

und vertikal bekannten Festpunkten, von denen aus sie leicht und sicher zu bestimmen sind. Man erhält die erforderlichen Punkte auch mit Hilfe eines Polygonzuges zwischen zwei Festpunkten mit bekannten Koordinaten; dabei werden für die Zugeckpunkte die Koordinaten berechnet, so daß sie sicher in die Karte eingetragen werden können, und die N. N.-Höhen durch Nivellieren bestimmt.

Die linienweise Prüfung kann man entweder mit Hilfe von Vertikalschnitten oder mit Hilfe von Horizontalschnitten vornehmen. Verwendet man Vertikalschnitte, so legt man diese so im Gelände, daß ihre Horizontalspur im Grundriß ungefähr senkrecht zu den Schichtlinien verläuft. Die einzelnen Punkte eines solchen Vertikalschnitts können horizontal als Eck- und Zwischenpunkte eines zwischen zwei Festpunkten verlaufenden Polygonzuges festgelegt werden; ihre N. N.-Höhen werden am besten durch Nivellieren bestimmt. Die Verwendung von Horizontalschnitten besteht darin, daß man einzelne Schichtlinien im Gelände aufsucht; man bestimmt dabei in einem dem Maßstab der Schichtlinienzeichnung angepaßten, ungefähr gleichen Abstand einzelne Punkte der betreffenden Schichtlinie und legt sie z. B. durch rechtwinklige Koordinaten auf einen gut gemessenen, zwischen zwei Festpunkten verlaufenden Polygonzug fest.

Die flächenweise Prüfung einer Geländedarstellung in Schichtlinien besteht darin, daß man für das zur Prüfung ausgewählte Gebiet die Aufnahme der Schichtlinien ein zweites Mal mit erhöhter Sorgfalt durchführt, und dabei insbesondere eine viel größere Zahl von Punkten im Gelände durch Messung festlegt¹. Die für die Prüfung erforderlichen Punkte erhält man dadurch, daß man die beiden Aufnahmen je mit einem genau übereinstimmend liegenden, dem Maßstab der Zeichnung entsprechenden Quadratnetz überzieht und für die Netzeckpunkte die N. N.-Höhe in beiden Aufnahmen zwischen den Schichtlinien abliest.

Die flächenweise Prüfung ist die durchgreifendste; sie ist aber weniger sicher als die punktweise und linienweise. Die einfachste und genaueste Prüfung ist die punktweise; sie bietet auch den Vorteil, daß man die Prüfpunkte bequem unter verschiedenen Neigungswinkeln wählen kann. Die punktweise Prüfung setzt aber voraus, daß genügend viele horizontal und vertikal festliegende Punkte vorhanden sind; das erstere ist bei Aufnahmen auf Grund von Katasterkarten im allgemeinen der Fall.

C. Die Entstehung der Geländeformen.

Bearbeitet von Ministerialrat Dr.-Ing. H. Müller, Direktor des Landesvermessungsamts, Darmstadt.

1. Allgemeines.

Für eine naturwahre Geländedarstellung in topographischen Karten ist die Kenntnis der auf der Erdoberfläche gestaltend wirkenden Kräfte

¹ Mit Rücksicht auf die größere Zahl der aufgenommenen Punkte kann man die neue Aufnahme in einem größeren Maßstab ausarbeiten als im Maßstab der zu prüfenden Karte; man verkleinert dann die Ausarbeitung auf photographischem Wege.

und der unter verschiedenen Bedingungen entstandenen charakteristischen Geländeformen von größtem Wert. Die Wissenschaft, die uns diese Kenntnis vermittelt, ist die Morphologie. Je größer das morphologische Verständnis des Topographen ist, um so leichter wird er die Geländeformen geistig zu erfassen und wiederzugeben vermögen. Die einzeln festzulegenden Punkte wird er nicht mehr mechanisch verteilen, sondern so auswählen, daß die Formen richtig erfaßt sind. Das ermöglicht neben einer lebensvollen Geländedarstellung vielfach auch eine Verminderung der Zahl der festzulegenden Punkte.

Uns kann hier nicht das Gesamtgebiet der Morphologie beschäftigen, sondern wir müssen uns mit einer kurzen Beschreibung der Gelände- oder Oberflächenformen begnügen und uns auch hierbei auf die Kleinformen beschränken, zu deren Darstellung oft nur wenige Punkte festzulegen sind. Die großen Formen werden durch unsere Messungen im allgemeinen genügend erfaßt, so daß sich ihre richtige Wiedergabe mehr von selbst ergibt. Die in ihnen vorkommenden Kleinformen aber, welche durch häufigeres Auftreten auch größeren Gebieten das Gepräge geben können, gilt es so zu erfassen, daß sie mit einem Mindestmaß von Messungen naturwahr wiedergegeben werden können. Dies wird der Topograph nur erreichen, wenn er sich über die Grundzüge der Entstehung der Formen und ihrer Eigentümlichkeiten unterrichtet hat. Die folgenden Ausführungen wollen hierzu anregen und gleichzeitig eine erste Einführung bieten.

Wir unterscheiden bei der Erdkruste zwischen Grund- und Deckgebirge und verstehen unter ersterem die in den verschiedensten Zusammensetzungen erstarrten, aus dem Erdinnern emporgequollenen, ehemals glutflüssigen Massen. Auf diesen hat sich das Deckgebirge schichtweise abgelagert, an vielen Stellen wieder von Vulkanen durchbrochen, deren Ergußmassen sich mehr oder weniger ausgebreitet haben. Sowohl durch den Vulkanismus als auch die tektonische Gebirgsbildung, die sich beide als Erdbeben äußern, ist der Gesteinsmantel vom Erdinnern heraus in andere Lage gebracht, gebrochen, verbogen, gefaltet u. dgl. und so die Aus- und Umbildung der Berge und Täler gefördert worden. Die durch diese „erdgeborenen“ Kräfte geschaffenen Oberflächenformen werden durch klimatisch bedingte Kräfte, die sich in erster Linie durch Wasser, Schnee, Eis und Wind auswirken, mannigfach umgestaltet¹.

Je nach der chemischen und physikalischen Beschaffenheit der einzelnen Gesteine sind sie der Verwitterung und nachfolgenden Abtragung ganz verschieden zugänglich. Ganz harte Gesteine werden der Verwitterung am längsten Widerstand leisten und sich deshalb nach Abtragung der weicheren Umgebung noch als steilwandige Berge, Rücken, Kuppen, Kanten u. dgl. halten, während weiche Gesteine zu flach geböschten Flächen abgetragen werden. Im Schichtgebirge kann der Kartenbenutzer aus den verschiedenen Böschungsverhältnissen im allgemeinen Schlüsse auf den geologischen Aufbau ziehen (Abb. 117).

