsttöler* (Uvalas) sind meist als modifizierte Kare durch glaziale Ablagerungen gefüllt und durch fluvioglaziale Erosionsformen in Form enger

Klammern (z. B. **Partnachklamm** und **Reintal**) auch meist offene Formen.

4.2.4 Sulfat- und Salzkarst

Auch in Sulfatgesteinen (Anhydrit und Gips) und Salzen, insbesondere Steinsalz, treten Karsterscheinungen auf. Eine der weltweit wertvollsten Sulfatkarstlandschaften befindet sich im Südhaz im Dreiländereck Sachsen-Anhalt, Thüringen und Niedersachsen. Dazu gehört auch der **Kohnstein**, in dessen Stollen die Nationalsozialisten das **Mittelwerk** als Rüstungsbetrieb einrichteten. Eine Gipskarstfläche bei **Sorbas (Spanien)** ist als Naturpark ausgewiesen (*Karst en Yesos de Sorbas*). Bekannte Salzkarstflächen befinden sich in Israel und Spanien.

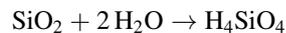
Karstbildungen in den letzten Jahren führten wiederholt zu Bodeneinstürzen in Tirol, sodass per Gipskarstverordnung von 2011 vor der Errichtung von Bauten bestimmten Gebieten Tirols Bodenprobebohrungen angeordnet wurden und der Österreichische Landesgeologentag 2011 in Innsbruck statt Versickerung von Regenwasser etwa von Dachflächen die Ableitung in Gewässer empfiehlt.^[4] Zuletzt ist am 12. August 2013 bei **Reutte** ein Loch in einer Wiese eingebrochen, mit 7 m Durchmesser und tiefer als bis zum 7 m tief liegenden Grundwasserspiegel, daher vermutlich durch eine Gipsauswaschung ausgelöst.^[5]

4.2.5 Sandsteinkarst / SiO₂-Karst

Sandsteine und Quarzite unterliegen bei geeigneten klimatischen Voraussetzungen ebenfalls der Verkarstung, wobei diese Vorgänge und die resultierenden Formensätze oft nur weniger auffällig erkennbar sind, da sie langsam und mit geringen Lösungsraten einhergehen.^[6] Neben mittelamerikanischen Vorkommen dieser Verkarstungsart sind vor allem südafrikanische Quarzitkarsthöhlen, der zum UNESCO-Welterbe zählende **Purnululu-Nationalpark** Australiens, die **Quarzit-Tafelberglandschaft** (präkambrische **Roraima-Supergruppe**) des Roraima-Gebietes im **Guayana-Schild** von Zentral-Venezuela oder das zentralafrikanische **Ennedi-Massiv** dafür bekannt.^{[7][8]} In der Terminologie der Geographen, Geologen und Speläologen sind dies synonyme Begriffe für solche Landschaften und Felsgebiete, die durch weitgehend unterirdische Entwässerung, eigentümliche Oberflächenformen und Höhlenbildungen charakterisiert sind. Ähnlich wie beim (klassischen) Kalk(-stein)-Karst, beim seltenen Gips-Karst und beim besonders schnell voranschreitenden Salz-Karst unterliegen auch (Quarz-) Sandsteine und Quarzite einer für die sonstigen Gesteine untypischen Auflösung. In engeren Grenzen gilt das auch für andere, stark quarzhaltige Gesteine (z. B. Granite). Diese Auflösungs Vorgänge werden als Korrosion bezeichnet, es gehen die namensgebenden Minerale (Kalkspat / Kalzit; Gips mit seiner Vorstufe Anhydrit, Kochsalz / Steinsalz; Quarz, Opal, bedingt auch Silikate) in wässrige Lösungen über. Ein

Kennzeichen der Karst schaffenden Korrosion ist es, dass die beteiligten Minerale auch reversibel wieder in fester Form als Sinterbildungen (Speleotheme) ausgeschieden werden können. Sie sind im Kalkkarst besonders auffällig (Tropfsteinhöhlen, Sinterterrassen), Gips-Tropfsteine und Quarz-Opal-Sinter zählen zu den seltenen und meist unauffälligen Sinterbildungen in derartigen (Gips- oder Sandstein-) Höhlen. Sie alle sind geeignete Belege für die vorangegangene Korrosion. Es handelt sich also nicht um das mechanische Abtragen von Gestein durch die Erosion, bei der kein Ausscheiden von Sintern stattfinden kann.

Sandsteine mit ihrer hohen Porosität weisen gegenüber den nur auf Klufflächen verkarstenden und in Auflösung befindlichen Kalksteinen einen deutlichen Unterschied auf. Während die in ihrem Inneren kaum wasserdurchlässigen Kalksteinkörper im Wesentlichen nur längs ihrer Begrenzungsflächen (Klüfte, Schichtgrenzen) wassergängig sind und von diesen ausgehend Lösungsformen zeigen, geht beim Sandsteinkarst die sogenannte Innere Verkarstung vor sich. Dies bedeutet, dass im gesamten Volumen zwischen den Sandsteinkörnern Wasser zirkulieren kann. Dadurch kommt es zum sehr langsamen Auflösen des Bindemittels zwischen den (Quarz-)Sandkörnern und auch zu einem mehr oder weniger vollständigen Auflösen der Sandkörner selbst. Die Vorgänge lassen sich mit der folgenden Formel beschreiben:



Ihrerseits nicht verkarstende, weil wasserundurchlässige Schichten (tonige Zwischenlagen) stauen die im gesamten Sandsteinvolumen zirkulierenden Wässer und konzentrieren die Quarzauflösung auf bestimmte Bereiche. Als Folge entstehen Schichtfugenhöhlen. Die in tiefen Horizonten verkarstenden Sandsteinbereiche lassen darüberliegende (hangende), mächtige Felspakete in Bewegung geraten und sind die genetische Ursache von „tektonischen“ Klufthöhlen. Im Sandsteinkarst sind lockere Sande die Rückstände der Auflösung, das entspricht den Lehmen beim Verkarsten unreiner Kalksteine.

