

Geologische Exkursion Rocky Mountains und Colorado Plateau

Für Geowissenschaftler/innen ist die Erde wie ein offenes Buch: Aus den zutage tretenden Gesteinsformationen können sie weit zurückliegende erdgeschichtliche Abläufe entziffern, im Landschaftsbild erkennen sie die Wechselwirkungen von Klima und Erosion mit Tektonik und Ablagerungsprozessen. Um diese für Geologen so charakteristische Fertigkeit und Kernkompetenz zu erlangen, muß die universitäre geowissenschaftliche Ausbildung angewandt sein und neben Hörsaal und Labor auch im Gelände stattfinden.

Die Albert-Ludwigs-Universität bietet eine umfangreiche Geländeausbildung in dem breit gefächerten Bachelorstudiengang Geowissenschaften sowie im Rahmen des internationalen Masterstudiengangs *Geology* mit Spezialisierungen in den Bereichen Gesteinsmechanik, Georisiken oder Geomaterialien an. Im Bachelorstudium ist eine über vierzigtägige Geländeausbildung obligatorisch, die in Form von Exkursionen, Geländekartierungen und -praktika stattfindet.

Eine dieser Exkursionen hatte im Sommersemester 2016 das *Colorado Plateau* und die *Rocky Mountains* zum Ziel. Der Westen der Vereinigten Staaten ist für geologische Exkursionen geradezu prädestiniert, da hier die Gesteinsschichten fast überall direkt zutage treten und die geologischen Prozesse auch für Studienanfänger anschaulich gemacht werden können.

Die zwölf tägige geologische Exkursion fand vom 18.09.-01.10.2016 unter der Leitung von Prof. Dr. Kenkmann, Dr. Matthias Ebert und M.Sc. Geol. Jakob Wilk statt. Für die Exkursion wurde im Vorfeld ein umfangreicher Exkursionsführer zusammengestellt. Vierundzwanzig Bachelor- und Masterstudierende aller Semester trafen sich mit der Exkursionsleitung in *Salt Lake City, Utah*, dem Start- und Zielort der Exkursion. Mit drei geländetauglichen Vans ging es über verschlungene Pfade etwa 3000 km durch die Bundesstaaten *Utah* und *Colorado*, wobei 84 geologische Aufschlußpunkte besucht wurden (Abbildung 1). Übernachtet wurde in Zelten.



Abb. 1. Exkursionsroute mit geologischen Aufschlußpunkten.

Zu den Zielen der Exkursion gehörte es, die Studierenden mit den dynamischen Prozessen der Erde vertraut zu machen: Vulkane, aktive Störungszonen, Erz- und Erdölagerstätten, Meteoritenkrater und berühmte Dinosaurierfundstätten standen ebenso auf dem Programm wie die großräumigen Gebirgszüge der *Rocky Mountains* und die Sedimentationsräume im Bereich des *Colorado Plateaus* und der *Basin & Range Province*, die letztlich mit den Prozessen der Plattentektonik erklärt wurden. Die Entstehung spektakulärer Landschaften wie der des *Grand Canyons* oder der über 4000 m hohen Bergketten der *Rocky Mountains* wurde ebenso thematisiert wie die Bildung von Sandwüsten oder den imposanten natürlichen Gesteinsbögen des *Arches National Parks*.

Die Route führte vom östlichen Rand der sogenannten *Basin and Range Province* über die *Wasatch-Mountain-Range* und das *Colorado Plateau* quer durch die *Rocky Mountains* hin zu deren östlicher Begrenzung bei *Colorado Springs* im Bundesstaat *Colorado* (Abb. 1). Auf dem Rückweg wurde entlang einer nördlicher gelegenen Route ein zweites geologisches Querprofil von *Colorado Springs* nach *Salt-Lake-City* vorgestellt und untersucht. Das erste Querprofil, von W nach E verlaufend, ist sehr stark schematisiert und vereinfacht in Abbildung 2 dargestellt.

