

Zeitschrift: Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen
Band: 62 (2010)

Artikel: Der geologische Untergrund : die Mutter des Bodens
Autor: Graf, Hansruedi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-584657>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

2. Der geologische Untergrund – die Mutter des Bodens

Hansruedi Graf

2.1 GEOLOGIE UND BODEN

2.1.1 Geologie bedeutet Muttergestein

Der Gesteinsuntergrund ist die Grundlage für unsere Böden. Durch Verwitterung entsteht aus dem ursprünglichen Gesteinsmaterial im Laufe der Zeit ein Boden. Die Verwitterung bewirkt einerseits die Zerlegung des Ausgangsgesteins in kleinere Komponenten (physikalische Verwitterung) und andererseits eine Veränderung des Gesteinsmaterials (chemische Verwitterung). Das herrschende Klima und die vorkommenden Organismen spielen bei der Verwitterung eine grosse Rolle. So sind beispielsweise die Wurzeln einer Pflanze in der Lage, den Gesteinsverband durch ihr Wachstum zu zerstören (Sprengen). Huminsäuren sind wichtig bei der chemischen Veränderung des Gesteins (z. B. Auflösung des Kalkes). Niederschlagswasser verlagert die Umwandlungsprodukte im Untergrund. Eine Vielzahl von solchen Prozessen und ihre Wechselwirkungen führen schliesslich zu einem Boden. Die Zeit spielt in diesem Prozess eine wesentliche Rolle. Je länger die Verwitterung wirken kann, desto intensiver wird die Bodenbildung, desto vollständiger wird die Zerkleinerung und chemische Umwandlung des Ausgangsgesteins und desto mächtiger wird der Boden selbst. Es gibt eine Vielzahl von Bodentypen. Diese werden nicht nur von den wirkenden Verwitterungsprozessen, dem Klima und der Dauer der Bodenbildung bestimmt, sondern zu einem wesentlichen Teil von der Art des Muttergesteins – also von der Geologie.

2.1.2 Geologie bedeutet Erdgeschichte

Die Geologie als Wissenschaft beschäftigt sich mit der Entstehung, den Eigenschaften und der Verteilung der Gesteine auf der Erde. Die Gesteine sind der Ausdruck von Vorgängen im Erdinneren und/oder an der Erdoberfläche. Die Art der Vorgänge, die an einem bestimmten Punkt der Erde geschehen, verändert sich im Laufe der Zeit. Vulkane sind nicht immer an der gleichen Stelle aktiv, Meere entstehen und vergehen, Flüsse verändern ihren Lauf, Ge-

birge werden zusammengeschoben und wieder abgetragen. Kontinente verschieben sich und gelangen deswegen von einer Klimazone in eine andere. Man beobachtet im Laufe der Erdgeschichte typische, immer wiederkehrende Ablagerungsräume, in welchen stets ähnliche Gesteine entstehen. Man spricht dabei von Faziesräumen (z. B. warme Schelfmeere mit Karbonatproduktion, Schuttfächer mit grobkörnigen Flussablagerungen, Wüsten mit Bildung von durch Wind abgelagerten Sandsteinen, Tiefseebecken mit mächtigen, tonreichen Gesteinsserien, etc.).

Diese geologischen Vorgänge und ihre zeitliche und räumliche Veränderung sind verantwortlich für die Art der Gesteine, die zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem gewissen Ort entstehen. Sie bestimmen auch die chemische Zusammensetzung, die Schichtung und Körnung der Gesteine. Und diese Eigenschaften wiederum sind entscheidend für die Art des Bodens, die sich aus den jeweiligen Gesteinen entwickeln kann.

2.1.3 Die Gesteinsarten

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von Gesteinen: Die kristallinen und die sedimentären Gesteine. Die kristallinen Gesteine werden in die magmatischen und die metamorphen Gesteine unterteilt. Magmatische Gesteine sind solche, die im Zusammenhang mit Vulkanismus entstehen (Magmatismus), metamorphe Gesteine sind jene, die im Rahmen von Gebirgsbildungen durch hohe Temperaturen und Drücke umgewandelt werden (Metamorphismus). Die sedimentären Gesteine können ebenfalls in zwei Gruppen unterteilt werden, nämlich in marine (im Meer entstandene) und kontinentale (auf dem Festland entstandene) Gesteine. Sedimentgesteine beginnen meist als loses Gemenge von unterschiedlich grossen Partikeln, die anschliessend zu Gesteinen umgewandelt werden. Diesen Prozess nennt man Diagenese. Die wichtigsten Vorgänge sind dabei die Kompaktion des Sedimentes durch zunehmende Überlagerung und die Zementation der Komponenten.

Die vulkanischen Vorgänge, die Gebirgsbildungsprozesse, die marinen und kontinentalen Ablagerungsräume sind von grosser Vielfalt, die jeweils entstehenden Gesteine genauso. Und dementsprechend die möglichen Böden. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Gesteinstypen kurz charakterisiert.

2.1.3.1 Kristalline Gesteine

Die kristallinen Gesteine bestehen – wie es der Name sagt – aus einem Gemenge von Mineralien in kristalliner Form. Im Fall von vulkanischen Gesteinen können sie aber auch aus einer glasartigen Masse nicht auskristallisierter Magma bestehen. Die Zeitdauer, welche die ursprünglich flüssige Magma zur Abkühlung und somit bis zur ihrer Aushärtung zum Gestein hat, ist entscheidend für die Grösse der einzelnen Mineralkörner. Gesteine, welche im Rahmen einer Gebirgsbildung in die Tiefe der Erdkruste und somit in Bereiche mit hoher Temperatur und hohen Umgebungsdrucken gelangen, werden umgewandelt, bis schliesslich ebenfalls ein Gemenge von kristallinen Mineralkörnern vorliegt. Bei der Verwitterung wird als erstes oft dieser Mineralverband aufgelöst – das Gestein «vergrust». Damit einher geht eine Umwandlung von gewissen Mineralien zu Tonen und anderen Abbauprodukten.

