

Eiszeitklima und Gesteinsstruktur — Ihre Bedeutung für die asymmetrischen Talformen im Buntsandstein

Von LUDWIG HEMPEL, Münster (Westfalen)

Mit 6 Abbildungen im Text

Zusammenfassung. Die Beobachtungen über Verbreitung und Ausgestaltung der asymmetrischen Täler in den verschiedenen Abteilungen des Buntsandsteins zeigen die Zusammenhänge von Gesteinsstruktur, klimatischen Kräften und Formenbildung. Die Feststellungen von POSER & MÜLLER (1951) über die Asymmetrie in Tälern konnten bestätigt werden. Der Asymmetriegrad in allen Gesteinen des Buntsandsteins ist kleiner als in Lockergesteinen (Kies, Sand, Lehm). Innerhalb des Buntsandsteins nimmt der Bausandstein eine besondere Stellung ein. Bausandstein mit silikatischem Bindemittel zeigt nur eine schwache Asymmetrie und neigt zudem vorzugsweise zur Primär-Asymmetrie. Noch extremer ist der Einfluß der Gesteinsstruktur auf die eiszeitliche Formenbildung im Bausandstein mit karbonatischem Bindemittel. Die Anlehnung der Abtragung an das Kluftsystem und die Herauspräparierung von Felsen zwischen den Klüften führte streckenweise zu einer Umkehr der Verhältnisse bei primärer Asymmetrie.

Résumé. Les observations sur l'étendue et la formation des vallées asymétriques dans les différentes couches du Buntsandstein révèlent les connexions de la structure pétrographique des forces climatiques et de la formation des structures. Les constatations de POSER & MÜLLER (1951) sur l'asymétrie dans les vallées ont pu être confirmées. Le degré d'asymétrie dans toutes les variétés du Buntsandstein est inférieur à celui des pierres meubles (gravier, sable, argile). Au dedans de la formation du Buntsandstein le "Bausandstein" occupe une place spéciale. Si ce dernier a un ciment siliceux, il n'accuse qu'une faible asymétrie et marque une préférence pour l'asymétrie primaire. L'influence de la structure pétrographique sur la formation structurale, à l'époque glaciaire, du "Bausandstein", étant cimenté par un mortier calcaire, est encore plus forte. L'action de l'érosion sur le système des fentes et la lente formation de rochers entre les fentes provoqua par places un renversement des conditions de l'asymétrie primaire.

1. Problemstellung

Immer wieder fallen bei Taluntersuchungen jene Täler besonders auf, deren Hänge ungleichmäßig geböscht und ausgestaltet sind. Diese asymmetrischen Formen können verschiedene Entstehungsursachen haben. Gesteinsstruktur und Klima sind — wenn man von anthropogenen Formungsvorgängen oder tektonischen Verstaltungen absieht — diejenigen Kräfte, die diese Asymmetrie hervorgerufen haben können. Die gesteinsbedingten Formen standen lange Zeit im Vordergrund der Betrachtung. Aber schon KREBS (1937, S. 64—66) hatte bei seinen Talnetzstudien, die zum größten Teil die gesteinsbedingten asymmetrischen Formen behandeln, auch auf die klimabedingte Asymmetrie hingewiesen und dort das ältere Schrifttum verarbeitet. Auch JESSEN (1935, S. 400—404; 433—436) widmete der „Reliefasymmetrie und Auslage“ einen größeren Aufsatz und kommt zu dem Schluß, daß nur exaktes Ausmessen von Hangwinkel und Exposition die Forschung weiterbringen könne, wobei er wohl besonders die Arbeit von LÖSCHE (1930) als Vorbild im Auge hat. Dieser letzten Forderung sind, nachdem die Probleme über die Genese der asymmetrischen Täler durch neue Deutungsversuche zugenommen haben (vgl. BÜDEL 1944), POSER & MÜLLER (1951) besonders gerecht geworden. Ihre Untersuchungen und insbesondere die Feststellung von zwei Asymmetriearten (primäre und sekundäre Asymmetrie) zeigten aber gleichzeitig, welche Fülle von Beobachtungsmaterial notwendig ist, um ein richtiges Bild von der Verbreitung und Deutung der asymmetrischen Täler zu bekommen.