Schematischer geologischer Querschnitt zur südlichen Route der Rocky Mountains and Colorado Plateau Exkursion

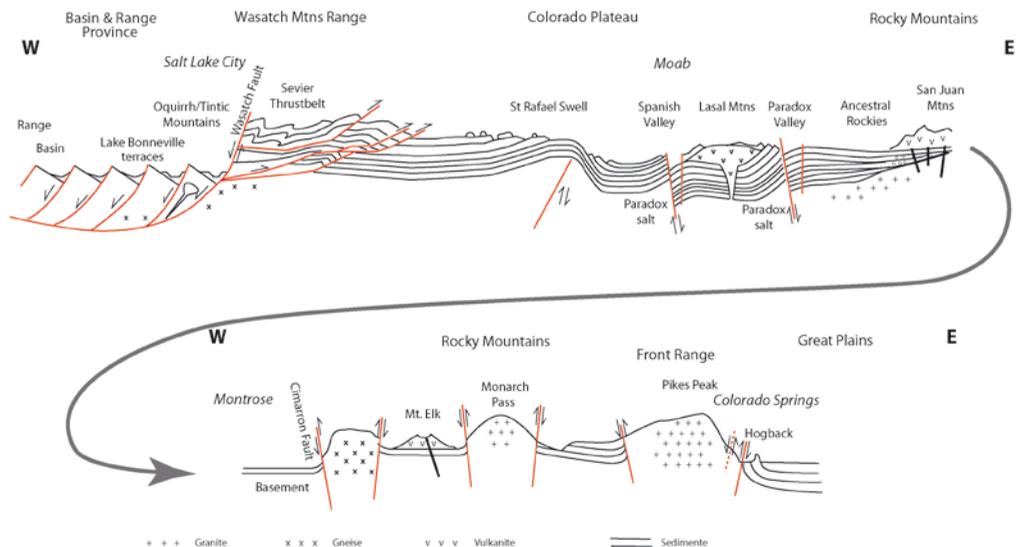


Abb. 2. Stark schematisierte Skizze des geologischen Querprofils von der Basin & Range Province bis nach Colorado Springs, wie sie im Rahmen der Exkursion entwickelt wurde. Da die Exkursionsroute nicht strikt in Ost-West Richtung verlief, wurden geologische in das Profil hineinprojiziert.

Salt Lake City liegt am Ostufer des *Great Salt Lake* (Abb. 3a). Er ist, wie der südlicher und etwas höher gelegene *Lake Utah*, ein Relikt des sehr viel größeren pleistozänen *Lake Bonneville*. Dieser entstand während der letzten Eiszeit und entwässerte über den *Snake River* und den *Columbia River* in den Pazifik. Die verschiedenen ehemaligen Uferlinien und Wasserstände des *Lake Bonneville* lassen sich in der gesamten Region anhand von lokalen Schotterkörpern und Terrassen an den Bergflanken nachzeichnen. Die katastrophale Entleerung des Sees fand vor allem im Zeitraum vor 12000 und 14000 Jahren statt, nachdem es zum Bruch eines natürlichen Damms gekommen war. Der heutige *Great Salt Lake* ist also ein Reliktsee. Einen Abfluß gibt es nicht, da das Wasser in wüstenhaftem Klima verdunstet. Hierdurch kommt es zur Erhöhung des Salzgehaltes. Die derzeitige Salzkonzentration variiert zwischen 18 -28 %; an den Ufern finden sich dezimetergroße Salzkristalle.

Der *Great Salt Lake* liegt im östlichen Teil der sogenannten *Basin & Range Province*. Diese erstreckt sich von Utah über ganz Nevada bis hin zum *Death Valley* in Kalifornien und stellt eine 900 km breite Dehnungszone der Erdkruste dar (Abb. 2). Die Dehnung und die damit einhergehende Ausdünnung der Erdkruste wird über eine sehr flach einfallende Scherzone erreicht, oberhalb derer die Kruste in große Blocksegmente zerbrochen ist. Diese Blöcke wurden infolge der Dehnung rotiert und bilden die als *Ranges* bezeichneten charakteristischen Bergketten. In den Bereichen zwischen