2.1.3.2 Sandsteine

Sandsteine entstehen entweder in Meeresgebieten mit Wasserbewegung (Küstenbereich, Gezeitenströmungen, Deltas von Flüssen), in Wüstengebieten (Dünen) oder in Flusssystemen. Sie bestehen aus zerriebenem Gesteinsmaterial, welches durch diagenetische Vorgänge zu einem Gestein verfestigt wird (siehe Abb. 2). Die Verwitterung bewirkt eigentlich eine Umkehr der Diagenese, nämlich eine Auflockerung des Gesteinsverbandes und die Auflösung von Verkittungen. So entsteht aus einem Sandstein bei der Verwitterung Sand. Je nach dem Vorkommen von Mineralkörnern im Sandstein, welche chemisch zu Tonen abgebaut werden können, wird dieser Sand mehr oder weniger lehmig ausgebildet sein.

2.1.3.3 Ton- /Siltsteine, Mergel

Die feinkörnigen Ton- und Siltsteine sowie Mergel (Tonsteine mit wesentlichem Anteil an Kalk) entstehen einerseits in ruhigen Meeresbecken oder in der Tiefsee und andererseits in Seen sowie in Überschwemmungsgebieten von Flüssen. Die marinen Sedimente sind in der Regel dunkelgrau (siehe Abb. 5), während die kontinentalen Varianten oft von bunter Farbe sind (siehe Abb. 3 und 7). Dies, weil sie bereits kurz nach ihrer Entstehung der Verwitterung

ausgesetzt sind und zu Böden werden. Diese bunten Abfolgen von Ton- und Siltsteinen stellen also nichts anders dar als alte Böden (Paläoböden). Ton-/Siltsteine und Mergel verwittern zu Lehm.

2.1.3.4 Kalksteine, Dolomite

Kalksteine entstammen zum überwiegenden Teil dem marinen Milieu. Sie entstehen aus feinkörnigem Kalkschlamm, welcher aus organisch aus dem Meereswasser ausgefälltem Kalk und den Schalen von abgestorbenen Kleinstlebewesen aufgebaut ist. Darin finden sich nicht selten Reste von grösseren Lebewesen (Fossilien). Kalke weisen oft eine horizontale Schichtung auf (siehe Abb. 6). Andere Kalke können ehemalige Korallen- oder Schwammriffe darstellen, oder aus dem Brandungsbereich der Küsten stammen (sogenannte «Oolithe» oder «Rogensteine»). Dolomite sind Kalke mit hohem Anteil an Magnesium (statt Kalzium). Sie entstehen meist in lagunären Küstengebieten unter Einwirkung von speziellen Mikroben, können aber auch bei der Diagenese aus Kalken umgewandelt werden. Kalke verwittern in der Regel physikalisch zu Schutt (siehe Abb. 9), wobei die darin enthaltenen nichtkalkigen Reste (meist Ton) übrig bleiben und eine lehmige Schicht bilden. Weil Kalk wasserlöslich ist, werden Kalkschichten hauptsächlich entlang von Schichtfugen und Klüften aufgelöst. Dies nennt man Verkarstung. Dolomite zerfallen demgegenüber in eine mehr oder weniger lehmige, pulvrige Masse (Dolomitache) mit einem gewissen Anteil an Schutt.

2.1.3.5 Moränen

Moränen werden durch Gletscher gebildet, entstehen also während Vereisungsphasen. Weil grosse Gebiete der Schweiz und auch von Schaffhausen während des Eiszeitalters von Gletschern überfahren wurden, findet sich häufig eine mehrere Meter mächtige Schicht von Moränen über dem Fels. Moränen sind ein Gemenge aus Steinen, Sand, Silt und Ton, das geschichtet oder massig auftreten kann. Immer wieder finden sich darin grosse Blöcke aus ortsfremden Gesteinen, die Findlinge oder Erratiker. Bei der Verwitterung entsteht aus Moränen ein lehmiges Lockergestein mit mehr oder weniger grossem Anteil an Kies.

2.1.3.6 Schotter / Konglomerate

Im Vorfeld von Gletschern wird das vom Eis herbei transportierte Gesteinsmaterial von den Schmelzwässern verschwemmt. Das feine Material wird dabei weit transportiert, während die gröberen Komponenten (Kies und Sand) liegen bleiben. Es entstehen Schotter, wie sie aus Kiesgruben bekannt sind (siehe Abb. 8). Schotter können auch als Schuttfächer am Rand von Gebirgen durch Flüsse abgelagert werden, wie dies während der Alpenbildung der Fall war. Diese Schotter finden sich heute zu Konglomeraten zementiert in den Nagelfluhen der Molasse. Ausnahmsweise können auch in marinem Milieu Schotter entstehen, nämlich als Küstenkonglomerate bei starker Brandung oder unter Einfluss von sehr kräftigen Meeresströmungen in flachen Meeresarmen. Schotter verwittern unter Entkalkung und Verlehmung zu lehmigen Kiesen.

2.1.3.7 Hangschutt/Hanglehm

Hangschutt und Hanglehm – mit allen Unterarten – sind selbst das Resultat von Verwitterung. Sie bestehen aus Gesteinskomponenten der weiter oben am betrachteten Hang anstehenden Gesteine und einem mehr oder weniger grossen Anteil an lehmiger Grundmasse, welche auf die chemische Verwitterung von anderen Gesteinen zurückgeht (siehe Abb. 9). Der grösste Teil dieser Hangsedimente entstand während der Kaltzeiten des Eiszeitalters, als die bodenstabilisierende Vegetation aus klimatischen Gründen stark zurückgewichen war. Diese Bildungen sind heute sehr weit verbreitet, insbesondere im Hangfussbereich unserer Hügel, und sie stellen dort das Ausgangsmaterial für heutige Böden dar.