¹ Die durch die Tätigkeit des Meeres entstehenden Küstenformen können im folgenden übergangen werden.

Der Topograph muß deshalb alle Gefällwechsel sorgfältig verfolgen und zur Darstellung bringen. An der Oberkante der harten Schichten werden vielfach Felsen zutage treten und die Gesteins- und damit Gefällwechsel oft mit einem Wechsel der Bodenbewachsung verbunden sein.

2. Die Tätigkeit des Wassers.

Einen ganz besonderen Anteil an der Ausgestaltung der Oberflächenformen nimmt das Wasser.

Ein Teil des als Regen, Schnee oder Tau auf die Erde fallenden Wassers dringt in die Oberfläche ein und sammelt sich in den Poren und Spalten der Gesteine auf undurchlässigen Schichten als Grundwasser. Tritt es zutage, so reden wir von Quellen.

Im Grundgebirge mit seinen verästelten Tälern und der meist welligen Geländeoberfläche treten die Quellen bunt zerstreut auf (Abb. 118).

Im Schichtgebirge dagegen sind sie meist an undurchlässige Schichten gebunden und treten mit diesen in einem Linienzug, dem Quellhorizont, als Schichtquellen zutage (Abb. 119).

In der Fallrichtung der Schichten fließen die Quellen stärker als in der entgegengesetzten Richtung, in der sie bei Trockenheit aussetzen. Wir bezeichnen sie deshalb als periodische Quellen und machen sie auch als solche durch den besonderen Schriftzusatz „*Q*“ kenntlich, während wir den dauernd fließenden Quellen ein „*Qu*“ zusetzen (Abb. 120).

Der periodische Wasserlauf wird gestrichelt wiedergegeben. Sind Quellen durch Schutt verdeckt, so treten sie erst an einer tieferen Stelle zutage. Wir nennen sie Schuttquellen. Alle Quellen bis herab zu den feuchten Stellen sind nicht nur vollzählig, sondern auch nach Lage und Höhe genau anzugeben. Der Topograph wird also der Quellzone seine besondere Aufmerksamkeit zuwenden, zumal die Geländeformen durch sie beeinflusst werden. Lehmiger Boden kann durch das Wasser so aufgeweicht werden, daß an Hängen Rutschungen

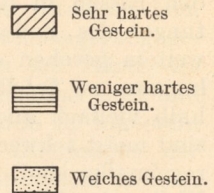
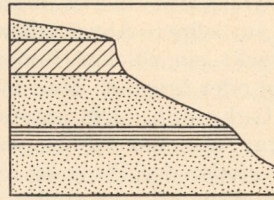


Abb. 117. Querschnitt durch einen aus verschiedenen harten Gesteinsschichten aufgebauten Berghang.

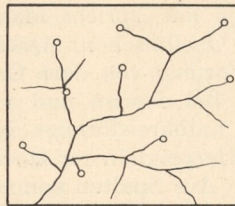


Abb. 118.
Quellen im Grundgebirge.
Bunt zerstreut liegend.

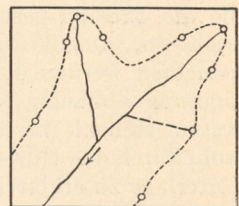


Abb. 119.
Quellen im Schichtgebirge. An
einen Quellhorizont gebunden.

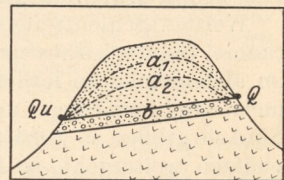


Abb. 120. Entstehung der Quellen.
Qu dauernd fließende Quellen.
Q periodisch fließende Quellen.
*a*₁ mittlerer Grundwasserstand.
*a*₂ niedriger Grundwasserstand.
b wasserundurchlässige Schicht.

und Sackungen entstehen, die eine sehr unruhige Geländeoberfläche bilden. Oberhalb der bauchig vorgeschobenen Erdmassen entstehen kleine Hohlformen, die sich aber immer wieder verändern. An den Rissen in der Grasnarbe merkt man, daß starke Durchfeuchtungen des Bodens zu seiner Abwärtsbewegung Anlaß geben. Von weitem gesehen erweckt ein solcher Boden den Eindruck, als ob er langsam zu Tal fließe oder krieche. Man nennt diese Erscheinung deshalb vielfach auch Gekrieche. Die entstehenden unruhigen Formen sind meist schwer zum Ausdruck zu bringen, da sie sehr klein und unregelmäßig sind. Je steiler der Hang ist, um so geringer werden die Wellen der Höhenschichtlinien. An steilen Hängen können bei starker Durchtränkung des Bodens ganze Erd- und Gesteinsmassen nischenförmig ausbrechen. Wir reden dann von Erdschlipfen, die man auch bei einer Geländedarstellung in Schichtlinien am besten durch einige Bergstriche darstellt. Dabei ist auch der Wiedergabe der herabgestürzten, sich meist stauenden Erdmassen einige Sorgfalt zu schenken.

Neben dieser mehr flächenhaften Wirkung des Grundwassers gestalten auch die Quellen ihre Austrittsstelle um. Je nach der Form, die die Erosion geschaffen hat, spricht man von Quelltöpfen, Quelltrichtern, Quellkesseln, Quellnischen, Quellmulden u. dgl. Im allgemeinen werden diese Formen von dem Gestein und der Schichtlagerung abhängig sein. Bei ebenen und wenig geneigten Schichten treten vielfach breitere, halbkreisförmige Nischen auf, deren Größe wohl durch das Hin- und Herpendeln der Quelle auf nahezu horizontaler Unterlage zu erklären ist. Aus Spalten kommende Quellen werden sich dagegen stark V-förmig nach rückwärts einschneiden. Die Verschiedenartigkeit der vorkommenden Formen erfordert auch hier scharfe Beobachtung des Topographen.

Der Erwähnung bedürfen hier noch die Dellen, das sind muldenförmige Hohlformen an den Abhängen, die sowohl durch Grund- als auch abfließendes Regenwasser entstanden und in ihrer Form von der Härte und Durchlässigkeit des Bodens abhängig sind.

