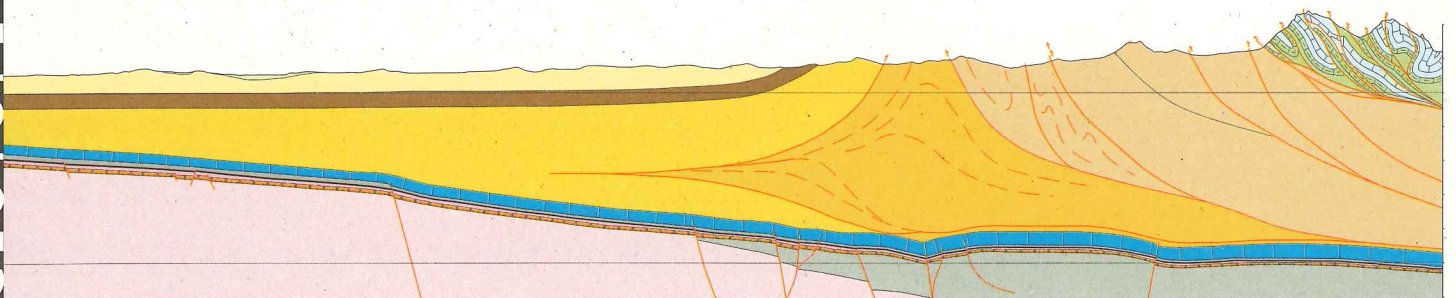


Geologie
erleben und entdecken
im Kanton Thurgau

GEO TOPE – FENSTER ZUR ERD GESCHICHTE



Inhalt

Allgemeines – Regionale Geologie

Geotope – Fenster zur Erdgeschichte	3
Geologie – Kreislauf der Gesteine	4
Der Thurgau im Spannungsfeld zwischen Alpen und Mitteleuropa	5
Die Ostschweizer Molasse – ein geologisches Archiv der entstehenden Alpen	6
Der Hörnlichuttfächer – reiches Leben am Alpenrand vor 15 Millionen Jahren	7
Die Thurgauer Landschaft – 2 Millionen Jahre Wasser und Eis	8

Thurgauer Beispiele

Nagelfluh, Sandstein und Mergel – der Felsuntergrund	10
Moränen, Drumlins und Schmelzwassertäler – die Zeugen der letzten Eiszeit	12
Bäche, Flüsse und Seen – die aktuellen geologischen Prozesse	14
Verwitterung und Bodenbildung – die Basis der belebten Natur	16
Grundwasser und Quellen – Vermittler zwischen Stein und Leben	18
Verkehrswege, Rohstoffe und Deponien – der Mensch greift ein	20
Gesteine als Baumaterial – Geohistorische Objekte	21

Literatur, Bildnachweis, Impressum	22
------------------------------------	----

Einleitung

Diese Broschüre soll den Einstieg in die faszinierende Welt der Erdgeschichte erleichtern und dem Leser Sinn und Bedeutung von Geotopen vermitteln. Sie soll auch zeigen, dass die Geologie, d.h. die Erforschung und Kenntnis des Gesteinsuntergrundes, seiner Entstehung und seiner aktuellen Veränderungen ganz direkt zur Befriedigung vieler unserer täglichen Bedürfnisse und Gewohnheiten beitragen.

Geotopschutz hat letztlich zum Ziel, anhand von «heimischen», jedermann vertrauten Beispielen die Bedeutung der Erdgeschichte bewusst zu machen und die Freude an unserer Landschaft durch das Aufzeigen von Zusammenhängen sowie das Wissen um deren Entstehung zu wecken und zu fördern.

Geotope – Fenster zur Erdgeschichte

Der Thurgau kann – wie fast alle Mittellandkantone – nicht mit spektakulären Felswänden oder mit sensationellen Fossil- oder Minerallagerstätten aufwarten. Vulkanische Phänomene sind ihm – beinahe – fremd und kilometerweite Deckenüberschiebungen sind den Alpen vorbehalten.

Trotzdem wartet – fast im Verborgenen – manch ein geologisches Kleinod auf seine Entdeckung. Zahlreiche Wunderwerke der Natur verbergen sich in den waldigen Tobeln vom Hörnlibergland bis zum Untersee: In kleineren und grösseren Wasserfällen springt der Bach über harte Sandsteinbänke und zeigt die formende Kraft des Wassers. In den weichen Mergelschichten darunter lassen sich mit etwas Glück die Reste einer vergangenen Pflanzen- und Tierwelt entdecken. Nagelfluhwände – eigentlich zu Stein verfestigter Kies – zeugen von ehemaligen Flussläufen.



Schon eine kleine Kiesgrube am Waldrand zeigt mit ihrer farbigen Vielfalt von verschiedenen Gesteinstypen, wie reich das Materialspektrum unserer Erdkruste ist: Von schwarz über blau-grau bis rot, von weiss bis grün, vergleichsweise weich (mit dem Taschenmesser ritzbar) oder stahlhart, kantig und rauh oder gut gerundet und glatt poliert – *woher kommen all diese Gesteinstrümmer und Gerölle, wie wurden sie hierhertransportiert und auf welchem Weg?*

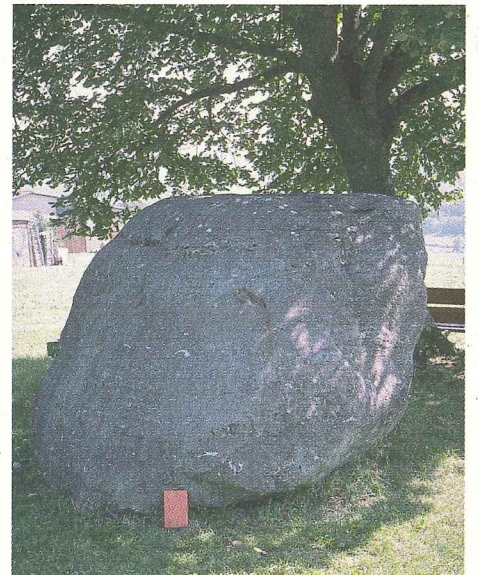
Wann und wie sind sie entstanden, die Höhenzüge des Seerückens, des Ottenberges, das Thurtal oder das Bodenseebecken? *Sind die Kräfte, die unser Relief schaffen, auch heute noch am Werk?*

Grosse Steinblöcke aus ortsfremdem Material – sogenannte Findlinge – erinnern uns in so mancher Baugrube daran, dass hier das Klima nicht immer so angenehm gemässigt war wie heute: Sie sind Zeugen der Eiszeit. Nur ein grosser Gletscher vermag es, unter stetigem, langsamem Fliessen einen tonnenschweren Felsblock aus den Bündner Alpen bis auf den Thurgauer Seerücken zu tragen.

Auch heute sind die Kräfte, die unsere Landschaft formen, nicht so gezähmt, wie uns die zwischen Hochwasserdämmen begradigte und verbaute Thur glauben machen möchte: das letzte Katastrophenhochwasser liegt gut 20 Jahre zurück – für geologische Zeitmassstäbe nicht der Rede wert.

Sauberes Wasser, eine vorrangige Grundlage unserer Zivilisation und Kultur, fliesst praktisch kostenlos aus den Quellen am Berg oder wird den Grundwasserströmen der grossen Talebenen entnommen. Woher kommt es und wo und wie rasch fliesst es im Boden und im tieferen Untergrund? Wie sauber ist es tatsächlich und was muss heute unternommen werden, um dieses kostbare Gut auch für die Zukunft zu erhalten?

Dazu kommt heute die vielfältige Nutzung des Untergrundes durch den Menschen, erst durch «Korrekturen» am Gewässernetz und dann – mit den zunehmenden Möglichkeiten der mechanisierten Welt – durch immer mehr und immer grössere Erdbewegungen bis zur Umgestaltung ganzer Landschaften. Wo liegen die Risiken und wo die Chancen dieser massiven Eingriffe in die natürlichen Verhältnisse?



Geologie – Kreislauf der Gesteine

Durch das Studium der Gesteine gewinnt man Kenntnisse über die geologische Vergangenheit und die vielfältigen Prozesse, welche das Gesicht der Erde geformt haben und laufend verändern.

Im Bereich der Erdoberfläche werden die geologischen Ereignisse vom Rhythmus der Jahreszeiten und des lokalen Klimas bestimmt. In ihrer Gesamtheit können sie als zyklisches Geschehen mit zahlreichen Materialkreisläufen beschrieben werden. In der Geologie, wo sie v.a. unter dem Aspekt der Landschaftsbildung eine wichtige Rolle spielen, spricht man von den exogenen Prozessen.

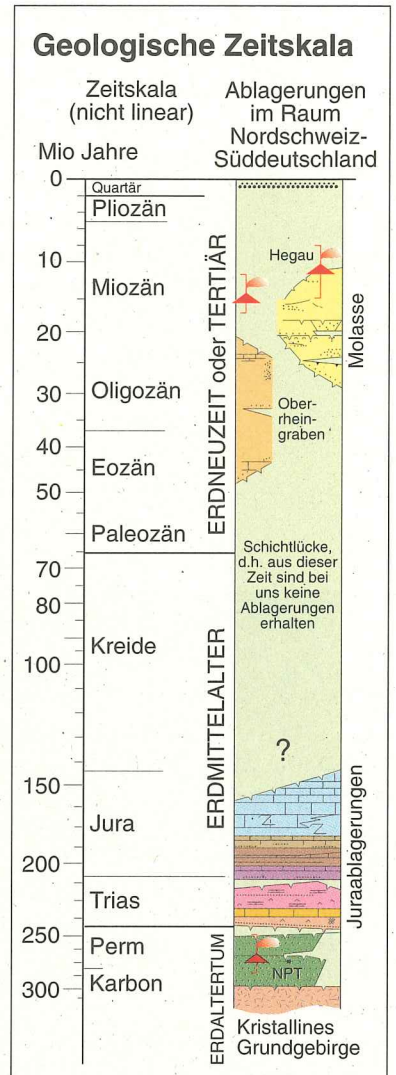
Im Erdinnern verlaufen die wichtigen Prozesse um Grössenordnungen langsamer. Sie können in der Regel nicht direkt beobachtet und gemessen werden, sondern müssen vielmehr durch detaillierte Kartierung des Geländes und Interpretation der Gesteine sowie mit Hilfe von Modellen indirekt ermittelt oder abgeschätzt werden (endogene Prozesse).



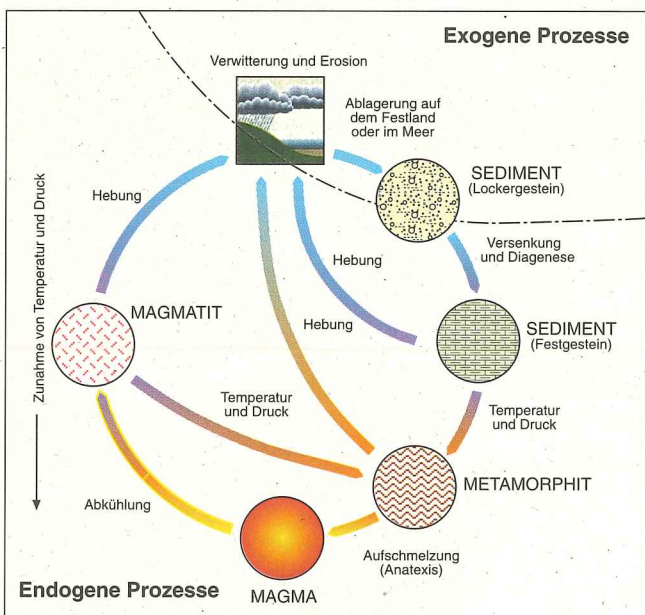
Das Modell der Plattentektonik, wonach die Erdkruste aus einem Mosaik von kontinentalen und ozeanischen Platten besteht, die sich mit Geschwindigkeiten von wenigen cm pro Jahr gegeneinander bewegen, kann heute alle wichtigen geologischen Prozesse erklären. Durch die Kollision solcher Lithosphärenplatten werden die Gesteine deformiert, zu Gebirgen emporgehoben und so der Verwitterung und Erosion ausgesetzt. Oder sie werden bis tief in den Erdmantel versenkt, dort aufgeschmolzen und steigen dann als neues Magma wieder in höhere Krustenbereiche auf, wo sie in Form von ozeanischer Kruste, als Granitkörper oder als vulkanische Ergussgesteine erstarren.

Die geologischen Prozesse können anhand eines schematischen Kreislaufes der Gesteine veranschaulicht werden: An der Erdoberfläche verwittern die Gesteine und werden in Form von Schutt (Blöcke, Kies, Sand und Ton) wegtransportiert und in Senken abgelagert, d.h. sedimentiert. Senkt sich der Untergrund ab, so folgt eine zunehmende Überdeckung mit nachfolgenden Sedimenten. Bei grösserer Überlagerung werden die zuerst losen Gesteins- und Mineralkörner (Lockergestein) zusammengepresst und zu Sedimentgestein verfestigt. Erfolgt eine weitere Absenkung in Tiefen von mehreren Kilometern, so setzt infolge erhöhter Druck- und Temperaturbedingungen eine Umwandlung, die sogenannte Metamorphose ein, die bis zur völligen Aufschmelzung des ursprünglichen Gesteins und damit zur Bildung von neuem Magma führen kann. Dieses steigt dann wieder in höhere Krustenbereiche auf, wo es abkühlt und als granitisches Gestein erstarrt oder über Vulkanschlote direkt bis an die Oberfläche gelangt.

Die geologische Zeitskala umfasst in nicht-linearem Massstab die vergangenen ca. 350 Mio Jahre. Sie zeigt, in welchen Zeitabschnitten die verschiedenen Sedimentgesteine des Jura, der Molasse und des Oberrheingrabens abgelagert wurden (siehe Karte Seite 5). Zwischen diesen Zeiten mit Ablagerung herrschten immer wieder längere Abschnitte ohne Sedimentation, welche innerhalb der Gesteinsabfolge als Schichtlücken bezeichnet werden (graugrün). So fällt besonders die sehr lange Zeit von Ende Jura (150 Mio Jahre) bis ins mittlere Tertiär (ca. 30 Mio Jahre) auf, aus welcher in der Nordschweiz keine Gesteine erhalten sind.