Schien es schon aus diesen Gründen ratsam, den Rahmen der Untersuchungen über die asymmetrischen Täler im Buntsandstein einzuengen, so wurde das nach Aufdeckung weiterer Probleme durch die jüngeren Studien von FEZER (1953, S. 64—74) geradezu

notwendig. So sollen die im folgenden mitgeteilten Beobachtungen über asymmetrische Täler ein Beitrag sein zur Forschung über

1. die Verbreitung der Formen in einzelnen Buntsandsteingebieten,
2. die Ausbildung der Täler auf Grund von Messungen und
3. die gesteinsbedingten Varianten der normalen, klimabedingten Formen.¹⁾

Vergleiche mit anderen Buntsandsteinlandschaften sind zur Zeit noch nicht möglich. Leider fehlen auch in den Mitteilungen BLUMES (1949, S. 63—69; 109—111) über asymmetrische Talformen im Buntsandstein der Marburger Landschaft Winkelmessungen und genauere Ortsangaben, in welchem Talabschnitt die Asymmetrie angetroffen wurde, so daß Vergleiche der Befunde im Buntsandstein Nordhessens, Westfalens und Hannovers untereinander nicht möglich sind.

2. Die Beobachtungen und Deutungen

Als erstes sollen die Formen im Solling beschrieben werden. Dieses Buntsandsteingewölbe ist insofern besonders gut für die Kartierung der asymmetrischen Täler geeignet, weil durch zahlreiche Aufschlüsse die Lagerungsverhältnisse der Gesteine nachgeprüft werden können. So war es möglich, gesteinsbedingte Asymmetrie auszuschalten und rein klimatisch bedingte Formen zu untersuchen. Außerdem boten die von Ort zu Ort recht unterschiedlichen Lagerungsverhältnisse der Gesteine gute Möglichkeiten, einerseits die Stärke der pleistozänen Klimafaktoren über die Gesteinsstruktur innerhalb jeder Buntsandsteinabteilung, andererseits die Funktion der Gesteinsstruktur für die Formenbildung von Abteilung zu Abteilung zu studieren. Beide Gesteinsserien des mittleren Buntsandsteins — die dickbankigen Bausandsteine mit geringen tonigen Zwischenlagen sowie die fein- und grobkörnigen Sandsteine und Tone in Wechsellagerung — sind großflächig verbreitet und gestatten daher die Untersuchung einer großen Zahl von Tälern.

Durchstreift man nur flüchtig das Gebiet und nimmt die Täler im Solling nur kurz, ohne irgendwelche Messungen über die Neigung der Hänge durchzuführen, in Augenschein, so hat man den Eindruck, daß kaum oder nur eine geringe Asymmetrie in den Tälern des Buntsandsteins herrscht. Dieser erste Eindruck deckt sich auch mit der mehrfach von FEZER (1953, S. 65; 69) gemachten Äußerung, daß sich die asymmetrischen Täler im Schwarzwaldgebiet „in den Gesteinen des Oberen Buntsandsteins, des Unteren Muschelkalks und des Löß häufen, im Mittleren und Unteren Buntsandstein und im Kristallin sehr selten“.