2.2 GEOLOGIE DES KANTONS SCHAFFHAUSEN

2.2.1 Regionaler Überblick

Der Kanton Schaffhausen erstreckt sich vom östlichen Tafeljura (Randen) nach Südosten bis ins Ostschweizer Molasseplateau hinein. Die Gesteinsschichten fallen insgesamt leicht in Richtung Alpenfront ein. Dies hat zur Folge, dass im Nordwesten die ältesten Gesteine an der Oberfläche liegen und im Südosten die jüngsten, wobei die älteren in den Untergrund abtauchen.

Das sogenannte Grundgebirge besteht aus kristallinen Gesteinen und darin eingelagerten permokarbonen Sedimenttrögen. Beide Einheiten sind im Kanton Schaffhausen nicht aufgeschlossen. Nur wenig jenseits der Grenze im Wutachtal kommen kristalline Gesteine aber bereits an die Oberfläche. Die permokarbonen Sedimenttröge sind nur aus geophysikalischen Untersuchungen bekannt, und ihre genaue Lage, Ausdehnung und Tiefe ist noch mit vielen Fragen behaftet.

Über dem Grundgebirge liegt die Gesteinsserie des Mesozoikums (Erdmittelalter), welche aus den Formationen der Trias und des Juras bestehen. Diese im Schnitt etwa 800 m mächtige Gesteinsserie fällt ziemlich gleichmäßig mit rund 2.5° bis 5° nach Südosten ein. In der Region Schaffhausen streicht das Mesozoikum an der Oberfläche aus und bildet den östlichsten Bereich des Tafeljuras (Randen-Reiat-Gebiet).

Während Mächtigkeiten und Gesteinseigenschaften der mesozoischen Schichtreihe von Westen nach Osten nicht grundlegend ändern, sind die Molasseformationen zwischen Schaffhausen, dem Bodensee und dem Zürcher Weinland doch recht verschieden ausgebildet. Sie variieren in ihrer Mächtigkeit zwischen wenigen Dekametern im Nordwesten und mehreren Hundert Metern im Gebiet von Stein am Rhein und Rüdlingen. Im Kanton Schaffhausen verläuft heute der Nordrand des Molassebeckens. Hier wurden die Molasseformationen schon primär nur in geringer Mächtigkeit abgelagert und sind heute weitgehend wieder erodiert. Dies betrifft vor allem die jüngeren Molasseschichten, die Obere Meeremolasse und die Obere Süßwassermolasse, welche praktisch nur noch im Oberen und Unteren Kantonssteil vorkommen.

Die Festgesteine weisen praktisch überall eine unterschiedlich mächtige Bedeckung aus Lockergesteinen auf. Sie beträgt in der Regel nur wenige Meter, kann aber auch mehrere hundert Meter erreichen. Neben Hangsedimenten und Verwitterungsprodukten handelt es sich vor allem um Schotter, Seeablagerungen und Moränen aus verschiedenen Phasen des Eiszeitalters. Die mächtigsten Vorkommen finden sich in den heutigen Haupttälern (Rheintal, Klettgau).

2.2.2 Die Schichtfolge

Die geologische Zeitskala (Abb. 1) gibt einen Überblick der vergangenen gut 300 Millionen Jahre mit den geologischen Zeiteinheiten und den entsprechenden Gesteinsformationen, die in der Region Schaffhausen vorkommen. Die einzelnen Zeitabschnitte und Formationen der Gesteinsabfolge werden im Folgenden chronologisch, d.h. von alt nach jung beschrieben. Detaillierte Angaben zu den Gesteinen und ihrer Verbreitung sind den geologischen Karten der Region zu entnehmen (Hofmann 1967, 1981, 2000)

2.2.2.1 Erdaltertum – Das Paläozoikum

(Kristallines Grundgebirge, Permokarbon-Trogfüllungen)

Das Grundgebirge im Kanton Schaffhausen und seiner Umgebung ist direkt nur aus den Tiefbohrungen der Erdölexploration und der Nagra bekannt. Es liegen keine Aufschlüsse und demnach auch keine Böden aus kristallinen Gesteinen vor. Der Vollständigkeit halber seien diese Schichten dennoch kurz erwähnt. Nordwestlich des Kantons Schaffhausen, im südöstlichen Schwarzwald, treten kristalline Gesteine an die Oberfläche, sind aber auch dort nur sehr lückenhaft aufgeschlossen.

Das aus Gneisen und Graniten bestehende Kristallin geht auf die vorletzte (= variskische) europäische Gebirgsbildungsphase im späten Paläozoikum vor rund 350 bis 300 Millionen Jahren zurück. Noch im späten Paläozoikum wurde dieses variskische Gebirge bereits wieder erodiert, eingeebnet. Es entstanden dabei zahlreiche tektonische Senkungszonen, in denen sich der Abtragungsschutt benachbarter Hochzonen sammelte. Solche Sedimenttröge waren im späten Karbon und frühen Perm (Permokarbon) im gesamten Be-