Werden Schichtteile von Grundwasser aufgelöst, so entstehen Hohlräume, die nach Einsturz der Decken als Erdfälle auftreten. Sie sind im allgemeinen an lösliche Gesteine wie Kalk und Gips gebunden und meist trichterförmige, unregelmäßige Einsenkungen der Erdoberfläche. Sind sie größer, so werden sie Dolinen genannt. Da der Bildungsprozeß vielfach weitergeht, so findet man auf dem Boden nicht selten neue, kleine Löcher. Die Wände sind oft verschieden steil. Eine schon festgestellte Regelmäßigkeit dieser Erscheinung rührt vielleicht von den atmosphärischen Einflüssen her und bedarf der besonderen Beachtung. Erdfälle und Dolinen treten wegen des Gebundenseins an bestimmte geologische Schichten strichweise auf.

Das aus den Quellen und als Regen- oder Schmelzwasser abfließende Wasser sammelt sich in Rinnen, die sich zu Bächen und Flüssen entwickeln. Der Oberlauf der Bäche ist meist steil. Das Wasser erodiert deshalb kräftig in die Tiefe und sucht die Hindernisse zu beseitigen. Weichere Schichten werden dabei rascher durchsägt als härtere, an

denen sich Wasserfälle bilden. Bei stärker ausgeglichenem Längsprofil kann sich eine harte Bank noch durch Stromschnellen bemerkbar machen. Sie sind wie die Wasserfälle anzugeben, da im Schichtgebirge aus ihnen im Zusammenhang mit anstehenden Felsen, Steinbrüchen, Bewachungsgrenzen u. dgl. Folgerungen auf die Gesteinslagerung gezogen werden können. Selbst kleine Unterschiede in der Härte des Gesteins können schon im obersten Teil eines Bachlaufes das Bett und seinen Querschnitt umgestalten. Ein in flacher Mulde in härterem Gestein dahinfließender Wasserfaden vertieft beim Durchsägen der Schicht sofort sein Bett und liegt dann in einem mit einem kleinen Wasserfall ansetzenden Graben, der auch bei geringer Böschungshöhe unter sorgfältiger Beobachtung jeder Änderung des Talquerschnitts topographisch wiederzugeben ist. Das Auftreten solcher eingeschnittenen Wasserläufe läßt Schlüsse auf den geologischen Aufbau zu.

In Abb. 121 ist neben den zuletzt besprochenen Erscheinungen noch das Verschwinden des Wassers beachtlich. Sobald es auf das durch Erdfälle charakterisierte Gestein kommt, versickert es in Klüften und unterirdischen Hohlräumen. Wie die eingetragenen Höhenzahlen zeigen, herrscht große Gesetzmäßigkeit im Aufbau, die in der topographischen Darstellung nur durch vollständige und genaue Angabe nach Lage und Höhe auch der Böschungen, Versickerungsstellen und Erdfälle erkannt werden kann.

Das fließende Wasser trennt durch die Reibung auf dem Untergrunde nicht nur Gesteinsteile los, sondern es verfrachtet sie auch, und zwar um so größere Massen, je steiler das Gefälle und je größer die Wassermenge. Läßt bei einem Bach, wie dies bei der Eimmündung eines Seitenbaches in den

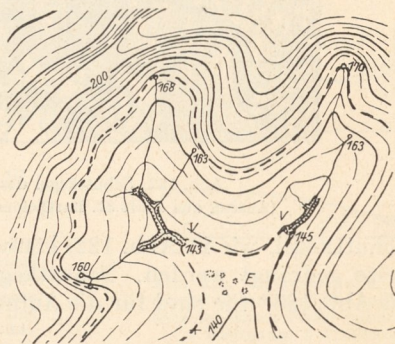


Abb. 121. Darstellung eines Schichtgebirges (Kreideformation). Die Geländeneigung und die Lage der Quellen, der eingeschnittenen Bachläufe, der Versickerungsstellen und der Erdfälle lassen Schlüsse auf den geologischen Aufbau zu. Die vermuteten Schichtgrenzen sind gestrichelt.
V Wasserversickerungsstellen. E Erdfälle.

Hauptbach im allgemeinen der Fall ist, das Gefälle plötzlich nach, so wird das mitgeführte Material fächerförmig abgesetzt und bildet einen sogenannten Schuttkegel, der sowohl kurz und stark gewölbt als auch lang gestreckt und sehr flach sein kann. Das vielfach nur zeitweise fließende und öfter seinen Weg verlegende Wasser erreicht auf solchen Schuttkegeln nicht immer den Hauptbach, sondern wird zum Wässern durch Gräben verteilt und versickert, um dann oft am Rande des Schuttkegels als Quelle wieder zutage zu treten. Da die Schuttkegel stets am Ausgang der Seitentäler auftreten, muß dort der Aufnehmer sich ihrer erinnern; dann wird er, wie das früher leider vielfach der Fall war, auch die kleinsten und flachsten nicht übersehen. Wo die Schuttkegel sich in ein Wiesental ergießen, fallen sie vielfach

schon dadurch auf, daß sie als Acker benutzt werden. Der morphologisch Unkundige stößt sich bei der Zeichnung der Schichtlinien meist daran, daß auf das Tal unmittelbar ein Rücken folgt. Durch große

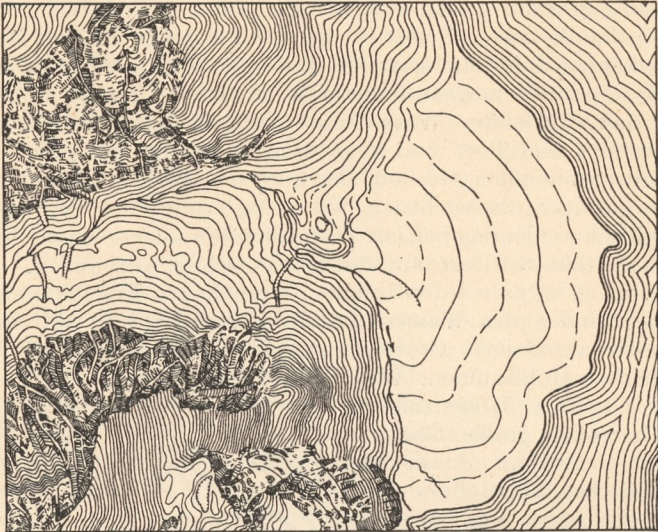


Abb. 122. Schuttkegel des Eisgrabens am Königssee.
(Auszug aus Blatt St. Bartholomä der bayr. top. Karte 1:25 000.)

