Tuexenia Beiheft 11: 11–31. Osnabrück 2018.

Geologie der Steiermark – relevante Aspekte für die Botanik

Kurt Stüwe

Zusammenfassung

Geologen kartieren auf geologischen Karten lithostratigrafische Einheiten. Daraus ergeben sich für den Botaniker immer wieder Fragen. So findet sich zum Beispiel das Gestein „Kalk“ auf der geologischen Karte der Steiermark unter verschiedenen Namen wieder. Diese ergeben sich aufgrund der geologischen Notwendigkeit eine lithostratigrafische Zugehörigkeit zu illustrieren, die aber für den Pflanzenwissenschaftler in der Regel irrelevant ist. Außerdem kann das Gestein „Kalk“ sehr verschiedenen Alters sein und findet sich daher in verschiedenen tektonischen Landschaften wieder: in der Steiermark kommt Kalk im Steirischen Becken, in der Grauwackenzone, im Grazer Paläozoikum und in den Kalkalpen vor. Ähnliches gilt für viele andere Gesteinsarten und führt zu Schwierigkeiten beim Lesen geologischer Karten durch den Botaniker. In diesem Artikel werden die klassischen geologischen Landschaften der Steiermark unter besonderer, aber vereinfachter, Berücksichtigung des Gesteinsbestandes diskutiert. Darüber hinaus werden einige klassische Fragen erläutert, die in Diskussionen zwischen Botanikern und Geologen immer wieder auftauchen.

Abstract

Geologists typically map lithostratigraphic formations on geological maps. This results in a series of question for the botanist. For example, the rock type limestone can be found on the geological map of Styria under a long list of names, none of which are called “limestone”. This is because geologists illustrate a lithostratigraphic association, which is usually irrelevant for the botanist. Moreover, different limestones in Styria are of very different age so that they occur in very different tectonic units: In Styria, limestone can be found in the Styrian Basin, in the Greywacke zone, in the Paleozoic of Graz and in the Calcareous Alps. Equivalent situations are true for many other rock types leading to difficulties for the botanist to read geological maps. In this article the geological provinces of Styria are discussed under special (but simplified) consideration of rock types. Beyond that, this article discusses some classic questions that often arise in discussions between botanists and geologists.

1. Einleitung

Botanik und Geologie sind inhärent gekoppelte Wissenschaften. Für den Botaniker ist es trivial, dass Pflanzen neben CO_2 und Wasser auch Kationen, Anionen und Spurenelemente aus dem mineralischen Untergrund aufnehmen müssen um zu gedeihen – Geologie leistet daher einen integralen Beitrag zum Verständnis der Pflanzendecke. Weniger intuitiv ist, dass auch das Umgekehrte gilt: Viele Aspekte der Geologie sind vom Pflanzenbewuchs abhängig! So wissen wir zum Beispiel, dass Karsthöhlen nur dann entstehen können, wenn dichte Vegetation die Erdoberfläche bedeckt (Huminsäuren sind essentiell zum Lösen von Kalk); dass Bergstürze in den Alpen am Ende der Eiszeit am Häufigsten waren, weil der kaltzeitli-

che Bewuchs eine andere Bindung des Erdreichs aufwies als heute, und wir wissen, dass auch viele andere oberflächennahe geologische Prozesse vom Pflanzenbewuchs abhängen. Botanik leistet daher einen integralen Beitrag zum Verständnis der Geologie.

Dieses Zusammenspiel aus Geologie und Botanik ist in der Geologie der Steiermark exemplarisch zu beobachten. Das Ziel dieses Artikels ist daher zweierlei: In erster Linie soll die Geologie der Steiermark unter besonderer Berücksichtigung jener Aspekte, die für den Botaniker von Bedeutung sind, beschrieben werden. In diesem Zusammenhang wird aber auch auf eine Großzahl von historischen (z. B. WINKLER-HERMADEN 1955), sowie auf einige moderne Arbeiten zu diesem Thema (GASSER et al. 2009, STÜWE & HOMBERGER 2011, 2018), und auf die Webseiten http://www.luftbildsteiermark.at oder www.alpengeologie.org, hingewiesen. Darüber hinaus ist es aber auch das Ziel des Artikels, einige allgemeine Diskussionspunkte zu beleuchten, die bezüglich des Einflusses der Geologie auf den Pflanzenbewuchs immer wieder aufgeworfen werden. Diese beginnen mit dem Verständnis des Begriffs „geologische Karte".

1.1 Aspekte der Deutung einer geologischen Karte

Der Begriff „geologische Karte" beschreibt eine Karte, auf der die geologischen Gegebenheiten der Erde dargestellt sind, ohne dabei vorweg zu nehmen, ob es sich nun um lithologische, strukturelle, mineralogische, petrologische, geomorphologische oder andere erdwissenschaftliche Aspekte handelt. Als solches kann der Begriff „geologische Karte" als ein Überbegriff für viele Arten von Karten verstanden werden. Im weitesten Sinne zählen daher auch Boden- und topographische Karten zum Portfolio der „geologischen Karten". Eine gute geologische Karte sollte im Titel definieren, welche Aspekte der Geologie kartiert wurden.

Im etwas engeren Sinne wird der Begriff „geologische Karte" gerne verwendet, um eine abgedeckte Karte des Gesteinsbestandes zu beschreiben. Beide Begriffe sind allerdings nicht sehr klar abgrenzbar. Der Begriff „abgedeckt" bedeutet im Allgemeinen, dass Böden, Verwitterungsprodukte und Lockergesteine nicht dargestellt werden, insbesondere wenn diese geringmächtiger als 1,5 m sind. Gerade in der Steiermark sind jedoch allochthone Böden, die oft nicht in geologischen Karten verzeichnet sind, obwohl sie oft mächtiger als 1,5 m sind (Stichwort: Augensteinlandschaft der Kalkalpen, FRISCH et al. 2001) oder allochthone Böden des Grazer Berglandes (WINKLER-HERMADEN 1955), oft für den Pflanzenbewuchs ausschlaggebend.

Was den „Gesteinsbestand" anbetrifft, so ist dieser in der Regel nicht rein lithologisch, sondern durch die „im Gelände kartierbare Einheit", definiert. Die „im Gelände kartierbare Einheit" ist wiederum als „lithostratigrafische Formation" definiert. Eine lithostratigrafische Formation fasst Gesteine aufgrund ihrer Lithologie, Ausbildung, ihres Alters, ihres Deformationszustandes oder ihres Entstehungszusammenhanges auf dem Maßstab der Kartierung zusammen. Aus diesem Grund heißen die Einheiten geologischer Karten auch selten „Kalk" oder „Granit", sondern haben einzigartige Namen, die die lithostratigrafische Natur der Einheit charakterisieren, zum Beispiel den Namen einer Typus Lokalität, auch wenn diese nur aus einem einzigen Gestein besteht.

Verwirrungen, die sich daraus ergeben können, sind vielfältig: So ist zum Beispiel auf der geologischen Karte der Steiermark 1:200.000 (FLÜGEL & NEUBAUER 1984) der Stainzer Plattengneis als eigene Einheit auskartiert, weil er als solches lithostratigrafisch eindeutig kartierbar ist (Abb. 1). Der Stainzer Plattengneis ist allerdings lithologisch, mineralogisch und chemisch ident mit den umgebenden Gesteinen. Die Einheit ist nur deshalb in der Karte

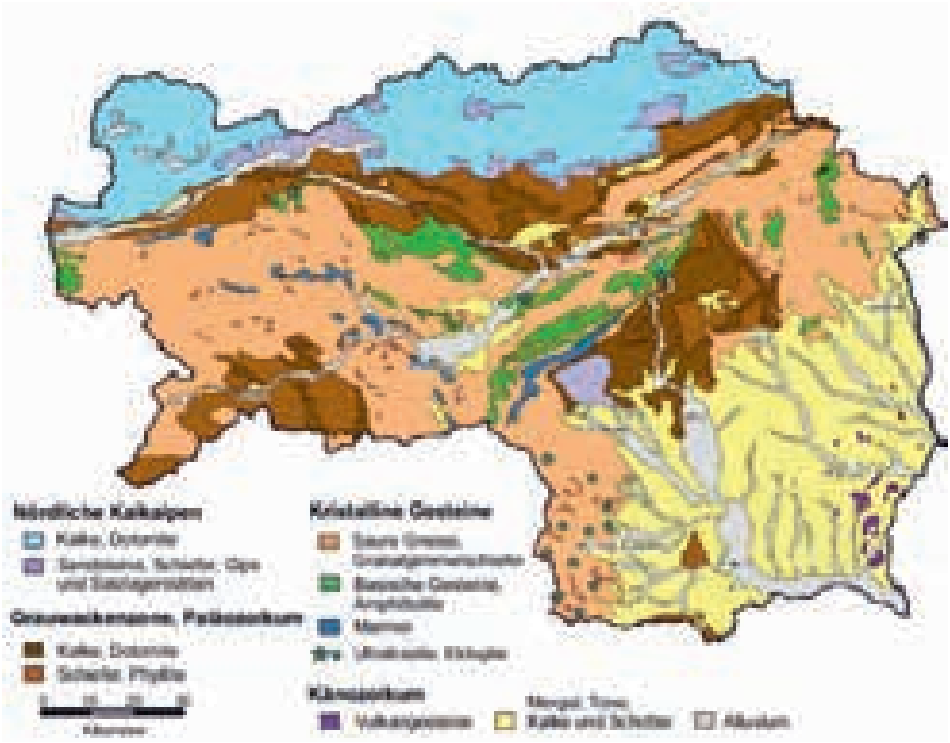


Abb. 1. Vereinfachte geologische Karte der Steiermark (abgeändert von www.schulatlas.at). Diese Karte ist eine Vereinfachung der geologischen Karte von FLÜGEL & NEUBAUER (1984).

erfasst, weil sie sich aufgrund des geplätteten Deformationszustandes eindeutig von ihrer Umgebung unterscheidet und daher kartierbar ist. Der „Gesteinsbestand" einer geologischen Karte gibt für den Botaniker also nicht immer Aufschluss über den Chemismus oder Verwitterungsfähigkeit des Gesteins, sondern bezieht sich in der Regel ausschließlich auf eine lithostratigrafisch eindeutig erkennbare Formation.