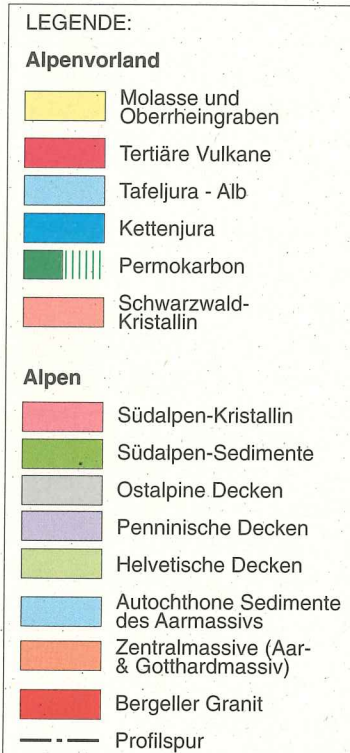
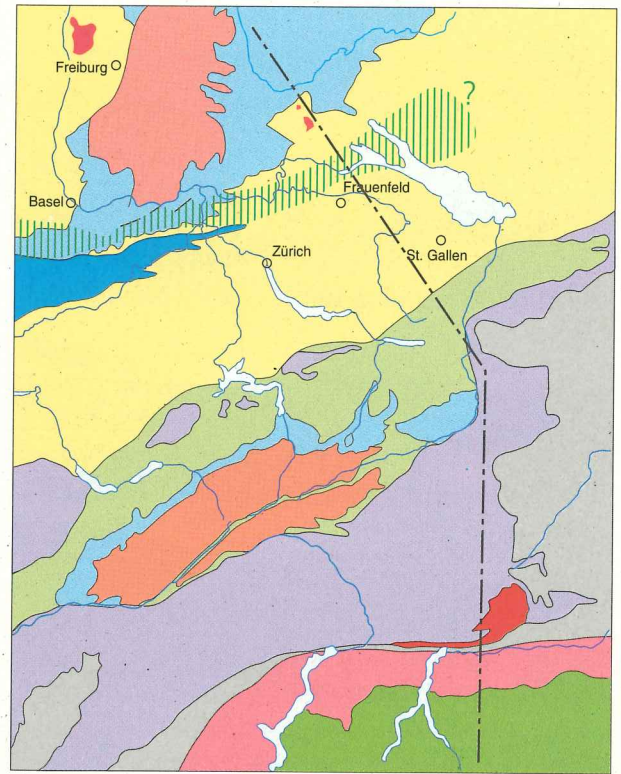


nach Press & Siever 1995

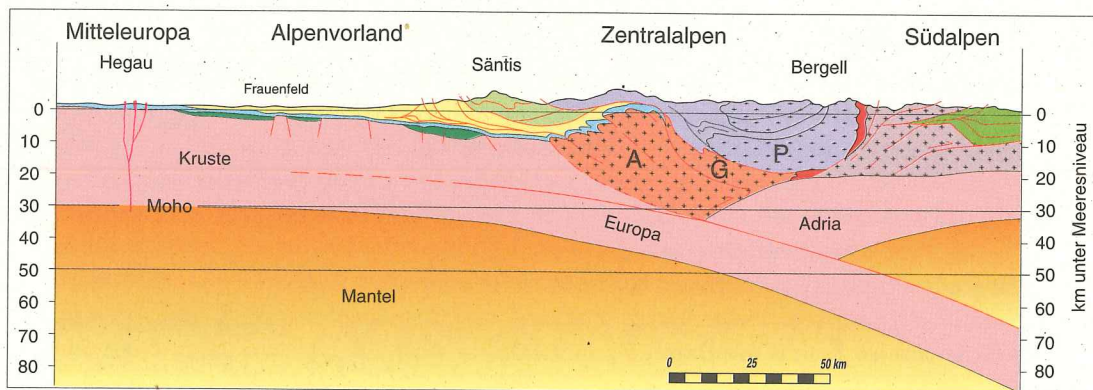


Der Thurgau im Spannungsfeld zwischen Alpen und Mitteleuropa

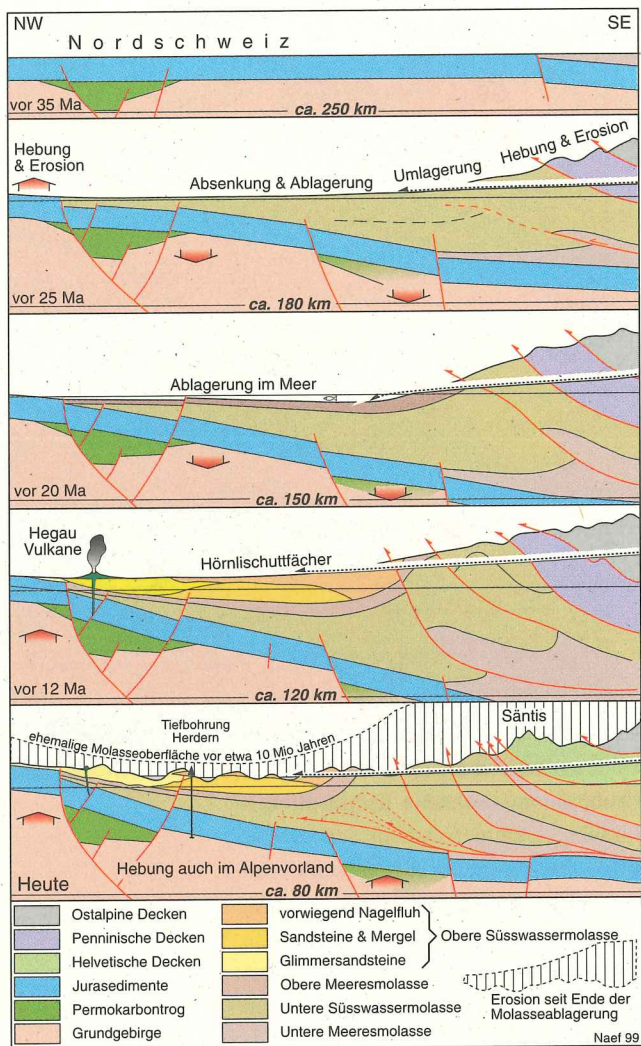
Die geologische Übersichtskarte (rechts) zeigt die Lage des Thurgaus als Teil des nördlichen Alpenvorlandes, des sogenannten Molassebeckens, das sich in einem 50–100 km breiten Streifen von SW nach NE ausdehnt (gelb). Im SE liegen die Alpen, welche aus einem kompliziert verfalteten Stapel von Gesteinsmassen bestehen, deren Alter und Herkunft im einzelnen sehr verschieden ist. Im NW geht das Alpenvorland in den mitteleuropäischen Kontinent über, wo neben ausgedehnten Tafelländern mit Sedimentbedeckung (z.B. Tafeljura, Schwäbische Alb) alte Rumpfgebirge aus Kristallingesteinen (z.B. Schwarzwald) bis an die Oberfläche reichen. Während der Erdneuzeit haben sich im Zusammenhang mit der alpinen Gebirgsbildung junge Gräben mit mächtigen tertiären Sedimentfüllungen wie z.B. der Oberrheingraben gebildet. Der nordwestliche Randbereich des Molassebeckens wird zudem von einer Zone mit Sedimenten aus dem späten Erdaltertum, dem Nordschweizer Permokarbondrog unterlagert. Dort werden in Tiefen von 1 bis über 3 km – auch unter dem nördlichen Thurgau – ausgedehnte Kohlevorkommen vermutet.



Das *Querprofil* (unten) zeigt, wie die ca. 35 km dicke mitteleuropäische Kruste mit zunehmender Neigung nach SE unter das alpine Gebirge einfällt und – von diesem buchstäblich niedergedrückt – in grosser Tiefe endet. Diese Situation wurde durch die *Kollision zweier Kontinentalplatten* verursacht, welche sich im Laufe der vergangenen ca. 100 Mio Jahre sukzessive ineinander verkeilt haben, wobei dazwischenliegende Krustenteile als die sogenannten penninischen Decken abgeschert, übereinandergeschoben und verfaultet wurden. Unter den Zentralalpen ist die Kruste deshalb bis über 50 km dick. Der Kern des Gebirges wird auf dem Profilschnitt vom sogenannten Aarmassiv gebildet, dessen Sedimentbedeckung sich unter dem Molassebecken hindurch mit den gleichaltrigen Gesteinen des Tafeljuras respektive der schwäbischen Alb verbinden lassen (hellblau). Die ehemalige Sedimentbedeckung des zwischen Aarmassiv (A) und den penninischen Decken (P) eingeklemmten Gotthardmassivs (G) dagegen wurden von ihrer kristallinen Unterlage abgeschert und weit nach Norden transportiert. Sie liegt heute in Form der intensiv verfaulteten helvetischen Decken (z.B. Säntis) am Alpennordrand, wo sie Teile des ehemals viel ausgedehnteren Molassebeckens überfahren hat.



Die Ostschweizer Molasse – ein geologisches Archiv der entstehenden Alpen



Das Abbiegen der Alpenvorland-Kruste unter der Last des vorrückenden Alpenen Deckenstapels ermöglichte die Ablagerung der bis 4 km mächtigen Molasseschichten, die sich unter den heutigen Alpen bis weit nach Süden fortsetzen (siehe Alpenprofil Seite 5: gelb). Dabei wurde ein ursprünglich ca. 250 km breites Gebiet zwischen der heranrückenden Alpenfront und dem heutigen Südrand Mitteleuropas sukzessive auf eine Breite von ca. 50 km eingengt. Die Grafik zeigt in 5 Zeitbildern schematisch, wie sich die Geologen heute die Entstehung des Molassebeckens und die Auffaltungen am Ostschweizer Alpennordrand vorstellen.

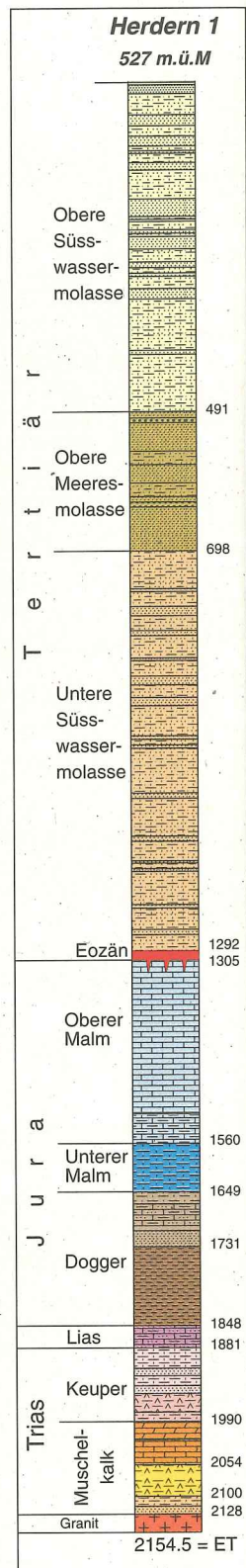
Vor ca. 35 Mio Jahren, im frühen Oligozän, war das gesamte Gebiet eine Landebene mit subtropischer Vegetation und tiefgründiger Verwitterung («Eozäne Peneplain»). Durch die Überlast der von SE heranrückenden Alpenfront wurde der Untergrund ab etwa 30 Mio Jahre vor heute auch im Gebiet der Nordostschweiz zunehmend abgebogen. In der dadurch entstehenden Senke sammelten sich die Erosionsprodukte des entstehenden Gebirges als Sandsteine und Mergel der Unteren Süsswassermolasse (USM: hellgrün).

Vor ca. 20 Mio Jahren entstand im nördlichen Alpenvorland kurzfristig ein flaches, von kräftigen Gezeitenströmungen und mächtigen Sandbänken geprägtes Meer. Dank weiterer Absenkung des Untergrundes blieben diese Sande als Obere Meeressmolasse (OMM: hellbraun) erhalten. Wie zur Zeit der USM reichte das Ablagerungsgebiet der OMM

etwa bis zum Aussenrand des Nordschweizer Permokarbondrogens (NPT, grün).

Vor ca. 16 Mio Jahren verlandete das OMM-Meer und es kam zur Ablagerung wieder rein terrestrischer Sedimente, die heute als Gesteine der Oberen Süsswassermolasse (OSM: gelb) im Kanton Thurgau an der Oberfläche aufgeschlossen sind. Im Laufe des mittleren Miozäns vor ca. 12 Mio Jahren endete die kontinuierliche Absenkung des Molassebeckens und es begann die bis heute anhaltende Hebung des gesamten Gebietes. Vom zentralen Alpenkamm, wo sie heute ca. 2 mm pro Jahr beträgt, nimmt diese Hebung bis zum Aussenrand des Molassebeckens auf Werte um 0.1 ab. Wegen dieser jüngsten Hebungen im Alpenvorland wurden die obersten Schichten der Molasse durch ältere Flussysteme und seit ca. 2 Mio Jahren vor allem durch die alpinen Gletscher bereits wieder entfernt (senkrechte Schraffur). Wie zahlreiche Untersuchungen zeigen, hält die Hebung des zentralen Alpenkörpers schon seit über 20 Mio Jahren an, sodass heute Gesteine an der Oberfläche aufgeschlossen sind, die während der Entstehung der Ostschweizer Molasse noch viele Kilometer tief lagen. Es ist deshalb anzunehmen, dass seit Beginn der Molassesedimentation ein ebenso dicker Stapel von höheren Krustenteilen laufend erodiert wurde und teilweise in den Gesteinen der Molasse erhalten blieb, zum weitaus grösseren Teil aber bis ins Mittelmeer und in die Nordsee weitertransportiert und dort definitiv als marine Sedimente abgelagert wurde.

Seit 1960 sucht man auch unter der Thurgauer Molasse nach Erdöl und hat dabei Tiefbohrungen bei Kreuzlingen, Berlingen und Herdern niedergebracht. Kohlenwasserstoffe wurden zwar nicht in wirtschaftlicher Menge gefunden, aber man kennt nun die Gesteinsabfolge, welche unseren Kanton unterlagert bis in Tiefen von über 2 Kilometern (siehe Bohrprofil Herdern).