Dieser Eindruck ändert sich etwas, sobald man die Talformen genauer untersucht und ausmißt. Die folgenden Untersuchungen sind in den in der Karte (Abb. 1) angemarkten Teilen des Sollings, d. h. also im Bereich der Meßtischblätter Lauenberg, Hardeggen und Sievershausen durchgeführt worden. Dabei stellte sich heraus, daß freilich eine solche Dichte von asymmetrischen Tälern, wie POSER & MÜLLER (1951) sie im Niederbayerischen Hügelland gefunden haben (90 v. H. aller Talstrecken waren asymmetrisch gebaut) im Solling nicht erreicht wird, daß aber dennoch ca. $\frac{2}{3}$ aller Talstrecken im Buntsandstein des Sollings deutlich unsymmetrisch sind. Die übrigen 33 v. H. aller gemessenen Talstrecken zeigen Asymmetriegrade, die unter 1,2 lagen, wobei der Asymmetriegrad nach dem Verfahren von LÖSCHE (1930; 1938): Winkel des Flachhanges zu Winkel des gegenüberliegenden Steilhanges, gemessen wurde. Es schien mir in Anbetracht der Meßgenauigkeit des Winkelmessers und eigener Ablesefehler nicht statthaft, solche geringen Differenzen für die Beurteilung der Asymmetrie auszuwerten. Von den 44 km kartierten Talstrecken würde ich 28 km als asymmetrisch, 16 km als so gut wie symmetrisch gebaut betrachten. Es ist aber durchaus möglich, und mein Beobachtungsmaterial bietet Hinweise

¹⁾ Die Studien wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt, der ich für die finanzielle Hilfe herzlich danke.

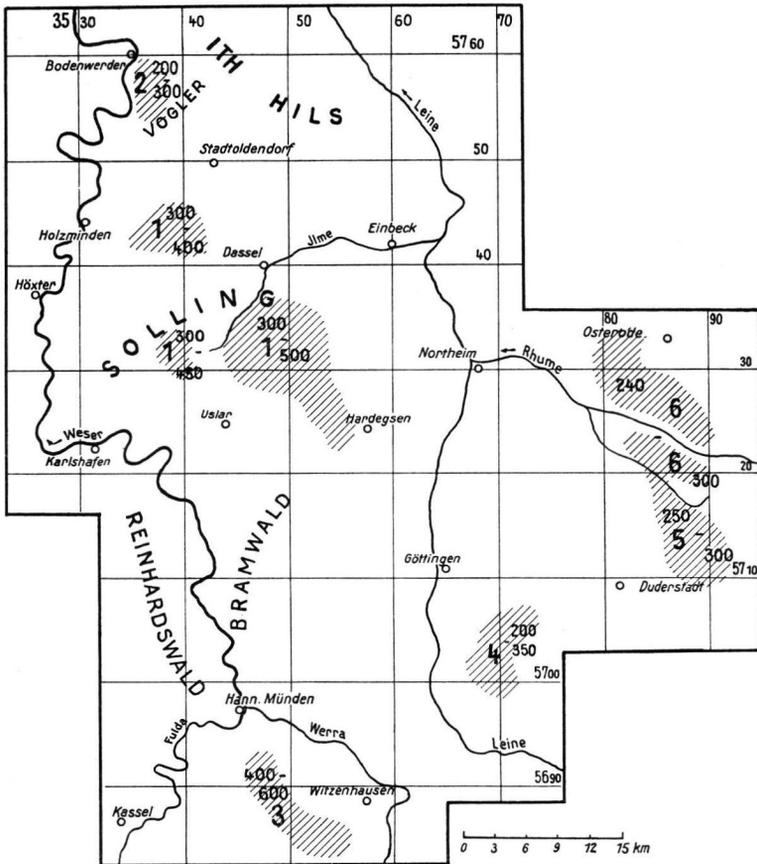


Abb. 1. Untersuchungsgebiete für asymmetrische Täler im Buntsandstein

darauf, daß meine fraglichen Messungen richtig sind und diese geringen Asymmetriegrade im Buntsandstein daher Bedeutung haben können. Sollten spätere Messungen mit genauer arbeitenden Meßgeräten dies ergeben und Asymmetriegrade unter 1,2 faßbar sein, so kann ich aus meinen Beobachtungen schon jetzt beisteuern, daß von den 16 km Talstrecke, von der nur unsichere Meßergebnisse vorliegen, etwa 13 km einen Asymmetriegrad größer als 1,0, d. h. zwischen 1,0 und 1,2 hatten.