den Bergketten entstanden die *Basins* als tektonisch kontrollierte Sedimentbecken (Abb. 2). Die heute noch seismisch aktive große Scherzone (*Wasatch normal fault*) konnte an einer Stelle in Form einer durch die Scherbewegung polierten und gestriemten Felswand von den Exkursionsteilnehmern in Augenschein genommen werden. Als eine der östlichsten Bergketten der *Basin & Range Province* wurden die *Oquirrh Mountains* (Abb.3a) im Rahmen der Exkursion genauer untersucht. Die Gesteine stammen aus dem Oberkarbon und Perm und stellen karbonatische Sedimentgesteine marinen Ursprungs von enormer Mächtigkeit (4000 m) dar. Sie sind somit Zeugnisse für ehemalige marine Verhältnisse in diesem Teil des Exkursionsgebietes. Die Schrägstellung, Verfaltung und Aufrichtung der Schichten fand sehr viel später während einer Gebirgsbildung vor 130 – 80 Millionen Jahren statt, der sogenannten *Sevier-Orogenese*. Zu weiteren Rotationen vor etwa 20 Millionen Jahren kam es in der nachfolgenden Phase der Dehnung bei der Bildung der *Basin & Range Province*. An der Ostflanke der *Oquirrh* Bergkette, südlich von *Salt Lake City*, befindet sich die *Kennecott Bingham Copper Mine*. Hier werden neben Kupfer auch Blei, Zink, Molybdän, Silber und Gold in einem der weltweit tiefsten Tagebauten gewonnen. Die Mobilisation und Anreicherung der Metalle in diesem Gebiet stehen mit dem Eindringen eines großen Magmenkörpers in die Erdkruste vor 40 Millionen Jahren in Verbindung. Die knapp 1000 m tiefe Mine ist seit einem verheerenden Erdbeben 2013 leider nicht mehr für die Öffentlichkeit zugänglich, so daß im Rahmen der Exkursion nur die Abraumhalde besichtigt werden konnten.



Abb. 3. A) Am Ufer des Great Salt Lake. Im Hintergrund die Oquirrh Mountains mit Strandlinien des Lake Bonneville. B) Untersuchung vulkanischer Gesteine in den Tintic Mountains. C) Mit den geländetauglichen Vans unterwegs auf dem Colorado Plateau (Fotos: Scott McLin).

Südlich versetzt von den *Oquirrh Mountains* befinden sich die *Tintic Mountains*, eine vor 30 Millionen Jahren vulkanisch aktive Region. Von deren Aktivität zeugen diverse vulkanische Gesteine, unter anderem Latite und Tuffbrekzien, die in verschiedenen Aufschlüssen besichtigt wurden (Abb. 3b). Nach der aktiven Magmaförderung kollabierten die Vulkane und hinterließen drei große Einsturzkessel, sogenannte Kalderen. Mit den vulkanischen Gesteinen wurden auch Schwermetalle, unter anderem Gold, in Klüften ausgeschieden. In der Goldgräberstadt *Eureka* zeugen noch heute zahlreiche Schutthalden vom damaligen Goldrausch, der den Westen der Vereinigten Staaten erfaßt hatte. Vulkanismus und Erzabscheidung sind mit der plattentektonischen Situation zu erklären. Die junge ozeanische Kruste der *Farallonplatte*, die lange Zeit den östlichen Sockel des pazifischen Ozeans bildete, wurde in einem sehr flachen Winkel unter die nordamerikanische Platte geschoben. Durch die teilweise Aufschmelzung dieser Platte und des darüberliegenden Mantelgesteins drangen Schmelzen und erzreiche Fluide in die nordamerikanische Platte ein und verursachten dort sowohl Vulkanismus als auch die Erzabscheidung.

Im weiteren Verlauf der Exkursion wurde die über 3500 m hoch aufragende *Wasatch Mountain Range* durchquert, welche die *Basin & Range Province* vom *Colorado Plateau* abgrenzt (Abb. 1). Dieser nord-süd verlaufende Gebirgszug, wird von einigen Geologen bereits zu den *Rocky Mountains* gezählt, unterscheidet sich in seinem Aufbau jedoch grundsätzlich von den *Rocky Mountains* (Abb. 2). Seine innere Struktur ist durch Überschiebungs- und Deckentektonik gekennzeichnet, die mit einer starken Verfaltung der Gesteine einhergeht und auf die einengenden Bewegungen der *Sevier*-Gebirgsbildung vor 130-80 Millionen Jahren zurückzuführen ist. Dabei wurden vorwiegend marine Sedimente und Schelfablagerungen erfaßt, darunter auch Gipsgesteine, die von ihrem Sockel abgesichert und zusammengeschoben wurden, wodurch die Kruste um insgesamt 120 km verkürzt wurde. Exemplarisch wurde die Deformation am *Mount Timpanogos* sowie weiter südlich bei der Ortschaft *Salina* studiert, wo diapirartig aufgerichtete Gipsschichten der Jurazeit (*Arapian Shale*) anstehen, die von einer tektonischen Decke überlagert werden (Abb. 4b).