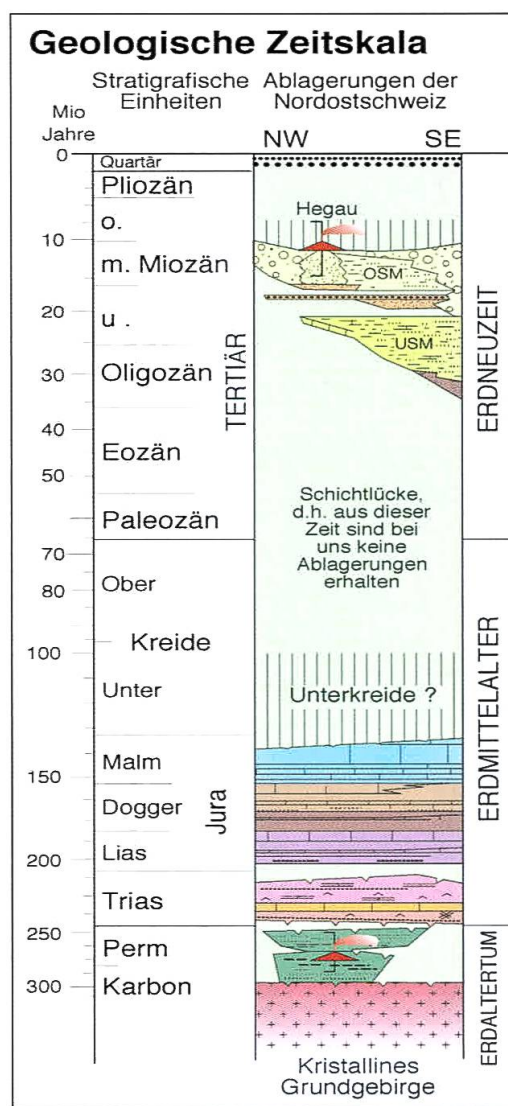
reich des ehemaligen variskischen Gebirges verbreitet. Auch im Untergrund des Kantons Schaffhausen wird ein solcher Trog anhand von geophysikalischen Untersuchungen vermutet. In Weiach im benachbarten Kanton Zürich, wurde eine ca. 1000 m mächtige Abfolge permokarboner See- und Flussablagerungen erbohrt, die in 1400 – 1800 m Tiefe von zahlreichen Kohleflözen mit einer Gesamtmächtigkeit von über 30 m durchsetzt ist. Die Sedimente des Permokarbons zeugen von einem feuchten, subtropischen Klima mit reicher Flora und Fauna. In ausgedehnten Fluss- und Seelandschaften bildeten sich teilweise sehr mächtige Moore, die heute als Kohleflöze erhalten sind.

2.2.2.2 Erdmittelalter –

Das Mesozoikum

(Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper, Lias, Dogger, Malm)

Über dem Grundgebirge folgt die rund 800 m mächtige Gesteinsserie des Mesozoikums. Das Mesozoikum umfasst einen Zeitraum von 180 Millionen Jahren mit vergleichsweise ruhigen tektonischen Verhältnissen. Es sind also – abgesehen von einer allmählichen Absenkung des gesamten Gebietes – keine nennenswerten Bewegungen in der Erdkruste zu verzeichnen. Die einzelnen Gesteinsschichten dieses Zeitabschnittes sind zwar relativ gering mächtig (wenige Dekameter bis zu einigen hundert Metern), zeigen aber über grosse Distanzen oft eine sehr gleichmässige Ausbildung. Das Mesozoikum wird in drei Unterabschnitte eingeteilt, nämlich – von alt nach jung – in Trias, Jura und Kreide.



1 Geologische Zeitskala für das Gebiet der Nordostschweiz.

(Nicht linear! Aus Naef, H. 1999).

Trias

Während der frühen Trias, vor ca. 245 Millionen Jahren, war das kristalline Grundgebirge weitgehend eingeebnet. Es fand auch eine teils tiefgründige Verwitterung und damit Auflockerung des Grundgebirges statt. Bei warm-aridem Klima beherrschten Wüsten die damalige Landoberfläche. In seichten Senken sammelten sich vorwiegend rote Konglomerate und Sandsteine, welche heute die ältesten Sedimente des mesozoischen Deckgebirges darstellen. In Südwestdeutschland ist dieser sogenannte Buntsandstein weit über 100 m mächtig; er wird aber gegen Südosten immer dünner und ist im Gebiet von Schaffhausen nur noch als einige Meter bis maximal etwa 25 m mächtiger Sandstein entwickelt. Aufschlüsse gibt es auf Schaffhauser Gebiet keine, aber wenig jenseits der Grenze im Wutachtal kommen solche vor.

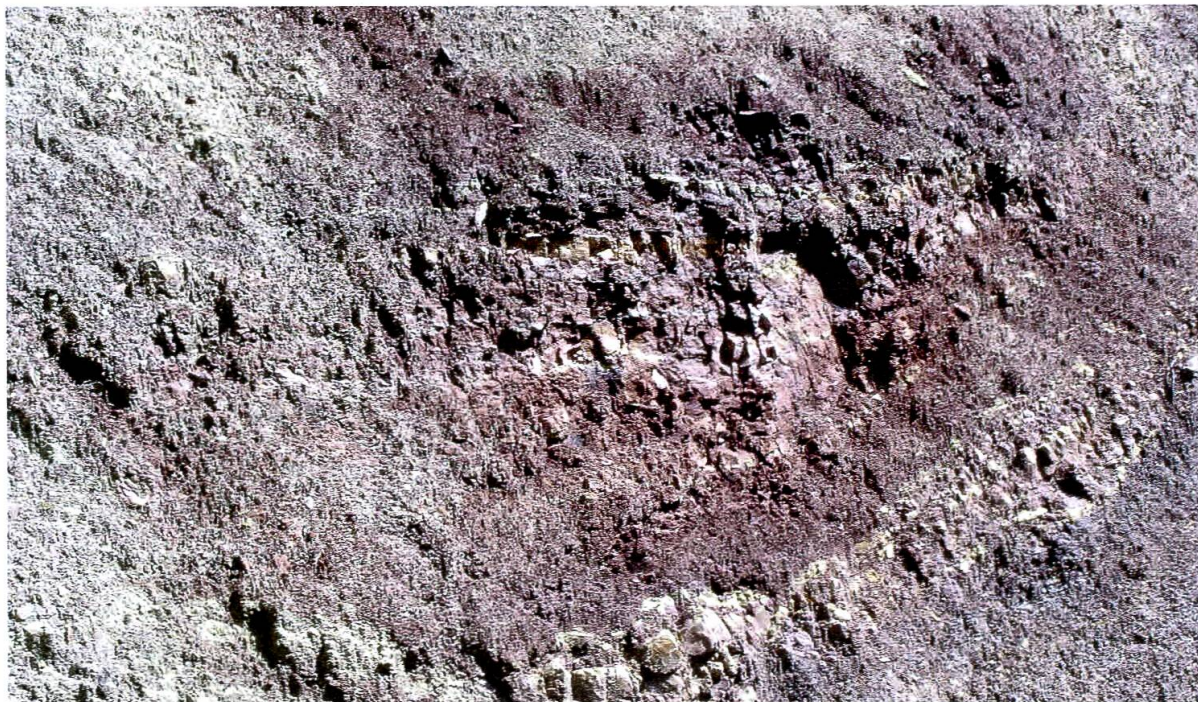
Im Laufe der mittleren Trias, der Zeit des Muschelkalks, wurde das Land sukzessive durch ein sich von Norden nach Süden ausbreitendes Flachmeer überflutet (Germanisches Meer). Der Untere und Mittlere Muschelkalk umfassen Küsten- und Lagunenablagerungen (Kalke, Mergel) mit sogenannten Evaporiten (Gips und Steinsalz). Die Gebiete im Norden (Schwäbische Alb) und im Westen (Tafeljura) waren zur Zeit des Oberen Muschelkalks Teil eines offenen Schelfmeeres. Aus diesem Zeitabschnitt stammt im Gebiet von Schaffhausen eine zusammenhängende Karbonatformation, die aus dem Hauptmuschelkalk und dem Trigonodus-Dolomit besteht. Diese Schichten sind entlang der südlichen Seite des Wutachtals grossflächig aufgeschlossen.