2. Gesteine der Geologischen Karte der Steiermark

Die Steiermark wird gerne in vier tektonische Provinzen unterteilt, die geographisch klar voneinander trennbar sind, die aber nur zum Teil auch einen charakteristischen Gesteinsbestand aufweisen (LIEB et al. 1991, GASSER et al. 2009, STÜWE & HOMBERGER 2011, 2018): Die Kalkalpen, die Paläozoischen Gesteine (Grauwackenzone, Grazer Bergland und Gurktaler Decke), die Kristallingebiete, und das Steirische Becken (Abb. 1). Im Folgenden werden diese Provinzen diskutiert, wobei besonderes Augenmerk auf den Gesteinsbestand und seine Relevanz für die Pflanzendecke gelegt wird. Die Diskussion der Gesteine bezieht sich direkt auf die lithostratigrafischen Formationen (siehe auch: PILLER et al. 2004), die auf der geologischen Karte der Steiermark (FLÜGEL & NEUBAUER 1984) zu sehen sind und sollte daher zusammen mit dieser Karte gelesen werden.

2.1 Gesteine der Kalkalpen

Geografisch liegt die tektonische Provinz der Kalkalpen im Norden der Steiermark. Im Nordwesten trennt das Ennstal die Kalkalpen von der Grauwackenzone. Bei Admont kreuzt die Südgrenze der Kalkalpen das Ennstal und verläuft weiter nach Osten am Südrand der Gesäuseberge, des Hochschwab-Massivs, der Veitsch und der Schneealpe, und verschwindet südlich der Rax nach Niederösterreich (Abb. 2). Die Gesteine der Kalkalpen wurden in der Trias- und Jura-Zeit als Sedimente in einem tropischen Meer abgelagert, wobei die Gesteine der Kössener, Lunzer und Raibler Schichten den Einfluss von Landnähe anzeigen, weil sie aus fluviatil eingetragenen Sedimenten bestehen.

Die vielen tektonischen und regionalen Namen, die den einzelnen lithostratigrafischen Einheiten in den Kalkalpen gegeben sind, sollten nicht darüber hinwegtäuschen, dass diese Berge zu weit über 90 % aus Kalk ($CaCO_3$) und Dolomit ($MgCa(CO_3)_2$) bestehen. Andere vorkommende Einheiten sind die Gesteine der Kössener und der Lunzer Schichten, die aber nur sehr untergeordnet vorkommen, sowie sehr vereinzelte Radiolarite (kieselige Tiefsee Sedimente). Zumeist handelt es sich bei den Nicht-Karbonaten um leicht erodierbare Mergel, Tone, Schiefer und etwas Sandstein. Folgende Gesteine sind auf dem Maßstab der geologischen Karte der Steiermark 1:200.000 (FLÜGEL & NEUBAUER 1984) nicht auskartiert, sind aber in den Kalkalpen immer wieder vereinzelt anzutreffen (sind aber in der Regel volumetrisch zu unbedeutend, um in den Kalkalpen für Bodenbildung verantwortlich zu sein):

- *Hornsteinknollen*: Hornstein gibt es in den Kalkalpen vor allem in den Reiflinger Schichten, aber auch im Aflenzer Kalk und vereinzelt in anderen Karbonaten. Sie bestehen aus feinkörnigem Quarz, sind Zentimeter bis Dezimeter groß und sind sedimentär oder diagenetisch gebildet. Sie kommen direkt in den Kalken vor.
- *Mergel und tonige Schichten*: Abgesehen von den Lunzer Schichten, den Kössener und anderen vereinzelten Nicht-Karbonat Formationen kommen tonige Lagen auch vereinzelt in den Karbonaten selber vor. So ist der Grund für die charakteristische Bankung des Dachstein Kalkes, dass zwischen den Bänken oft Millimeter mächtige Tonschichten liegen. Eine zyklische tektonische Bewegung in der Triaszeit ist die Ursache dafür.
- *Vulkanite*: Tuffe aus vereinzelten Vulkanlagen kommen als Zwischenschaltungen in verschiedenen Karbonaten vor. Sie sind in der Regel splittrige, grünliche und sehr geringmächtige Lagen und insgesamt recht selten.
- *Augensteine*: Neben den Mesozoischen Gesteinen sind in den Kalkalpen vor allem die Gesteine der Augenstein Landschaft von Interesse (z. B. FRISCH et al. 2001, DERTNIG et al. 2017). Es handelt sich dabei um fluviatile Schotter, Sande und manchmal auch Tone, die im Oligozän auf die damals noch tiefliegenden Hochflächen abgelagert wurden. Vor allem in Dolinen, Höhlen und geschützten Bereichen haben diese Gesteine oft die Eiszeiten überdauert.

Die jüngsten Gesteine der Kalkalpen sind die flachmarinen Kalke, Konglomerate und Mergel, die in der Gosau Zeit (vor 60 Millionen Jahren) abgelagert wurden (z. B. die Zwieselalm-Formation). Sie tragen ihren Namen von einer Typus-Lokalität bei Gosau in Oberösterreich. Sie werden hier gesondert angeführt, weil sie in der Steiermark nicht nur in den Kalkalpen (z. B. nördlich von Liezen oder in Gams bei Hieflau), sondern auch im Grazer Raum vorkommen: die Kainacher Gosau. Dort sind die Gesteine der Gosau vor allem Konglomerate und Sandsteine, aus denen aufgrund ihrer Isotropie und Festigkeit viele Jahrhunderte lang Mühlsteine gefertigt wurden.



Abb. 2. Landschaften und Gesteine der Kalkalpen. **(a)** Die Dachstein Südwand ist das Paradestück der Steirischen Kalkalpen. **(b)** Das Gipfelplateau der Hohen Veitsch ist Teil der Kalkalpen, aber es zeigt auch die gehobene alte Miozäne Altfläche mit Verkarstungserscheinungen. **(c)** Die „Kuhtrittmuschel" aus der Familie der Megalodonten ist ein Leitfossil der Trias in den Kalkalpen. **(d)** In den Gesäusebergen ist ein Großteil der klassischen Gesteinsabfolge der Kalkalpen vom Wettersteinkalk bis zum Dachsteinkalk gut erhalten (Fotos von www.luftbildsteiermark.at).

Unterhalb der mesozoischen Kalke liegen eine Reihe von Nicht-Karbonaten: die Werfener Schichten, die Gesteine des Haselgebirges und die Präbichlschichten. Diese Gesteine werden zu den Kalkalpen gerechnet, weil sie in direktem sedimentären Zusammenhang mit den darüber liegenden Karbonaten stehen. Sie treten nur an den Rändern der Kalkalpen zu Tage: in der Ramsau am Fuße des Dachstein, im Salzkammergut, nördlich der Enns zwischen Liezen und Admont, bei Eisenerz, sowie im Bereich Thörl und Aflenz. Bei diesen Gesteinen handelt es sich um an Salz und Gips reiche Sandsteine, Konglomerate und Mergel, die im obersten Perm in Lagunen entstanden. Später, in der Trias Zeit, senkte sich die Landmasse dann tektonisch immer weiter ab, sodass das Meer darüber immer tiefer wurde und die mesozoischen Korallenriffe darauf wuchsen, die heute die Kalkalpen bilden.

Ein morphologisches und hydrologisches Charakteristikum der Kalkalpen ist, dass die Kalkalpen stark verkarstet und plateauartig ausgebildet sind. Verkarstungsprozesse sind unter dem Einfluss von pflanzlichen Huminsäuren besonders effizient, und in der Tat sind viele der Verkarstungserscheinungen auf den Plateaus des Dachstein, des Hochschwabs oder der Hohen Veitsch bereits im Miozän entstanden, als diese Plateaus noch tiefliegende Altflächen nahe der Talsohlen waren. Die starke Verkarstung hat auch zur Folge, dass Regenwasser sich kaum hält und durch die Kalkschichten bis zu den Werfener Schichten hinab sickert.