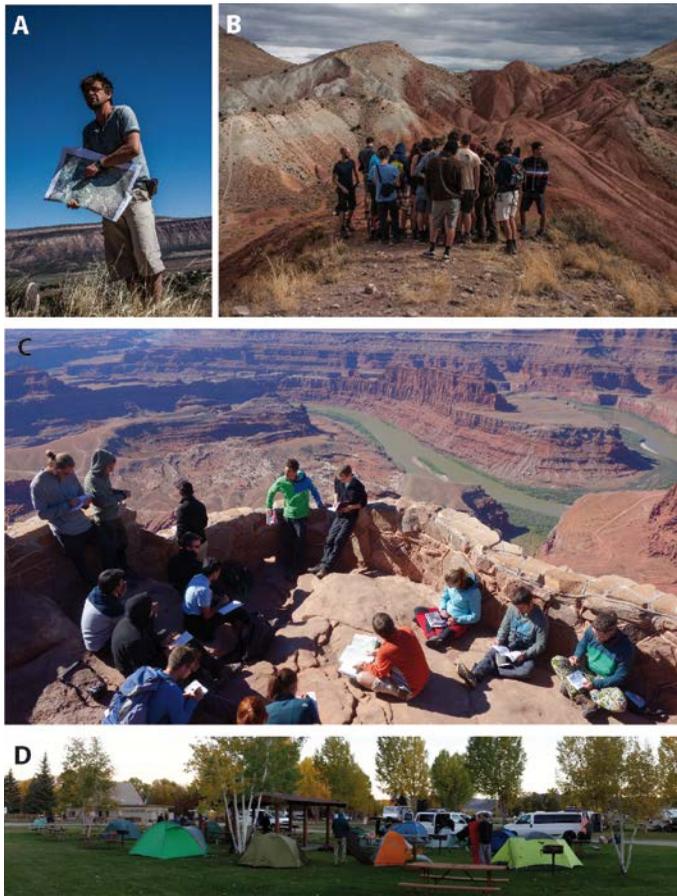


Abb. 4. A) Exkursionsleiter TK. B) Diskussion der Studierenden vor Arapien Shale in Salina. C) Vortrag von Studierenden vor imposanter Kulisse des Colorado Plateaus und des Colorado Rivers, Deadhorse Point, Canyonlands National Park. D) Campground in den Rocky Mountains (Fotos: Scott McLin).

Von *Salina* aus ging es ostwärts in Richtung *Colorado Plateau* (Abb. 1). Anders als die *Wasatch Mountain Range* hat sich das *Colorado-Plateau* als stabiler Krustenbereich sehr viel starrer verhalten und nur wenig deformiert; er wurde allerdings »en bloc« angehoben. Die Sedimentpakete sind zu weitgespannten Sattelstrukturen verbogen, wie beispielsweise dem *St. Rafael Swell*, der auf der Exkursion komplett von West nach Ost durchfahren wurde (Abb. 2). Dieser Sattel läßt sich über 90 km Länge verfolgen und ist asymmetrisch aufgebaut: Der westliche Teil der Sattelstruktur weist ein schwaches Schichteinfallen von ein bis zwei Grad nach Westen auf, wodurch verwitterungsresistente, kompetentere Schichten – vor allem Sandsteine – Steilkanten ausbilden, die langgezogene Plateaus voneinander trennen und abstufen. Im Scheitelpunkt der Struktur wurden die ältesten, permischen Sedimente durch Erosion freigelegt. An der Ostflanke des Sattels tauchen die Schichten nun mit deutlich steilerem Einfallen nach Osten ab. Durch das hangparallele Schichteinfallen entstehen spektakuläre Landschaftsstrukturen, sogenannte *flatirons*. Die Straße windet sich durch immer jüngere Schichten bis man östlich des *San Rafael Swells* den *Green River*, einen der Hauptflüsse des *Colorado Plateaus*, überquert, der im Bereich des *Canyonlands National Parks* ca. 75 km weiter südlich mit dem *Colorado River* zusammenfließt. Diese Konfluenz war das Ziel einer ausgedehnten Wanderung über das *Colorado-Plateau* mit seinen Canyonältern. Die tief

eingeschnittenen Canyons des *Colorado Rivers* und des *Green Rivers* deuten auf eine sehr rasche Tiefenerosion hin, die lokal 2 km erreicht. Ausgelöst wurde diese enorme Tiefenerosion durch die Hebung des *Colorado-Plateaus* vor 6 Millionen Jahren als Folge der Unterlagerung der Amerikanischen Lithosphärenplatte durch die bereits erwähnte *Farallon-Platte*.