Der Hörnlichuttfächer – reiches Leben am Alpenrand vor 15 Millionen Jahren

Die Molasse kann auch als Archiv der entstehenden Alpen bezeichnet werden. Das Studium der Molassegesteine, ihrer Strukturen und ihres Fossilinhalts vermittelt uns wichtige Informationen über die *damaligen Lebensbedingungen im Alpenvorland* und v.a. über die Entstehung der Alpen. So wissen wir heute, dass der Thurgau vor ca. 12 bis 15 Mio Jahren eine weite Landschaft mit ineinander verflochtenen Flussläufen, Auenwäldern und flachen Seen war. Hier wurden die in den Alpen wegen deren anhaltender Hebung laufend erodierten Gesteinsmassen als Schlamm, Sand und Kies um- und abgelagert und im Laufe der Jahrtausende zu Mergeln, Sandsteinen und Nagelfluhfels verfestigt (siehe Seite 10). Nach seinem zentralen Bereich im Grenzgebiet der Kantone Zürich, St. Gallen und Thurgau wird dieser sich vor der damaligen Alpenfront ausbreitende Ablagerungsraum als Hörnlichuttfächer bezeichnet (siehe Abbildung).

Nach Norden und Westen war dieser von Flussauen und weiten, periodisch überschwemmten Landebenen geprägte Schuttkegel mit einem breiten Stromsystem verbunden, über welches zu dieser Zeit die Entwässerung des nördlichen Alpenvorlandes nach Südwesten zur Ur-Rhone und ins Mittelmeer erfolgte. Zeugen dieses Stromsystems sind die im nördlichen Thurgau und angrenzenden Hegau verbreiteten hellgrauen, glimmerreichen Sandsteine, deren mineralogische Zusammensetzung sich deutlich von jener der Knauersandsteine des Hörnlichuttfächers unterscheidet; wie Hofmann (1960) nachweisen konnte, stammen diese Glimmersande aus den Tauern.

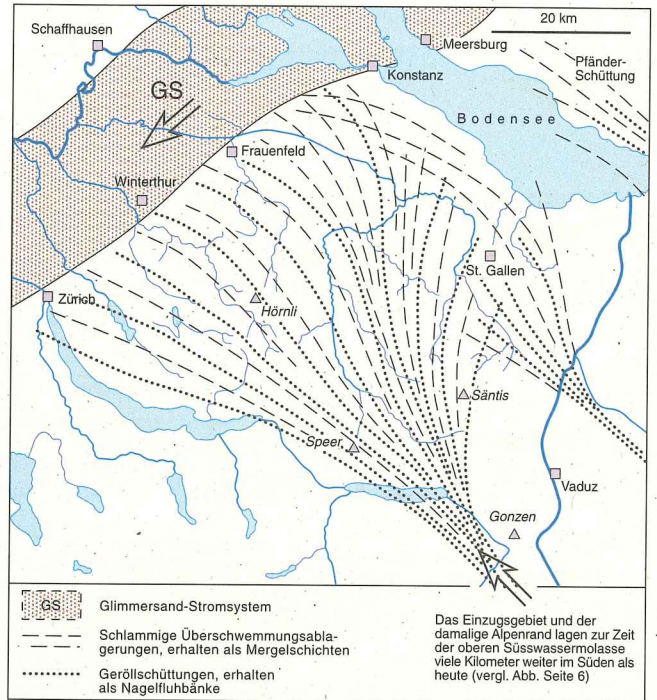
Die *Fossilien der Ostschweizer Molasse* bezeugen ein feuchtwarmes, gemässigttes Klima mit einer reichen Tier- und Pflanzenwelt, wie das im untenstehenden Lebensbild anschaulich dargestellt ist.

Berühmt ist die Pflanzenfundstelle von Öhningen am Untersee (D), die bereits 1865 von Oswald Heer ausführlich beschrieben wurde. Aber auch in den Glimmersanden des Seerückens und der ehemaligen Sandgrube bei Schlattingen wurden zahlreiche Tier- und Pflanzenreste gefunden (siehe Seite 11).

Heute spielen die meist sehr unscheinbaren Backenzähne von Mäusen und Nagern eine wichtige Rolle, weil mit deren Hilfe eine relative Altersbestimmung der Fundschichten möglich ist.

Die Thurgauer Molasse ist trotz des ehemals reichen Lebens relativ arm an gut erhaltenen Fossilien; denn die abgestorbenen Tiere und Pflanzen wurden oft verschwemmt und mehrmals umgelagert und damit mechanisch zerstört; die sauerstoffreichen Bedingungen sorgten generell für einen raschen Abbau des organischen Materials.

Beispiele siehe Seiten 10 und 11.



nach Vorlage von
F. Hofmann

aus Jäckli 1989



Die Thurgauer Landschaft – 2 Millionen Jahre Wasser und Eis

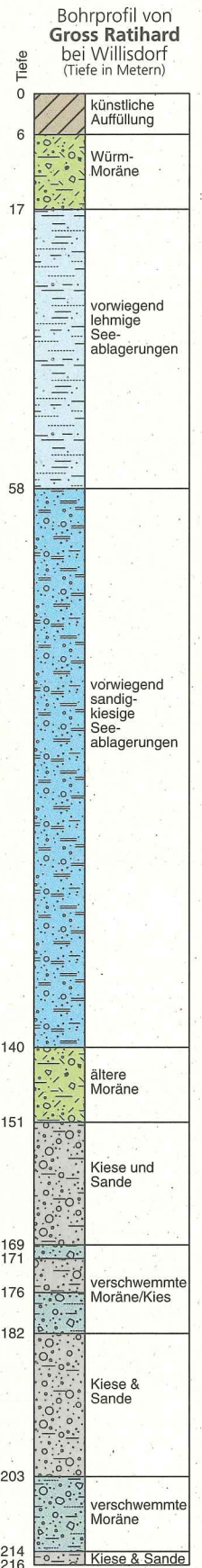
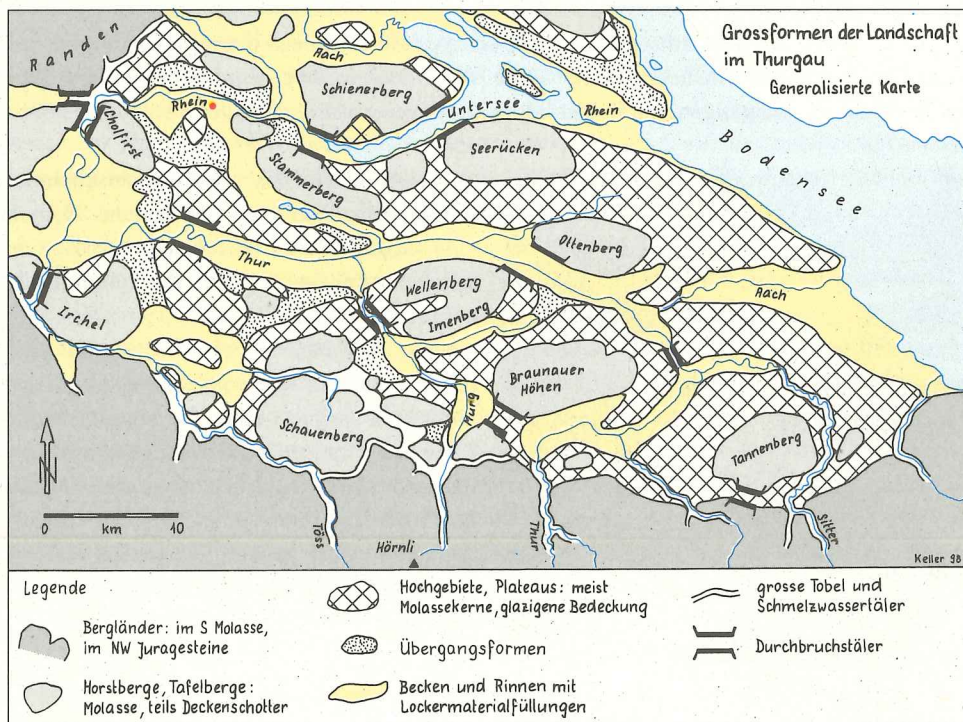
Die heutige Thurgauer Landschaft wird vor allem bestimmt von den *Formen und Ablagerungen der Kalt- und Warmzeiten*, welche in stetigem Wechsel das Klima der letzten 2,5 Mio Jahre geprägt haben. Durch die erosive Kraft der alpinen Gletscher, welche mehrmals bis über die Grenzen des Kantons Thurgau hinaus vordrangen, sowie ihrer Schmelzwässer wurden tiefe Talrinnen aus dem Molassefels herausgeschliffen. Ihre Basis liegt über weite Strecken beträchtlich unter den heutigen Talböden. Nach dem Rückzug der Gletscher wurden diese Rinnen jeweils rasch mit Kiesen und Sanden sowie mächtigen Seeablagerungen aufgefüllt. Bohrungen und geophysikalische Erkundungen haben gezeigt, dass diese Talfüllungen z.T. aus einer mehrfachen Folge von kalt- und warmzeitlichen Sedimenten bestehen, deren Analyse uns wichtige Informationen über die Geschichte der Eiszeiten liefert. Aber auch die Formen der vom Gletschereis geprägten Topografie des Thurgaus geben uns zahlreiche Hinweise v.a. über die Ausdehnung und den gestaffelten Abbau der bisher letzten grossen Vereisung, der sogenannten Würm-Eiszeit.

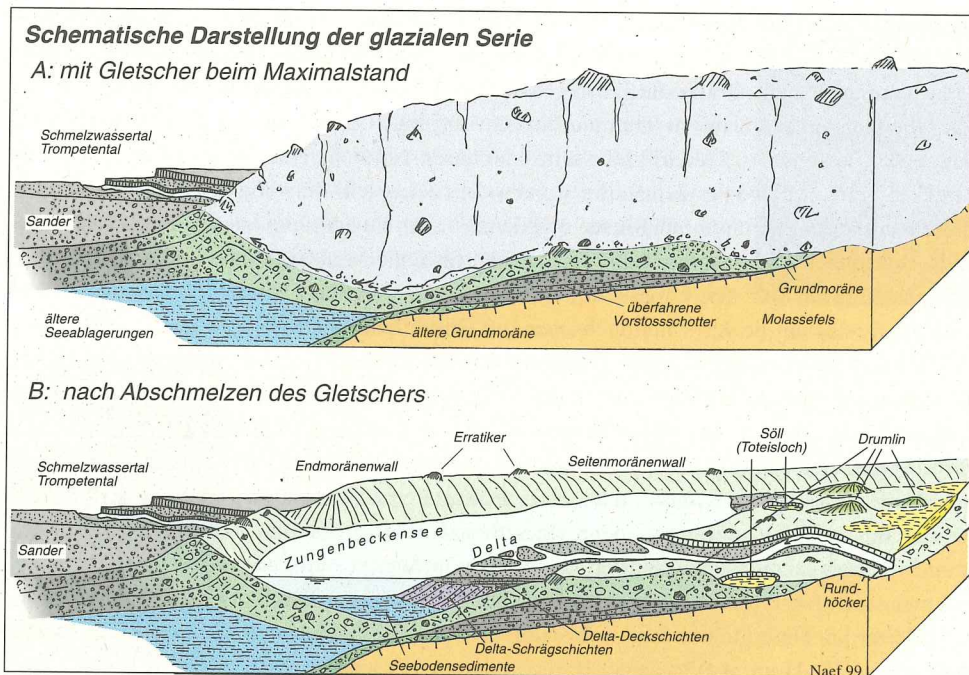
Die *geomorphologische Übersichtskarte* zeigt die Grossformen der thurgauischen Landschaft. Die pleistozänen Gletscher haben eine ausgedehnte Grundmoränendecke sowie prägnante End- und Seitenmoränen mehrerer Abschmelzstadien hinterlassen. Durch die besondere Situation der gletschergefüllten Haupttäler entstanden seitliche Abflussrinnen, die sich beim weiteren Abschmelzen der Gletscher dank der grossen Wassermengen und der Sedimentfracht kräftig eintieften und sich so zu teilweise schluchtartigen Durchbruchtälern entwickelten (z.B. Thurdurchbruch bei Halden zwischen Bischofszell und Kradolf).

In den Haupttälern selbst stauten sich spät- bis nacheiszeitliche Seen auf, die z.T. in wenigen hundert bis tausend Jahren mit Sand und Silt gefüllt wurden. Heute ist nur noch ein Teil der Hauptwanne des Rheingletschers als Bodensee erhalten. Über den verlandeten Seen wurden als jüngste Sedimente von grösserer Verbreitung die späteiszeitlichen Rückschmelzschotter sowie bis in heutige Zeit Kiese und Schwemmsande der Bäche und Flüsse abgelagert (z.B. Thur tal bei Frauenfeld, vergl. Karte auf Seite 14).

Zwischen den Haupttälern und dem stärker glazial überprägten Hügelland erheben sich die Thurgauer Molasseberge, die zwar ebenfalls unter Eis lagen, heute aber weitgehend frei von glazialen Ablagerungen sind. Im Süden geht die Ostschweizer Glaziallandschaft etwa entlang einer Linie St. Gallen – Wil – Winterthur in die voralpine Molassezone über.

nach Vorlage von
O. Keller





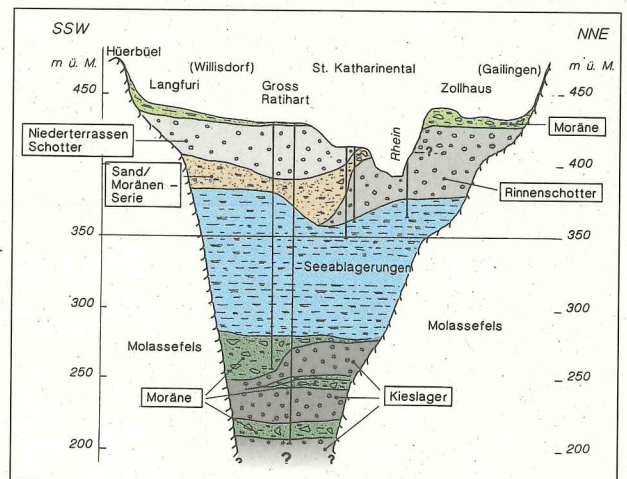
Das Schema der glazialen Serie zeigt den Zusammenhang der typischen Glazialbildungen. Der Gletscher ist umgeben von einem End- resp. Seitenmoränenkranz. Sein frontaler Bereich liegt häufig in einem deutlich übertieften Zungenbecken. Der Gletscher gleitet auf seiner Grundmoräne, welche durch laufend im Eis niedersinkendes und an der Basis verschürftes Gesteinsmaterial gebildet wird. Dort kommt es gebietsweise auch zu hügeligen Materialansammlungen, den sogenannten Drumlins. Die Stromlinienform dieser charakteristischen Hügel und ihre seitlich versetzte Anordnung ist ein Abbild des Fließverhaltens des wassergesättigten Eises im Zungenendbereich des Gletschers.