Abb. 3. Landschaften und Gesteine der Paläozoischen Teile der Steiermark. **(a)** Der Polster nahe des Präbichl Passes in den Eisenerzer Alpen ist ein klassischer Punkt wo man den Übergang von den Kalken der Grauwackenzone (Vordergrund) in die Kalkalpen (Hintergrund) beobachten kann. **(b)** Das obere Murtal im Bereich der Stolzalpe liegt mitten im steirischen Teil der Gurktaler Decke. **(c)** Die Kalkwände des Röthelstein und der Roten Wand im Grazer Bergland liegen im Herzstück des Grazer Paläozoikums. **(d)** Blick von den Kristallingesteinen der Rottenmanner Tauern über die Grauwackenzone bei Liezen (Fotos von www.luftbildsteiermark.at).

Dort fließt es seitlich ab, bis es zutage tritt. Diese Austritte bilden Seen wie den Leopoldsteiner See, den Grünen See, verschiedene Moore bei Seewiesen, Bodenbauer, Selztal oder Admont, und die starken Quellen im Salzatal, welche die Wiener Hochquellleitung speisen.

2.2 Paläozoische Gesteine

In der Steiermark kommen paläozoische Gesteine ähnlicher Lithologie und verwandter tektonischer Geschichte an drei räumlich voneinander isolierten Stellen vor. In der Grauwackenzone, im Grazer Paläozoikum und in der Gurktaler Decke (Abb. 3). Diese Gesteine werden gerne als „paläozoische Gesteine“ zusammengefasst, weil solche im gesamten Alpenbogen sonst sehr selten sind: abgesehen von den Karnischen Alpen und einem sehr kleinen Teil der Karawanken gibt es im gesamten Alpenbogen keine vergleichbar alten Gesteine. Die Steiermark kann sich daher durchaus als die älteste Region der Alpen rühmen.

2.2.1 Die Grauwackenzone

Die tektonische Provinz der Grauwackenzone bildet in der Steiermark einen schmalen Streifen der sich von West nach Ost durch die gesamte Obersteiermark zieht. Im oberen Ennstal ist dieser Streifen nur wenige Kilometer breit und liegt entlang der Südseite des

Ennstals. Beiderseits des Paltentals wird dieser Streifen breiter. Im Bereich der Eisenerzer Alpen macht die Grauwackenzone den Großteil der Berge nördlich des Liesing- und Murtals zwischen Leoben und Bruck aus, und reicht nach Norden bis an die Basis der Kalkalpen. Bei der Leobener Hütte oberhalb des Präbichl-Passes gibt ein bekanntes Profil, wo man den Übergang von der Grauwackenzone in die Kalkalpen abwandern kann. Weiter im Osten dünnt die Grauwackenzone bis Aflenz komplett aus, und wird erst südlich der Hohen Veitsch und der Schneealpe im Bereich des obersten Mürztales wieder etwas breiter. Die Grauwackenzone besteht aus metamorphen Sedimenten und Vulkaniten, die im Paläozoikum am Nordrand von Gondwana abgelagert wurden.

Die Gesteine der Grauwackenzone sind fast ausschließlich schwach metamorphe und zum Großteil auch stark verformte (geschieferte) Gesteine. Darunter sind Vulkanite (Blasenеck Porphyroid, Diabas, Grünschiefer), Karbonate (Polsterkalk, Wildfeldkalk) und Metasedimente (Pyllite, Quarzite). Die chemische Zusammensetzung dieser Gesteine ähnelt sehr den chemischen Zusammensetzungen der höher metamorpher Äquivalente dieser Gesteinsarten (auch wenn sie tektonisch nicht mit diesen im Zusammenhang stehen), die im Abschnitt 2.3. diskutiert werden (s. Tab. 1). Interessanterweise gibt es das Gestein „Grauwacke“ in der Grauwackenzone kaum („Grauwacke“ ist ein aus der Bergmannssprache kommender, aber heute kaum mehr gebräuchlicher Begriff für graue Sandsteine).

Tabelle 1. Mittlere chemische Zusammensetzungen einiger weit verbreiteter Silikat Gesteine, die auch in der Steiermark häufig sind. 1 = nach PARK (1966) in PALIN et al. (2016); 2 = Eklogite von Hohl (west Steiermark) nach BRUAND et al. (2010); 3 = Basalt (Kalk-alkalischer Vulkanit) nach NOCKOLDS & LE BAS (1977) in PALIN et al. (2016); 4 = Mittel von mehr als 2000 Analysen nach SINGH (2009); 5 = nach JOHNSON et al. (2003). Die Gehalte von Sauerstoff (O), Fe^{3+} und H_2O sind mit Vorsicht zu genießen, da sie aufgrund analytischer Methoden in der Regel nur normativ berechnet sind (LOI = „Loss of ignition“). Das entspricht Großteils dem Wassergehalt). Folgende Gesteine haben sehr ähnliche Zusammensetzungen wie die in der Tabelle angeführten: So ähnlich wie der hier angeführte Granit: Orthogneise der Schladminger Tauern, der Gleinalpe, Seckauer Tauern etc. Amphibolite: Grünschiefer, Diabase. So ähnlich wie Metapelite: Granatglimmerschiefer, Paragneise, Phyllite.

	Amphibolite[1]	Eklogite[2]	Basalt[3]	Granite[4]	Metapelite[5]
SiO_2	49,74	49,64	51,90	72,04	63,37
Al_2O3	8,32	14,33	11,08	14,42	17,43
CaO	9,68	11,37	11,16	1,82	0,43
MgO	9,08	7,87	8,97	0,71	2,28
FeOtot	12,02	12,13	7,12	1,68	7,23
Fe_2O_3	-	-	-	1,22	-
K_2O	0,58	-	0,47	4,12	4,15
Na_2O	2,85	2,84	2,87	3,69	1,26
TiO_2	1,07	1,80	0,67	0,30	0,91
MnO	-	-	-	0,05	0,10
O	0,82	-	0,46	-	
P_2O_5	-	-	-	0,12	0,11
H_2O	5,84	-	5,83	-	LOI=2,43
Total	100,00	99,98	100,53	100,17	99,69

Westlich von Trieben bestehen die Gesteine der Grauwackenzone (bis auf kleine isolierte Kalklinsen bei Irdning) vor allem aus siliziklastischen Gesteinen mit einigen dazwischen geschalteten alkalischen Vulkaniten. Östlich von Trieben kommen in den Eisenerzer Alpen zunehmend Kalke (Zeiritzkampel, Reiting, Wildfeld) und der sogenannte Blasseneck-Porphyroid vor. Dieses ist ein mit mehr als 65 % SiO_2 Gehalt saurer Vulkanit, dessen chemische Zusammensetzung einem Granit nicht unähnlich ist (s. Abschnitt 2.3.). Eine Besonderheit der Eisenerzer Alpen sind natürlich die Vererzungen, insbesondere von Eisen. Diese Vererzungen finden mit der metasomatischen Umwandlung von Kalk ($CaCO_3$) in Siderit ($FeCO_3$) am Steirischen Erzberg ihren Höhepunkt. In diesem Zusammenhang ist es anekdotisch erwähnenswert, dass die wissenschaftliche Erkenntnis, dass am Erzberg eisenreiche Wässer die Umwandlung von Kalk zu Siderit verursachten, vermeintlich viel jünger ist als die Saga vom Wassermann, der für die Entdeckung des Erzberges verantwortlich sein soll.

Östlich vom Präbichl bestehen die Gesteine der Grauwacken vornehmlich aus dem Blasseneck-Porphyr, der dann bei Neuberg an der Mürz ausdünnt, bevor die dort nur zwei Kilometer breite Grauwackenzone am Preiner Gscheit südlich der Rax nach Niederösterreich weiter zieht.

2.2.2 Grazer Paläozoikum

Das Grazer Paläozoikum ist eine mit der Grauwackenzone tektonisch und lithologisch verwandte Einheit, die als gering mächtige (1–3 km dick) und regional scharf begrenzte Scholle auf den kristallinen Gesteinen der Glein- und Koralpe aufliegt, und im Süden unter dem Steirischen Becken verschwindet. Das Grazer Paläozoikum deckt sich Großteils mit dem geographischen Begriff des Grazer Berglandes. Seine Grenzen liegen im Westen im Sallagraben und im Norden entlang der Gleinalm-Scherzone. Diese Grenze quert bei Mixnitz das Murtal und liegt im Osten bei Birkfeld und Anger. Der Plabutsch in Graz und die Sausal-Erhebung bei Leibnitz sind isolierte Aufschlüsse des Grazer Paläozoikums, die aus den Sedimenten des Steirischen Beckens herausragen. Die Untergrenze des Grazer Paläozoikums ist in spektakulärer Weise am Schöckl zu beobachten, wo man entlang der Wanderwege oberhalb der Seilbahnstation nach wenigen Minuten von 90 Millionen Jahre jungen Gneisen in über 300 Millionen Jahre alte Kalke hinaufsteigt.