Weil die Auslösungsgeschwindigkeiten von Steinsalz über Gips und Kalksteine hin zu Sandsteinen und Quarziten jeweils in Zehnerpotenzen abnehmen, sind die geologischen Vorgänge der Verkarstung dieser letztgenannten Gesteine zwar in ihren Ergebnissen (Wasserarmut der Oberflächen, Turmkarst, Sandsteinkarren, Kamenitsas (Felskessel), korrosive Schichtfugen- und Klufthöhlen, Karstquellen, warzenförmige Sinterbildungen) auffällig, aber das sehr langsame Voranschreiten der Verkarstung bleibt dem flüchtig Beobachtenden oft verborgen. Das war auch Anlass, weshalb in einigen Ländern (mitunter sogar fälschlich für sämtliche Höhlen außerhalb des Kalkkarstes) von „Pseudokarst“ gesprochen wurde, was sich aber sehr bald als ein unbrauchbarer und undifferenzierender Fachausdruck erwies.

Den SiO₂-Karst (Sandsteinkarst, Quarzitkarst) gibt es in

mehreren Klimazonen. Als Beispiele gelten die bis 350 m tiefen Höhlen von Simas de Sarisariñama / Venezuela, die Gebiete Eisernes Viereck und Chapada Diamantina in Brasilien, wo sich die 1,6 km lange Sandsteinhöhle Gruta do Lapão befindet. Markante Sandsteinhöhlen finden sich verbreitet auch in der Republik Südafrika, aber auch in Australien und der Sahara.

Siehe auch: *Liste der Karstlandschaften*

5 Geomorphologie der Karstformen



Kluft- und Spitzkarren am Premužić-Pfad, (Nationalpark Nördlicher Velebit)

5.1 Oberirdischer Karstformenschatz

Die typischen oberflächlichen Merkmale einer klassischen Karstlandschaft sind Karren, Dolinen, Schlunde, Cenote, Uvalas, Poljen.

- **Karre:** Karren bilden sich an der Oberfläche von Kalksteinen. Es können Rinnen im Millimeter- bis Zentimeter-, Rillen im Zentimeter- bis Dezimeter- oder sogar Formen der Megakarren im Meterbereich gebildet werden. Karren sind in sehr unterschiedlichen Formen anzutreffen und Klassifikationen unterteilen diese nicht nur nach Form und Inklination des Felsens, sondern vor allem dem Bildungs-ort.
- **Doline:** Dolinen sind regelmäßige zumeist flache, geschlossene Eintiefungen von überwiegend ovaler Form im Meter bis Dekametermaßstab, seltener als Megadoline auch deutlich größer ausfallend. Überwiegend als oberflächliche Lösungsform dem Typ der *Lösungsdoline* (Doline im eigentlichen Sinne) zugehörend, kommen vereinzelt auch *Einsturzdolinen* (unechte Dolinen, Einsturztrichter und Erd-

fälle) vor, die auch mehrere hundert Meter Tiefe erreichen und übersteilte Seiten haben.

- **Schlund** (Schlundloch): eine schachtartige, tiefreichende, meist kreisrunde Röhre von einigen Metern Durchmesser. Er entsteht durch Auflösung des Kalks entlang von **Klüften** und Gesteinsfugen und wird durch späteres Fließen des Wassers versteilt. In der Tiefe bilden sich größere Hohlräume und Verbindungen zum unterirdischen Gewässernetz.
- **Uvala:** Eine Uvala ist eine größere geschlossene Depression von Dekameter bis Hektometer Tiefe sowie Hektometer bis Kilometer Größe und unregelmäßiger Form. Der Grund ist häufig durch einen flachen und etwas unebenen Boden, der mit eluvialen, dünnen Sedimenten im Dezimeter Maßstab bedeckt ist, gekennzeichnet. Eine Uvala entsteht durch Zusammenfallen mehrerer Dolinen.
- **Polje:** Ein Polje ist eine tiefe große Depression im Kilometermaßstab, die durch einen ebenen Grund und mächtige akkumulierter Sedimente geprägt ist. Ein Polje bildet sich an tektonischen Strukturen durch seitliche Korrosion. Die Sedimente der Bodendecke behindern dabei gleichzeitig eine weitere vertikale Eintiefung. Karstpoljen haben eine besondere Stellung im Karsthydrologischen System, in dem sie hier hydrologische Knoten bilden. Im dinarischen Raum wie in benachbarten mediterranen Regionen existieren Poljen, die je nach Stellung im Karsthydrologischen System permanent, periodisch oder episodisch überflutet werden. Neben Ponoren können in einem Polje sowohl Estavellen als auch permanente Karstquellen und Karstflüsse existieren.
- **Hum:** Ein Hum ist in den Subtropen ein isolierter Hügel, der in einem Polje steht. Synonym ist der tropisch verbreitete Mogote (veraltet deutsch *Karstinselberg*).
- **Mogote:** Tropischer Karstkegel. Ursprüngliche Bezeichnung von Karstkegeln in Kuba, wird der Begriff heute für alle tropischen Karstkegel genutzt.

5.1.1 Karsthydrologischer Formenschatz

Zu den Karsthydrologischen Formen zählen **Trockentäler**, **Ponore** (Schluckloch, Schwinde) und **Schlunde**, **Estavellen**, **Karstquellen**, **Sickerflüsse** und **Höhlen**.

Für Karstlandschaften typische Flussformen sind die **Pornica** (Versickerung), das **Trockental**, der **Canyon** und die **Klamm**.

5.1.2 Karstebenen und -plateaus

Landschaftsprägende Karstebenen und -plateaus finden sich teils als stufenförmig angeordnet Poljentreppe wie im



Lapias de Loulle im Jura

mitteldalmatisch-herzegowinischen Gebiet, als Karstbecken wie in Griechenland in der Stymfalia oder als Karstplateau der „Lapias de Loulle“ im französischen Jura oder im Causse in Südfrankreich oder im Burren in Irland, in allen Karstgebieten der Erde.

5.2 Unterirdischer Karstformenschatz

Zum unterirdischen Karstformenschatz gehören die Höhle und ihre Speläotheme, also der durch Ausfällen von Kalk entstandene Höhlenschmuck, der vor allem durch Formen der Tropfsteine (Stalaktiten, Stalagmiten, Stalagnaten) und Sinterbecken gekennzeichnet ist.