Nach dem Abschmelzen des Gletschers wird das Zungenbecken von einem See gefüllt, der aber infolge Seespiegelabsenkung durch die intensive Erosion beim Durchbruchstal und die rasche Auffüllung mit den sandreichen Deltaablagerungen in der Regel nur ein kurzlebige Gebilde ist. Zurück bleibt eine hügelige, von Wallmoränen gesäumte Landschaft mit Drumlins, Rundhöckern und Toteisseen, sogenannten Söllen. In einem zentralen Tal sorgen die Schmelzwässer des weiter zurückweichenden Gletschers für intensiven Materialtransport und entsprechende Umlagerung und Erosion.

So haben die alpinen Gletscher bei ihren Vorstössen ins Mittelland typische Ablagerungssequenzen zurückgelassen, deren Idealprofil bei vollständiger Erhaltung etwa folgende Teile umfasst: Überfahrene Kiese und Sande des Gletschervorstosses, Grundmoräne des Gletschermaximalstandes, intramoräne Seeablagerungen des Zungenbeckens, spät- bis nacheiszeitliche Schotter und Sande, nacheiszeitliche Verschwemmungen und Bodenbildung. Im Normalfall sind aber die einzelnen Glieder dieser glazialen Serie nur lückenhaft oder zumindest nicht schön übereinander gelagert erhalten. Die genaue Zuordnung der in Bau- und Kiesgruben sowie Sondierbohrungen aufgeschlossenen Lockergesteine zu der jeweiligen Lage des Gletschers ist deshalb oft schwierig und mit vielen Unsicherheiten behaftet. Der nebenstehende, stark überhöhte Schnitt durch die Lockergesteinsfüllung des Rheintals bei Diessenhofen – Willisdorf zeigt ein kompliziertes Neben- und Übereinander verschiedener Glazialablagerungen, deren Basis auch mit der Bohrung von Gross Ratihart (Profil Seite 8) in 216 Metern Tiefe noch nicht erreicht wurde.

Weitere Beispiele siehe Seiten 12 und 13.

aus Müller 1995



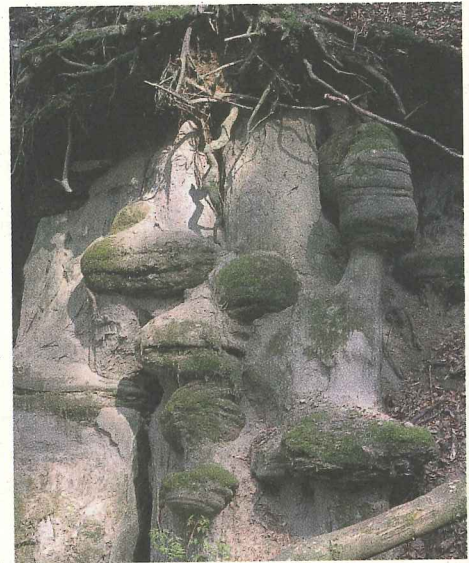
Nagelfluh, Sandstein und Mergel – der Thurgauer Felsuntergrund



Die prächtig aufgeschlossene *Nagelfluh* beim Autobahneinschnitt westlich Münchwilen zeigt Strukturen einer ehemaligen kiesreichen Flussablagerung. Die markant herauswitternde Schrägschichtung verkörpert eine im Bild ungefähr von rechts nach links wandernde Kiesbank. Sie wird im oberen Teil von einer höheren, etwa senkrecht zur Bildfläche wandernden Kiesbank teilweise wieder erodiert, d.h. abgeschnitten. Kiesbänke sind Zeugen des stetigen Materialtransports durch Umlagerung im hohen Energiebereich eines Gewässers. Sie bleiben nur erhalten, wenn der Fluss seinen Lauf immer wieder

ändert, wie das für die verzweigten Wasserläufe eines Schuttfächers typisch ist.

Die *Sandsteine* des Thurgauer Felsuntergrundes zeigen oft eine besondere Art der Anwitterung, indem härtere, durch Kalkausscheidungen besser zementierte Partien als sogenannte Knauer herauswittern. Abgesehen von diesen Knauern sind sie aber nur unvollständig verfestigt, d.h. sie verwittern unter dem Einfluss von Wind und Wetter relativ rasch und eignen sich deshalb nur bedingt als Bausteine. Sandsteinlagen findet man in den meisten Molassetobeln, wo sie zwischen den weichen Mergeln einige dm- bis wenige m-mächtige Härterippen mit kleinen Wasserfällen bilden. An den Flanken der Höhenzüge ist deren Vorkommen oft als markante Terrainkante mit Steilstufe erkennbar. Besonders attraktive Verwitterungsformen bilden die Knauersandsteine des Ortobels ob Berlingen (Bild rechts) am nördlichen Abhang des Seerückens. Solche Kleinode der Natur sollen als Geotope geschützt und als Schulobjekte erschlossen werden.



Der überwiegende Teil der Molasse besteht aus kalkigen Silt- und Tongesteinen, den sogenannten *Mergeln*. An der Erdoberfläche verwittern sie rasch zu schweren, lehmigen Böden und sind deshalb nur



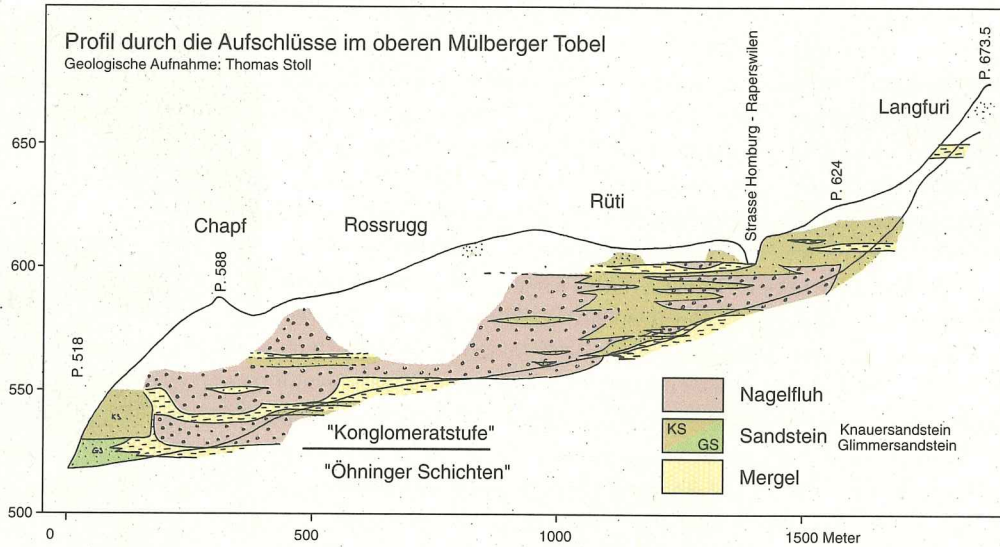
selten in natürlichen Aufschlüssen zu beobachten. Als Rohstoffe für die Zement- und Ziegelherstellung wurden und werden die Molassemergel auch im Kanton Thurgau abgebaut. Solche Abbaustellen, wie z.B. die Tongrube Altegg der Ziegelei Istighofen bei Mettlen (Bild links), sind zwar unschöne Narben in der Landschaft, gleichzeitig aber auch wichtige Studienobjekte für die Erforschung der Oberen Süsswassermolasse. Im Bild sieht man die mächtigen Mergel, welche von einer nach links dünner werdenden, in Blöcken zerfallenden Sandsteinbank unterbrochen werden. Das schwarze Mergelband über dieser Sandsteinlage enthält zahlreiche fossile Säugerzähne, deren Bestimmung ein Alter von ca. 13 Mio. Jahren ergeben hat.



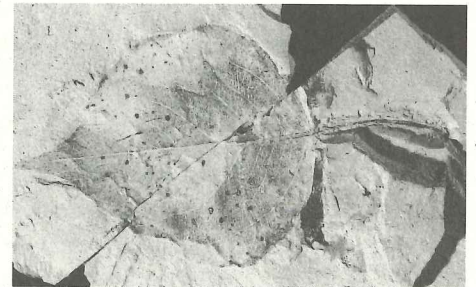
Als junge Erosionsrinne schneidet sich das *Kaabachtobel bei Lommis* (Bild links) in die vom Würmgletscher geformte Hügellandschaft ein. Unter der Moränendecke ist der Molassefels in frischen, durch die Seitenerosion des Baches immer wieder neu entstehenden Aufschlüssen zugänglich. Er ist hier von sogenannten Ophiolithsandsteinen und -nagelfluhen geprägt. Deren auffallende Grünfärbung stammt von Gesteins- und Mineralbruchstücken, die typisch sind für ozeanisches Krustenmaterial (mittelozeanische Rücken). Solche Gesteine sind heute z.B. in den penninischen Decken des Oberhalbsteins direkt anstehend. Ähnlich zusammengesetzte, aber mittlerweile längst erodierte Krustenteile wurden offenbar vor ca. 15 Mio Jahren zur Zeit der OSM durch die Molasseflüsse aus zentralen Teilen der Alpen hierher transportiert.

Allgemeines zur Oberen Süsswassermolasse siehe Seiten 6 und 7.

Das *Mülbergertobel* ist ein typisches, tief in den Südabhang des Seerückens einerodiertes Molassetobel, in dessen oberem Teil eine vielfältige Abfolge verschiedener Gesteine abgeschlossen ist. Zwischen Punkt 597 an der Strasse Raperswilten – Homburg und der Einmündung des Rappentobels bei Punkt 518 dominieren bis zu 10 m mächtige, massige Nagelfluhkörper mit Zwischenlagen von teilweise rötlich-violetten Mergeln und Sandsteinen. Ihre unterschiedliche Zusammensetzung bezeugt verschiedene Teilschüttungen innerhalb des Hörnlichtuttfächers, welche dem Schichtniveau der sogenannten Konglomeratstufe entsprechen. Darunter kommen nur noch Mergelserien mit Sandsteinlagen vor (sogenannte Öhninger Schichten). Das Tobel wird gegen unten breiter und die Flanken sind von zahlreichen, auch heute noch aktiven Rutschungen geprägt.



Versteinerungen von Tieren und Pflanzen der Molassezeit findet man vor allem in kohligen Mergellagen und auf den Schichtflächen von plattig brechenden Sandsteinen. Berühmt sind die Pflanzenfundstellen von Öhningen am Untersee (D), durch deren detaillierte Auswertung das damalige Klima rekonstruiert werden konnte. Aber auch in den Glimmersanden des Seerückens wurden zahlreiche Tier- und Pflanzenreste gefunden, wie z.B. der ca. 9 cm lange Abdruck eines Pappelblattes oder der Wirbelknochen einer miozänen Elefantenart (Bilder rechts), die beide aus der Sandgrube in Helsighausen stammen. Durch den aktuellen Sandabbau werden dort immer wieder neue Schichten freigelegt, weshalb weitere Fossilfunde zu erwarten sind. In dieser Grube findet man auch bis zu einige cm dicke kohleführende Lagen. Solche Vorkommen haben im vergangenen Jahrhundert zu Spekulationen über grössere Kohlevorkommen im Kanton Thurgau geführt. Entsprechende Schürf- und Abbaubersuche zeigten aber immer wieder, dass die Molassekohlen des Thurgaus keine ökonomische Bedeutung aufweisen.



Die häufigsten Fossilien des Thurgaus sind Blattabdrücke, verkohlte Holzreste (sehr schön z.B. im Speckbachtobel südlich von Steckborn) und Lagen mit Land- und Süswasserschnecken, wie sie das nebenstehende Bild von Funden aus Helsighausen zeigt.

Heute spielen die meist sehr unscheinbaren, nur mm-grossen Backenzähne von Mäusen und anderen Nagern eine wichtige Rolle, weil mit deren Hilfe eine relative Altersbestimmung der Fundschichten möglich ist (Bolliger 1998).

Siehe auch allgemeiner Teil Seiten 6 und 7.

Moränen, Drumlins und Schmelzwassertäler – die Zeugen der letzten Eiszeit



Das Bild aus der *Kiesgrube Ebnet bei Willisdorf/Diessenhofen* zeigt Schrägschichtung und durch Verrutschung gestörte Schichtlagen in sandreichen Deltasedimenten (siehe Seite 9). Diese wurden während einer frühen Abschmelzphase des würmzeitlichen Rheingletschers in einen kaltzeitlichen Stausee geschüttet, welcher sich hier vor ca. 15'000 Jahren mit einer Seespiegelhöhe von ca. 425 m ü.M. ausbreitete. Das Grubenareal südlich der Umfahrung Diessenhofen bietet (heute noch) einen ausgezeichneten Einblick in die sedimentologischen und frühdiagenetischen Prozesse solcher Deltaablagerungen.



Die «*Grossenegg*» liegt als ca. 30m hoher und 500m langer *Drumlin* westlich Affeltrangen am Rande des Lauchetals. Der Blick nach Westen zeigt die in sanften Wellen hinziehende Grundmoränenlandschaft zwischen dem Lauchetal und den bewaldeten Endmoränen zwischen Aadorf und Häuslenen. Ohne genauere Informationen über den Untergrund kann häufig nicht entschieden werden, ob die Hügel nun Rundhöcker mit Molassekern und nur dünner Grundmoränen-decke oder Drumlins aus kiesigen Gletscherablagerungen sind.