Einen Überblick über die Verteilung der Steilhänge und Flachhänge in v. H. der 28 km vermessenen asymmetrischen Talstrecke soll die folgende Tabelle vermitteln:

Exposition	S	SW	W	NW	N	NO	O	SO
Steilhang	9	20	11	5	49	1	3	3
Flachhang	49	1	3	3	9	20	11	5

Die Tabelle gibt natürlich insofern ein falsches Bild von der Verteilung der Steil- und Flachhänge, als sie ohne Berücksichtigung der Talrichtungen zusammengestellt worden ist. Die Talrichtung verteilt sich wie folgt:

Talstrecken von	W—O	: 16 km
	NW—SO	: 6 km
	N—S	: 4 km
	NO—SW	: 2 km

Die erste Tabelle zeigt aber dennoch eines, daß — ganz gleich, in welcher Richtung vorzugsweise die Täler verlaufen — die Asymmetrie nicht auf eine Richtung festgelegt ist,

sondern daß der Sektor zwischen Norden über Westen nach Süden größere Anteile an den Steilhängen hat als der mehr östliche Abschnitt. So stehen z. B. Norden und Süden wie 9:49 oder Nordosten zu Südwesten wie 1:20 gegenüber.

Weitere Untersuchungen — angeregt durch die Arbeit von POSER & MÜLLER (1951) — zeigten, daß es sich für die Beurteilung der Bedeutung von Klima und Gesteinsstruktur auf die Formungstendenz lohnen würde, die Beobachtungen unter dem Gesichtswinkel der beiden Asymmetriearten fortzusetzen.

Vielleicht ist es hier angebracht, kurz die Befunde und Deutungen von POSER & MÜLLER wiederzugeben. Unter primärer Asymmetrie verstehen beide Autoren die Exposition des Steilhanges nach Norden bis Osten. Sie ist charakterisiert durch „Kleinheit des Asymmetriegrades und durch die Beschränkung ihres Vorkommens auf oberste Talstrecken mit ungeschichteter Schuttfüllung“, worauf POSER bereits früher (1947, S. 10 bis 18; 1948, S. 53—68) hingewiesen hatte. Über der ganzen Landschaft lag also unter dem Wirken der Solifluktion die Tendenz zur stärkeren Abflachung der sonnnseitigen Hänge“ (POSER & MÜLLER 1951, S. 28). — Die sekundäre Asymmetrie bedeutet die Exposition der Steilhänge nach Süden bis Westen. Sie kommt dort vor, wo das ablaufende Schmelzwasser den aufgetauten Hang unterschneiden konnte und versteilte. „Von diesen zweifellos in allen Tälern schon sehr hoch gelegenen Punkten an wurden die in der Landschaft liegenden Tendenzen zur primären Asymmetrie innerhalb der Talzüge durch Einschaltung der Tätigkeit des fließenden Wassers überlagert“ (POSER & MÜLLER 1951, S. 29).

a) Die Formen im Bausandstein

Schon bei flüchtiger Begehung fiel auf, daß die primäre Asymmetrie im Sinne von POSER & MÜLLER, also mit Steilhängen nach Norden bis Osten, im Bausandstein — er hat hier ein silikatisches Bindemittel — viel häufiger und, auf die Talstrecke gesehen, viel länger zu finden war als im übrigen mittleren Buntsandstein. Eine genauere Nachprüfung der Asymmetriearten bestätigte diesen ersten Eindruck. So lag also der Schluß nahe, daß im Bausandstein des Sollings die Vorbedingungen für sekundäre Asymmetrie, eben größere Schmelzwassermengen über lange Strecken der Täler, nicht gegeben waren. Der oberflächliche Abfluß in diesen Bausandsteingebieten wird also auch während des Pleistozäns geringer gewesen sein als in anderen Gesteinen, z. B. im übrigen mittleren Buntsandstein.