Die obere Trias, der Keuper wird im ganzen germanischen Raum dominiert von evaporitisch-kontinentalen Ablagerungen. Weit im Osten (Böhmisches Massiv) sowie im Süden, im Gebiet der heutigen Alpen («Vindelizisches Land») waren Landmassen vorhanden, deren Verwitterungsprodukte in riesigen Fluss- und Überschwemmungsebenen abgelagert wurden. Die Sedimente der damaligen Flüsse sind als relativ kleine Sandschichten bzw. -linsen innerhalb der mächtigen bunten Tonsteine der Überschwemmungsgebiete erhalten geblieben (z. B. Schilfsandstein, siehe Abb. 2). Diese bunten Tonsteine stellen dabei nichts anderes dar als alte Böden, die sich in Ruhephasen auf dem Schwemmmaterial entwickelten (Obere Bunte Mergel, Abb. 3). Lokal kommen auch kalkige Einschaltungen vor, welche auf sich kurzfristig einstellende flachmarine Verhältnisse schliessen lassen. Die Schichten des Keupers sind vor allem auf dem Hallauer Rücken im Klettgau verbreitet, bis etwa nach

Gächlingen, wo sie in den Untergrund abtauchen. Die Böden im Verbreitungsgebiet des Keupers sind oft charakteristisch dunkelrot, was auf die Farbe des Ausgangsgesteins zurückgeht.



2 Schilfsandstein im Seewi-Steinbruch bei Beggingen

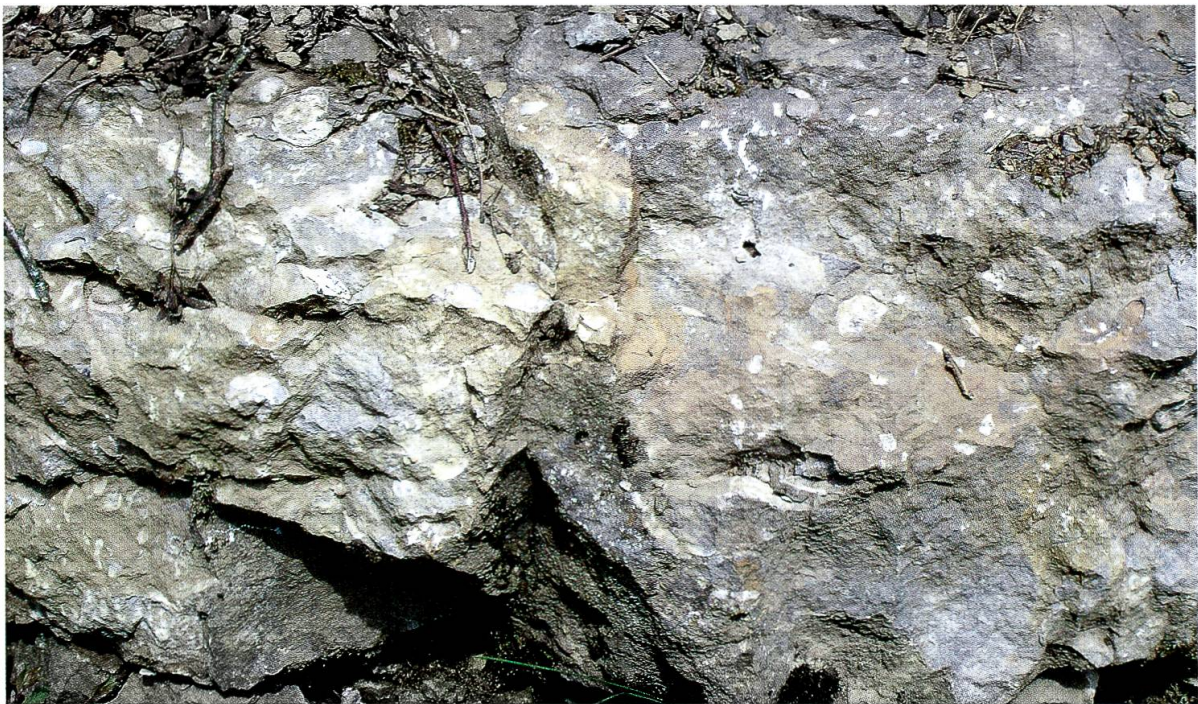


3 Bunte Keupermergel im Seewi-Steinbruch bei Beggingen

Diese Schichtserie der Trias ist insgesamt über 200 m mächtig. Sie endet mit einer sogenannten Schichtlücke, einem Zeitabschnitt von mehreren Millionen Jahren (das so genannte «Rhät»), aus dem nur lückenhafte Ablagerungen erhalten sind.