5.3 Internationale Fachtermini für Karstformen

Obwohl die Geowissenschaften eine Fachterminologie entwickelt haben und auf einheitliche, oder konsistente Bezeichnungen Einfluss nehmen, sind die Namen je nach Kultursprache und Geographie recht unterschiedlich. Der international genutzte Begriff der Doline für geomorphologische Formen des Karstes stammt zwar aus dem Slowenischen, Kroatischen und Serbischen, wird in den Ursprungsländern aber nicht für die Karstform genutzt, sondern steht hier allgemein für ein Flusstal. Als genauere Bezeichnung wurde hier versucht, den Zusatz *Karst-Doline* einzuführen, ebenso wie für den Begriff des Poljes *Karst-Polje*, da dieser Begriff übersetzt nur allgemein ein Feld bezeichnet. Synonymie von Begriffen ist damit eines der Probleme der Fachsprache und hat schon seit den 1970ern zu umfangreichen Werken geführt, die sich nur mit dem Karst-Glossar beschäftigen.^{[9][10]}

6 Quantifizierung des Kalkabtrages

Der Kalkabtrag beschreibt die Oberflächenerniedrigung pro Zeiteinheit (z. B. mm/Jahr; $\mu\text{m}/\text{Jahr}$; $\text{cm} / 10.000\text{Jahren}$) und kann mit verschiedenen Methoden gemessen werden. Eine Methode, die in den früheren Forschungsperioden der 1950er und 1960er Jahre (z. B. Bögli 1951,^[11] Bögli 1960,^[12] Bauer 1964^[13]) Anwendung fand, ist die morphometrische Messung in Karsthohlformen (z. B. Bestimmung der Tiefe von Karren oder Karrenfußnäpfen). Hierbei wird in ehemals im Pleistozän vergletscherten Gebieten der Kalkabtrag auf die letzten 10.000 Jahre nach der völligen Eisfreiwerdung bezogen. Es wird davon ausgegangen, dass der oberirdische, präglaziale Karstformenschatz (z. B. Interglaziale) durch glaziale Erosionsprozesse bereits abgetragen worden ist. Der morphometrisch ermittelte Abtragswert wird deshalb als postglazialer Kalkabtrag ($\text{cm} / 10.000\text{Jahre}$) bezeichnet.

Beispiele für morphometrisch ermittelte Karstabträge in den Nördlichen Kalkalpen:

Am häufigsten kommt jedoch bis heute die indirekte Bestimmung des Kalkabtrags (z. B. mm/Jahr) über den Carbonatgehalt ($\text{CaCO}_3 \text{ mg/l}$) in Karstwässern (z. B. Fließgewässer, Quellen) zum Einsatz. Hiermit lässt sich dann aus der gelösten Carbonat- bzw. Kalkmenge ein Oberflächenabtrag berechnen. Möchte man in einem Karstgebiet auch verschiedene Einflussfaktoren (z. B. Schichtneigung, Kleinrelief, Vegetations- und Bodenbedeckung) mit berücksichtigen, dann hat sich die chemische Analyse von Ablaufwässern (Regen- und Schneeschmelzwasser) von Felsoberflächen, aus Schuttkörpern und Bodenaufgaben bewährt (Hüttl, 1999). Somit kann man innerhalb kleiner Raumausschnitte, sog. Karstökotope, eine detaillierte Gebietsquantifizierung durchführen oder auch für ein Gebirgskarstrelief (z. B. Glazioskarp in den Nördlichen Kalkalpen) für jede Höhenstufe einen mittleren Kalkabtrag aus zahlreichen Einzelmessungen ermitteln.

Beispiele für mittlere Kalkabträge durch Lösung auf dem Zugspitzplatt in Abhängigkeit von der Höhenstufe (nach Hüttl, 1999)

7 Karst und Umwelt

7.1 Mensch und Karst

Durch Wasserarmut und das (im außertropischen Bereich) Fehlen von tiefgründigen großflächigen Ackerböden gehören viele Karstgebiete zur Subökumene. Traditionell ist im mediterranen Karst eine extensive Bewirtschaftung kleiner fruchtbarer Dolinenböden und gegebenenfalls in intensiver Form in Poljen möglich, was durch den Maisanbau erst neuzeitig zu agrarökonomischer Veränderung geführt hat.



Endemische Karstfauna. Bockkäfer, Sandotter und Mosoreidechse

Fernweidewirtschaft und Nomadismus waren bis dahin an die spezielle Naturraumausrüstung auch die jahrhundertlang angepasste Form der Naturraumnutzung im mediterranen Holokarst. Tropische Karstregionen bieten demgegenüber oft ertragreiche und großflächigere Ackerflächen für den Reisanbau und kennen keine Beweidung von Karsthochflächen.

Da insbesondere die Karstlandschaften des klassischen dinarischen Karstes durch die ökologischen Grundvoraussetzungen wie häufige winterliche Orkanstürme teilweise völlig vegetationslos sind, wird hier auch vom: „Nackten Karst“ (Karst ohne Humusdecke und vegetationslos) gesprochen. Die Wald- und Vegetationslosigkeit des Dinarischen Karstes erfolgt aber nicht primär durch die Verkarstung, sondern ist insbesondere durch die Bora-Winde indiziert.

Eine völlig andere Nutzung von Karstformationen ist der Abbau geeigneter Kalksteine darin. Die bekanntesten Regionen sind die Karstgebiete bei Triest und den angrenzenden slowenischen Landesteilen sowie das südlich davon gelegene Istrien. Auf Grund ihrer hervorragenden Eigenschaften haben diese Kalksteine eine überregionale Bedeutung erlangt. Obwohl sie unter vielen Eigennamen seit der römischen Epoche gehandelt werden, sind sie seit dem 19. Jahrhundert allgemein auch als Karstmarmor bezeichnet worden.

7.1.1 Fernweidewirtschaft als differenzierte Raumausnutzung im Karst

Als klassische europäische Region der Fernweidewirtschaft gelten die mediterranen Karstregionen. Die natürlichen Gegebenheiten ausnützend, prägte das auf Viehzucht bezogene kulturelle Verhalten soziale und kulturelle Entwicklung. Ein Nebeneinander, zum Teil in unmittelbarer Nachbarschaft, und enge Verflechtung der ver-

schiedenen weidewirtschaftlichen Formen hat eine differenzierte Raumausnutzung geschaffen, die auch auf ethnischen Besonderheiten fußte. In Regionen, deren Agrarwirtschaft aufgrund der Naturraumausrüstung für kaum eine andere Wirtschaftsform geeignet scheint, konnte sich diese Lebensform bis heute halten.