Die Gesteine sind – ähnlich der Grauwackenzone – schwach metamorphe, siliziklastische Sedimente, einige wenige schwach metamorphe Vulkanite, aber vor allem Karbonate, die in den tektonisch höher liegenden Teilen (Hochlantsch-Massif) fossilführend und kaum metamorph sind. In den tektonisch tiefer liegenden Teilen sind sie dagegen schwach metamorph und daher mehr marmorartig (Schöcklkalk). Die Karbonate des Grazer Paläozoikums sind sowohl als Kalk als auch als Dolomit ausgebildet. Dies ist sogar für den Laien deutlich durch den Unterschied am Pflanzenbewuchs zu erkennen, denn Mischwälder wachsen vor allem auf den Kalken.

2.2.3 Gurktaler Decke

Die Gurktaler Decke ist, ähnlich wie das Grazer Paläozoikum, eine wenige Kilometer dicke Scholle, die auf den kristallinen Gneisen des Gurktals und seiner Umgebung aufliegt. Sie ist tektonisch und lithologisch mit der Grauwackenzone eng verwandt. Im Bereich des oberen Murtals reicht diese Scholle von Kärnten auf einer Fläche von etwa 300 km^2 nördlich bis ins Katsch-Tal und Wölzer Bach-Tal in die Steiermark.

Die Gesteine ähneln jenen des Grazer Paläozoikums, aber abgesehen von den Kalken des Predigtstuhls westlich von Scheifling überwiegen in der Gurktaler Decke phyllitische Gesteine siliziklastischen oder vulkanischen Ursprungs. Chemische Zusammensetzungen dieser Gesteine werden im nächsten Abschnitt besprochen.

2.3 Gesteine der Kristallingebiete

Die Gesteine des kristallinen Grundgebirges machen flächenmäßig den größten Teil der Steiermark aus. Sie formen alle Gestein außerhalb der Kalkalpen, der paläozoischen Bereiche und des steirischen Beckens und bilden die Niederen Tauern, die Seetaler und Fischbacher Alpen, sowie in der Kor- und Gleinalpe (Abb. 4). Die kristallinen Gesteine bilden bei der Erosion die charakteristischen Landschaftsformen der Steiermark und haben am Hochgolling (2862 m) in den Schladminger Tauern ihre höchste Erhebung. Es handelt sich um jene Gesteine, die oft als „Urgestein“ bezeichnet werden (mit Ausnahme von Marmor). Dieser Begriff ist jedoch äußerst irreführend, denn er impliziert, dass die Gesteine sehr alte Gesteine sind, was bei weitem nicht zutrifft: die kristallinen Gesteine der Steiermark entstanden durch metamorphe Prozesse zum Teil vor 300 Millionen Jahren (Variszische Phase) und zum Teil erst vor 80–90 Millionen Jahren (Eoalpine Phase). Somit ist ein guter Teil der



Abb. 4. Landschaften und Gesteine der Kristallingebiete der Steiermark. **(a)** Die Koralpe besteht aus den höchstgradig metamorphen Gesteinen der Steiermark die vor nur 90 Millionen Jahren entstanden sind. Die rollende Landschaft täuscht: Diese Berge sind deutlich über 2000 m hoch. **(b)** Die Fischbacher Alpen sind die Kristallin Berge im Nordosten der Steiermark. **(c)** Der Hochgolling in den Schladminger Tauern ist der höchste Gipfel der Niederen Tauern und liegt mitten im Kristallingebiet. **(d)** Der Bösenstein in den Rottenmanner Tauern besteht aus varizischen Ortho- und Paragneisen (Fotos von www.luftbildsteiermark.at).

kristallinen Gesteine deutlich jünger als die Gesteine der Grauwackenzone, der Kalkalpen und des Grazer Paläozoikums. Viele der kristallinen Gesteine zählen zu den jüngeren Gesteinen der Steiermark.

Der Begriff „kristalline Gesteine“ leitet sich daraus ab, dass darin die einzelnen Kristalle sichtbar sind. So sind zum Beispiel Marmor, Granatglimmerschiefer und Amphibolite kristalline Gesteine, weil in ihnen durch Metamorphose neue Kristalle gewachsen sind, die mit dem freien Auge erkennbar sind. Sie sind kristalline Gesteine, obwohl ihre chemische Zusammensetzung zu 100 % jenen Gesteinen entspricht, aus denen sie durch Metamorphose entstanden sind. Kristalline Gesteine werden gerne nach dem darin vorkommenden Mineral benannt wenn dieses mehr als etwa 90 % des Volumens ausmacht. So besteht Amphibolit im Wesentlichen aus Amphibol, Serpentinit im Wesentlichen aus Serpentin und Quarzit im Wesentlichen aus Quarz.

Die metamorphen Gesteine der steirischen Kristallingebiete bildeten sich zum Teil aus Sedimenten (mono-metamorphe Gneise), zum Teil aus Vulkaniten (z. B. Amphibolite der Kor- und Gleinalpe), aus Granitoiden (Orthogneise der Gleinalpe und der Schladminger Tauern) und aus Gneisen, die bereits in vorhergehenden tektonischen Ereignisse gebildet wurden (poly-metamorphes Grundgebirge der Koralpe, Wölzer Tauern etc.). Insbesondere können vier wichtige Gesteinsgruppen verschiedener chemischer Zusammensetzung und verschiedener Herkunft in den kristallinen Gebieten der Steiermark unterschieden werden:

- *Metasedimente*: Große Teile der Gneise der Koralpe, Seetaler Alpen, und Schladminger Tauern bestehen aus Gneisen, die die chemische Zusammensetzung von fluviatilen Sedimenten mehr tonigen Ursprungs (Pelite) oder mehr sandigen Ursprungs (Psammite) haben. Gneise, die aus Sedimenten entstanden sind, werden als Paragneise oder Metasedimente (Metapelite oder Metapsammite) bezeichnet. Fluviatile Prozesse sind sehr effiziente Mechanismen zur Vereinheitlichung der chemischen Zusammensetzung aller Gesteine der erodierenden Herkunftsgebiete, denn Oxide wie CaO oder Na_2O sind leicht wasserlöslich und werden daher abtransportiert. Oxide wie P_2O_5 und TiO_2 sind dagegen vornehmlich in Schwermineralen enthalten und lagern sich im Oberlauf von Flüssen ab. Daher setzten sich reife Flusssedimente vor allem aus einem sehr einheitlichen Verhältnis der sechs Oxide SiO_2, Al_2O_3, MgO, FeO, K_2O und H_2O zusammen, wobei Al_2O_3 und SiO_2 am stärksten variieren können. Niedrigmetamorphe Äquivalente von Paragneisen sind Phyllite und Andalusit-führende Schiefer. Paragneise sind in der Regel sehr reich an Mineralen und werden gerne nach ihrem charakteristischen Mineralgehalt und Deformationszustand benannt. So sind Granatglimmerschiefer nichts Anderes als Granat und Glimmer führende stark geschieferte Gneise (Paragneise). Ein Untergruppe der Paragneise sind die Kalkglimmerschiefer. So werden Metasedimente bezeichnet, die neben den sechs oben genannten Oxiden auch einige Prozent CaO enthalten, was in der Regel auf eine Ablagerung von marinen Sedimenten hinweist. In kristallinen (hochgradig metamorphen) Gesteinen schlägt sich dieser CaO-Gehalt in der Regel im Plagioklas-Gehalt nieder.
- *Orthogneise*: Orthogneise sind Gesteine, die durch Metamorphose aus ehemaligen Intrusivgesteinen entstanden sind. In der Regel bezieht sich das Wort Orthogneis auf frühere saure Intrusivgesteine wie Granitoide. Große Teile der Gleinalpe und der Schladminger Tauern bestehen aus Orthogneisen, die im Rahmen der alpinen Metamorphose aus variszischen (300 Millionen Jahre alten) Granitoiden entstanden sind. Orthogneise haben in der Regel eine deutlich kleinere Mineralvielfalt als Paragneise. Sie bestehen oft aus Quarz, Plagioklas, Alkalifeldspat und Glimmer.