Schuttkegel, wie in Abb. 122, können Seen abgeschnürt und Bäche zur Seite gedrängt werden. Schuttkegel in schwächerer Ausbildung zeigt die Abb. 123. Sie sind für die Aufnehmer besonders deshalb so wichtig,

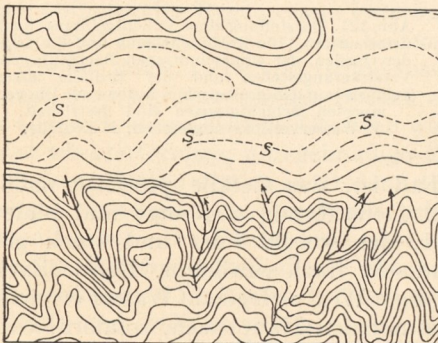


Abb. 123. Kleine Schuttkegel S. Die Seitenbäche ergießen sich in den Talboden.
(Auszug aus Bl. Stockach der bad. top. Karte 1:25 000.)

weil es außerordentlich häufig auftretende Kleinformen sind. Bei leichter abspülbarem Boden sind sie fast an jeder Ackermulde zu erkennen, und es steht der Verlauf der Höhenschichtlinien dann dort mit dem der Kulturgrenze nicht in Einklang. Wege an Waldrändern steigen bzw. fallen aus dem gleichen Grunde auf kurzer Strecke. Ist dem Topographen diese Beobachtung im Felde entgangen, so wird er bei nachträglicher Zeichnung der Schichtlinien unter Umständen die Ergebnisse seiner Messung anzweifeln.

Durch die Abtragung des fließenden Wassers einerseits und die Aufschüttungen andererseits wird der Querschnitt eines Tales umgestaltet.

S. Passarge hat die in Abb. 124 wiedergegebene Entwicklung der Talformen vom Kerbtal bis zum Muldental aufgestellt und jeder Tal-

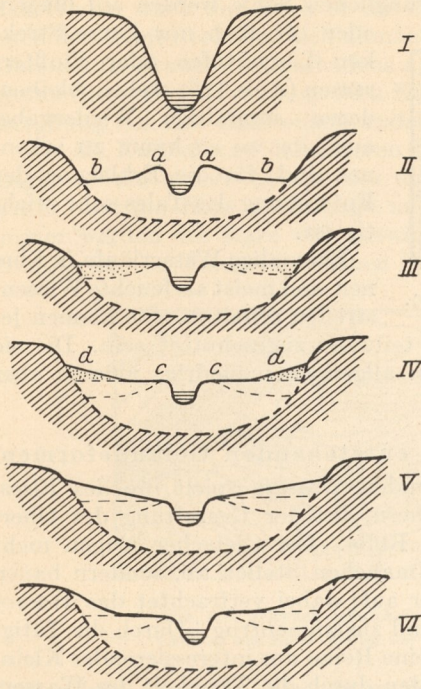


Abb. 124. Talformen. I. Kerbtal. II. Flutsohlental mit Uferwällen *a* und Überschwemmungssohle *b*. III. Horizontalsohle (punktirt), die aus einem Flutsohlental entstanden ist. IV. Sohlental mit Horizontalsohle *c* und Böschungssohle *d*. V. Böschungssohlental. VI. Muldental (nach S. Passarge).

form einen besonderen Namen gegeben, den anzuwenden auch für die Topographen sich empfehlen dürfte. Zu beachten bleibt noch, daß die Lagerung des Gesteins, geologische Schichtwechsel und atmosphärische Einflüsse zu einer ungleichmäßigen Ausbildung nicht nur des Bachbettes, sondern auch des ganzen Talquerschnittes führen können.

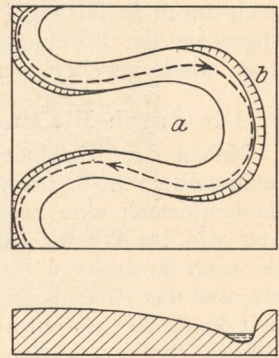


Abb. 125. Lageplan und Querschnitt eines Mäanders. Die Stromlinie ist durch Pfeile bezeichnet. *a* Gleithang, *b* Prallhang.

Sobald das Gefälle eines Baches unter eine gewisse Grenze sinkt, hört die Tiefenerosion auf, und die Seitenerosion beginnt. Der Bach oder Fluß verlegt sein Bett seitlich und fließt in um so größeren, als Mäander bezeichneten Bogen hin und her, je geringer das Gefälle ist. Die Talsohle wird dabei nach und nach erweitert und die Unebenheiten immer mehr ausgeglichen. Die Wirkung der Seitenerosion veranschaulicht Abb. 125. Während der steile Prallhang auffällt, ist der Ausbildung des oft sehr flachen Gleithanges besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Talmäander stehen im allgemeinen mit den Bachmäandern nicht in Einklang. Je mehr das Tal eingeebnet ist, um so geringer werden Prall- und Gleithang in Erscheinung treten. Das Wasser fließt dann in einem Bett, dessen Ufer durch die bei Überschwemmung abgesetzten Sinkstoffe leicht erhöht sind. Deshalb sind in solchen Tälern die Ufer meist trocken, seitlich nach dem Gebirge zu dagegen sumpfige Stellen vorhanden. Seitenbäche sind durch die Überschwemmungskegel oft gezwungen, lange Strecken parallel neben dem Fluß herzufließen, bis sie münden können. Ihre Mündung ist dann „verschleppt“.

Durch erneut einsetzende Tiefenerosion kann sich ein Flußlauf in der Talsohle abermals einschneiden und dann durch Mäandrieren die Sohle wieder verbreitern. Von der ursprünglichen Sohle werden auf längere oder oft auch nur kurze Strecken Längsstufen oder Flußterrassen (Abb. 126) stehen bleiben, deren sorgfältige Wiedergabe, auch da wo sie kaum zu erkennen sind, für die Erklärung der Entstehung des Tales sehr wichtig ist.

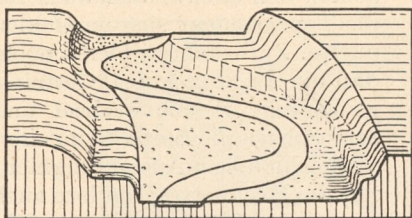


Abb. 126. Flußtal mit Längsstufen (Flußterrassen).

jedoch durch Schuttkegel ganz oder teilweise zugeschüttet sein. Die sie abgrenzenden Böschungen sind im allgemeinen niedrig, müssen aber doch wiedergegeben werden.