In den extremsten Regionen des Dinarischen Karst sind durch die Wasserarmut des Holokarstes nur kleinräumige Wanderungsbewegungen möglich. Die traditionelle Wirtschaftsform ist in Westmontenegro daher die *Kolibawirtschaft*.^[17]

7.1.2 Wasser und Besiedlung

Im Hinblick auf die Mensch-Umweltbeziehungen ist die Karsthydrologie ein besonders anschauliches Beispiel für die engen Wechselbeziehungen. Die besondere geologische Situation macht die Wasserversorgung für Siedlungen häufig sehr schwer. Hier mussten tiefe Brunnen gegraben werden, Dolinen genutzt oder auf Regenwasser und Zisternen zurückgegriffen werden. Andererseits beeinflussen sich Travertinbildungen und Besiedlung gegenseitig: Kalktuffterrassen bieten gute Siedlungsplätze und Mühlenstandorte. Starke Landnutzung und die damit verbundenen Eingriffe in die Gewässer unterbinden hingegen eine Kalkausfällung.^[18]

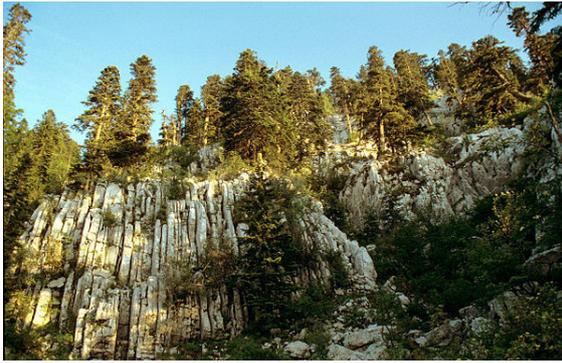
7.2 Biogeographie

7.2.1 Vegetation im Karst



Lithophyten auf Karstfelsen (Dalmatinische Schwertlilie *Iris pallida* ssp. *pseudopallida*) mit *Petteria ramentacea* am Naturstandort im Hochkarst Montenegros

Die Kalksteine im Karst liefern allgemein basengesättigte flache kalkhaltige Böden (hoher Boden-pH), die kalkstete Arten fördern. Ökologisch sind Kalkstandorte überwiegend trocken und haben hohe Sonneneinstrahlung. Physiologische Anpassung an Karststandorte können im Extremfall bis zu Lithophytie (z. B.



Nadelwälder wie der Karst-Blockhalden-Tannenwald finden sich in allen mediterranen Karstgebirgen

Iris pallida) und Poikilohydrie (z. B. Milzfarn (*Asplenium ceterach*), Ramonda (*Ramonda serbica*) oder Winter-Bohnenkraut (*Satureja montana*)) reichen. Anpassungen an die Trockenheit erfolgen aber überwiegend physiognomisch durch Überdauerungsorgane wie Zwiebel und Rhizom; Blattreduktion und -xeromorphie (z. B. Sklerophyllie und Mikromerie) und Sukkulenz (z. B. Flaschenbäume, Blattsukkulente). Je nach floristischer Region sind in den einzelnen Karstregionen insbesondere Lamiaceen, Iridaceen, Agavengewächse und Koniferen artenreich vertreten.

Typische Pflanzenarten und Vegetationsformationen der Karstregionen sind:

Mediterrane Region *Dinariden*: *Iris pallida*, Schlangenhaut-Kiefer, *Petteria ramentacea*, *Amphoricarpos neumayerii*, Felsenmoltkie *Moltkia petraea*, Dinarischer Karst-Blockhalden-Tannenwald

Taurusgebirge: *Abies cilicica*, Libanon-Zeder *Cedrus libani*

Rif-Atlas: Spanische Tanne *Abies pinsapo* var. *marocana*, *Cedrus atlantica*

Pindos: *Abies cephalonica*, *Viola chelmea*

Karibische Region *Mogoten* (Kuba): *Gaussia princeps* (endemische Palme mit Stammsukkulenz), *Ekmanianthe actinophylla* (Kubanisch „roble caimán“), *Bursera schafferi*, *Agave tubulata*, *Microcycas calocoma*.^[19] Der im Nationalpark Vinales auf Kuba sein Verbreitungszentrum besitzende Zwergpalmfarn *Microcycas calocoma* gilt als lebendes Fossil und hat unter alle Pflanzenarten die größte Eizelle.

Ein besonderes Rätsel der europäischen Flora ist zudem der *Calcareous riddle*, da fast ein Drittel aller Pflanzenarten in Mitteleuropa als kalkliebend gilt und auffallend viele Pflanzen der höheren Breiten auf Kalkstandorte spezialisiert sind.^[20]



Ein lebendes Fossil unter den Palmfarmen ist die in den Mogotenlandschaften Kubas wachsende *Microcycas calocoma*

7.2.2 Fauna

Einen wesentlichen Stellenwert innerhalb der faunistischen Biogeographie von Karstlandschaften bilden unter anderen die herpetologische- wie die Höhlen-Fauna. So liegt das artenreichste Diversitätszentrum der europäischen endemischen Herpetofauna in einem kleinen Winkel im Hochkarst der Südost-Dinariden Montenegros und Teilen Nord-Albaniens (in der Biogeographie als „Adriatic Triangle“ bezeichnet).^[21] 2007 wurde aus Karstgebirgen in diesem Gebiet die Prokletije-Felseidechse (*Dinarolacerta montenegrina*) als altertümliche, felsspaltenbesiedelnde, kälteangepasste Hochgebirgseidechse neu beschrieben, deren Entwicklungslinie zumindest 5 Millionen Jahre vor heute zurück reicht.^{[22][23]}

Deckungsgleich mit dem Südost-Dinarischen Zentrum der Reptiliendiversität Europas ist der Artenreichtum an Pseudoskorpionen (*Arachnida*) für die im montenegrinisch-herzegowinischen Hochkarst von Božidar Čurčić 200 Arten angegeben werden.^[24] Die Region ist damit ein globales Zentrum tertiärer humikoler und hygrophiler Pseudoskorpione, unter denen ein wesentlicher Teil der ehemaligen tropischen Fauna im Tertiär entstammt. Damit waren deren eigentliche Vorfahren einstmals thermophile Bewohner der Bodenfauna, die sich erst während der klimatischen Veränderungen in den Eiszeiten an ein unterirdisches Leben in Höhlen anpassten. Die balkanischen Pseudoskorpione gelten als

die ältesten landlebenden Tiere Europas und übertreffen an Zahl von tertiären Reliktarten die Karst-Regionen Südost-Asiens und Nord-Amerikas.^[25]

Bekannte Karst-Bewohner sind noch höhlenbewohnende Salamander-Arten unter denen der *Grottenolm* (*Proteus anguinus*) aus den unterirdischen Flusssystemen der Pivka und Reka in Slowenien bekannt geworden ist. Nicht aquatisch lebende höhlenbewohnende Salamander-Arten sind zahlreiche endemische Arten der Gattung *Eurycea* und *Speleomantes*.