Jura

Während des Juras wurde die Nordostschweiz für einen Zeitraum von ca. 65 Millionen Jahren von einem flachen Meer bedeckt. In den Gesteinsformationen des frühen und mittleren Juras (Lias und Dogger) zeugen wiederholt auftretende, sandreiche Ablagerungen von der Existenz naher Landmassen oder Inseln. Offenbar ragten noch Teile des Grundgebirges und der älteren mesozoischen Gesteine aus dem Meer und waren der Erosion ausgesetzt. Im frühen Lias lagen noch flachmarine Bedingungen vor, was unter anderem durch den Arietenkalk dokumentiert ist, der sehr reich an austernähnlichen Muscheln (*Gryphaea*, siehe Abb. 4) ist.



4 Arietenkalk vom Hallauer Berg

Später entstanden vermehrt etwas tiefere Meeresbecken, welche zum Teil arm an Sauerstoff waren. In diesem Milieu konnten die Organismenreste nicht oxidiert werden, was zu bituminösen Schichten wie dem Posidonien-

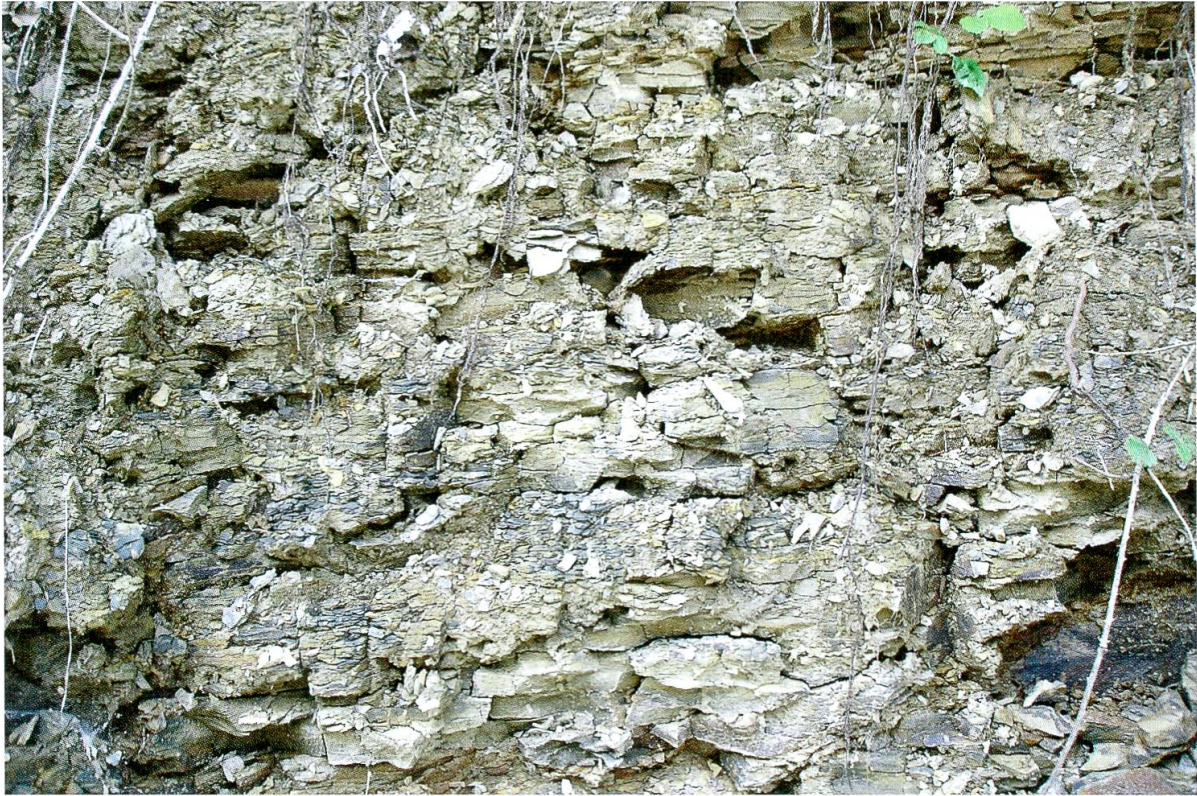
schiefer führte. Im Dogger erfolgte ein weiteres Absinken des Meeresbodens, begleitet vor allem von tonig-siltigen Ablagerungen. Die mächtigste dieser Einheiten ist der Opalinuston (siehe Abb. 5). Zum Ende des Doggers machte sich eine Mangelsedimentation bemerkbar, welche zum Teil eisenhaltige Sedimente entstehen liess (Eisenoolith).

Die Gesteine des Lias sind im obersten Bereich des Hallauer Rückens verbreitet, wo sich der anstehende Arietenkalk als kleine Geländestufe zeigt. Die unteren Teile der zum Klettgau orientierten Hänge des Randens sowie diejenigen des Südrandens werden von Doggergesteinen eingenommen. Diese machen sich wegen ihrer dominant tonigen Ausbildung unter anderem durch zahlreiche flachgründige Rutschungen bemerkbar. Im Oberklettgau bei Berlingen tauchen diese Gesteine in den Untergrund ab.

Im späten Jura (Malm) entstanden praktisch ausschliesslich marine Ablagerungen (Kalke), die im unteren Teil noch beträchtliche Silt- und Tongehalte aufweisen (Mergel). Im Wesentlichen handelt es sich bei den Ablagerungen des Malms um eine mehrere hundert Meter mächtige Kalksteinserie mit Mergelschichtungen. Zwei Typen von Kalken können dabei unterschieden werden: Einerseits die gebankten Kalke (z. B. die sogenannten «Wohlgeschichteten Kalke», siehe Abb. 6) und andererseits die massige Variante, welche zum Beispiel die Felsen des Rheinfalles aufbaut. Letztere geht auf ehemalige Schwammriffe zurück. Diese Kalkserie nimmt praktisch das gesamte Gebiet des Randens bis Schaffhausen und Thayngen sowie den oberen Teil der Hügel des Südrandens ein.

Kreide

Aus der Kreidezeit sind im Gebiet von Schaffhausen keine Sedimente erhalten geblieben. Weiter im Süden kamen während der Kreidezeit mächtige Sedimentserien zur Ablagerung, die heute in Form der helvetischen Decken den Alpennordrand der Ostschweiz prägen (z. B. Alpstein mit Säntis). Im schweizerischen Mittelland (östlich einer Linie Biel-Thun) bis östlich des Bodensees wurden allenfalls einmal abgelagerte Kreidesedimente schon vor der Molassezeit wieder erodiert. Diese Erosion erfasste auch die Schichten des Malm, was sich darin äussert, dass gegen Westen immer ältere Schichten die obersten erhaltenen Gesteine darstellen.