Es wurden, um das besser zu beweisen, Stellen aufgesucht, an denen durch Zusammenfluß zweier asymmetrischer Täler aus verschiedenen Abteilungen des Buntsandsteins die Asymmetrieverhältnisse genauer studiert werden konnten. Eine solche Situation war in der westlichen und südlichen Umgebung der Försterei Grasborn im Nordostsolling gegeben (Abb. 2). Zwei Täler (a + b) laufen von Süden nach Norden fast parallel; die Höhenlage der Talsohle und der Talränder ist bei beiden ungefähr die gleiche; sie sind etwa 1 km voneinander entfernt. Das Tal im Bausandstein (a) hat auf einer Strecke von fast einem Kilometer den Steilhang nach Osten exponiert. Das Tal im übrigen mittleren Buntsandstein (b) zeigt in den obersten 180 m eine Primär-Asymmetrie, auf der übrigen 1 km langen Strecke eine Sekundär-Asymmetrie (Steilhang nach Westen). Man könnte denken, daß diese unterschiedliche Ausbildung an der Größe des Einzugsgebietes der einzelnen Täler liegt. Aber auch da besteht kein grundsätzlicher Unterschied. Auch irgendwelche Einflüsse anthropogener Art, wie z. B. Beackerung von Hängen — wir befinden uns im Nordostsolling in einem Gebiet mit zahlreichen Wüstungen — konnten im Gelände nicht ausgemacht werden und sind nach den Unterlagen im Wüstungsarchiv des Geographischen Instituts Göttingen in der fraglichen Gegend nicht zu erwarten. Die unterschiedliche Ausbildung scheint in der Tat auf die verschiedene Gesteinsstruktur zurückzuführen zu sein. Das wird noch ganz besonders deutlich durch folgende Befunde: Von der Stelle ab, an

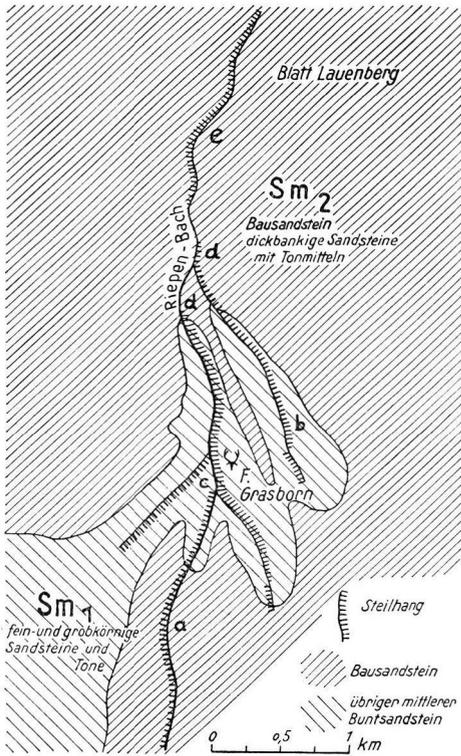


Abb. 2. Talnetz, Wechsel von primärer und sekundärer Asymmetrie und Gesteinslagerung im Nordwestteil des Sollings (Blatt Lauenberg Nr. 4244).

der ein Tal aus dem mittleren Buntsandstein mit Sekundär-Asymmetrie in das Bausandsteintal mit Primär-Asymmetrie einmündet, ist auch im Bausandsteintal die Sekundär-Asymmetrie ausgebildet (Abb. 2 c). Diesen abrupten Übergang von Primär- zu Sekundär-Asymmetrie bei Zusammenfluß zweier Täler aus verschiedenen Gesteinen kann man noch an mehreren anderen Stellen im Nordwestsolling beobachten. Es handelt sich ganz offensichtlich um eine Erscheinung, die nicht zufälligen Gegebenheiten unterworfen ist, sondern Aussagen von grundsätzlicher Bedeutung für die Formungsvorgänge gestattet. Das bestätigen auch Beobachtungen darüber, daß von der Stelle ab, an der das Tal aus mittlerem Buntsandstein in Bausandstein kommt, der Grad der Sekundär-Asymmetrie kleiner wird (Abb. 2, d) und nach etwa 1 km wieder erlöscht und einer Primär-Asymmetrie Platz macht (vgl. Abb. 2, e).