8 Geschichte der wissenschaftlichen Karstforschung

Siehe auch: Karstologie

Geomorphologische und hydrologische Phänomene machten die Dinariden zum klassischen Untersuchungsgebiet der Karstforschung, die durch die in den österreichischen Karstregionen im Triester Karst im Rahmen allgemeiner geologischer Aufnahmearbeiten der *k.k. geologischen Reichsanstalt* durch Guido Stache ihre Anfänge in der phänomenologischen und geologischen Beschreibung nahmen. Staches erste Publikation dazu stammt aus dem Jahr 1864, doch erst durch die unter Albrecht Penck in Wien initiierte Etablierung eines Lehrstuhls für Geomorphologie wird die Karstforschung zu einem eigenen Wissenszweig, an dem zahlreiche Geologen und Geographen der *K.u.K.-Monarchie* Interesse zeigen.

Pencks Schüler Jovan Cvijić erarbeitete 1893 ein Standardwerk der Karstgeomorphologie, dessen Tragweite bis heute andauert. Diese ersten grundsätzlich rein deskriptiven Arbeiten stellten schon bald generelle Fragen nach der Art der Karsthydrologie und der zeitlichen Genese und Entwicklung von Karstformen, die als erstes von Penck und William Morris Davis (1901) auf einer gemeinsamen Exkursion in Bosnien gewonnen wurden. Zum Problem der Karsthydrographie gab es bald zwei Lager, die mit Penck und Alfred Grund die Theorie eines Karstgrundwassers und aus dem Lager der Geologen und Speläologen unter Führung von Friedrich Katzer (1909) eine Theorie der Karstflüsse vertreten.

Mit der von Jiří Daneš (1910) beginnenden Erforschung tropischer Karstregionen, die 1936 von Herbert Lehmann weitergeführt und systematisiert wird, ergeben sich in der Karstforschung schnell Theorien die klimageomorphologische Ursachen für die Unterschiede der Geomorphologie verantwortlich machen, aber nie die Cvijiće Grundidee der alleinigen Dominanz der Lösungsprozesse in Zweifel ziehen, was seit Sweeting jedoch nicht mehr gültige wissenschaftliche Anschauung ist.

Unter den Schülern der Cvijićen Geomorphologischen Schule war insbesondere Josip Roglić (1906–1987) der

talentierteste, der Themen um Poljen-Genese und Typisierung, Verbreitung von Karsttypen, Karst und Mensch, Karst und Quartärgeologie, sowie Vegetation und Karst insbesondere an Fragestellungen in den Dinariden vertiefte und neue Forschungsinhalte fand.^[26]

9 Beispiele

- Jama (Schacht), Orjen
- Morphologie im Glaziokarst, glazial umgestaltete Trockentäler und verkarstete Kare, Orjen
- Schichttreppen als typische Karrenformen des Glaziokarstes, Orjen
- Klufthkarren, Velebit
- Luftbild der Poljen von Grahovo und Dragalj, Montenegro
- Dragalj Polje, Montenegro
- Karrenfeld am Gottesackerplateau (Allgäuer Alpen) – Blick vom Gipfel des Hohen Ifen
- Karrenfeld in den Dolomiten
- Karrenfeld in der Schratzenfluh
- Phong Nha-Ke Bang, Vietnam
- Hochgebirgs-Karstfluren im Toten Gebirge, Oberösterreichische Kalkalpen
- Verkarsteter Dachsteinkalk am Kehlstein, Berchtesgadener Alpen
- Burren-Panorama
- Aufgeschlossenes Karbonatgestein (ohne Evaporite), Ca. 20 % der eisfreien Landfläche

10 Einzelnachweise

- [1] Jovan Cvijić: *La Géographie des Terrains Calcaires*. Monographie der Serbischen Akademie der Wissenschaften und Künste, v. 341, no. 26, 212 p. Belgrad 1960.
- [2] Jovan Cvijić: *Hydrographie Souterraine et Évolution Morphologique du Karst*. Recueil des travaux de l'Institut de Géogr. Alpine, Grenoble 1918.
- [3] H. Lehmann: *Der Tropische Kegel-Karst auf den Grossen Antillen*. In: *Erdkunde*. 8, 2, 1954, S. 130.
- [4] Plötzliche Löcher als Gefahr für Siedlungen, ORF.at 30. Juni 2011, abgerufen am 13. August 2013
- [5] Spontanes großes Erdloch bei Reutte, ORF.at vom 13. August 2013