Die oft viele Meter mächtigen *Grundmoränen* sind lehmreiche, kompakte und massige Ablagerungen mit Steinen aller Grössen, die typischerweise völlig willkürlich und oft isoliert im feinkörnigen, grauen Lehm liegen. Wegen der intensiven Zerreibung des Moränenmaterials durch den vorrückenden Gletscher weisen grössere Gesteinskomponenten oft markante Kratz- und Schleifspuren auf; solch «gekritztes Geschiebe» ist typisch für glaziale Ablagerungen.

Wie ein Blick auf die geologische Karte zeigt (siehe Einband, hellgrüne Flächen), sind Grundmoränen im Thurgau weit verbreitet und bilden vor allem im NW und zwischen Sitter, Thur und dem Bodensee eine praktisch geschlossene Lockergesteinsbedeckung, die stellenweise sehr mächtig sein kann. Das nebenstehende Bild wurde in der *Baugrube des neuen Seewasserwerks in Frasnacht* aufgenommen, wo die Grundmoräne in über 10 m Mächtigkeit und in gleicher Ausbildung vorliegt.



Das *Furtbachtal* (Bild unten) verläuft zwischen Mettlen und Bussnang etwa parallel zum Haupttal der Thur. Es hat sich wahrscheinlich während einer kurzen, aber von starker Erosion geprägten Zeit gegen Ende der letzten Eiszeit als randliche Entwässerungsrinne des abschmelzenden Thurgletschers gebildet. Das vergleichsweise breite, von verrutschten Hangpartien geprägte Tal wird heute vom bescheidenen Furtbach durchflossen, dessen erosive Kraft für die Eintiefung dieser Talung kaum ausgereicht hätte.

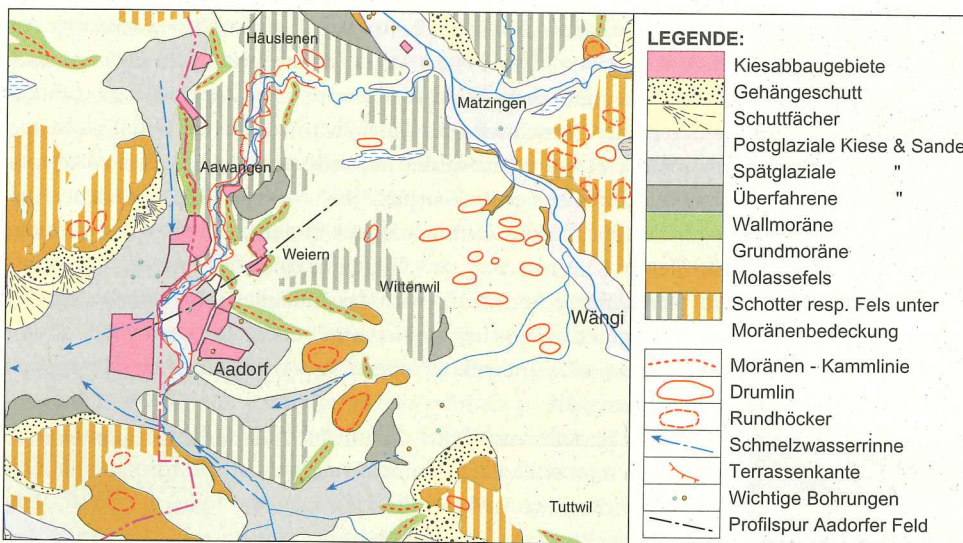
Am Ende der letzten Eiszeit haben zahlreiche Findlinge die ausgedehnte Moränenlandschaft des Thurgaus mitgeprägt. Sie wurden im Laufe des Mittelalters und der frühen Neuzeit gesammelt und für den Bau fester Gebäude verwendet (siehe Seite 21). Heute findet man solche Erratiker fast nur noch in abgelegenen Tobeln oder beim Aushub von Baugruben (Findlingsgärten bei Mettlen, Schwaderloh und Willisdorf).



Fossile Zeugen früheren Lebens sind in den quartären Lockergesteinen sehr selten. Am häufigsten kommen Holzreste und verkohlte Torfstücke vor, mit deren Hilfe das Alter der Sedimente bestimmt werden kann (14C-Datierungen). Schon eher spektakulär sind vereinzelte Funde von Backen- oder Stosszähnen des Mammuts.



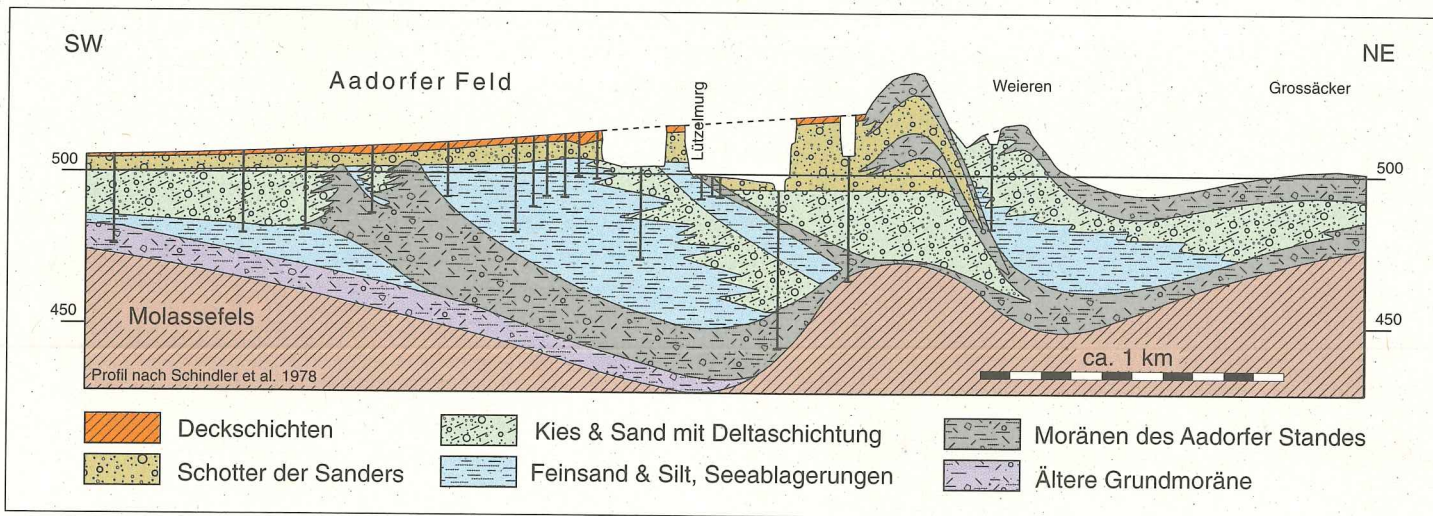
Zum Beispiel die Endmoränenlandschaft bei Aadorf



Die Endmoränenlandschaft um Aadorf – Aawangen ist geprägt von typischen glazialen Geländeformen, insbesondere den prägnanten Moränenwällen, welche sich von Häuslenen bis Aadorf hinziehen. Zwischen Aadorf und dem Murgtal hat der Gletscher eine hügelige Landschaft mit Drumlins zurückgelassen, während umliegende Molassehügel zu Rundhöckern geschliffen wurden. Während der ersten Abschmelzphase wurde das Gebiet in Richtung Elgg und Eulachtal entwässert, wobei ein ausgedehntes Schotterfeld (Sander) entstand. Später hat sich aber im Bereich des Durchbruchtals eine rückwärtige Entwässerung durchgesetzt. Heute fliesst die Lützelurg durch ein schmales, bis zu 50 m in die Glazialablagerungen eingeschnittenes Tälchen in Richtung Matzingen, das ca. 70 m tiefer liegt als Aadorf.

Dank der ausgedehnten Kiesvorkommen, die zu einem grossen Teil bereits abgebaut wurden, gleichzeitig aber auch wichtige Grundwasserträger bilden, ist das Gebiet geologisch sehr gut untersucht. Zahlreiche Sondierbohrungen erlauben zusammen mit einer Kartierung der Oberflächenformen die Rekonstruktion einer mehrphasigen glazialen Serie (vgl. Seite 9). Das geologische SW-NE-Profil zeigt, dass der Würmgletscher bei Aadorf eine Staffel von mehreren Endmoränen (grau) aufgeschoben hat. Die entsprechenden Zungenbecken hinter den Moränenwällen sind gefüllt von siltig-sandigen Seeablagerungen (blau) und sandig-kiesigen Deltaschichten (grün). Vor den Endmoränen breitet sich die Schotterflur des ehemaligen Sanders aus (beige), der eine komplexe Serie von älteren Endmoränen und den dazugehörigen Kiesen und Sanden überdeckt, welche durch Sondierbohrungen nachgewiesen wurden.

nach Schindler et al.
1978

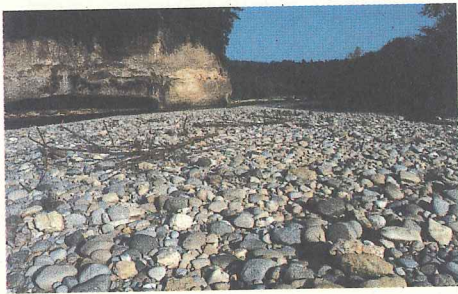


Bäche, Flüsse und Seen – aktuelle geologische Prozesse



Die heute *aktive Erosion* geschieht im wesentlichen *entlang von Bach- und Flussläufen* (sog. lineare Erosion), vor allem in den steilen, tief eingeschnittenen Molassetobeln abseits der Siedlungsgebiete, wie z.B. am Hartenauer Bach, östlich von Tobel (Bild links). In solchen Bachtobeln erlauben die durch Rutschungen, Unterspülungen und Wasserfälle immer wieder neu entstehenden, frischen Aufschlüsse einen guten Einblick in den Untergrund. Will ein Geologe ein Gebiet kennenlernen, so schreitet er deshalb zuerst die Bachläufe ab. Die Steilheit und damit auch die Erosionskraft eines Bachlaufes

nimmt, abgesehen von kleinräumigen Unregelmässigkeiten, in der Regel nach unten ab und er mündet schliesslich in ein Haupttal oder direkt in einen See, wo das erodierte Material als Schutfächer oder Delta abgelagert wird.

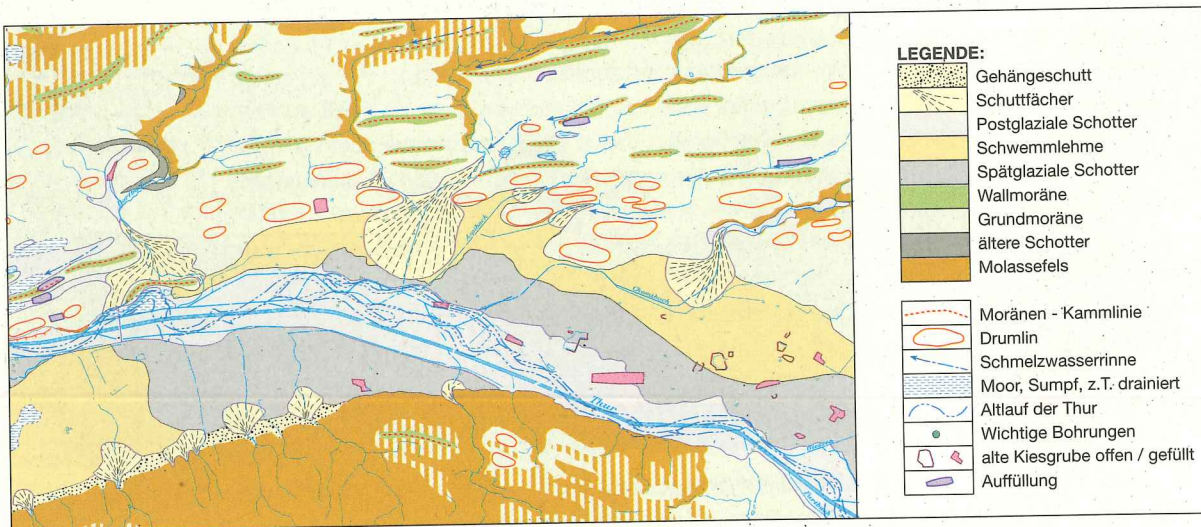


Im Gegensatz zum Bach fliesst der *Fluss in einem breiten Tal* mit nur leichtem Gefälle, wo er mäandriert und im natürlichen Zustand bei Hochwasser über die Ufer tritt und weite Gebiete überschwemmt. Der von den Seitenbächen herantransportierte Schutt wird vom Fluss übernommen und unter wiederholter Umlagerung sukzessive talabwärts verfrachtet. Die gelösten Stoffe sowie die Feinanteile (Schwebefracht) werden permanent abgeführt. Der Transport grösserer Bestandteile (Kies und Blöcke) erfolgt jedoch nur schubweise durch die Energie von Hochwasser, die früher periodisch weite

Gebiete der Flusstäler überschwemmt haben. Das natürliche Flusstal ist so geprägt durch einen steten Wechsel von Erosion und Ablagerung.

Die *geologische Karte des mittleren Thurtals* bei Pfy – Müllheim zeigt sehr schön die Zusammenhänge zwischen Bacherosion, Schutfächer und Flusstal. In den moränenbedeckten Abhang des Seerückens (hellgrün) haben die postglazialen Bäche tiefe Rinnen eingeschnitten, in welchen die liegende Molasse aufgeschlossen ist (braun). Am Ausgang des Bachtobels lagert sich das Erosionsmaterial als Schuttkegel ab.

Vor der Korrektur verlief die Thur in einem bis zu 1 km breiten Mäandergürtel, wo in stetigem Wechsel Material ab- und umgelagert werden konnte und sich der Fluss vor allem nach Hochwasser immer wieder ein neues Bett suchen musste. Am Fuss des Wellenberges und des Seerückens haben sich als Folge des flächenhaften Abtrags in den Hangpartien ausgedehnte Lehmdecken gebildet, welche z.T. bis ans heutige Flusstal reichen oder zumindest die älteren silt- und sandreichen Ablagerungen des spätglazialen Thurtals überdecken.