- *Mafische Gesteine*: Mafische Gesteine sind Gesteine mit einem hohen Anteil an dunklen Mineralen wie Pyroxenen und Amphibolen. In der Regel deutet das auf Quarz-Armut und somit niedrigen SiO_2 Gehalt hin und stimmt daher etwa mit dem Begriff „basische Gesteine“ überein. Mafische Gesteine sind in der Regel aus basischen Intrusivgesteinen (Gabbros) oder Vulkaniten entstanden und haben daher auch deren Zusammensetzung. In den kristallinen Teilen der Steiermark finden sich drei nennenswerte mafische Gesteine: Amphibolite, Eklogite und Ultramafite. Amphibolite haben in der Regel eine Standard-Zusammensetzung, die klar auf ehemaligen vulkanischen Ursprung hinweist (Tab. 1). Sie kommen in vielen Bereichen der Kristallingebiete vor. Eklogite sind zwar flächenmäßig ausgesprochen selten, sind aber aufgrund ihrer Bildungsgeschichte ein unter Geologen sehr bekanntes Gestein. Sie kommen in der Koralpe vor, wo auch die Typus-Lokalität für dieses Gestein liegt. Ihre Zusammensetzung ähnelt den Amphiboliten, sie sind aber in der Steiermark aus Permischen Gabbros entstanden. Ultramafische Gesteine haben einen SiO_2 Gehalt von unter 45 %. Das deutet in der Regel auf eine Herkunft der Gesteine aus dem Erdmantel hin. Ultramafische Gesteine gibt es in der Steiermark an drei räumlich sehr begrenzten Stellen: Westlich der Mur bei Pernegg, beiderseits des Murtals bei Kraubath, und ein Vorkommen am Hochgrößen westlich des Paltentals. Ultramafische Gesteine haben einen relativ hohen MgO Gehalt, der bei der Verwitterung zu recht unfruchtbaren Böden führt. Daher sind die drei genannten Ultramafit-Körper leicht daran erkennbar, dass die Mischwälder dort reinen Föhrenwäldern weichen. Ultramafische Gesteine werden von Botanikern gerne als Serpentinit bezeichnet. Dies trifft bei metamorphen Ultramafiten auch in der Tat oft zu, denn diese bestehen zum Großteil aus dem Amphibolmineral Serpentin. Unmetamorphe ultramafische Gesteine bestehen jedoch eher aus Pyroxenen und anderen Amphibolen.
- *Marmor*: Marmor ist metamorph gewordener Kalk. Aufgrund der einfachen chemischen Zusammensetzung von Kalk gibt es kaum andere Minerale als Kalzit, das aus CaO und CO_2 gebildet wird. Bei der Metamorphose wachsen die Kalzitkristalle allerdings zu sichtbaren Körnern heran – ein grobkristalliner Marmor entsteht. Der bekannte Salla-Marmor erhält seine spektakuläre Maserung dagegen vor allem aufgrund geringer Beimengungen von organischem Graphit, und es gibt in der Steiermark auch weitere Marmore, die aus „verschmutzten Kalken“ entstanden sind und oft etwas Diopsid, Plagioklas oder Olivin enthalten.

2.4 Gesteine des Steirisches Beckens und der intramontanen Becken

Die geologische Provinz des Steirischen Beckens stimmt im Wesentlichen mit der geografischen Definition überein (GROSS et al. 2007). Es kann gesagt werden, dass die Gesteine des Steirischen Beckens überall dort auftreten, wo die Seehöhe der Steiermark unter etwa 400 m liegt (Abb. 5). Das ist in der Weststeiermark der östliche Fuß der Koralpe. Die Grenze des Beckens zieht sich von hier durch den Bereich Köflach, Graz und Weiz nach Osten und geht nördlich von Hartberg ins Burgenland. Der gesamte Bereich westlich und südlich dieser Grenze war im Miozän Teil des Pannonischen Dehnungsbeckens und wurde in der Zeit vor 18 bis 10 Millionen Jahren von flachmarinen Sedimenten gefüllt. Die Mächtigkeit der Schichten des Steirischen Beckens nimmt nach Osten hin zu und wird am Ostrand der Steiermark bis zu vier Kilometer mächtig. Die Gesteine des Steirischen Beckens werden nur durch die weststeirische Schwelle unterbrochen, eine Aufwölbung des Grazer Paläozoikums, die im Plabutsch und im Sausal an die Oberfläche tritt. Durch eine leichte Kippung (und Erosion)



Abb. 5. Landschaften und Gesteine des Steirischen- und anderer Tertiär Becken. **(a)** Typische Ausbildung des oststeirischen Hügellandes im Bereich des Stiefingtals östlich von Graz. **(b)** Der Steinbruch Retznei in der Südsteiermark wird für die Zementproduktion verwendet, aber ist auch geologisch als Paradeprofil durch die 15 Millionen Jahre alten Florianer Schichten bekannt. **(c)** Die Riegersburg steht auf dem bekanntesten Beispiel für einen Vulkan der jungen (2 Millionen Jahre alten) Vulkangeneration in der Steiermark. **(d)** Das Trofaicher Becken am Südrand der Eisenerzer Alpen ist eines von einem halben Duzend inneralpinen Tertiär Becken (Fotos von www.luftbildsteiermark.at).

der Steiermark nach Osten in den letzten wenigen Millionen Jahren, treten die ältesten Sedimente des Beckens am Westrand zu Tage und werden nach Osten hin immer jünger. Wichtige Namen dieser Sediment Formationen sind (von West nach Ost und von alt nach jung) die Radlschotter, Florianischichten, Gleisdorfer Schichten und Stegersbach-Schichten.

Die Gesteine des Steirischen Beckens lassen sich in drei Gruppen unterteilen (Abb. 5):

- *Beckensedimente*: Der Großteil der Gesteine des Steirischen Beckens besteht aus Lockergesteinen wie Lehmen, Mergeln und Tonen, die auch zum Teil industriell abgebaut werden. Eines der wichtigsten Gesteine dieses Sediment-Stapels ist der sogenannte Leitha-kalk. Es handelt sich dabei um einen etwa 14 Millionen Jahre alten porösen Kalkstein, der im Bereich Leibnitz (Römersteinbruch), am Wildoner Berg und bei Weissenegg auftritt (Weissenegg Formation). Der Leithakalk ist ein beliebter Baustein und ist weit über die Grenzen der Steiermark hinaus bekannt. Er hat seine Typus Lokalität im Leitha-Gebirge.
- *Vulkanite*: Der Sedimentstapel des Steirischen Beckens wird von zwei Generationen von Vulkaniten durchbrochen. Die Gesteine des älteren Vulkanismus sind saure (da SiO_2 reiche – siehe oben) kalk-alkalische Gesteine wie Trachyt, Rhyolit und Andesit (Weitendorf, Gleichenberg; etwa 15–16 Millionen Jahre alt). Die Gesteine der jüngeren Vulkan-

generation (Stradener Kogel, Riegersburg, Klöch, Feldbach; etwa 1–2 Millionen Jahre alt), kommen tiefer aus dem Erdmantel und sind Nephelin führende, Quarz untersättigte Basalte und enthalten Olivin-Bomben.

- *Junge Sedimente*: Die dritte Gruppe von Gesteinen des Steirischen Beckens sind Sedimente, die erst nach der Hebung des Beckens über den Meeresspiegel in den letzten sieben Millionen Jahren über alle anderen Gesteine abgelagert wurden. Sie sind hier gesondert angeführt, weil sie in vielen Teilen des Steirischen Beckens die obersten, bodenbildenden Schichten formen. Diese Gesteine involvieren die sogenannten post-basaltischen, fluviatilen Schotter und Lehme (die auch viele Höhenrücken des Grazer Berglandes am Plabutsch und Schöckl abdeckten), sowie eine Reihe verschiedener eiszeitlicher Terrassen und Löss. Diese allochthonen Sedimente bedecken auch große Teile der Steirischen Vulkangebiete, sodass die Werbung der Weinbaugebiete mit den fruchtbaren „vulkanischen Böden" nicht immer zutrifft.

Eine den Sedimenten des Steirischen Beckens tektonisch nahe verwandte Gruppe von Gesteinen sind die Sedimente, die die inneralpinen Sedimentbecken entlang der Mur-Mürz Furche füllen. Die wichtigsten dieser Becken sind das Fohnsdorfer, Leobener, Trofaiacher, Kapfenberger, Krieglacher und das Obdacher Becken, die in den geografischen Regionen ähnlichen Namens liegen (s. LIEB 1991). Der Sedimentstapel dieser Becken entwickelte sich zeitgleich mit dem Steirischen Becken, die Sedimente sind hier allerdings nicht mariner Natur, sondern terrestrische Sedimente, die auch Kohleschichten enthalten.

2.5 Gesteine der glazialen Geschichte

In den Eiszeiten der letzten zwei Millionen Jahre war der Alpenbogen von einer Eiskappe bedeckt, die der heutigen grönländischen Eiskappe nicht unähnlich gewesen sein mag. Der Ostrand dieser Eiskappe verlief durch das Gebiet der heutigen Steiermark. Östlich davon gab es die einzigen Berge mit deutlich über 2000 m Seehöhe im Alpenbogen, die nie vergletschert waren (Hochschwab, Koralpe). Die maximale Ausdehnung des Murgletschers reichte bis Judenburg, der Draugletscher bis Völkermarkt und der Ennsgletscher bis tief ins Gesäuse (VAN HUSEN 2000, Abb. 6). Ein Seitengletscher des Ennsgletschers schob sich in das Paltenal hinauf bis Treglwang. An den Endstellen der Gletscher kann man noch heute die Wälle der Endmoränen erkennen. Östlich dieser Linie gab es nur vereinzelte isolierte Hängegletscher, welche die Gipfelkare der Koralpe, der Seetaler Alpen und des Hochschwabs bedeckten. In den Seckauer Alpen ist der Ostrand der Vergletscherung besonders gut sichtbar, denn die Berge westlich des Hochreichart zeigen konkave, Gletscher geschürfte Kare, wogegen die Gipfel östlich davon (Seckauer Zinken, Maria Schnee) konvexe runde Kuppen bilden, weil sie nie vergletschert waren.