3. Die durch Eis und Schnee entstehenden Geländeformen.

Neben der Tätigkeit des fließenden Wassers spielt die des Eises, insbesondere in Form von Gletschern, bei der Gestaltung der Oberflächenformen eine hervorragende Rolle. Die Gletscher tragen nicht nur, wie das Wasser, die Erde an manchen Stellen ab, sondern bauen sie auch an anderen Stellen wieder auf; dabei verfrachtet das Wasser oft, was das Gletschereis loslöste und zusammentrug. Durch die Tätigkeit des Eises entsteht nun wieder eine Reihe uns interessierender Kleinformen, die verschieden sind von den durch die Tätigkeit des Wassers entstandenen.

Wir vergegenwärtigen uns zunächst die Entstehung des Gletschers und behandeln dann die durch ihn geschaffenen Glazialformen. Der in den höheren Gebirgslagen niederfallende Schnee kann im Sommer nicht vollständig abgeschmolzen werden. Er häuft sich deshalb, besonders an der Schattenseite und in Nischen immer mehr an.

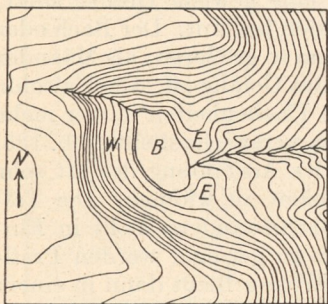


Abb. 127. Kar im Buntsandstein des Schwarzwaldes. *W* Karwand. *B* ebener Karboden. *E* Endmoräne, die das Wasser zu einem See staut.

vollständig abgeschmolzen werden. Er häuft sich deshalb, besonders an der Schattenseite und in Nischen immer mehr an. Unter dem Druck und dem wiederholten Schmelzen und Frieren verwandelt er sich in körniges, plastisches Gletschereis, das sich durch den Druck der Schneemassen auf den meist steilen Gehängen langsam abwärts bewegt. Ist die Masse des Eises nicht groß genug, um trotz des Abschmelzens ins Tal vorrücken zu können, so bleibt sie in Mulden liegen und erweitert hier auf noch nicht völlig geklärte Weise ihr Bett kesselförmig, so daß zuletzt ein runder Bergkessel mit ebenem

Boden und steil aufragenden Wänden entsteht, der nur nach der Tal-seite offen ist. Durch einen Felsriegel oder eine Moräne ist er vielfach

so abgeriegelt, daß sich ein See gebildet hat. Eine solche Hohlform bezeichnet man als Kar (Abb. 127). An der Abflußstelle wird sich das Wasser nach und nach so tief einsägen, daß der See ausläuft und auch der ebene Seeboden sich allmählich in einen Hang verwandelt. Der Darstellung sowohl des Karbodens als auch des Karriegels ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Von Kartreppen reden wir, wenn an einem Berghang ein Kar über einem anderen liegt.

Da die Kare alle an der unteren Firngrenze liegen, so kann aus ihrer Lage auf die untere Grenze des ewigen Schnees geschlossen werden. Dafür sind die Kare nach Lage und Höhe genau einzutragen. Nicht immer werden die Kare voll entwickelt, sondern ihre Ansätze in den Hängen nur in Form von ebenen Stellen zu erkennen sein (Abb. 128).

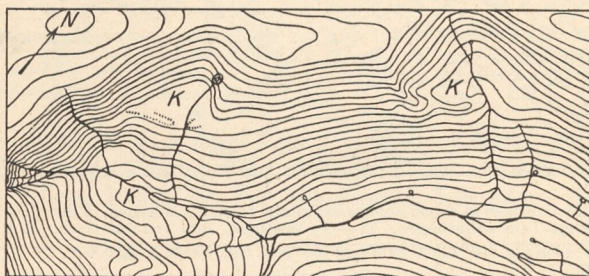


Abb. 128. Schwach entwickelte Kare (K) im Schwarzwald.
(Auszug aus Blatt Obertal der württ. top. Karte 1:25 000.)

Daß solche karartige Nischen auch durch Quellhorizonte veranlaßte Gesteinsausbrüche aus dem Berghang sein können, ist für den Topographen ohne Bedeutung. Er hat die Form so wiederzugeben, wie er sie in der Natur sieht.

Ist das Firnfeld so mächtig, daß es zur Bildung von Talgletschern kommt, so vereinigt sich das aus Seitenbecken kommende Eis zu einem Eisstrom, der sich im Tal zungenförmig vorschiebt, bis das Abschmelzen das weitere Vordringen verhindert. Durch die unter hohem Druck vor sich gehende langsame Vorwärtsbewegung des Gletschereises wird der Untergrund kräftig ausmodelliert. Auch an den Seiten wird das Gestein durch das wechselnde Frieren und Tauen gelockert und vom Eis abgetragen, so daß sich zuletzt ein U-förmiger Talquerschnitt bildet (Abb. 129). Wir sprechen von Trogtälern. Bei steilen Trogwänden kommt es vor, daß Gesteinsmassen abbrechen und sich in die Talsohle ergießen. In der Wand entsteht so eine Nische, der ein meist steiler Schuttkegel vorgelagert ist.

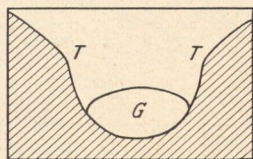


Abb. 129. Trogtal mit Gletscherzunge. T Trogrand, G Gletscherzunge.

Das Längsprofil eines Glazialtales hat im allgemeinen kein regelmäßiges Gefälle, sondern es kommen Talstufen vor, die wohl durch härteres Gestein bedingt sind. Sie können sehr steil und hoch, aber

auch klein, flach und unbedeutend sein, so daß ihre Erkennung in einst vereisten Gebirgen schon sorgfältiger Beobachtung und Messung bedarf (Abb. 130).