Die Landschaft der *Canyonlands* ist geprägt von den durch die Flußarbeit freigelegten Sedimentschichten (Abb. 4c). Verwitterungsresistente, harte Gesteinssequenzen, wie die häufig vorkommenden rötlich oder beige gefärbten Sandsteine, bilden dabei Steilstufen im Relief aus, während weiche Tonsteine und Mergel dazwischen liegende Verebnungen und Plateaus aufbauen. Aus den Gesteinsabfolgen läßt sich die Erdgeschichte von der Karbonzeit bis zum Jura rekonstruieren.

Für vier Tage war die Stadt *Moab* Basisquartier und Zeltlager der Exkursion (Abb. 1), ein wahres Eldorado für Geologen und solche, die es werden wollen. Die Stadt liegt in einem langgestreckten Tal, dem *Spanish Valley*, das sich entlang einer großen Verwerfungszone, der *Moab-fault* mit 800 m Versatz über einem ebenso langgestreckten Salzstock formte. Die Salzablagerungen stammen aus dem Oberkarbon (*Paradox-Formation*) und wurden durch die Auflast der über ihr liegenden Schichten entlang der Störungszone nach oben gepreßt, nahe der Oberfläche jedoch durch Grundwasser ausgelaugt. Im Scheitelpunkt der Salzsättel sind die überlagernden Gesteine einer Dehnung ausgesetzt gewesen. Dies führte zu einer engständigen Klüftung der Gesteinsverbände. Die Klüftzonen wurden durch Verwitterung weiter herauspräpariert und wuchsen teilweise zusammen – ein Prozeß der zur Bildung von natürlichen Gesteinsbrücken und –bögen führte, die in eindrucksvoller Weise im *Arches National Park* studiert werden konnten. Neben dem *Spanish Valley* zeugen weitere, in gleicher Orientierung verlaufende Talungen wie das *Salt Valley* oder das *Paradox Valley*, von unterlagernden Salzsätteln des *Colorado Plateaus*.

Der *Canyonlands National Park* (Abb. 4c) wartete mit einer weiteren Sensation auf, die durch einen achtstündigen Fußmarsch erschlossen wurde. Mitten auf dem Plateau liegt ein tief abgetragener Meteoritenkrater von 6 Kilometern Durchmesser: *Upheaval Dome*. Dieser Impaktkrater erlaubt es, die schnelle Deformation von Gestein im Untergrund eines Kraters zu studieren, denn seit seiner Bildung wurde der Krater 1,5-2 km tief abgetragen. Der Krater gehört zur Klasse der komplexen Krater. Bei seiner Entstehung formte sich im Zentrum durch Aufwölbung der Schichten ein Zentralberg, um den sich eine ringförmige Mulde bildete. Der Zentralberg konnte durch die Lagerung der Gesteine rekonstruiert werden, morphologisch bildet er heute jedoch einen tiefen Kessel aus, da die Gesteine im Zentrum beim Einschlag besonders zerrüttet wurden und damit nachfolgend einfacher erodiert werden konnten.

Südöstlich von *Moab* liegen als weitere geologische Attraktion die *Lasal Mountains*, deren schneebedeckte Gipfel bis über 3800 m reichen. Diese Berge verdanken ihre Entstehung dem Eindringen von großen Magmenkörpern vor etwa 30-24 Millionen Jahren entlang von sich kreuzenden Störungszone, die als Schwächezone innerhalb der Erdkruste den Magmenaufstieg erleichterten. Allerdings sind die Magmen nicht direkt an der Erdoberfläche als Lava ausgetreten, sondern blieben aufgrund ihrer Zähflüssigkeit unterhalb der Erdoberfläche stecken, drangen entlang von Schichtgrenzen horizontal vor und wölbten schließlich die darüberliegenden Schichtkörper pilzartig auf

(Abb. 2). Diese Intrusionsform – als Lakkolith bezeichnet – tritt im Bereich des *Colorado Plateaus* an mehreren Stellen auf. Auf der weiteren Fahrt in Richtung Osten wurde das bereits erwähnte *Salt Valley* passiert und die Grenze zwischen den Bundesstaaten Utah und Colorado überschritten. In der Ferne wurden die Bergketten der *Rocky Mountains* sichtbar (Abb. 5a).