Man wird sich diesen Wechsel so vorstellen müssen: Das baldige Ablösen der Primär-Asymmetrie durch die Sekundär-Asymmetrie ist bedingt durch die pleistozänen Schmelzwässer, die in den tonreichen Partien des mittleren Buntsandsteins besonders stark oberflächlich abgeführt werden. Im Bausandstein ist eine Wirkung von Schmelzwasser auf der Oberfläche erst sehr weit talabwärts eingetreten; das bedeutet, daß die oberflächlich abfließenden Wassermengen während der Tauperiode nur gering im Verhältnis zum übrigen mittleren Buntsandstein gewesen sein können, weil ein großer Teil in den Klüften und Spalten in Oberflächennähe transportiert wurde. Das wird im übrigen sehr gut durch die auffallend geringe Talldichte im Bausandstein des Sollings bestätigt. Nur dort ist eine Umkehr der Primär-Asymmetrie in eine Sekundär-Asymmetrie im Bausandstein schon sehr hoch in den oberen Talstrecken zu beobachten, wo Wasser aus Seitentälern, die aus dem übrigen mittleren Buntsandstein

kommen, einmünden. Umgekehrt entzog das Kluftsystem des Bausandsteins den Tälern Schmelzwasser, das aus höher gelegenen Talstrecken im mittleren Buntsandstein kam, und kehrte die Sekundär-Asymmetrie wieder in eine Primär-Asymmetrie um. Keine Beobachtungsserie wie diese am Nordostrand des Sollings scheint mir die Zusammenhänge von klimamorphologischer Formungstendenz und Gesteinsstruktur im Hinblick auf die Talasymmetrie besser zu beweisen. Sie bestätigen, daß die wirklich auffällige Formung im Bausandstein sich auch während des Pleistozäns vorwiegend an die Kluft- und Spaltensysteme angeschlossen hat. Wie weit diese Abhängigkeit von der Gesteinsstruktur trotz starker klimatischer Kräfte im Diluvium gehen kann, sollen uns weiter unten Beobachtungen aus dem Bausandstein der Umgebung von Göttingen zeigen, der bekanntlich noch dickbankiger und fester als der Bausandstein des Sollings ist.

Zu diesen auffallenden Beziehungen von Asymmetrieart und Gesteinsstruktur — bedingt durch eine besondere Hydrographie im Bausandstein — passen auch die Beobachtungen über den Asymmetriegrad. Um die Bedeutung der Tabelle über den mittleren Grad der Asymmetrie, geordnet nach der Exposition des Steilhanges, zu ermessen, scheint es zweckmäßig, die Ergebnisse von LÖSCHE (1938, S. 79) bzw. POSER & MÜLLER (1951, S. 18) zum Vergleich daneben zu stellen.

LÖSCHE: Erzgebirgsbecken; Gestein: elstereiszeitliche Schotter, Geschiebelehm, Sande, Kiese, Löß.

Exposition	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Quotient				nicht	angegeben			
Winkeldiff.	—	—	—	—	2,0	4,0	2,8	1,8
Steilh./Flachh.								

POSER & MÜLLER: Niederbayerisches Hügelland; Gestein: Ton, Sand, Mergel des Miozäns; Hauptschotter.

Quotient	1,9	1,6	1,8	2,0	2,1	3,4	3,0	2,4
Winkeldiff.								
Steilh./Flachh.	7	8	7	9	9	15	14	12

HEMPEL: Solling; Gestein: Dickbankiger Sandstein mit dünnen tonigen Zwischenlagen (Bausandstein).

Quotient	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,1	—
Winkeldiff.								
Steilh./Flachh.	3	4	3	3	4	6	3	—

Man geht wohl nicht fehl, wenn man diese Befunde so interpretiert, daß die Gesteine, die im aufgetauten Zustand die größere Widerstandsfähigkeit gegenüber den exogenen Kräften haben, sich besonders schlecht zur Ausbildung einer Talasymmetrie eignen. Auch die Messungen über die Grade der Asymmetrie im Falle von Primär- und Sekundär-Asymmetrie bieten Anhalte dafür. Danach ergibt sich für den Bausandstein des Sollings folgendes Bild:

HEMPEL: Solling; Gestein: Dickbankiger Sandstein mit dünnen tonigen Zwischenlagen (Bausandstein).