Eine Vertiefung und Verbreiterung des Tales tritt vielfach auch da auf, wo durch Zusammenfluß von Seitengletschern das Eis mächtiger wird. Von den kleineren Seitentälern führt meistens eine Stufe zum Haupttal, da die Erosion des kleineren Seitengletschers mit der im Haupttal nicht Schritt halten konnte; das Seitental „hängt“ über dem

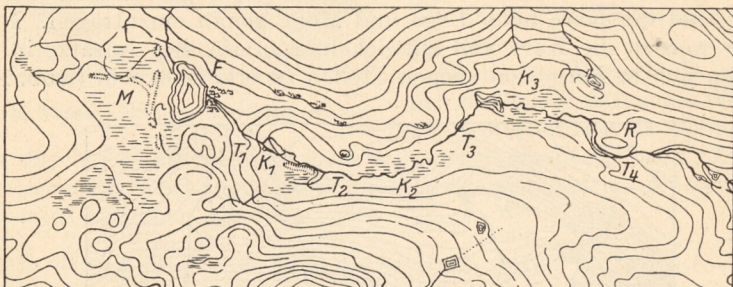


Abb. 130. Glazialkleinformen in einem Schwarzwaldtal. *M* kleine Moränen. *F* durchsägter Felsriegel. *K*₁—*K*₃ karatige Talerweiterungen. *T*₁—*T*₄ Talstufen, zum Teil sehr flach. *R* Rundhöcker. (Auszug aus Blatt Feldberg der bad. top. Karte 1:25 000.)

Haupttal. Eine weitere Eigentümlichkeit von Glazialtälern ist das Vorkommen von Rundhöckern. Sie haben einen ungleichförmigen Querschnitt. An der Stoßseite sind sie glatt geschliffen und steigen langsam an, während die entgegengesetzte Seite steiler abfällt und mehr Unebenheiten aufweist.



Abb. 131. Zwei Endmoränenzüge und ein Sander. Die Aach hat sich in die Sanderfläche eingeschnitten. (Auszug aus Blatt Eigeltingen der bad. top. Karte 1:25 000.)

Einen besonderen Formschatz bildet auch das von Gletschern zerstörte und verfrachtete Gesteinsmaterial, das nicht nur fein zerrieben sein, sondern auch große Felsblöcke enthalten kann. Ein Teil desselben liegt flächenförmig ausgebreitet oder auch in Längswällen als „Grundmoräne“ im Gletscherbett, anderes wird an den Seiten in ebenfalls parallel zum Gletscher ziehenden Wällen als „Seitenmoräne“ abgelagert, und endlich bildet der Schutt, den die Gletscher-

zunge vor sich herschiebt, die sogenannte „Stirn- oder Endmoräne“. Sie kann je nach den Vorwärts- und Rückzugsbewegungen mehrfach auf-

treten und ist an dem halbkreisförmigen Bogen quer zum Tal leicht erkennbar (Abb. 131). Vielfach hat sie auch das Wasser oberhalb zu einem See gestaut. Wo die Endmoränen ausgeprägt auftreten, können sie nicht

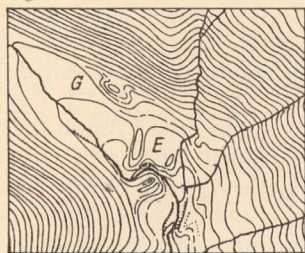


Abb. 132. Moränen in der Menzenschwander Kluse. *G* Grundmoräne, *E* Endmoränen. Die letzteren sind durch den Bach zerschnitten.

(Ausz. aus Bl. Feldberg der bad. top. Karte 1:25 000.)

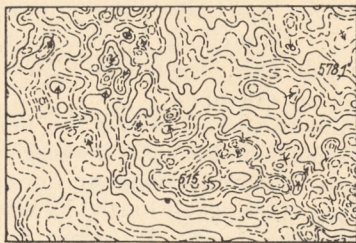


Abb. 133. Kleinformatiges Moränengebiet. (Auszug aus Blatt Fürstenfeldbruck der bayer. top. Karte 1:25 000.)

übersehen werden, in kleineren Tälern sind sie jedoch, wie Abb. 132 zeigt, oft nur schwach entwickelt und durch das abfließende Wasser zersägt. In diesen Fällen ist der Wiedergabe besondere Sorgfalt zu



Abb. 134. Drumlinlandschaft der Bodenseegegend. Der Pfeil deutet die Richtung der Eisbewegung an. (Auszug aus Blatt Überlingen der bad. top. Karte 1:25 000.)

widmen, damit die quer verlaufenden Moränen nicht durch unverständliche Generalisierung in der Karte als richtungslose maulwurfsartige Hügel erscheinen. Auch die oft mehrfach wellenförmig hintereinander liegenden Reihen sind zu beachten.

In der Eiszeit sind die Gletscher aus den Gebirgstälern herausgetreten und haben sich fächerförmig im Vorland als Eisfläche ausgebreitet. Dabei hat sich das Material der Grundmoräne oft eben ausgebreitet, oft aber auch eine unruhige Oberfläche, voller Hügel und Vertiefungen geschaffen, deren Formen vielfach so klein sind, daß ihre richtige Darstellung für den Topographen außerordentlich zeitraubend ist (Abb. 133). Irgendeine Gesetz- oder Regelmäßigkeit der Formen ist nicht zu erkennen.

Anders verhält es sich mit den aus dem Untergrund durch die sich vorschiebende Eismasse herausgearbeiteten Hügeln, die man Drumlins nennt. Sie sind scheinbar nur da ausgebildet, wo die Eisdecke eine gewisse Mächtigkeit hatte. Es sind allseits gerundete ovale Hügel, deren Längsachse in der Richtung der Eisbewegung liegt. Bei guter Ausbildung sind sie so angeordnet, daß die benachbarten auf die Lücken der vorhergehenden folgen (Abb. 134).

Tritt in einem benachbarten Tale ein stärkeres Abschmelzen des Gletschers ein, so werden die von den Schmelzwässern mitgeführten Kies- und Sandmassen meist unterhalb der Endmoräne flach geböscht abgelagert. Die so entstandenen ebneren Flächen werden Sander genannt. In Abb. 131 ist eine solche Sanderfläche dargestellt. Sie liegt hier jedoch oberhalb des Endmoränenzuges, da das Beispiel einem Alpenvorlandtal entnommen ist.