In den einstmals vergletscherten Teilen der Steiermark sind Moränen und andere eiszeitliche Sedimente häufig anzutreffen (Abb. 6). Außerhalb der vergletscherten Bereiche gibt es Schotterterrassen, die in den Eiszeiten und den Zwischeneiszeiten gebildet wurden. Insbesondere wird eine höhere Prä-Würm und eine tiefer liegende Würm-Terrassengruppe unterschieden (WAGNER et al. 2011). Die tiefer liegende wird auch als Niederterrasse bezeichnet und bedeckt einen Großteil des Grazer Feldes, zum Beispiel im Bereich des Flughafens. Die höher liegende (ältere) Terrassengruppe beinhaltet eine Riss-eiszeitliche Terrasse und die zwischeneiszeitliche Helfbrunner Terrasse, die südlich von Graz am Ostrand des Grazer Feldes deutlich zu erkennen ist. Diese Terrassen sind auch in anderen Teilen der Oststeiermark weit verbreitet (WAGNER et al. 2011). Eiszeitliche Löss- Ablagerungen sind vor



Abb. 6. Landschaften und Gesteine der glazialen Geschichte der Steiermark. **(a)** Die Klafferkessel in den Schladminger Tauern sind eines der schönsten Beispiele für Gletscher geschürfte Kare. **(b)** Der Bereich der Endmoräne des Würm Eiszeitlichen Murgletschers im Bereich Judenburg. Der Blick ist Mur aufwärts über Pöls. **(c)** Das Grazer Feld südlich von Graz besteht aus glazialen Schottern, die in verschiedenen Terrassen abgelagert sind (Niederterrasse, Hochterrasse, Kaiserwald Terrasse). **(d)** Glaziale Terrassen Landschaft nördlich von Spielfeld in der südlichsten Steiermark (Fotos von www.luftbildsteiermark.at).

allem im Grazer Raum weit verbreitetet, wo sie auf den tief verkarsteten Kalken des Grazer Berglandes zum Teil fruchtbare Böden bilden. Der Großteil der mächtigen Lehmschichten der im Quartär nicht vergletscherten Teile der Steiermark ist aber wohl nicht äolischen Charakters (Löss), sondern eiszeitlich fluviatil oder auch älteren Neogenen Ursprungs und daher als allochthoner Boden zu betrachten (WINKLER-HERMADEN 1955).

3. Tektonik

Die Tektonik der Steiermark ist für den Botaniker nur von sekundärer Bedeutung. Trotzdem soll diese im Folgenden in einem kurzen Abschnitt zusammengefasst werden, denn sie erklärt viele Oberbegriffe, die auf geologischen Karten auftauchen. Eine einfache Zusammenfassung der tektonischen Geschichte findet sich auch in SCHUSTER & STÜWE (2010), STÜWE & HOMBERGER (2011, 2018) oder der detaillierten Fachliteratur (z. B. FROITZHEIM et al. 2008, Abb. 7).

In der klassischen Aufteilung nach TOLLMANN (1977) werden die Ostalpen aufgrund der strukturellen Übereinanderlagerung in Unterostalpin, Mittelostalpin und Oberostalpin unterteilt. Das Unterostalpin ist in der Steiermark nur im Bereich des Semmering vertreten, wo es

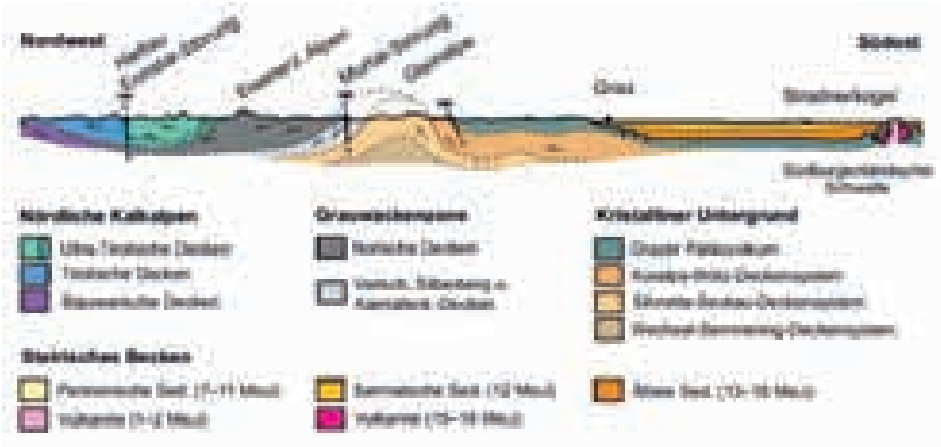


Abb. 7. Tektonisches Profil durch die Steiermark von Nordwesten nach Südosten (nach GASSER et al. 2009).

direkt auf den Gesteinen des Penninischen Ozeans im Rechnitzer Fenster aufliegt. Das Mittelostalpin umfasst sämtliche Kristallingesteine der Steiermark. Zum Oberostalpin gehören die Grauwackenzone, die Gurktaler Alpen, das Grazer Paläozoikum und die Kalkalpen, weil sie als oberste Decken vorliegen. Der gesamte Deckenstapel des Ostalpins gehört – zusammen mit dem Südalpin - zur früheren (mesozoischen) adriatischen Platte, die bis vor gut 50 Millionen Jahren noch südlich vom Europäischen Kontinent lag und von diesem durch den Penninischen Ozean getrennt war.

Im Jura (vor etwa 135 Millionen Jahren) begann sich der Nordteil dieser adriatischen Platte unter den Südteil zu schieben. Die höchst-liegenden Teile der Platte wurden dabei von ihrem Untergrund abgeschert und nach Norden über das kristalline Mittelostalpin transportiert – sie wurden zum Oberostalpin. Im Rahmen der folgenden süd-gerichteten Subduktion des Penninischen Ozeansbodens unter die adriatische Platte wurden auch Teile der Platte selbst mit in die Tiefe geschleppt (entlang von Scherzonen wie dem Plattengneis). Dabei bildeten sich die hochgradig metamorphen Gesteine der Koralpe bei Druckverhältnissen bis 18 kbar. Als der Ozean fast subduziert war, wurden die Gesteine des Ozeanbodens und jene der adriatische Platte über Europa gequetscht. Heute liegen diese Gesteine der mesozoischen adriatischen Platte (das Ostalpin) flach über jenen des Penninischen Ozeanbodens, dessen Gesteine wiederrum flach auf der primären, mesozoischen Europäischen Kontinentalmasse liegen.

Nachdem der Penninische Ozean vollständig subduziert war, begann die Kopf an Kopf Kollision der Adriatischen mit der Europäischen Platte und die Erdkruste wurde verdickt. Die deutlich verdickte Kruste kam bald zum Stillstand und eine neue Plattengrenze bildete sich, die den flach liegenden Deckenstapel senkrecht durchschnitt: die Periadriatische Naht, die seit 30 Millionen Jahren nun die „neue“ Grenze zwischen Europäischer und Adriatischer Platte bildet und die heute entlang des Südrandes des Bachern-Gebirges und der Karawanken verläuft.

Vor etwa 18 Millionen Jahren begann das Pannonische Becken durch eine West-Ost gerichtete Dehnung aufzureißen. Ein Kilometer dicker Sedimentstapel, der auch das Steirische Becken füllte, lagerte sich in diesem Becken ab. Im Zusammenhang mit der Dehnung des Steirischen Beckens wurden die Ostalpen nach Osten gedrückt. Dabei bildeten sich die gro-

ßen Störungszonen entlang des Ennstals, der Mur-Mürz-Furche und dem Lavanttal. Entlang dieser Störungen bildeten sich kleine Sedimentbecken, die von terrestrischen Sedimenten gefüllt sind. Der „steirische Block“ (die Oststeiermark zusammen mit Koralpe, Gleinalpe und Fischbacher Alpen) wurde zwischen der Lavanttal-Störung und der Mur-Mürz-Störung nach Osten gedrückt und das Fohnsdorfer Becken bildete sich. Vor weniger als 10 Millionen Jahren wurde das Steirische Becken „invertiert“: Es wurde gehoben. Zusammen mit dem Grazer Bergland wurde der gesamte Steirische Block in den letzten vier Millionen Jahren noch um fast 1000 m gehoben, wobei von den weichen Gesteine der Oststeiermark gleichzeitig etwa 700 m wieder erodiert wurden. In der letzten Million Jahre gaben die Eiszeiten dem Land den letzten Schliff.

4. Mythen und Tatsachen zwischen Geologie und Botanik

In Diskussionen zwischen Pflanzenwissenschaftlern und Geologen tauchen immer wieder ähnliche Fragen auf, von denen einige „Klassiker“ hier diskutiert werden sollen. Die Gesteine der Steiermark bieten dazu schöne Beispiele.

4.1 Härte von Gesteinen

Für den Botaniker ist die Härte von Gesteinen ein wichtiger Parameter, denn sie steht in direkter Beziehung zur Bodenbildung. Ist Granit aber nun härter oder weicher als Kalk? Diese Frage ist nicht so einfach zu beantworten wie es aussieht, denn Härte ist nicht gleich Härte und in der Industrie werden Härten nach den verschiedensten Kriterien und Ansprüchen definiert (Abb. 8). Im folgenden Abschnitt wird illustriert, wie schwer es ist die „Härte“ oder die „Verwitterungsbeständigkeit“ von Gesteinen zu bestimmen.