Abb. 5. A) Panorama Rocky Mountains. Hier die Vulkane der San Juan Mountains. B) Independent Pass, 3687 m ü NN. Dieser Paß wurde während des Rückweges überwunden und stellt wie der Monarch Pass ebenfalls die kontinentale Wasserscheide dar. C) Garden of Gods bei Colorado Springs. Permische Gesteine wurden in der Aufrichtungszone vor der Front Range hochgeschleppt und senkrecht aufgerichtet (Fotos: Scott McLin).

Die Sedimentpakete des *Colorado Plateaus* wurden bei der Weiterfahrt immer geringmächtiger und keilten schließlich vollständig aus. Dies kann als sicherer Hinweis gewertet werden, daß diese Region zur Zeit der Ablagerung der Schichten aus der Karbon-, Perm-, Trias- und Jurazeit ein Hochgebiet gewesen sein muß. Die Exkursionsteilnehmer beobachteten grobe Konglomeratschichten, die anzeigen, daß das erodierte Gestein über alte, verzweigte Flußsysteme in den Ablagerungsraum im Westen transportiert wurde. Es handelt sich bei dieser Region also um das ehemalige Liefergebiet der Sedimente des *Colorado-Plateaus*. Dieses ehemalige Hochgebiet ist durch einengende Tektonik bereits vor 320-290 Millionen Jahren aufgestiegen und wird daher als *Ancestral Rockies* bezeichnet, was so viel bedeutet wie »Ur-Rocky Mountains«. Erst in der Kreidezeit wurde diese Region, wie ein Großteil der heutigen *Rocky Mountains*, Ablagerungsraum für sehr feinkörnige, bituminöse Tonsteine, die man als *Mancos-Shale*

bezeichnet. Diese Gesteine bringen Probleme für die Bevölkerung mit sich: Nach Phasen des Niederschlags neigen die Tonsteine dazu, ihre Festigkeit zu verlieren, so daß ganze Hänge ins Rutschen geraten. Die Instabilität dieser Hänge und die Morphologie der *Landslides* wurde im Rahmen der Exkursion östlich von *Montrose* an einem eindrucksvollen Beispiel vorgestellt. Die Schichten der Kreidezeit lagern hier anders als auf dem *Colorado Plateau* direkt auf sehr altem Präkambrischem Grundgebirge, das intensiv gefaltet und metamorph überprägt wurde.

Relativ unvermittelt steigt die Front der *Rocky Mountains* in Form von über 4000 m hohen Bergriesen, den *San Juan Mountains*, auf (Abb. 5a). Sie stellen eine vulkanische Provinz dar, die vor 35-30 Millionen Jahren die immense Menge von etwa 40000 km³ Lava (Andesite, Ryodacite) förderte. Große Vulkangebäude entstanden in mehreren Schüben, und brachen nach Entleeren ihrer Magmenkammern teilweise in sich zusammen, wodurch Kalderen entstanden. Nach der Phase der Lavaförderung schloß sich eine hochexplosive vulkanische Förderung großer Mengen an Aschen und Tuffen an, die im Exkursionsgebiet an verschiedenen Stellen von der Exkursionsgruppe studiert wurden. Ebenso konnten senkrecht stehende Förderschloten der Vulkane, die das Grund- und Deckgebirge durchbrochen hatten, in Augenschein genommen werden.