- [6] Radim Kettner: *Allgemeine Geologie. Bd. 2.* Berlin (Deutscher Verlag der Wissenschaften) 1959, S. 292–293.
- [7] UNESCO: *World Heritage Scanned Nomination: Purnululu National Park.* (PDF; 4,6 MB) S. 8–12. (englisch)
- [8] Lukáš Vlček, Branislav Šmída, Charles Brewer-Carías u. a.: *The new results from International Speleological Expedition Tepuy 2009 to Chimantá and Roraima Table Mountains (Guyana Highlands, Venezuela).* (PDF; 696 kB) In: *Aragonit.* Jg. 14 (2009), Heft 1. (Haupttext slowakisch, Summary in englisch/ zahlreiche Abbildungen)
- [9] Glossary and multilingual equivalents of karst terms. (PDF)
- [10] <http://www.speleogenesis.info/glossary/index.php>
- [11] A. Bögli: *Probleme der Karrenbildung.* In: *Geographica Helvetica.* Band: 6, 1951, S. 191–204.
- [12] A. Bögli: *Kalklösung und Karrenbildung.* In: *Zeitschrift für Geomorphologie.* Supplement Band: 2, 1960, S. 4–21.
- [13] F. Bauer: *Kalkabtragungsmessungen in den österreichischen Kalkhochalpen.* In: *Erdkunde.* Band: 18, 1964, S. 95–102.
- [14] C. Hüttl: *Steuerungsfaktoren und Quantifizierung der chemischen Verwitterung auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge, Deutschland).* In: *Münchner Geographische Abhandlungen.* B30. München 1999.
- [15] K. Haserodt: *Untersuchungen zur Höhen- und Altersgliederung der Karstformen in den Nördlichen Kalkalpen.* In: *Münchener Geographische Hefte.* Heft 27, München 1965.
- [16] F. Zwittkovits: *Klimabedingte Karstformen in den Alpen, den Dinariden und im Taurus.* In: *Mitteilungen der Österr. Geogr. Gesellschaft.* 108, 1966, S. 73–97.
- [17] Kurt Kayser: *Westmontenegro - eine kulturgeographische Darstellung.* In: *Geographische Abhandlungen.* 4. Stuttgart 1931.
- [18] R. Schreg: *Wasser im Karst: Mittelalterlicher Wasserbau und die Interaktion von Mensch und Umwelt.* In: *Mitt. Dt. Ges. Arch. Mittelalter u. Neuzeit.* 21, 2009, S. 11–24; - G. Veni: *Maya utilization of karst groundwater resources.* In: *Environmental Geology.* 16, 1990, S. 63–66.
- [19] <http://kubabot.ku.funpic.de/FeldbeobachtungenMogoten.htm>
- [20] J. Ewald: *The calcareous riddle: why are there so many calciphilous species in the Central European flora?* In: *Folia Geobotanica.* 38, 2003, S. 357–366.
- [21] Georg Džukić, Miloš Kalezić: *The biodiversity of amphibians and reptiles in the Balkan peninsula.* In: Huw I. Griffiths, Boris Krystufek, Jane M. Reed (Hrsg.): *Balkan Biodiversity: Pattern and Process in the European Hotspot.* Kluwer Academic Publishing, 2004, S. 167–192. Hier u. a. S. 181.
- [22] K. Ljubisavljević, O. Arribas, G. Džukić, S. Carranza: *Genetic and morphological differentiation of Mosor rock lizards, Dinarolacerta mosorensis (Kolombatović, 1886) with the description of a new species from the Prokletije Mountain Massif (Montenegro) (Squamata: Lacertidae).* In: *Zootaxa* 1613, 2007, S. 1–22 (PDF)
- [23] Martina Podnar, Branka Bruvo Mađarić, Werner Mayer: *Non-concordant phylogeographical patterns of three widely codistributed endemic Western Balkans lacertid lizards (Reptilia, Lacertidae) shaped by specific habitat requirements and different responses to Pleistocene climatic oscillations.* In: *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research,* 52/2, S. 119–129, Mai 2014 (PDF)
- [24] Pavle Cikovac: *Soziologie und standortbedingte Verbreitung tannenreicher Wälder im Orjen Gebirge (Montenegro).* Diplomarbeit LMU-München, Department für Geographie, 2002, S. 87 (PDF)
- [25] B. P. M. Ćurčić, R. N. Dimitrijević, S. B. Ćurčić, V. T. Tomić, N. B. Ćurčić: *On some new high altitude, cave and endemic Pseudoscorpions (Pseudoscorpiones, Arachnida) from Croatia and Montenegro.* In: *Acta Entomologica Serbica,* 2002, 7 (1/2), S. 83–110 (PDF), hier S. 108.
- [26] Stjepan Bertović: ([online:sumari.hr](http://online.sumari.hr)) *In Memoriam Akademik Josip Roglić.* In: *Sumarski list,* 11–12, Zagreb 1988. S. 577–580.

11 Weblinks

 **Commons: Karst** – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

- [Karst Geomorphology und NASA Satellitenbilder wichtiger Karstregionen der Erde](#) (englisch).
- [Комиссия спелеологии и карстоведения / Speleology and Karstology Committee \(The Moscow centre of the Russian Geographic Society\)](#) mit großer interaktiver Literaturliste (russisch / teilw. englisch).
- [Lexikon der Terminologie des Karstes](#) (englisch; PDF-Datei; 1,11 MB).
- [Der Karbonatzyklus als wichtiger globaler geoökologischer Stoffkreislauf](#) (englisch; PDF-Datei; 1,11 MB).
- [Karst-Forschungsinstitut der Slowenischen Akademie.](#)
- [Karststudien in Italien und Slowenien, TU Darmstadt](#) (PDF-Datei; 1,61 MB).
- www.speleo.ch – Schweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung (SGH).
- www.isska.ch – Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung (SISKA).

- Annika Wachsmuth: Karstlernmodul „Karstgrundlagen“. In: WEBGEO basics / Geomorphologie. Institut für Physische Geographie (IPG) der Universität Freiburg, 10. November 2002, abgerufen am 14. Dezember 2010.
- Annika Wachsmuth: Lernmodul „Karstformen“. In: WEBGEO basics / Geomorphologie. Institut für Physische Geographie (IPG) der Universität Freiburg, abgerufen am 14. Dezember 2010.
- Mineralienatlas – Thema Karst – Mineralienatlas Wiki.
- www.argek.net – ArGe für Karstkunde Harz e.V.
- www.karstwanderweg.de – Karstwanderweg Südharz.
- Westfalen regional – Karst in Westfalen.
- Gipskarst im Südharz.
- Karst im Elbsandsteingebirge.
- Carola Hüttl: *Steuerungsfaktoren und Quantifizierung der chemischen Verwitterung auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge, Deutschland)*. Geobuch-Verlag, München 1999, ISBN 3-925308-51-2. (Münchner Geographische Abhandlungen, B30)
- Friedrich Katzer: *Karst und Karsthydrographie*. Zur Kunde der Balkanhalbinsel. Sarajevo 1909
- Hermann Lehmann: *Der Tropische Kegel-Karst auf den Grossen Antillen*. In: *Erdkunde*. 8, 2, 1954, S. 130.
- Herbert Louis: *Die Entstehung der Poljen und ihre Stellung in der Karstabtragung, auf Grund von Beobachtungen im Taurus*. In: *Erdkunde*. X. 1956, S. 33–53.
- Vladimír Panoš: *Karsologická a speleologická terminologie*. Žilina (Knižné centrum) 2001, ISBN 80-8064-115-3.
- Karl-Heinz Pfeffer: *Karstmorphologie - Erträge der Forschung* Bd. 79, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 1978 ISBN 3-534-07187-5

12 Bibliographie

Spezielle Karstformen:

- Alfred Bögli: *Karsthydrographie und physische Speleologie*. Springer Verlag, Berlin/ Heidelberg/ New York 1978, ISBN 3-540-09015-0. (ISBN 0-387-09015-0)
- Jovan Cvijić: *Das Karstphänomen*. Wien 1893. (A. Penck (Hrsg: *Geographische Abhandlungen*. V, 3)
- Jovan Cvijić: *Hydrographie Souterraine et Évolution Morphologiyue du Karst*. In: *Recueil des travaux de l'Institut de Géogr. Alpine*. T. 6, Fasc. 4, Grenoble 1918.
- Jovan Cvijić: *La Géographie des Terrains Calcaires*. Monographie der Serbischen Akademie der Wissenschaften und Künste, v. 341, no. 26, Belgrad 1960.
- William M. Davis: *Origin of limestone caverns*. In: *Bulletin of the Geological Society of America*. v. 41, 1930, S. 475–625.
- Alfred Grund: *Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien*. Teubner, Leipzig 1903. (A. Penck (Hrsg: *Geographische Abhandlungen*. VII, 3)
- Alfred Grund: *Der geographische Zyklus im Karst*. In: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde*. 52. Berlin 1914, S. 621–640.
- R. H. Winkelhöfer: *Durch Höhlen der Sächsischen Schweiz. Höhlenführer und Katasterdokumentation*. Verlag Der Höhlenforscher, Dresden 2005, ISBN 3-00-002609-6.
- R. H. Winkelhöfer: *Durch Höhlen der Böhmisches Schweiz. Höhlenführer u. Katasterdokumentation*. Verlag Der Höhlenforscher, Dresden 1997, ISBN 3-00-002317-8.
- R. H. Winkelhöfer: *Die Innere Verkarstung des Sandsteins – eine kleine Bestandsaufnahme zur Höhlengengese im Kreidesandstein*. In: *Der Höhlenforscher*. 35,1 (2003), ISSN 0138-2519, S. 2, 5-11, 31.
- Albrecht Penck: *Das Karstphänomen*. In: *Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse*. 44, 1. Wien 1904.
- Carl Rathjens: *Beobachtungen an hochgelegenen Poljen im südlichen Dinarischen Karst*. In: *Geomorphologie*. 4, 1960, S. 141–151.
- Josip Roglič: *Les poljés du Karst dinarique et les modifications climatiques du quaternaire*. In: *Revue Belge de Géogr.* 88, 1964, S. 105–123.
- E. M. Sanders: *The Cycle of Erosion in a Karst Region (After Cvijić)*. In: *Geographical Review*. Vol. 11, No. 4 (Oct., 1921) New York 1921, S. 593–604.

- M.M. Sweeting: *Reflections on the development of Karst Geomorphology in Europe and a comparison with its development in China*. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*. 93, 1993, ISBN 3-443-21093-7, S. 1227–136.
- M.M. Sweeting: *Karst in China, Its Geomorphology and Environment*. Springer-Verlag, Berlin 1995, ISBN 3-540-58846-9.
- Altenburger, Engelbert (1983) *Die südchinesische Karstlandschaft*. *Geowissenschaften in unserer Zeit*; 1, 4; 115-121; doi:10.2312/geowissenschaften.1983.1.115.

Normdaten (Sachbegriff): GND: 4129942-5

13 Text- und Bildquellen, Autoren und Lizenzen

13.1 Text

- **Karst Quelle:** <https://de.wikipedia.org/wiki/Karst?oldid=153714730> **Autoren:** RobertLechner, Stefan Ruehrup, Gnu1742, Aka, Stefan Kühn, Ahoerstemeier, DF5GO, Exil, Reinhard Kraasch, Insomnia, Geof, Kai11, Foxel, D, Ciciban, HaSee, Robert Weemeyer, Ed.dunkel, Voyager, MFM, SirAlec, Pucicu, Martin-vogel, Mnh, Ty von Sevelingen, Rynacher, 1001, Bdk, Ludger1961, Philipendula, Mjh, AHZ, Hodihu, DasBee, Schizoschaf, Walwegs, Timt, Kam Solusar, Florian Blaschke, TMaschler, Kunkis, Perun, Mikano, Bubo bubo, Hgrobe, Heinte, Diba, TomCatX, Sf67, FlaBot, Gerbil, Elmepi, Florian K, Capriccio, Geiserich77, Leyo, Ardo Beltz, Nilspausdd, David Ludwig, Friedjof, Onee, Theredmonkey, Itti, Speleo, Orjen, Zollwurf, Sgbeer, Pion, Wahldresdner, JuTa, Hellkeeper, Bonzo*, Kresspahl, KaiMartin, Geolina163, Florian Adler, Varina, Knochen, W!B!, Roterraecher, Helmut Zenz, Stefan040780, Ingochina, 267, Nobart, Negationsrat, Kubura, Savin 2005, JEW, Ulrichstill, Amano1, Engeser, Hoehlenfrank, Grabenstedt, Lemzweg, DerHexer, Derzno, Heiko (Berlin), Doit, Haneburger, KaPe, Geotutor, Centipede, AlMa77, Branka France, Logograph, J C D, Manuel Krüger-Krusche, Rootmaker, Stefan Knauf, Tschäfer, Thgoiter, Tönjes, Danares, Stefanski, Armin P., Weissmann, Till.niermann, Spuk968, Batte, Summ, Grzegorz Wysocki, Cholo Aleman, Horst Gräbner, Elop, Dandelo, JAnDbot, Matthiasb, Herzi Pinki, Sebbot, Bergjürgen, Supermartl, Dagnes, CommonsDelinker, Trac3R, Blaufisch, Don Magnifico, Axarches, Zollernalb, Diwas, Euphoriceyes, Complex, Dreizung, TXiKiBoT, Jelee, Ustill, Idioma-bot, SieBot, Geaster, Modzzak, Der.Traeumer, DidiWeidmann, Oceancetaceen, Wsfm, Svičková, Snoopy1964, Aktionsbot, Succu, Alnilam, Pittimann, Jo Weber, Rudolf Pohl, ArashiNoYuki, Ute Erb, Mmmkay, Alexbot, Philipp.hoehn, Lysippos, Ehsc, SilvonenBot, Sprachpflger, Moritz Gradmann, LinkFA-Bot, Stephan Klage, FiriBot, Paramecium, Muro Bot, Doronenko, Amirobot, Lucas-bot, Ptbotgourou, Rumbero, Williwilli, GrouchoBot, WOB3333, Xqbot, ArthurBot, Schonrath, Howwi, CactusBot, RibotBOT, Verwaltungsgliederung, Rr2000, Microkernel, Whisker, FriedhartKnolle, Hosse, MorbZ-Bot, Timk70, Rubblesby, Helium4, HRoestTypo, EmausBot, RonMeier, Federstrich, Jebulon, WikitanvirBot, Randolph33, MerllwBot, Greekfrog, Himbear, Anjolo, Minsbot, Hybridbus, Wheeke, Radiojunkie, Lukas²³, Smallandsimple, Severin.stalder, RobNbaby, Addbot, Ziegler175, *thing goes, Asiaten-Kenner, Frank Doerry, Salavmarco und Anonyme: 140