Die mineralogische (Mohs’sche) Ritzhärte ist wohl definiert und nach ihr lassen sich verschiedene Minerale (aber nicht Gesteine) klar einordnen: Diamant (C) mit der Härte 10 ist das härteste bekannte Mineral, Talk ($Mg_3[Si_4O_{10}(OH)_2]$) mit der Härte 1 das Weichste und Quarz (SiO_2) liegt dazwischen: Seine Härte 7 definiert den Übergang zur Edelsteinhärte. Interessanterweise ist die duktile Verformungshärte im Rahmen tektonischer Prozesse aber oft anders als die Ritzhärte (und hängt auch sehr stark vom Verformungsmechanismus, der Verformungsrate und der Temperatur ab). So ist zum Beispiel die duktile Härte von Quarz eine der geringsten aller Minerale! Dies kann man sehr schön in den Stainzer Platten beobachten: Darin bildet Quarz oft lange stark ausgewalzte dunkle Schlieren, wogegen Glimmer, Feldspat und Granat als „harte“ Einzelkörner erhalten blieben.

In Bezug auf Verwitterungsprozesse unter geologischen Zeitmaßstäben ist es aber kaum wichtig, wie hart die einzelnen Minerale sind, sondern ausschlaggebend, ob das Gestein nur aus einem oder aus mehreren Mineralen besteht. Aufgrund der verschiedenen thermischen Ausdehnungseigenschaften unterschiedlicher Minerale sind alle Gesteine, die aus einer Reihe verschiedener Minerale bestehen (Granatglimmerschiefer und Gneise der Koralpe bestehen aus Granat, Muskovit, Biotit, Quarz, Feldspat und manchmal auch noch Staurolit, Disthen und/oder Chlorit), relativ leicht verwitterbar. Monomineralische Gesteine wie Amphibolit oder Marmor hingegen sind ausgesprochen verwitterungsbeständig. Daher bilden auch die Marmorzüge bisweilen die höchsten Erhebungen der südlichen Gleinalpe, obwohl sie aus Kalzit bestehen, der mit einer Ritzhärte von 3 eigentlich zu den weichsten Mineralen gehört. In der Tat werden in der Steiermark Marmor (im Salla-Graben) und Kalk (im Grazer Raum) aufgrund ihrer Verwitterungsbeständigkeit als Schotter und Drainage-Material abgebaut.

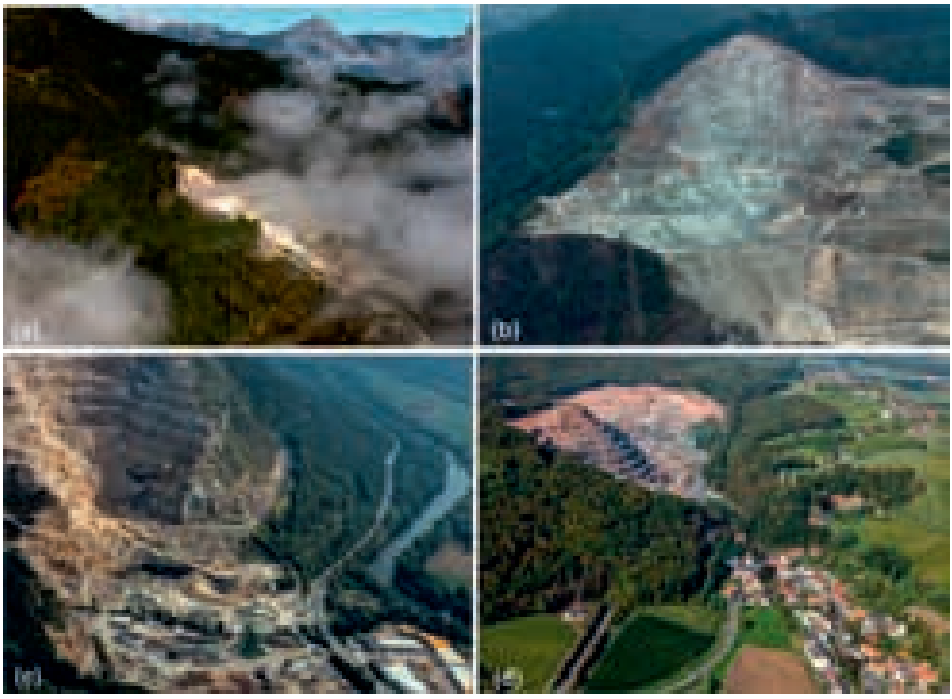


Abb. 8. Harte und weiche Gesteine. **(a)** Der Sölker Marmor Steinbruch bei Öblarn im Ennstal. **(b)** Der Hartsteinbruch bei Kraubath im Murtal baut ein ultrabsisches Gestein ab, dass aufgrund seiner Monomineralität und der Verwachsung der einzelnen Kristalle als äußerst widerstandsfähig gilt. **(c)** Kalksteinbruch bei Gratkorn. Obwohl Kalzit eines der weichsten Minerale ist, werden die Kalke hier auch als Schottermaterial abgebaut. **(d)** Basalt Steinbruch bei Klöch in der Oststeiermark.

Allerdings ist auch die Tatsache, dass ein Gestein monomineralisch ist, nicht unbedingt ein Zeichen für seine Verwitterungsbeständigkeit: So ist zum Beispiel Sandstein oft praktisch monomineralisch (aus Quarz) und kann sehr fest sein, wenn er sich einem Quarzit annähert. Der Quarzsandstein der Präbichlschichten ist allerdings ein sehr weiches Gestein. In diesem Fall liegt der Unterschied im Metamorphosegrad, der die Verwachsung der Sandkörner bedingt.

Zu der Vielfalt des Mineralgehalts kommt zur Härte von Gesteinen natürlich auch noch der Deformationszustand, sowie die Korngröße und die Korneigenschaften dazu: Ist das Gestein geschiefert oder verfaltet? In mehrere Richtungen geschiefert? War die Verformung des Gesteins vor der Metamorphose oder nach der Metamorphose? Gibt es Klüfte oder Risse? Ein gutes steirisches Beispiel für die Vielfalt der Verwitterungsbeständigkeit ist Diabas. In der magmatischen Petrologie wird das Wort „Diabas“ praktisch synonym mit Dolerit verwendet – ein feinkörniges vulkanisches Gestein von wohl definierter chemischer Zusammensetzung, das ein Geologe eigentlich nur im steirischen Vulkanland suchen würde. Wenn man aber die Diabas-Steinbrüche der Steiermark auf einer geologischen Karte sucht, so findet man diese auch in den Gneisen der Koralpe oder in den Schiefern der Grauwackenzone. Das liegt daran, dass die Diabas-Definition der Industrie bezüglich genormter Eigenschaften (Abriebfestigkeit und ähnliches) oft nicht mit der geologischen Definition übereinstimmt.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass die „Erodierbarkeit“, die „Härte“ und die „Bodenbildungsfähigkeit“ von Gesteinen kaum aus einer geologischen Karte zu abzulesen sind und im Einzelfall zu klären sind.

4.2 Säuregrad und andere chemische Aspekte von Gesteinen

Die Begriffe sauer und basisch werden von Geologen und Botanikern durchaus verschieden verwendet. Während die Definition der Botaniker eng mit der chemischen Definition des ph-Wertes verknüpft ist, beziehen sich die Begriffe in den Erdwissenschaften auf den SiO_2-Gehalt von Silikatgesteinen und gelten daher zum Beispiel nicht für Kalk. Die chemische Rechtfertigung dieser Einteilung bezieht sich darauf, dass Silikate als Salze der Kieselsäure (H_4SiO_4) betrachtet werden können. Demnach werden Gesteine mit über 63 % SiO_2 als saure Gesteine bezeichnet, Gesteine mit 63–52 % SiO_2-Gehalt als intermediäre Gesteine, mit 52–45 % SiO_2 als basisch und Gesteine mit geringerer SiO_2 Gehalt als ultrabasisch. Saure oder basische Gesteine im geologischen Sinne haben also nichts mit dem ph-Wert des darüber liegenden Bodens zu tun. Die Bezeichnung „basisches Gestein“ ist eng mit der Definition eines mafischen Gesteins verknüpft. Letztere bezieht sich auf den Anteil dunkler Minerale wie Amphibole und Pyroxene, die stöchiometrisch in der Regel weniger SiO_2 enthalten als helle Minerale wie Feldspate oder Quarz.

Im botanischen Sinne dagegen definieren sich saure und alkalische Gesteine oder besser die aus ihnen gebildeten sauren oder alkalischen Böden über den Gehalt an Kalzium und Magnesium, den Erdalkalimetallen. Diese puffern die Huminsäuren der Böden, was zu subneutralen bis schwach alkalischen Böden über entsprechend kalk- oder dolomithaltigen Gesteinen führen kann. Über Gesteinen, die diese Metalle nicht, nur in geringen Mengen oder chemisch stark gebunden enthalten, wie Granite, Gneise, Quarzsandstein oder Glimmerschiefer, können die Huminsäuren ihre pH-senkende Wirkung dagegen voll entfalten.