Im weiteren Verlauf führte die Exkursion ins Herz der *Rocky Mountains*, die völlig anders aufgebaut sind als beispielsweise die *Alpen* in Europa. Üblicherweise liegen Gebirge an Grenzen von Lithosphärenplatten. Doch die *Rocky Mountains* befinden sich über 1000 km entfernt von der aktiven Plattengrenze mit der pazifischen Lithosphärenplatte. Ursache für die Entstehung der *Rocky Mountains* sind Lithosphärenplatten, die längst in den Erdmantel subduziert wurden: Die scherenden Bewegungen der sehr flachwinklig abtauchenden *Farallon* und *Kula* Platte wurden auf die über ihnen liegende mächtige kontinentale Lithosphäre der Nordamerikanischen Platte übertragen und durch die Anhebung tief wurzelnder Schollen kompensiert. Die Verwerfungen, die hierbei entstanden, sind steile Schrägaufschiebungen, an denen ursprünglich sehr tief lagernde kristalline Gesteine hochgepresst wurden. Eine dieser Verwerfungen ist die *Cimarron Fault*, die auf halber Strecke zwischen *Montrose* und *Gunnison* den Highway 50 quert (Abb. 1, 2). Westlich von ihr zeigt sich eine sanfte, hügelige Landschaft, die von den *Mancos shales* der Kreidezeit aufgebaut wird. Östlich ragen schroffe Felsformationen auf, die aus hochfesten metamorphen Gneisen aufgebaut werden, die hochgepreßt wurden. Die blockhafte Art der Krustenverformung wird nach der Ortschaft *Laramie* in Wyoming, die manchem aus alten Wild West Filmen noch bekannt sein dürfte, als laramisch bezeichnet und fand im Zeitraum von vor 80 – 35 Millionen Jahren statt. In den hochgeschuppten Bereichen sind Gesteine des Präkambriums abgeschlossen, die über eine Milliarde Jahre alt sind. Sie enthalten Gänge, in denen dezimetergroße Kristalle von Quarz, Feldspat und Glimmer auf der Exkursion gefunden wurden. Nach etwa 20 Kilometern hat man den hochgepreßten Block durchfahren und ist erneut in den Ablagerungen des *Mancos shale*. Dieser ist nun aber von mächtigen vulkanischen Asche- und Tuffablagerungen aus der Tertiärzeit überdeckt, in welchen metergroße vulkanische Bomben enthalten sind. Westlich von *Gunnison* wird erneut ein hochgepreßter präkambrischer Krustenblock durchfahren. Entlang der Störungszone wurden die Deckschichten hochgeschleppt. Der Gebirgsrücken besteht aus grobkörnigem Granit, der vor 1600 Millionen Jahren als magmatischer Körper in den

sogenannten *Wyoming-Kraton* eingedrungen ist. Der Highway 50 windet sich nun bis in eine Höhe von 3450 m auf den *Monarch Pass* (Abb. 1), der auf der kontinentalen Wasserscheide liegt. Östlich des Passes fließt Wasser in Richtung Pazifik, westlich von ihm in Richtung Mississippi und damit in den Golf von Mexico (Abb. 5b).

Auf der Weiterfahrt in Richtung Osten wechseln sich hochgepreßtes, kristallines Grundgebirge und dazwischen liegende sedimentäre Deckschichten, die weitgespannte Hochebenen bilden und von Schleppfalten begrenzt sind, wiederholte Male ab. Das Landschaftsbild wird maßgeblich durch diesen Gesteinswechsel geprägt. Schließlich erreichten wir die *Front Range*, den östlichsten Bergzug der *Rocky Mountains*, der mit 4301 m im weithin sichtbaren *Pikes Peak* gipfelt, der aus präkambrischem Granit aufgebaut wird (Abb. 1, 2). Die Region ist reich an erstklassigen Mineralfundstellen von Amazonit, Rauchquarz und Topas.

Das im Rahmen der Exkursion zurückgelegte geologische Querprofil von der *Basin & Range Province* über die *Wasatch Range* und das *Colorado Plateau* hin zu den *Rocky Mountains* findet in *Colorado Springs* seinen Abschluß. Hier werden die kilometermächtigen Sedimentschichten der sich östlich anschließenden *Great Plains* der USA unvermittelt im Zuge der Hochschuppung der *Front Range* nach oben geschleppt und dabei senkrecht gestellt. Die steil stehenden Schichtrippen – im amerikanischen als *hogbacks* bezeichnet – bilden bizarre Felsformationen im *Garden of Gods* (Abb. 5c). Auf dem Rückweg nach Salt Lake City auf einer nördlichen Route konnten wesentliche Elemente des Querprofils von den Exkursionsteilnehmern wiedererkannt werden.

Die geologische Exkursion hinterließ bei den Studierenden bleibende Eindrücke und vermittelte Einblicke in erdgeschichtliche Abläufe und deren enge Verzahnung mit der Landschaftsgenese.