5 Opalinuston (angewittert) in der Grube Büechbil (Gächlingen)



6 «Wohlgeschichtete Kalke» des Malm im ehemaligen Steinbruch westlich der «Tüfels-Chuchi» in Beringen

2.2.2.3 Erdneuzeit – Das Känozoikum

(Boluston-Formation, Kaolinitmergel-Formation, Molasse, Quartär)

Boluston-Formation

Bis zum Beginn der Molassesedimentation verstrich die sehr lange Zeit von mehr als 100 Millionen Jahren. Dieser Zeitraum war im Gebiet von Schaffhausen geprägt von Erosion und Verwitterung. Insbesondere erlebten die Kalke des Malm unter Einwirkung eines feuchten tropischen Klimas eine intensive Verkarstung, welche infolge von chemischer Kalklösung Senken und Spalten von über 20 m Tiefe hinterliess. Als Sedimente dieser Phase sind lediglich die in solchen Karstspalten und in lokalen Senken innerhalb der Jurakalke enthaltene Boluston-Formation vorhanden. Diese besteht aus meist braungelben, z. T. auch roten, grünen und violetten Tonsteinen, welche als die zusammen geschwemmten Verwitterungsprodukten der Kalke (die darin enthaltene Tonfraktion) zu deuten sind. Die Boluston-Formation ist auf dem Südranden zwischen Neuhausen und Osterfingen grossflächig vorhanden. Dort zeugen zahlreiche Senken vom einst intensiv betriebenen Abbau des in den Tonen enthaltenen Bohnerzes. Die Böden in diesem Gebiet sind von einer charakteristischen braungelben Farbe.

Kaolinitmergel-Formation

Später – der genaue zeitliche Ablauf ist nicht bekannt - wechselte das Klima hin zu trockenwarmen Verhältnissen. Davon zeugt die Kaolinitmergel-Formation (auch «Gelberde» genannt), welche neben den namengebenden gelben Mergeln auch Krustenkalke umfasst. Sie ist lediglich stellenweise im Gebiet von Neuhausen verbreitet.

Molasse

Die Region Schaffhausen hat sich während des ca. 180 Millionen Jahre dauernden Mesozoikums insgesamt um mehr als 800 m abgesenkt und dabei einen ebenso mächtigen Sedimentstapel hinterlassen. Wegen der uniformen Mächtigkeit des mesozoischen Deckgebirges sind keine Anzeichen für grössere, relative Vertikalbewegungen vorhanden. Erst während des Tertiärs wurde

der Untergrund im Zusammenhang mit der alpinen Gebirgsbildung (Molaszeit) wieder mobilisiert und es kam zur Ausbildung des Molassebeckens.

In den östlichen und südöstlichen Gebieten des Kantons Schaffhausen besteht der oberflächennahe Felsuntergrund aus den Gesteinsserien der mittelländischen Molasse. Diese wurden während des Tertiärs vor etwa 30 bis 10 Millionen Jahren (Oligo- und Miozän) in ausgedehnten Schuttfächersystemen im Alpenvorland abgelagert. Dabei kam es im alpennahen Gebiet zur Bildung von grobkörnigen Sedimenten mit mächtigen Nagelfluhschichten, während mit zunehmender Distanz gegen Nordwesten immer feinkörnigere Gesteine (Sandsteine, Mergel) abgelagert wurden. Am Nordrand des Molassebeckens waren es Tiefland-Flusssysteme, die das Feinmaterial parallel zum Alpenbogen entweder nach Osten oder nach Westen weitertransportierten. Nach dem jeweils dominierenden Entstehungsmilieu der Sedimente wird die Molasse in vier Einheiten gegliedert: In die Untere Meeresmolasse (= UMM, nur in Alpennähe erhalten, hier nicht näher besprochen), die Untere Süßwassermolasse (= USM), die Obere Meeresmolasse (= OMM) und die Obere Süßwassermolasse (= OSM). Entsprechend ihrer Entstehung als Füllung der alpinen Vorlandsenke sind diese Einheiten am Alpenrand sehr mächtig, werden nach Nordwesten sukzessive geringmächtiger und keilen am Rand des Tafeljuras ganz aus («Molassekeil»). In gleicher Richtung wird auch die Basis der Molasse stetig jünger, sodass am Rand die USM teilweise fehlt und geringmächtige Schichten der OMM oder sogar der OSM direkt auf den Malmkalken abgelagert wurden. Im Bereich des Beckennordrandes ist eine Verzahnung der alpinen Schüttungen mit einer Sedimentation vom Schwarzwald festzustellen (Schwarzwald-Molasse, Juranagelfluh).

Die Ablagerung der USM wurde durch eine erste, kräftige Phase der tektonischen Absenkung im Vorland der entstehenden Alpen ermöglicht (spätes Oligo- bis frühes Miozän, vor ca. 32 bis 22 Millionen Jahren, siehe Abb. 1). Es entstand eine mächtige Sedimentserie, die von ausgedehnten Schuttfächern, Schwemmlandebenen mit temporären Seen und verzweigten Stromsystemen geprägt war. Die entsprechenden Ablagerungen sind im Gebiet von Schaffhausen v.a. als Ton- und Siltsteine erhalten, in welche die Sandsteinkörper der ehemaligen Flussbereiche eingelagert sind (siehe Abb. 7). Anstehend findet man die USM vor allem im Gebiet von Rüdlingen.