Die Probleme, die sich aus der Hauptelement-Zusammensetzung von Silikatgesteinen für die Relevanz für Pflanzen ergeben, sind gut anhand des Eisengehaltes illustrierbar. Die meisten Silikatgesteine enthalten mehrere Prozent Eisen. Allerdings liegt dieses Eisen großteils in zweiwertiger Form (als $Fe^{2+}O$) vor und ist als solches nicht für die Bodenbildung oder für die Färbung von Gesteinen verantwortlich. So enthält zum Beispiel das Eisenerz Siderit ($FeCO_3$) des steirischen Erzberges über 40 % Eisen, aber das Mineral ist weiß bis leicht grünlich. Erst durch die Oxidation und das Vorliegen als Hydroxid-Verbindung ist Eisen auch für die Bodenbildung verfügbar. Rote Färbung von Gesteinen ist eher ein Zeichen für Klüftung, Wasser, oder Porosität als für Eisengehalt und kann bei sehr geringen Eisengehalten entstehen (Abb. 9). Wie wenig Eisen für massive Rostfärbung von Gesteinen ausreicht, ist uns von dem rostigen Nagel in einer weißen Hauswand bekannt. Darüber hinaus ist zu beachten, dass sogar manche stark oxidierte Minerale (z. B. Magnetit, $(Fe^{3+})_2Fe^{2+}O_4$ oder Hämatit, $(Fe^{3+})_2O_3$) keine rote Farbe haben. So wie wenige ppm Eisenhydroxid ausreichen, um starke Rotfärbungen von Gesteinen zu verursachen, so sind es in der Regel auch geringste Konzentrationen von Spurenelementen, die einen deutlich größeren Einfluss auf den Pflanzenbewuchs haben, als viele der Hauptelemente (siehe auch die Ähnlichkeiten vieler Silikat-Gesteine in Tab. 1).



Abb. 9. Nur wenige ppm oxidiertes Eisen reichen um substantielle Rotfärbungen von Gesteinen zu verursachen, wie hier an der Roten Wand bei Mixnitz.

5. Schlussfolgerungen

In der Steiermark gibt es vier große geologische Landschaften, die sich mit den tektonischen Provinzen decken: Die Kalkalpen, die Grauwackenzone, die Kristallingebiete und das Steirischen Becken. Für den Botaniker ist allerdings vor allem der Gesteinsbestand von Wichtigkeit, der sich aus dieser groben Einteilung kaum ablesen lässt. In der Tat ist der Gesteinsbestand in der Regel auch nicht aus den „lithostratigrafischen Formationen", die in einer geologischen Karte auskartiert sind, direkt ablesbar. Für die Steiermark ergeben sich aus dieser groben geologischen Aufteilung eine Reihe von komplexen Überlappungen und leicht verwirrbaren Zusammenhängen: So gibt es Kalk in der Steiermark nicht nur in den Kalkalpen, sondern auch in den anderen drei tektonischen Provinzen, das Gestein „Grauwacke" gibt es überhaupt kaum – nicht einmal in der Grauwackenzone – und die im Gelände sehr verschieden erscheinenden Gesteine der Kristallingebiete (z. B. „Amphibolit" oder „Granatglimmerschiefer") haben eine verblüffend ähnliche Hauptelement-Zusammensetzung. Darüber hinaus sind große Teile der Steiermark von den Gipfelplateaus des Dachstein-Massivs bis zum Oststeirischen Hügelland oft von Neogenen und eiszeitlichen (Quartären) Sedimenten überdeckt, sodass die Böden als allochthon zu betrachten sind und oft nichts mit den darunter liegenden Gesteinen zu tun haben.

Dieser Artikel versucht, solche Verwirrungen aufzulösen, in dem die geologischen Landschaften bezüglich ihres Gesteinsbestandes beschrieben werden. Trotzdem wird aber vor allem darauf hingewiesen, dass die für den Botaniker wichtigen Parameter der Geologie, eher Verwitterungsbeständigkeit, Struktur, Allochthonie der Böden und Spurenelement-Gehalte sind. Diese sind aber auf geologischen Karten in der Regel nicht verzeichnet. Daher muss zusammenfassend gesagt werden, dass viele für den Botaniker wichtige Aspekte der Geologie im Einzelfall nur im Rahmen von interdisziplinären Diskussionen geklärt werden können.

Danksagung

O. Nestroy und T. Wagner wird für Diskussionen über die Böden der Steiermark gedankt. R. Homberger danke ich für die Erlaubnis der Verwendung der Luftbilder (siehe interaktive Foto-download Seiten auf www.alpengeologie.org und: www.luftbildsteiermark.at). Den Mitarbeitern vom Schulatlas Steiermark sei für geologische Karte in Abbildung 1 gedankt (www.schulatlas.at).

Literatur

BRUAND, E., STÜWE, K. & PROYER, A. (2010): Pseudosection modelling for a selected eclogite body from the Koralpe (Hohl), Eastern Alps. – Mineral. Petrol. 99: 75–87.

DERTNIG, F., STÜWE, K., WOODHEAD, J., STUART F.M. & SPÖTL C. (2017): Constraints on the Miocene landscape evolution of the Eastern Alps from the Kalkspitze region, Niedere Tauern (Austria). – Geomorphology 299: 24–38.

FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F. (1984): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark, 1:200.000. – In: Geologie der Österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen. Geologische Bundesanstalt, Wien.

FRISCH, W., KUHLEMANN, J., DUNKL, I. & SZÉKELY, B. (2001): The Dachstein paleosurface and the Augenstein Formation in the Northern Calcareous Alps – a mosaic stone in the geomorphological evolution of the Eastern Alps. – Int. J. Earth Sci. 90: 500–518.

FROITZHEIM, N., PLASIENKA, D. & SCHUSTER, R. (2008): Alpine tectonics of the Alps and Western Carpathians. – In: MC CANN T. (Hrsg.): The Geology of Central Europe: Mesozoic and Cenozoic. – Geol. Soc. Lond. 18: 1141–1232.

GASSER, D., GUSTERHUBER, J., KRISCHE, O., PUHR, B., SCHEUCHER, L., WAGNER, T. & STÜWE, K. (2009): Geology of Styria: An overview. – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark 139: 5–36.

GROSS, M., FRITZ, I., PILLER, W.E., SOLIMAN, A., HARZHAUSER, M., HUBMANN, B., MOSER, B., SCHOLGER, R., SUTTNER, T.J. & BOJAR, H.P. (2007): The Neogene of the Styrian Basin: Guide to Excursion. – Joannea Geol. Paläontol. 9: 117–193.

JOHNSON, T.E., BROWN, M. & SOLAR, G.S. (2003): Low–pressure subsolidus and suprasolidus phase equilibria in the MnNCKFMASH system: Constraints on conditions of regional metamorphism in western Maine, northern Appalachians. – Am. Mineral. 88: 624–638.

LIEB, G.K. (1991): Eine Gebietsgliederung der Steiermark aufgrund naturräumlicher Gegebenheiten. – Mitt. Abt. Bot. Landesmus. Joanneum Graz 20: 1–30.

PALIN, R.M., WHITE, R.W., GREEN, E.C.R., DIENER, F.A., POWELL, R. & HOLLAND, T.J.B. (2016): High-grade metamorphism and partial melting of basic and intermediate rocks. – J. Metamorph. Geol. 34: 871–892.

PILLER, W.E., EGGER, H., ERHART et al. (2004). Die Stratigraphische Tabelle von Österreich 2004 (sedimentäre Schichtfolgen). – Österreichische Stratigraphische Kommission, Wien.

SCHUSTER, R. & STÜWE, K. (2010): Die Geologie der Alpen im Zeitraffer. – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark 140: 5–21.

SINGH, G. (2009): Earth Science Today. – Discovery Publishing House: 308 pp.

STÜWE, K. & HOMBERGER, R. (2011): Die Geologie der Alpen aus der Luft. – Weishaupt Verlag, Gnas: 286 pp.

STÜWE, K. & HOMBERGER, R. (2018): Steiermark aus der Luft. – Weishaupt Verlag, Gnas: 208 pp.

TOLLMANN, A. (1977): Geologie von Österreich. Band 1. Die Zentralalpen. – Deuticke, Wien: 766 pp.
VAN HUSEN, D. (2000): Geological processes during the Quaternary. – Mitt. Österr. Geol. Ges. 92: 135–156.
WAGNER, T., FRITZ, H., STÜWE, K., NESTROY, O., RODNIGHT, H., HELLSTROM, J. & BENISCHKE, R. (2011): Correlations of cave levels, stream terraces and planation surfaces along the River Mur – timing of landscape evolution along the eastern margin of the Alps. – Geomorphology 134: 62–78.
WINKLER-HERMADEN, A. (1955): Ergebnisse und Probleme der quartären Entwicklungsgeschichte am östlichen Alpensaum außerhalb der Vereisungsgebiete. – Denkschr. Akad. Wiss. Math.-naturw. Kl., 110, Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft

Jahr/Year: 2018

Band/Volume: BH_11_2018

Autor(en)/Author(s): Stüwe Kurt

Artikel/Article: Geologie der Steiermark – relevante Aspekte für die Botanik 11-31