4. Die Tätigkeit des Windes.

Wie Wasser und Eis vermag auch der Wind Geländeformen um- und neuzugestalten. Voraussetzung dafür ist ein lockerer feinkörniger Boden. Je nach der Stärke des Windes werden mehr oder weniger kleine Teilchen von ihm fortbewegt oder hoch in der Luft fortgetragen, um dann an geeigneten Stellen wieder abgelagert zu werden. Die Ablagerungsformen sind dabei

verschieden. Die von Sand bezeichnen wir als Dünen, und die von Staub bilden den Löß.

a) Die Entstehung der Dünen und ihre Formen. Der Wind rollt oder trägt nahe über dem Erdboden die Sandkörnchen fort und häuft sie bei Hindernissen zu langgestreckten Hügeln (Dünen) an, die je nach der herrschenden Windstärke und -richtung umgeformt werden, solange die Oberfläche nicht durch

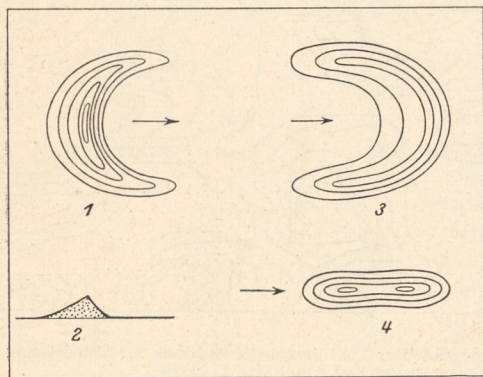


Abb. 135. Dünenformen. 1. Sichel- oder Bogendüne, auch Barchan genannt. 2. Querschnitt zu 1. 3. Parabeldüne. 4. Strichdüne. (Die Pfeile bezeichnen die Windrichtung.)

eine Vegetationsdecke oder dergleichen gefestigt ist; die Düne „wandert“. Als Ergebnis der Sandumlagerungen entstehen die in der Abb. 135

angegebenen Geländeformen. Charakteristisch ist für die Dünenquerschnitte, daß sie eine flache Luv- und eine steilere Leeseite haben. Nur bei den Strichdünen ist der Querschnitt gleichmäßig. Nach den Studien von F. Solger wird der Luftstrom durch die flache Anfangsböschung nach oben abgelenkt, und es entsteht so an der Luvseite eine Böschung von $5-12^\circ$. Sobald der Wind den Kamm überschritten hat, kommt das Sandkorn in den Windschatten und fällt nieder. Der Leeabhang nimmt dadurch einen geradlinigen Querschnitt von solcher



Abb. 136. Binnenlanddünen. (Rheinebene südlich Schwetzingen). Sowohl aus der Lage der Luv- und Leeseiten und der Richtung der Dünen der oberen Hälfte als auch der Richtung der Strichdünen der unteren Hälfte muß auf eine westliche Windrichtung geschlossen werden.

(Auszug aus Blatt Schwetzingen der bad. top. Karte 1:25 000.)

Steilheit an, daß die Sandkörner gerade an der Grenze des Hinabrollens stehen, was bei etwa 30° der Fall ist. Eine ausgesprochene Kantenlinie trennt im allgemeinen Luv- und Leeseite.

Die Einzeldüne ist in der Mitte höher als an den Seiten. Die geringeren Sandmassen, die dem Wind hier entgegenstehen, werden von ihm schneller bewegt als das trägere Mittelstück. So eilen die Seitenflügel in der Windrichtung vor, und die Kammlinie nimmt die Form eines Bogens an. Solche Dünen werden als Sicheldünen oder Barchane bezeichnet. Bei ihnen pflegt, wenn die Düne ohne Sandzufuhr weiterwandert, die Tiefe in der Windrichtung die Länge quer dazu

etwas zu überwiegen. Bei weiterer Entwicklung der Düne bilden sich links und rechts Seitenwände und schließlich die sogenannte Parabeldüne, deren Hohlseite dem Winde zugekehrt ist. Verschwindet das Mittelstück einer solchen Düne ganz, so entstehen zu beiden Seiten sogenannte Strichdünen. Die halbkahlen Wanderdünen haben nach F. Solger eine Luvseite von etwa 8° Böschung und statt des Kammes einen breit gerundeten Rücken. Je nach dem Ort der Ablagerung unterscheidet man Wüsten-, Strand- und Binnenlanddünen. Die letzteren stehen im allgemeinen im Zusammenhang mit Flußläufen. Die Abb. 136 gibt Dünen der Rheinebene südlich Schwetzingen wieder.

b) Die Geländeformen des Löß. Der Löß wird als feinsten Staub flächenförmig abgelagert und durch Regen leicht abgespült und umgelagert. Als Schwemmlöß liegt er im allgemeinen am Fuße der Hügel und gleicht die Sohle der Täler im Lößgebiet eben aus. Löß ist ziemlich standfest und blättert in dünnen Platten senkrecht ab. Die auffälligste Erscheinung der Lößgebiete ist die nie fehlende Terrassierung. Die Hügelflächen sind in Stufen aufgelöst, da sonst die Bewirtschaftung wegen der Bodenabspülung nicht möglich wäre. Durch Menschen oder Tiere gelockerter Löß wird an geneigten Stellen so stark abgespült, daß sich Hohlwege mit 10—15 m hohen Seitenwänden bilden.

5. Der Aufbau der Geländeformen und ihre Abhängigkeit vom Gestein.

Die im vorstehenden beschriebenen Formen treten nicht immer als Einzelformen oder voll entwickelt auf, sondern sind vielfach durch andere Kräfte wieder umgestaltet und eine Form oft in die andere hineingebaut oder von ihr überlagert. Auf Flußterrassen können z. B. alte Schuttkegel liegen, die durch einen Bach stark zerschnitten sind, die Erdmassen aber unmittelbar unter der Terrasse zu einem neuen Schuttkegel aufgeschüttet sein, dessen Ausläufer durch einen mäandrierenden Bach wieder angeschnitten sind. In einem anderen Fall ergießt sich, wie in Abb. 130 bei K_3 schwach angedeutet, ein Schuttkegel in einen ebenen Karboden, oder fließendes Wasser gleicht an der einen Stelle Formen aus und sägt sich an einer anderen Stelle immer tiefer ein. Die umgestaltenden Kräfte wirken dauernd weiter und schaffen immer neue Formen. Dabei sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften mitbestimmend für die entstehenden Geländeformen, so daß wir, was H. Bach vor mehr als 80 Jahren bei seinen topographischen Aufnahmen in Württemberg bereits richtig erkannte und in Wort und Bild meisterhaft wiedergab, sagen dürfen, jedes Gestein oder jede geologische Formation bedingt besondere ihr eigentümliche Geländeformen. Sind diese richtig wiedergegeben, so lassen sich umgekehrt aus der Höhendarstellung Schlüsse auf den geologischen Aufbau des betreffenden Gebietes ziehen. Da eine Zusammenstellung von gut ausgewählten und genügend großen Beispielen der einzelnen geologischen Formationen entsprechenden Geländeformen den Rahmen dieses Buches überschreiten würde, müssen wir uns hier, als

Anregung für weitere Studien, damit begnügen, die wichtigsten Formen für einige Gesteine anzuführen und übersehen dabei nicht, daß die Formen von der Höhenlage über dem Meer und der Mächtigkeit des Gesteins (der Schicht) und seiner Lagerung abhängig sind.