Die Flüsse des Thurgaus, nämlich Thur, Sitter, Murg und Rhein sind aber durch Kanäle, Verbauungen, Regulierungen usw. fast vollständig stabilisiert und haben damit ihre landschaftsbildende Kraft weitgehend verloren.

In den *Seen* wird die Fracht der Bäche und Flüsse abgelagert (Deltas). Die kleinen Seen und Weiher sind kurzlebige Gebilde, die nur in Gebieten überleben können, wo keine wesentliche Materialzufuhr stattfindet (z.B. Nussbaumer Seen). Die meisten kleinen Seen, welche nach dem Abschmelzen der Gletscher vor ca. 10'000 Jahren unsere Landschaft prägten, sind längst verlandet (Moore, Torf).

Nur der *Bodensee* als Hauptwanne des ehemaligen Rheingletschers hat «überlebt»; mit seiner Grösse von 540 km² ist er die bedeutendste Sedimentfalle des nördlichen Alpenvorlandes. Im Vergleich zur jährlichen Sedimentfracht des Rheins (ca. 3 Mio m³) sind die übrigen Zuflüsse nur von marginaler Bedeutung; Beim heutigen Sedimenteintrag wäre der Bodensee in ca. 15'000 Jahren ebenfalls aufgefüllt.

Das vergleichsweise aktive *Goldachdelta* (siehe Bild) ist auf Thurgauer Seite (rechts) in seinem ursprünglichen Zustand erhalten, während auf St. Galler Gebiet eine weitere natürliche Entwicklung durch den Ausbau der Badi Goldach verhindert wurde.

Vor seiner Besiedlung wies der Thurgau zahlreiche kleine Seen und Tümpel mit ausgedehnten Sumpf- und Mooregebieten auf. Was im Zuge der Zivilisation nicht durch Drainage oder Melioration trockengelegt wurde, ist heute in aller Regel ein Naturschutzobjekt und sollte

entsprechende Aufmerksamkeit und nachhaltigen Schutz geniessen.

Die *Nussbaumer Seen* im hinteren Seebachtal sind gut untersuchte, stehende Kleingewässer, die als Überreste eines lokalen Zungenbeckens des Rheingletschers vor ca. 15'000 Jahren entstanden sind.

Ihre Erhaltung verdanken diese Seen einer sehr bescheidenen Materialzufuhr, die bis vor etwa 500 Jahren bei nur ca. 1 mm pro Jahr lag. Seit der Besiedlung und landwirtschaftlich intensiveren Bewirtschaftung hat sich der Sedimenteintrag vor allem durch die Erosion der brachliegenden Bodenschichten vervielfacht und beträgt heute ca. 10 mm pro Jahr, was die Verlandung der Seen stark beschleunigt. Ohne Einbezug der weiteren Umgebung ist ein nachhaltiger Schutz der Seen deshalb kaum möglich.

Naturnahe Bachläufe sind neben ihrem Wert als Biotope auch wichtige Zeugen der jüngsten Erdgeschichte. Durch ihre Erosion erlauben sie Einblicke in den Untergrund und geben Aufschluss über die lokalen Formen des Abtrags; sie sollen deshalb wo immer möglich nicht verbaut oder gar eingedolt werden. Bei notwendigen Sanierungen sind den Anliegen des Geotopschutzes Rechnung zu tragen. Analoges gilt für natürliche Flussläufe. Um diese Ziele zu erreichen, müssen die heute noch verbleibenden naturnahen Bach- und Flussläufe erkannt und beschrieben werden. Das Gefährdungspotential ist festzustellen und die Beteiligten sind gezielt zu informieren.

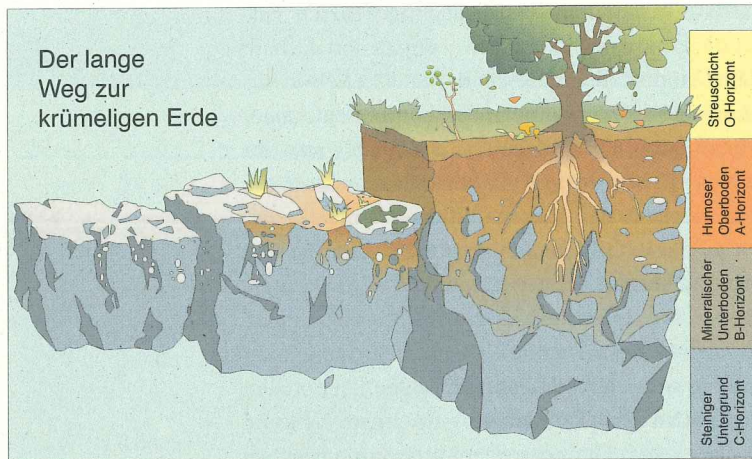
Die Thurgauer Seen und Moore sind durch bestehende Massnahmen und Gesetze gut geschützt. Ihre Sedimente erweisen sich als die wichtigsten Archive der nacheiszeitlichen Klima- und Landschaftsentwicklung. Untersuchung und Schutz sind deshalb wichtige ökologische Anliegen.



Verwitterung und Bodenbildung – die Basis der belebten Natur

Der Boden bildet jene hauchdünne oberste Schicht der Erdkruste, in welcher die Gesteine verwittern und wo die auf ihm lebende organische Substanz, Tieren und Pflanzen, nach ihrem Ableben zersetzt werden. Die mineralische Zusammensetzung des Gesteinsuntergrundes, das Klima und das lokale Geländere relief steuern diese Vorgänge, wobei der Boden immer wieder verändert, erneuert oder auch zerstört werden kann.

Natürlicher Boden ist das Ergebnis von *jahrtausendealten Abbau- und Umbauvorgängen*.



aus WWF 1990

Pflanzen wichtigen Nährstoffe gelagert.

Die Abgrenzung des so definierten Bodens gegenüber seinem geologischen Untergrund ist nicht genau festzulegen. Zwischen dem meist nur wenige Dezimeter dicken, humosen Oberboden (A-Horizont), der durch ein reiches Leben und die Zersetzung der organischen Substanz geprägt ist, und dem steinigen Untergrund (C-Horizont) kann sich ein bis mehrere Meter mächtiger Unterboden (B-Horizont) ausdehnen. Er wird von den grösseren Pflanzen durchwurzelt, die ihm die mineralischen Rohstoffe entziehen. Er bildet so die wichtigste Nahrungsquelle für alles Leben an der Erdoberfläche.

Der Boden hat aber noch weitere Aufgaben: Er verleiht der Erdoberfläche Zusammenhalt und schützt so vor Erosion, er bietet Lebensraum und Unterschlupf für zahlreiche Lebewesen, er speichert Energie, Wasser und Informationen, er wirkt als Filter für aus der Atmosphäre eingetragene Stoffe.

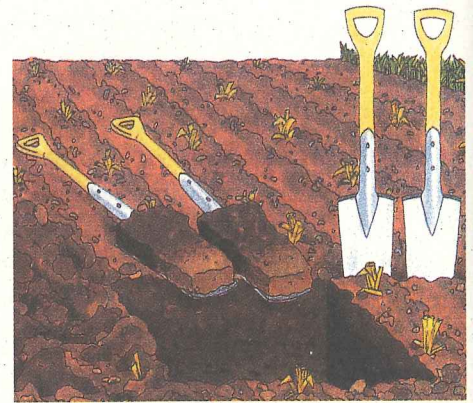
Erforschung und Kenntnis der natürlichen Böden und ihrer Beeinflussung durch den Menschen sind deshalb vorrangige Aufgaben der modernen Umweltnaturwissenschaften. Chemische Bodenuntersuchungen sind aufwändig und bedürfen spezieller Geräte. Mit Hilfe einer Spatenprobe können hingegen auf unkomplizierte und schnelle Art der Zustand des Bodens, vor allem des Oberbodens studiert und mit etwas Erfahrung Schlüsse über die Nutzung in den vergangenen Jahren gezogen werden.

Fazit: Boden ist unersetzlich: einmal zerstörter Boden kann vom Menschen nicht wiederhergestellt werden. Jeder m² Boden ist daher schützenswert.

Zu intensive Nutzung und zu häufige Bearbeitung zerstören die Krümelstruktur. Damit wird die natürliche Fruchtbarkeit des Bodens langfristig gefährdet. Nur eine nachhaltige Nutzung kann gewährleisten, dass auch spätere Generationen über fruchtbaren Boden verfügen können.

Boden wird durch Schadstoffe aus der Luft und aus landwirtschaftlichen Hilfsstoffen belastet. Einmal in den Boden hineingeratene Schadstoffe können nicht wieder herausgeholt werden. Der Boden bleibt für immer belastet. Es muss alles daran gesetzt werden, dass der Boden nicht verschmutzt wird.

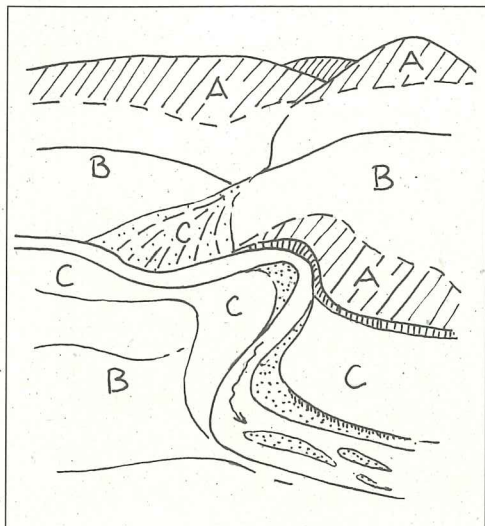
Dabei entsteht ein Gemisch von verwittertem Gestein, lebenden und toten Organismen sowie Luft und Wasser, das durch die Wurzeln höherer Pflanzen erschlossen werden kann. Ungestörter Boden entwickelt mit der Zeit eine charakteristische Ordnung und die oberste Bodenschicht wird krümelig. Auf der Oberfläche dieser Krümel, der eigentlichen Bausteine des Bodens, gedeiht das Bodenleben. In den Hohlräumen zwischen den Krümeln zirkuliert Luft oder fließt Wasser in den Unterboden. Im Innern des Krümelns sind die für die



aus Hasinger 1993

Die Böden des Kantons Thurgau – fruchtbar und vielfältig genutzt

Die Kulturlandschaft des Thurgaus zeigt eine fast geschlossene Vegetationsdecke. Der darunterliegende Boden bestimmt den Charakter und die Eignung für die landwirtschaftliche oder die forstliche Nutzung. Je nach Höhenlage, lokalem Klima, Hangneigung und Beschaffenheit des Untergrundes haben sich seit dem Abschmelzen der Gletscher vor ca. 10'000 Jahren verschiedene Bodentypen ausgebildet.



Auf den Höhen und an Steilhängen der Molasseberge konnten sich wegen intensiver Erosion nur wenig mächtige Böden entwickeln, welche für die Landwirtschaft kaum geeignet und deshalb mehrheitlich bewaldet sind; stellenweise ist der nackte Fels sichtbar (Zone A). In tieferen Lagen dominieren die sanften Hügel der Thurgauer Kulturlandschaft, deren fruchtbare Böden sich vor allem über Moränen und sandig-lehmigen Schwemmablagerungen gebildet haben (Zone B). Über den Kiesen und Sanden der Talebenen (Zone C) findet man ebenfalls fruchtbare, tiefgründige Böden, die sich in ihrem Wasserhaushalt von denjenigen der Zone B unterscheiden. Sie sind sehr wasserdurchlässig, sodass Niederschlagswasser rasch ins Grundwasser abfließt. Solche Böden neigen zu Trockenheit. Die meist tonreicheren Böden der Hügelzone halten hingegen einsickerndes Regenwasser länger zurück, weshalb sie bessere Bedingungen für eine intensive landwirtschaftliche Nutzung bieten.

Bei sehr hohem Tongehalt ist der natürliche Wasserabfluss im Boden gehemmt, und es kommt vor allem in ebenen Lagen, Mulden und am Hangfuss, z.B. über verwitterten Molassemergeln, zu Stau-nässe. Dort bilden sich stellenweise Torf- oder Moorböden heraus, die einen geringen Sauerstoffgehalt aufweisen und deshalb nur beschränkt nutzbar sind. Abgestorbene organische Substanz wird nur sehr langsam abgebaut und die Böden sind entsprechend nährstoffarm. Sie zeichnen sich durch allgemein graue bis schwarze Farbtöne aus (Bild rechts). Damit sie besser bewirtschaftet werden können, hat man sie drainiert oder gar trockengelegt. Dadurch werden sie durchlüftet und die organische Substanz wird innert weniger Jahrzehnte abgebaut, was Moorsackung verursacht. Diese kann gut beobachtet werden anhand von seltsam hervorstehenden Schachtdeckeln oder hochliegenden Feldwegen.