13.2 Bilder

- **Datei:Bascansko_Jezero,_Croatia.JPG** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/Bascansko_Jezero%2C_Croatia.JPG *Lizenz:* Public domain **Autoren:** Eigenes Werk *Ursprünglicher Schöpfer:* Modzzak
- **Datei:Chocolate_Hills_2.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Chocolate_Hills_2.jpg *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** Foto gemaakt tijdens vakantie in 2001 aan de Filipijnen. Transferred from nl.wikipedia *Ursprünglicher Schöpfer:* Beast from the Bush at nl.wikipedia
- **Datei:Cirque-Orjen.jpg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Cirque-Orjen.jpg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** ? *Ursprünglicher Schöpfer:* ?
- **Datei:Commons-logo.svg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Commons-logo.svg> *Lizenz:* Public domain **Autoren:** This version created by Pumbaa, using a proper partial circle and SVG geometry features. (Former versions used to be slightly warped.) *Ursprünglicher Schöpfer:* SVG version was created by User:Grunt and cleaned up by 3247, based on the earlier PNG version, created by Reidab.
- **Datei:Dinaric_calcareous_fir-forest.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Dinaric_calcareous_fir-forest.jpg *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** ? *Ursprünglicher Schöpfer:* ?
- **Datei:Disambig-dark.svg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Disambig-dark.svg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** Original Commons upload as Logo Begriffsklärung.png by Baumst on 2005-02-15 *Ursprünglicher Schöpfer:* Stephan Baum
- **Datei:High_karst_zone_glaciokarstic_and_tectonic_features_at_the_bay_of_Kotor_and_Mt_Orjen.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/High_karst_zone_glaciokarstic_and_tectonic_features_at_the_bay_of_Kotor_and_Mt_Orjen.jpg *Lizenz:* Public domain **Autoren:** NASA Landsat 8 ETM+, USGS *Ursprünglicher Schöpfer:* Landsat 8, USGS
- **Datei:Höhlenausgang_eisriesenwelt.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/H%C3%B6hlenausgang_eisriesenwelt.jpg *Lizenz:* CC BY-SA 3.0 **Autoren:** Eigenes Werk *Ursprünglicher Schöpfer:* Geolina163
- **Datei:Image_at_the_Lijiang_River.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Image_at_the_Lijiang_River.jpg *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** No machine-readable source provided. Own work assumed (based on copyright claims). *Ursprünglicher Schöpfer:* No machine-readable author provided. Mr. Tickle assumed (based on copyright claims).
- **Datei:Iris_pseudopallida_Montenegro.JPG** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Iris_pseudopallida_Montenegro.JPG *Lizenz:* Public domain **Autoren:** Übertragen aus en.wikipedia nach Commons durch Drilnoth mithilfe des CommonsHelper. *Ursprünglicher Schöpfer:* Orjen in der Wikipedia auf Englisch
- **Datei:Karst_fauna.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7c/Karst_fauna.jpg *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** Eigenes Werk des ursprünglichen Hochladers *Ursprünglicher Schöpfer:* Pavle Cikovac (Orjen in der Wikipedia auf Englisch)
- **Datei:Karstformationen_Nationalpark-Nord-Velebit.JPG** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Karstformationen_Nationalpark-Nord-Velebit.JPG *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** Bild selbst fotografiert *Ursprünglicher Schöpfer:* Rootmaker
- **Datei:Lapiaz_de_Loulle_(France_-_39).jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Lapiaz_de_Loulle_%28France_-_39%29.jpg *Lizenz:* CC BY 2.5 **Autoren:** Eigenes Werk *Ursprünglicher Schöpfer:* PRA
- **Datei:Merge-arrows.svg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Merge-arrows.svg> *Lizenz:* Public domain **Autoren:** ? *Ursprünglicher Schöpfer:* ?
- **Datei:Microcycas_calocoma01.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Microcycas_calocoma01.jpg *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** ? *Ursprünglicher Schöpfer:* ?
- **Datei:Pirina-poljana.jpg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Pirina-poljana.jpg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 **Autoren:** ? *Ursprünglicher Schöpfer:* Pavle Cikovac

- **Datei:Plitvice_lakes.JPG** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6f/Plitvice_lakes.JPG *Lizenz:* Public domain *Autoren:* Eigenes Werk at en-Wikipedia 1200x1600 (905316 bytes) *Ursprünglicher Schöpfer:* Donarreiskoffer
- **Datei:Rio_li_Guilin02.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Rio_li_Guilin02.jpg *Lizenz:* CC BY-SA 2.1 *es Autoren:* ? *Ursprünglicher Schöpfer:* ?
- **Datei:Rocks_El_Torcal_de_Antequera_karst_Andalusia_Spain.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Rocks_El_Torcal_de_Antequera_karst_Andalusia_Spain.jpg *Lizenz:* CC0 *Autoren:* Eigenes Werk *Ursprünglicher Schöpfer:* Jebulon
- **Datei:SourceDeLaLoue.jpg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/40/SourceDeLaLoue.jpg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* Übertragen aus de.wikipedia nach Commons. *Ursprünglicher Schöpfer:* Reinhard Kraasch
- **Datei:The_Skadar_Lake_in_february_2008.jpg** *Quelle:* https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/The_Skadar_Lake_in_february_2008.jpg *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* Eigenes Werk *Ursprünglicher Schöpfer:* Bratislav Tabaš
- **Datei:Vinales3.jpg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Vinales3.jpg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* Eigenes Werk *Ursprünglicher Schöpfer:* Man-u in der Wikipedia auf Deutsch
- **Datei:Yunnanshilin2.jpg** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/Yunnanshilin2.jpg> *Lizenz:* CC-BY-SA-3.0 *Autoren:* ? *Ursprünglicher Schöpfer:* ?
- **Datei:?????.JPG** *Quelle:* <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a2/%E7%9F%B3%E6%9E%97%E6%AD%A3%E9%97%A8.JPG> *Lizenz:* CC BY-SA 2.5 *Autoren:* No machine-readable source provided. Own work assumed (based on copyright claims). *Ursprünglicher Schöpfer:* No machine-readable author provided. Chenyun~commonswiki assumed (based on copyright claims).

13.3 Inhaltslizenz

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0