7 Untere Süsswassermolasse in der ehemaligen Tongrube «im Chlainert» westlich von Rüdlingen

Die OMM geht auf eine regionale Überflutung des Molassebeckens im frühen mittleren Miozän zurück (Burdigalien, siehe Abb. 1). Das Meer drang von Westen und Osten her vor. Dabei entstanden recht wechselhafte aber vorwiegend sandige Ablagerungen, die auch einige Lagen aus Nagelfluh enthalten (Quarzit- und Austernnagelfluh). Die in dieser Zeit stark wechselnden Strömungsverhältnisse sind im Gebiet des Cholfirsts eindrücklich dokumentiert, wo einerseits Quarzfeinkiese vorkommen, die aus dem Böhmischem Massiv stammen und anderseits – direkt darüber - mächtige Quarzsande und Nagelfluhen aus dem Napfgebiet. Die OMM ist heute nur noch lokal anstehend. Die grösste Verbreitung im Kanton Schaffhausen weist sie im Gebiet von Rüdlingen-Buchberg auf. Auf den Reiathöhen liegen nur kleine Relikte davon vor.

Im späteren mittleren Miozän (Langhien, Serravallien, Abb. 1) verlandete das Meer der OMM und die Landschaft des Kantonsgebietes wurde wieder von grossen Flusssystemen geprägt, welche die Sedimentserie der OSM ablagerten. Nördlich der Linie Kreuzlingen – Thurtal – Winterthur war während der gesamten Zeit der OSM ein grosses, bis zu 20 km breites, ENE-WSW verlaufendes Stromsystem aktiv, die sogenannten Glimmersandrinne. Ihre Ab-

lagerungen verzahnen sich im Gebiet von Stein am Rhein-Hemishofen mit denjenigen des alpinen Hörnli-Schuttfächers. Ihren Ursprung hatte die Glimmersandrinne in den östlichen Alpen sowie im Böhmischem Massiv, wobei sie das nördliche Alpenvorland nach Westen entwässerte. In der OSM des Schiener Berges und des angrenzenden Kantons Thurgau finden sich mehrere Niveaus mit vulkanischen Ascheablagerungen. Sie sind mit dem Hegau-Vulkanismus in Verbindung zu bringen, von welchem im Hegau mehrere Vulkanschloten zeugen (Hohentwiel etc.). Im Gebiet von Merishausen-Bargen bis Thayngen sind Ablagerungen aus dem Schwarzwaldgebiet vorhanden (Jüngere Jurana-gelfluh).

Die jüngsten Molasseablagerungen in der Nordostschweiz haben ein Alter von etwa 10 Millionen Jahren. Es folgt eine Schichtlücke bis zur Basis der Ablagerungen des Eiszeitalters. In dieser Zeitlücke dominierten erosive Verhältnisse, die vermutlich einst vorhandene jüngere Ablagerungen der OSM abtrugen. Die Entwässerung des Mittellandes wechselte zunächst von einer westlichen Richtung nach NE, mit Anschluss an das Donau-System. Vor ca. 4.2 Millionen Jahre wurde der Bresse-Graben in Ostfrankreich zum Unterlauf der Entwässerung und ab ca. 2.9 Millionen Jahren schliesslich der Oberrheingraben (Ziegler & Fraefel 2009).

Quartär

Das Quartär ist das Zeitalter der Gletscher. Eine kontinuierliche Abkühlung des Klimas etwa seit Beginn des Tertiärs führte vor ca. 2.6 Millionen Jahren zu den ersten bedeutenden Vergletscherungen in den gemässigten Breiten. Seither stiessen auch die alpinen Gletscher wiederholt ins nördliche und südliche Alpenvorland vor. Die genaue Zahl solcher Gletschervorstösse ist auch heute noch nicht bekannt. Es wird zurzeit von mindestens fünfzehn Vergletscherungen des Alpenvorlandes ausgegangen (Schlüchter & Kelly 2000, Graf 2003).

Das hochdynamische glaziale Milieu führte zu einer intensiven Erosion von Fels und jeweils älteren Lockergesteinen. Eine Folge davon ist die Entstehung der heutigen Landschaft mit ihrer ausgeprägten Topographie. Von den ältesten eiszeitlichen Einheiten («Höhere und Tiefere Deckenschotter») existieren heute nur noch kleine Reste. Die wichtigsten Vorkommen liegen auf

dem Schiener Berg nördlich von Stein am Rhein und auf dem Hasenberg im Klettgau. Kleinere Relikte finden sich bei Thayngen sowie auf verschiedenen Hügeln im Gebiet von Schaffhausen und Neuhausen (Graf eingereicht).

Nach der Deckenschotter-Zeit erfolgte eine markante Tiefenerosion, die neben der Einschneidung der Flusstäler zur Bildung ausgedehnter Gletscherbecken im Mittelland führte. Sie sind unter den heutigen Haupttälern – so auch dem Rheintal und Bodensee - weit verbreitet, und ihre Lockergesteinsfüllungen (Seeablagerungen, Schotter, Moränen) können mehrere hundert Meter mächtig sein. Der Rheingletscher stiess in dieser Zeit wiederholt vor und erreichte in seiner grössten Ausdehnung vor vielleicht 600'000 Jahren sogar Schleithelm (Graf, in Druck). In den Gletschervorfeldern entstanden Schotter, welche heute zum Beispiel im Klettgau – dem früheren Rheintal – über hundert Meter mächtig sind (siehe Abb. 8).



8 Eiszeitliche Schotter in der ehemaligen Kiesgrube «Chis» in Trasadingen



9 Malmkalkschutt in einer Grube im Wangental östlich von Osterfingen

Das Quartär hat aber nicht nur Sedimente aus dem Umfeld von Gletschern hinterlassen. Von grosser Bedeutung sind auch die Verwitterungsprodukte aus dieser Zeit. Insbesondere die Hänge im Kantonsgebiet sind von teilweise sehr mächtigen Hangschutt-/Hanglehm-Ablagerungen geprägt (siehe Abb. 9), in die auch Rutschungsmaterial eingelagert sein kann. Grosse versackte Felspakete kommen entlang der Hänge des Randens verschiedentlich vor (z. B. die Siblinger Eisenhalde). Grossflächige Rutschungsgebiete finden sich zum Beispiel bei Barga.