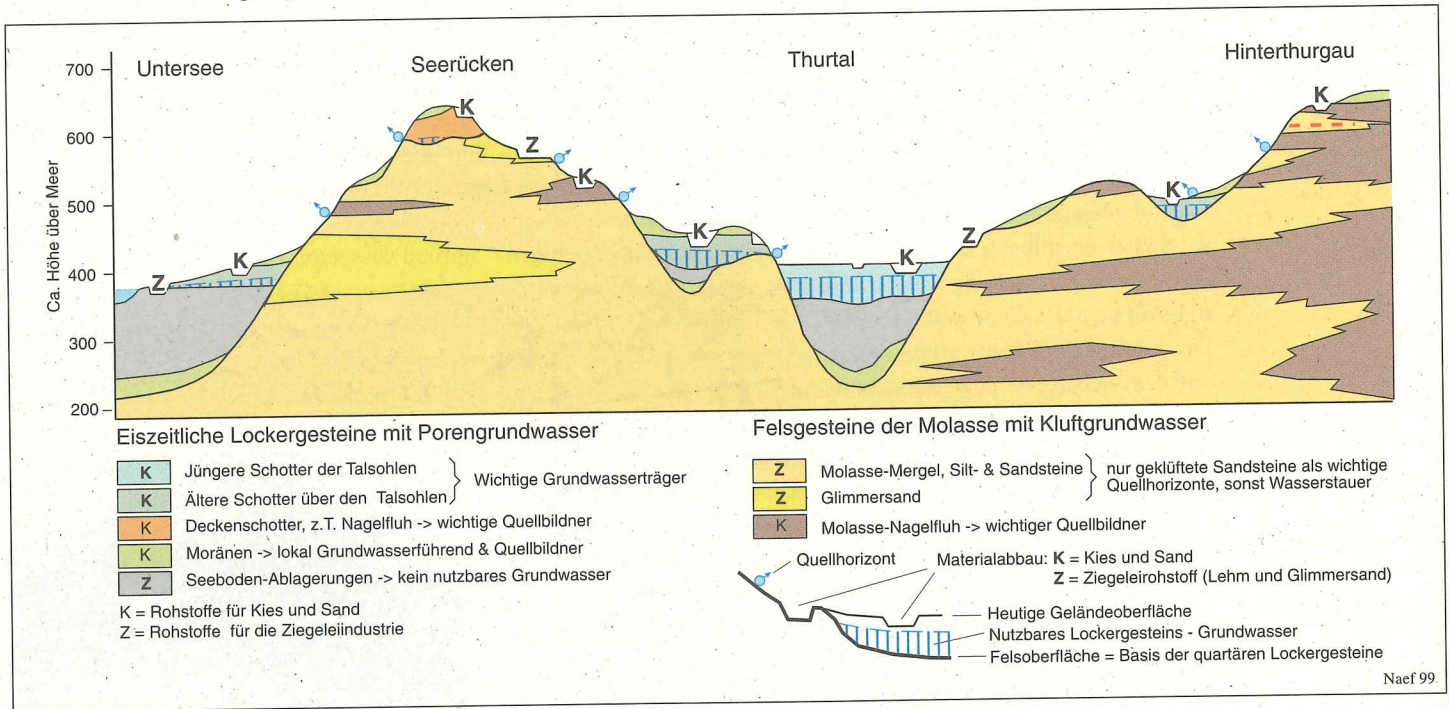
In Baugruben und besonders in grossen Kiesgruben wird augenfällig, wie dünn und entsprechend verletzlich die Bodenschichten sind. Das Bild einer Abbauwand in den Buechbergschottern der Grube Hüerbüel SW von Diessenhofen zeigt einen senkrecht durchwaschenen Boden der Zone C. Oben liegt der braune, belebte Oberboden und darunter ein relativ mächtiger, durch Eisenoxide auffal-



lend rot gefärbter, mineralischer Unterboden. Diese für Thurgauer Verhältnisse tiefgründige Verwitterung von ca. 4 Metern beruht vor allem auf der guten Wasserdurchlässigkeit des liegenden Kieskörpers. So können Umwandlungsstoffe aus dem Oberboden durch das rasch versickernde Niederschlagswasser ausgewaschen und in tiefere Schichten verlagert werden. Durch chemische Reaktionen und Filterwirkung werden sie im Unterboden zum Teil wieder ausgefällt, was zu entsprechenden Verfärbungen führt.

Grundwasser und Quellen – Vermittler zwischen Stein und Leben

Das schematische Profil zeigt die prinzipielle hydrogeologische Situation der Quellen und Grundwasservorkommen im Thurgau. Quellen sind dort zu erwarten, wo die Basis wasserführender Gesteinsschichten wie Sandsteine und Nagelfluhen, aber auch kiesreiche Moränen oder über den Talsohlen liegende Schotter an die Oberfläche ausstreichen. Solche Stellen sind im Gelände als Sumpf- oder Rietgebiete erkennbar (siehe Foto unten) oder markieren als Punktquellen direkt den Anfang eines Oberflächengewässers. Zwecks optimaler Nutzung des Landes wurden die meisten Thurgauer Quellsümpfe im Laufe dieses Jahrhunderts trocken-gelegt.



Die bedeutendsten Grundwasserträger des Thurgaus sind die spät- bis nacheiszeitlichen Schotter der Talebenen, welche im Thurtal über Seeablagerungen von nicht genau bekannter Mächtigkeit liegen. Sie wurden im Vorfeld des abschmelzenden Gletschers abgelagert und stellen gleichzeitig beste, locker gelagerte Kiesqualitäten dar. Deshalb wurden sie auch seit langem in zahlreichen Gruben teilweise bis weit unter den Grundwasserspiegel abgebaut. Die daraus entstehenden Nutzungskonflikte zwischen Bauwirtschaft und Wasserversorgung werden heute im Rahmen des Gewässerschutzes geregelt.

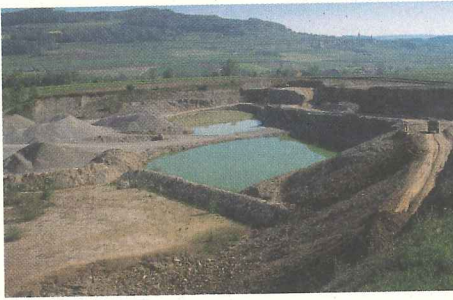
Im Gegensatz zu den Porengrundwässern der eiszeitlichen Lockergesteine, in denen das Wasser den gesamten Gesteinskörper durchströmt, fliesst das Grundwasser im Molassefels nur auf Rissen und Spalten, sogenannten Klüften. Die Fliesswege von Kluftgrundwässern sind deshalb am ehesten mit unterirdischen Wasseradern zu vergleichen. Bei weit offener Klüftung können in kurzer Zeit grosse Distanzen zurückgelegt werden, was bei Porengrundwässern grundsätzlich nicht möglich ist.



Nebenstehendes Bild zeigt einen Quellsumpf bei Sitzberg im Höfnliergland. Aus Molasseschichten austretende Quellen bewirken hier eine eigenständige Riedvegetation, die schon an ihrer braunroten Färbung im Gelände gut zu erkennen ist.

Alle der öffentlichen Trinkwasserversorgung dienenden Quellen und Grundwasserfassungen werden regelmässig auf ihre Qualität untersucht und sind im Rahmen des Gewässerschutzgesetzes durch die Ausscheidung von Schutzzonen vor schädigenden Umwelteinflüssen zu bewahren.

Verkehrswege, Rohstoffe und Deponien – der Mensch greift ein



Schon früh versuchte der Mensch, die natürlichen geologischen Prozesse in seinem Sinn zu beeinflussen. Dies betrifft zuerst vor allem wasserbauliche Eingriffe, sei es um trockene Gebiete zu bewässern oder feuchte zu entwässern, periodische Überflutungen abzuwenden oder um Energie zu gewinnen. Seit Beginn des industriellen Zeitalters und dann mit dem Einsatz motorisierter Transportmittel wurde es möglich und bald auch wirtschaftlich, immer grössere Mengen an Steinen und Erden über immer weitere Distanzen zu transportieren und so die Landschaft nachhaltig zu verändern. Der Mensch ist damit

zu einem namhaften geologischen Faktor geworden, dessen Wirken wir im Kanton Thurgau auf Schritt und Tritt beobachten können.

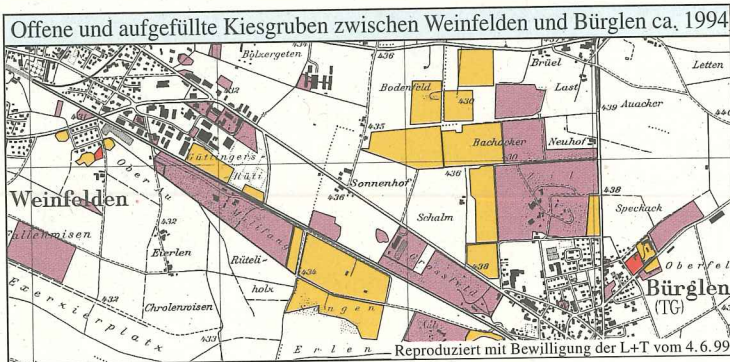
Die Kubatur der «Sedimenttransporte», welche heute durch die Bautätigkeit geleistet werden, übersteigt diejenige des natürlichen Sedimenttransports durch Flüsse und Bäche um ein Vielfaches. Ein wesentlicher Teil wird durch den Abbau von Rohstoffen (Kies, Sand und Ton) verursacht, welcher – zumindest vorübergehend – in Form der offenen Gruben auch die augenfälligsten Veränderungen in der Landschaft bewirkt. Etwa in derselben Größenordnung liegt die Verschiebung von Aushubmaterial, welches entweder in Deponien über natürlichem Terrain abgelagert oder zur Auffüllung offener Abbaustellen verwendet wird (vergl. Karte Seite 14). Eine besondere Form der Materialablagerung stellen die zahlreichen Seeuferauffüllungen dar, welche zwischen Horn und Eschenz den ursprünglichen Verlauf der Bodensee-Uferlinie, wie er etwa in der Sulzberger Karte oder auch noch in der Erstausgabe der Siegfried-Karte (1880–85) zur Geltung kommt, nachhaltig verändert haben (siehe Bild rechts).



Neben Materialabbau, Deponien und Seeuferauffüllungen hat auch der Ausbau der Verkehrswege bedeutende Landschaftsveränderungen bewirkt. So wurden z.B. allein beim Bau der N7 zwischen Müllheim und Schwaderloh (Bild rechts) in den Jahren 1989–92 ca. 830'000 m³ Gesteins- und Erdmaterial ausgehoben und in Deponien sowie als Dammschüttungen wieder abgelagert. Im Vergleich dazu ist der natürliche, flächenhafte Abtrag im Kanton Thurgau mit ca. 10'000 m³ pro Jahr sehr bescheiden (mitteleuropäische Abtragsrate ca. 0.01 mm pro Jahr, Fläche TG ca. 1000 km²). Bei durchschnittlichen durch den Menschen verursachten Erdbewegungen von ca. 500'000 m³ pro Jahr ergibt sich im Kanton Thurgau gegenüber dem natürlichen Abtrag eine durch den Menschen verursachte 50fach höhere Umlagerungsintensität.



Bis zur Inbetriebnahme der Kehrichtverbrennungsanlagen wurden auch alle festen Abfälle in Deponien «entsorgt», sodass heute zahlreiche Auffüllungen über ihren landschaftsverändernden Charakter hinaus auch ein Risiko für die Umwelt darstellen.



Neben den grossen Kunstformen der Landschaft sind es aber die vielen kleinen Eingriffe durch landwirtschaftliche Meliorationen und private «Bodenverbesserungen» und die allgemeine Bautätigkeit, die heute eine stetig fortschreitende und kaum mehr zu rekonstruierende Veränderung der natürlichen Erdoberfläche bewirken. Im Zuge der immer rationelleren Nutzung des

Bodens werden zunehmend typische Kleinformen abgetragen oder durch Aufschüttungen eingeebnet, was zu einem schleichenden Gesichtsverlust der Landschaft führt.

Gesteine als Baumaterial – Geohistorische Objekte

Mineralische Rohstoffe werden seit römischer Zeit abgebaut. Vorerst für Wehr- und Wohnanlagen, später auch für andere grössere Bauten benötigte man Bausteine, wofür die Geschiebe und Blöcke der weit verbreiteten Moränen, seltener auch gebankte Sandsteine der OSM verarbeitet wurden. Wichtige Zeugen für die Verwendung lokaler Steine sind die mittelalterlichen Burgen von Mammertshofen (Bild rechts), Wellhausen, Hagenwil und Schloss Frauenfeld, sowie die Reste der Stadtmauern von Diessenhofen. Diese Bautätigkeit führte im Laufe der Zeit zu einer weitgehenden «Säuberung» der Moränengebiete von grösseren Steinen und besonders den markanten Erratikern.



In der frühen Neuzeit erstellte man die Grundmauern und Eckquader wichtiger Gebäude häufig aus einheimischen Knauersandsteinen, deren Abbau in Islikon ausnahmsweise sogar unter Tag erfolgte. Die 1487 erbaute alte Thurbrücke bei Bischofszell ist nicht nur wegen ihrer Anmut und originellen Geometrie ein einzigartiges Zeugnis frühneuzeitlicher Baukunst. Für ihren Bau und die zahlreichen Reparaturen wurden Steintypen verschiedener Herkunft verwendet. Das dadurch entstandene originelle Gesteinsmosaik stellt heute ein wertvolles bauhistorisches Dokument dar.



Für die Herstellung von gebranntem Kalk (Mörtel) benötigte man Kalksteine, die im Thurgau nur als sogenannte Wetterkalke der OSM vorkommen. Verstürzte Stolleneingänge zeugen heute noch vom Abbau solcher Schichten bei Littenheid.

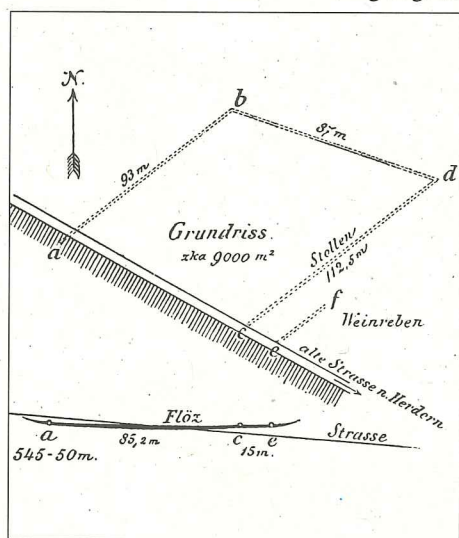
Wie an zahlreichen Orten der Schweiz wurde im letzten Jahrhundert auch im Thurgau intensiv nach Kohlevorkommen gesucht. Ein grösseres Pechkohle-Flöz wurde bei Herdern eine Zeitlang abgebaut (Original-Pläne im Naturmuseum Frauenfeld, siehe Bild links). In der

Regel blieb es aber bei Schürfversuchen und unrentablen Kleinabbaustellen, von denen heute noch ein paar zerfallene Stollenmundlöcher im Wald ob Wellhausen erhalten sind.