So zeichnet sich das Grundgebirge in Hochgebirgslagen durch steile scharfkantige Felsengräte und -wände aus, während diese in den Mittelgebirgen nur selten auftreten. Dort herrschen durch zahllose Bäche und Vergrusungszonen reich gegliederte steilwandige, runde Buckel mit zuweilen kammartigen Vorsprüngen vor.

Im Rotliegenden neigen die härteren Schichten zu Felsbildungen, während die weicheren dagegen abgerundet und durch Wasserrinnen sehr zerrissen sind. Die verschiedene Härte der einzelnen Schichten verursacht die Bildung kleiner Stufen.

Ein nicht zu verkennendes charakteristisches Gepräge tragen die Formen des Buntsandsteins, der sowohl in den Karten als auch in der Natur an den geradlinigen, langgestreckten und wenig gegliederten Rücken leicht zu erkennen ist. Die Gleichförmigkeit tritt besonders dann in Erscheinung, wenn das darunter lagernde Grundgebirge mit seinen zahlreichen gerundeten Kuppen gleichzeitig sichtbar ist. Eine ebenere Zone mit zahlreichen Quellen bezeichnet im allgemeinen die Grenze der beiden Formationen. Die Abhänge des Buntsandsteins steigen besonders bei den mittleren harten Schichten gleichmäßig steil an. Die Täler sind verhältnismäßig eng, die Talschlüsse gewöhnlich gerundet. Mit dem Nachlassen der harten Schichten verflachen sich auch im oberen Buntsandstein die Abhänge, und nur ausnahmsweise bilden sich dann noch selbständige Kuppen.

Im Muschelkalk fallen besonders in den härteren Schichten die starken Schlangenwindungen der Bäche auf, die sich steilwandig einsägen und deren kantige und schroffe Talhänge oben meist mit Felsen geziert sind. Stehen jedoch weichere Schichten an, so sind die Bergformen etwas abgerundeter. Infolge der Wasserarmut durchziehen den Muschelkalk im allgemeinen wenig Bachläufe. Charakteristisch für die harten Schichten sind noch die von den zusammengelesenen Steinen gebildeten Steinriegel. Auch die infolge der Auslaugung von Gipslinsen entstandenen Erdfälle bedürfen hier der Erwähnung.

Die meist weichen Gesteine des Keupers bilden wohlgerundete Kuppen; härtere Schichten bedingen Terrassen. Die Abhänge sind durch zahlreiche Rinnen und Schluchten tief zernagt. Auftretende Sandsteine heben sich durch eine gleichmäßig verlaufende Stufe ab.

Die Geländeformen der Juraformation sind entsprechend den wechselnden weichen und harten Schichten durch den stufenförmigen Aufbau gekennzeichnet. Die weichen tonigen Lagen bilden Stufen, deren Oberfläche an Abhängen durch gestautes Wasser bauchig ausgestaltet sein kann. Darüber lagernde härtere Bänke steigen steiler an und bedingen durch Inselberge und vorspringende Bergnasen ein bewegtes Formenbild. Im weißen Jura sind die unteren Schichten häufig von Bergsturm Massen bedeckt, die infolge ihres größeren Widerstandes die unter ihr lagernden Schichten vor der Abtragung schützen und so

eine schmale unruhige Geländezone bedingen. In den mittleren und oberen Schichten des weißen Juras herrschen harte Kalkbänke vor. Sie treten im schwäbischen Jura an tief eingeschnittenen, gewundenen Tälern als plumpe mannigfach gestaltete Felsenwände zutage. Wo diese Schichten flächenförmig entblößt sind, reihen sich zahlreiche leicht gewölbte Hügel mit unbedeutender Neigung aneinander, die durch trockene Rinnen getrennt sind. Dieser wasserarmen Landschaft sind die Dolinen und Erdfälle eigen. Der Charakter der Karstlandschaft ist durch die jüngere Bodendecke gemildert.

In der Kreideformation, der die Formen in Abb. 121 angehören, ist der Härtegrad der Schichten weniger wechselnd, deshalb auch die Formen nicht so scharf geschnitten wie im Jura. Am eigenartigsten sind die Quadersandsteinbildungen der Sächsischen Schweiz.

IV. Die kartographische Bearbeitung und Verwertung von topographischen Aufnahmen.

Um eine topographische Aufnahme als Karte vervielfältigen oder sie zur Herstellung von Drucken verwerten zu können, braucht man eine Druckplatte. Die Herstellung einer Druckplatte erfordert eine entsprechende Bearbeitung der Aufnahme, bestehend in der Herstellung einer für die Vervielfältigung geeigneten Vorlage. Bei der Bearbeitung einer topographischen Aufnahme für ihre Vervielfältigung kommt es darauf an, nach welchem Verfahren die Vervielfältigung stattfinden soll; es werden deshalb im folgenden zuerst die für die Kartographie wichtigsten Vervielfältigungsverfahren und dann die Herstellung der Vorlagen für die Vervielfältigung besprochen.

A. Die wichtigsten Verfahren zur Vervielfältigung von Karten.

Es gibt zahlreiche Vervielfältigungsverfahren¹; die meisten von ihnen kommen nur zur Vervielfältigung von Kunstblättern und dergleichen in Frage; im folgenden ist nur von den für die Vervielfältigung von Karten geeigneten Verfahren die Rede.

1. Allgemeines.

Die Vervielfältigung einer Karte erfordert die Herstellung einer Druckplatte, von der gedruckt werden kann. Als Material für Druckplatten werden Kupfer, Aluminium, Zink und Stein verwendet; die Metallplatten in der Stärke von wenigen Millimetern, die Steine (aus Solnhofen in Bayern) einige Zentimeter stark. Die Wahl des Materials für eine Druckplatte ist insbesondere abhängig von dem Grad der Schärfe oder Feinheit, den man von den fertigen Drucken verlangt, von den Anforderungen in bezug auf die eine große Rolle spielende

¹ Vgl. Albert, A.: Technischer Führer durch die Reproduktionsverfahren und deren Bezeichnungen. Halle a. S.