Mit der industriellen Revolution ab Mitte des 19. Jahrhunderts benötigte man leichtes, einfach herzustellendes Baumaterial, was auch im Thurgau zur Gründung zahlreicher mechanischer Ziegeleien führte. In seiner Arbeit über die Tonvorkommen in der Schweiz erwähnt Letsch (1907) 18 Thurgauer Ziegeleien, die für ihre Produktion vorwiegend quartäre Schwemmlehme und Seetone abbauten. Heute sind auf Kantonsgebiet noch drei Ziegeleiwerke in Betrieb, die in Diessenhofen/Paradies, Berg und Istighofen lokale, einheimische Rohstoffe verarbeiten.

Wichtigster mineralischer Rohstoff des Kantons Thurgau sind Kiesvorkommen, die als eiszeitliche Ablagerungen entlang der Haupttäler vorkommen (siehe Profil Seite 18). Die bekannten abbauwürdigen Reserven konzentrieren sich auf eine Handvoll Vorranggebiete, deren kontrollierter Abbau heute eine wichtige Aufgabe der Umweltraumplanung dar-

stellt. Seit den frühen 80er Jahren werden von der Thurgauer Bauwirtschaft jährlich ca. 1 Mio m³ Kiesmaterial umgesetzt und hauptsächlich als hochwertiges Koffermaterial und für die Betonherstellung verwendet. Als massgeschneiderter und vor Ort herstellbarer künstlicher Baustein bestimmt Beton, häufig ohne Ansprüche an ästhetische Kriterien, die aktuelle Baukultur.



Literatur.

- Bolliger, Th., 1992:* Kleinsäugerstratigraphie in der Hörnlichüttung. *Eclogae geol. Helv.* 85/3: 962–1000.
- Bolliger, Th., 1994:* Geologie und Paläontologie der Glimmersandgrube Helsighausen (Kt. Thurgau). *Mitt. thurg. naturf. Ges.*, 52: 63–79.
- Bolliger, Th., 1998:* Age and geographic distribution of the youngest Upper Freshwater Molasse (OSM) of eastern Switzerland. *Eclogae geol. Helv.* 91: 321–332.
- Bolliger, Th., ed 1999:* Geologie des Kantons Zürich. Ott Verlag, Thun.
- Brunner, H. & Ruef, A., 1985:* Bodenkarte Hörnli (Lk 1093) mit Erläuterungen. Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz, 78 pp + Karte 1:25'000.
- Bürgisser, H. M., 1981:* Fazies und Paläohydrologie der Oberen Süsswassermolasse im Hörnli-Fächer (Nordostschweiz). *Eclogae geol. Helv.* 74/1: 19–28.
- Eberli, J., 1896:* Über das Vorkommen von Molassekohle im Kanton Thurgau. *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 12: 96–158.
- Engeli, J., 1912:* Die Quellen des Kantons Thurgau. *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 20.
- Frömmelt, H., Guisolan, M. & Sulzberger, J.J. 1997:* Karte des Kantons Thurgau von 1830–1838. Dokumentation zur Faksimilierung der Originalzeichnungen. Langnau a.A.
- Frossard, P.-A., Lachat, B. & Paltrinieri, L., 1998:* Mehr Raum für unsere Fließgewässer. Beiträge zum Naturschutz in der Schweiz Nr. 19, Pro Natura, Basel.
- Gamper, B. & Suter, J., 1995:* Der neue Berg. *Regio basiliensis* 36/2: 175–182.
- Geiger, E., 1943:* Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 16: Pfyn – Märstetten – Frauenfeld – Bussnang (SA 56–59, LK 1053: Frauenfeld) 1:25'000, mit Erläuterungen. Schweiz. geol. Komm.
- Geiger, E., 1968:* Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 54: Weinfelden (LK 1054), 1:25'000, mit Erläuterungen. Schweiz. geol. Komm.
- Geologischer Dienst der Armee, 1970:* Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 57: Hörnli (LK 1093), 1:25'000. Schweiz. geol. Komm.
- Goudie, A., 1995:* Physische Geografie: eine Einführung. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg • Berlin • Oxford, 402 pp.
- Häberle, J., 1990:* Der Nagelfluhaquifer in der Oberen Süsswassermolasse (OSM) auf dem Seerücken (Kt. Thurgau) *Bull. Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel*, 9: 113–122.
- Häberli, R., Lüscher, C., Chastonay, B. P. & Wyss, C., 1991:* Kulturboden – Bodenkultur. Vorschläge für eine haushälterische Nutzung des Bodens in der Schweiz. Schlussbericht NFP 22. Verlag der Fachvereine, Zürich.
- Hantke, R., 1954:* Die fossile Flora der obermiozänen Öhninger-Fundstelle Schrotzburg. *Denkschr. schweiz. naturf. Ges.* 80: 27–118.
- Hantke, R. & Wiesmann, A., 1994:* Der Findlingsgarten Schwaderloh bei Kreuzlingen (Kanton Thurgau). *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 52: 41–58.
- Hasinger, G., 1993:* Bodenbeurteilung im Feld. BUWAL, Bern.
- Hipp, R., 1986:* Zur Landschaftsgeschichte der Region Bischofszell. Eine glazialmorphologische Arbeit. Diss. Univ. Zürich. *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 47: 3–117.
- Hipp, R., 1985:* Ein Beispiel zur Erosionsleistung kleinerer Fließgewässer: Die Geschiebefracht im Lauffenbach bei Bischofszell TG. *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 46: 80–96.
- Hipp, R., 1992:* Geologie und Landschaftsgeschichte des Hudelmooses und seiner näheren Umgebung. *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 51: 9–27.
- Hofmann, F., 1951:* Zur Stratigraphie und Tektonik des st. gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süsswassermolasse) und zur Bodenseegeologie. *Jb. st.gall. natw. Ges.* 74: 1–87.
- Hofmann, F., 1960:* Beitrag zur Kenntnis der Glimmersandsedimentation in der OSM der Nord- und Nordostschweiz. *Eclogae geol. Helv.* 53/1: 1–25.
- Hofmann, F., 1967:* Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 52: Andelfingen (LK 1052), 1:25'000, mit Erläuterungen. Schweiz. geol. Komm.
- Hofmann, F., 1973:* Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 65: Bischofszell (LK 1074), 1:25'000 mit Erläuterungen. Schweiz. geol. Komm.
- Hofmann, F., 1982:* Die geologische Vorgeschichte der Bodenseelandschaft. In: H. Maurer (Hrsg.): *Der Bodensee: Landschaft – Geschichte – Kultur*. Schr. VG Bodensee 99/100: 1981/82: 35–67.
- Hofmann, F., 1989:* Geologie des Bodenseeraumes. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/89: 4–8.
- Hofmann, F., 1993:* Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 86: Wil (LK 1073) 1:25'000, mit Erläuterungen. Schweiz. geol. Komm.
- Hofmann, F., 1997:* Mineralische Rohstoffe und historischer Bergbau rund um den Bodensee. *Schr. VG Bodensee* 115: 169–191.
- Hofmann, F. & Hantke, R., 1964:* Erläuterungen zum Blatt Nr. 38: Diessenhofen (LK 1032) des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000. Schweiz. geol. Komm.
- Hottinger, L., 1980:* Wenn Steine sprechen – Über die Geologie der Alpen. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Hottinger, L., Matter, A., Nabholz, W. & Schindler, C., 1970:* Erläuterungen zum Blatt Nr. 57: Hörnli (LK 1093) des Geologischen Atlas der Schweiz, 1:25'000. Schweiz. geol. Komm.
- Hübscher, J., 1961:* Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 38: Diessenhofen (LK 1032), 1:25'000. Schweiz. geol. Komm.
- Hünemann, K.A., 1981:* Die Glimmersandgrube am Rodenberg bei Schlattingen (Kt. Thurgau) als paläontologisches Studienobjekt in der Oberen Süsswassermolasse. *Mitt. thurg. naturf. Ges.* 44: 7–32.
- Jäckli, H., 1985:* Zeitmassstäbe der Erdgeschichte. Geologisches Geschehen in unserer Zeit. Birkhäuser Verlag, Basel – Boston – Stuttgart, 150pp.
- Jäckli, H., 1989:* Geologie von Zürich. Von der Entstehung der Landschaft bis zum Eingriff des Menschen. Orell Füssli, Zürich.
- Jäckli, H. & Kempf, Th., 1980:* Erläuterungen zum Blatt Nr. 2: Bodensee der Hydrogeologischen Karte der Schweiz 1:100'000. Schweiz. geotechn. Komm.
- Kaden, D. & Schlupe, R., 1995:* Natur erleben und entdecken im Thurgau. Drucksachenzentrale des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
- Keller, O. & Krayss, E., 1994:* Die Bodenseevorlandvereisung des Rheingletschers im Konstanz-Stadium der letzten Eiszeit. *Ber. St. Gall. natw. Ges.* 87: 31–40.

- Kempf, T., 1980:* Hydrogeologische Karte der Schweiz, Blatt Bodensee (LK 28) 1:100'000. Schweiz. geotechn. Komm.
- Kempf, Th., Freimoser, M., Haldimann, P., Longo, V., Müller, E., Schindler, C., Styger, G. & Wyssling, L., 1986:* Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich. Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25'000. Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 69.
- Krayss E. & Keller O., 1983:* Die Bodensee-Vorlandvereisung während des Würm-Hochglazials. Schrr. VG Bodensee 101: 113–129.
- Krayss, E. & Keller, O., 1989:* Die eiszeitliche Reliefentwicklung im Bodenseeraum. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/89: 8–12.
- Krayss, E., Keller O., 1994:* Geologie und Landschaftsgeschichte des Murggebietes (Kanton Thurgau). Mitt. thurg. naturf. Ges. 52: 7–39.
- Labhart, T.P., 1992:* Geologie der Schweiz. Ott Verlag, Thun.
- Lacher, R., 1990:* Veränderungen am Lauf der Lützelmuirg unterhalb Aadorf, von 1947–1989. Mitt. thurg. naturf. Ges. 50: 21–30.
- Letsch, E., 1899:* Die schweizerischen Molassekohlen östlich der Reuss. Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie 1.
- Letsch, E., 1907:* Die schweizerischen Tonlager. Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie 4.
- Müller, E., 1979:* Die Vergletscherung des Kantons Thurgau während der wichtigsten Phasen der letzten Eiszeit. Mitt. thurg. naturf. Ges. 43: 47–73.
- Müller, E., 1995:* Neues zur Geologie zwischen Thur und Rhein. Mitt. thurg. naturf. Ges. 53: 9–42.
- Naef, H. & Hipp, R., 1998:* Dokumente der Erdgeschichte – Ein Geotopinventar für den Kanton Thurgau. Schweizer Ingenieur & Architekt, 25/1998: 478–482.
- NZZ, 1998:* Geotope – mehr Schutz für die Gesteine. Neue Zürcher Zeitung vom 10.6.1998.
- Press, F. & Siever, R., 1995:* Allgemeine Geologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg – Berlin – Oxford. 600pp.
- Schindler, C., Röhrlisberger, H. & Gyger, M., 1978:* Glaziale Stauchungen in den Niederterrassenschottern des Aadorfer Feldes und ihre Deutung. Eclogae geol. Helv. 71/1: 159–174.
- Schläfli, A., 1979:* Die Vegetation der Quellfluren und Quellsümpfe der Nordostschweiz. Mitt. thurg. naturf. Ges. 43: 165–198.
- Schläfli, A., (Hrsg) 1995:* Naturmonographie Die Nussbaumer Seen. Mitt. thurg. naturf. Ges. 53.
- Schläfli, A.; Baumann, M., Hipp, R., Hofmann, F., Keller, O., Krayss, E., Naef, H., Wieland, Ch. & Wyss, R., 1999:* Erläuterungen zur Geologischen Karte des Kantons Thurgau 1:50'000. Thurgauische naturforschende Gesellschaft, mit Karte und Exkursionsführer, im Druck.
- Schmassmann, H., 1978:* Geologischer Naturschutz. Schweizer Naturschutz 4/78: 4–10.
- Schreiner, A., 1992a:* Einführung in die Quartärgeologie. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Schreiner, A., 1992b:* Erläuterungen zur geologischen Karte des Landkreises Konstanz 1:50'000 (3. völlig neu bearbeitete Auflage). Geol. Landesamt Bad.-Württemb., Freiburg.
- Trümpy, R., 1980:* Geology of Switzerland. Part A: An Outline of the Geology of Switzerland. Wepf & Co., Basel/New York.
- VGL, 1995a:* Neue Wege im Gewässerschutz. Wasser umweltgerecht nutzen. Schweizerische Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL), Zürich.
- VGL, 1995b:* Gefährdete Lebensgrundlage Boden. VGL Information 2/95. 3–5. Schweizerische Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL), Zürich.
- Weber, A., 1953:* Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Thurgau. Mitt. thurg. naturf. Ges. 36.
- Wegelin, H., 1915:* Veränderungen der Erdoberfläche innerhalb des Kantons Thurgau in den letzten 200 Jahren. Mitt. thurg. naturf. Ges. 21: 3–170.
- WWF, 1990:* Boden – der letzte Dreck? WWF Panda Magazin 28/2.

Abbildungen

- Th. Bolliger:* 11/1-3
H. Haltmeier: 15/1
R. Hipp: 15/3
D. Kaden: 3/1, 14/1, 18/1, 20/1-2
K. Keller: 15/2
M. Kers: 4/1
H. Naef: 3/2-3, 10/1-4, 12/1-4, 17/2, 19/1, 21/1-3
P. Hochstrasser: 14/2
Reckenholz: 17/1

Impressum

Bestellnummer:
 Art.-Nr. 5986.01, Einzelpreis Fr. 10.–

Bestellung:

- Amt für Raumplanung
 Sekretariat
 8510 Frauenfeld
- Für schulische Belange:
 Büromaterial-, Lehrmittel- und Druck-
 sachenzentrale BLDZ, Riedstrasse 7
 8510 Frauenfeld

Text & Illustrationen:
 H. Naef, Büro für angewandte Geologie,
 Speicher – Frauenfeld

Begleitende Arbeitsgruppe:
 R. Hipp, Amt für Raumplanung,
 Abteilung Natur- & Landschaftsschutz
 R. Schlupe, Beauftragter für Umwelterziehung
 O. Keller, C. Lüscher

Gestaltung:
 Barbara Ziltener, Grafikerin, Frauenfeld

Frauenfeld, im Juni 1999