Mittlerer Grad der Asymmetrie:

1) sekundäre Asymmetrie:

	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Quotient	—	—	—	1,2	1,4	1,5	1,2	—
Winkeldiff.								
Steilh./Flachh.	—	—	—	3	5	7	4	—

2) primäre Asymmetrie:

Quotient	1,2	1,3	1,3	1,2	—	—	—	—
Winkeldiff.								
Steilh./Flachh.	4	5	4	3	—	—	—	—

Aus dieser Gegenüberstellung geht hervor, daß sich die Asymmetrie-Grade von primärer und sekundärer Asymmetrie in ihrer Größenordnung nicht grundsätzlich voneinander unterscheiden. Dies bedeutet also, daß es für die Formenbildung im Bausandstein offensichtlich gleichgültig ist, wie viel Schmelzwasser bei dem Formungsprozeß mitwirkt. Durch die Wirkung des abfließenden Wassers wird die Asymmetrie nicht verschärft, d. h. die Abtragung wird also nicht besonders gesteigert. Diese Gleichartigkeit der Abtragungsleistung beruht keineswegs darauf, daß etwa im Oberlauf der Täler alles Schuttmaterial im Eiszeitalter von den Hängen abgewandert ist und in den Mittel- und Unterläufen nur ein Teil der Schuttdecke mitwanderte. Gegen diese Deutung sprechen die Beobachtungen über die heutige Mächtigkeit der Schutthorizonte am Hang. Sie sind im Ober-, Mittel- und Unterlauf fast gleich. Mindestens lassen sich aus den Unterschieden derartige Folgerungen nicht ableiten. Diese angenäherte Gleichheit der Asymmetrie-Grade sowohl bei primärer als auch bei sekundärer Asymmetrie stellt den Bausandstein außerhalb des Rahmens des bisher Bekannten, wie es die Untersuchungen von POSER & MÜLLER (1951, S. 22; 28) und die eigenen Ergebnisse im übrigen mittleren Buntsandstein (siehe weiter unten) zeigen.

Noch eine letzte Meßserie soll den geringen Einfluß des fließenden Wassers bei der sekundären Asymmetrie im Bausandstein des Sollings zeigen. In mehreren großen Tälern des Nordsollings, die annähernd Nord-Süd verlaufen, ergab sich, daß vom Einsetzen der Sekundär-Asymmetrie bis zum Talausgang (Waldrand, Gebirgsrand, Gesteinsgrenze) der Asymmetrie-Grad um höchstens 0,5 Einheiten, die Winkeldifferenz um 8 Grad verschieden war. Vergleicht man dazu die Meßergebnisse von LÖSCHE (1930, Tafel 4) und POSER & MÜLLER (1951, S. 17) aus den lockeren Gesteinen des Diluviums bzw. Miozäns, so kann man ohne Zweifel die Formen der asymmetrischen Täler im Bausandstein als auffallend bezeichnen.

b) Die Formen im übrigen mittleren Buntsandstein

Es ist schwer, im Gelände nur durch die einfache Beobachtung einen Unterschied in der Talasymmetrie des mittleren Buntsandsteins, der ja aus fein- und grobkörnigen Sandsteinen in Wechsellagerung mit mächtigeren tonigen Lagen besteht, gegenüber der im Bausandstein zu erkennen. Die Messungen des Hangwinkels und die Errechnung des Asymmetrie-Grades bzw. der Winkeldifferenz haben aber ergeben, daß der optische Eindruck aus der einfachen Geländebeobachtung korrigiert werden muß.

Mittlerer Grad der Asymmetrie, nach der Exposition des Steilhanges geordnet:

Exposition	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Quotient	1,3	1,2	1,2	1,2	1,8	2,0	1,7	1,4
Winkeldiff.								
Steilh./Flachh.	6	5	5	5	7	10	8	6

Auffallend ist, was die Asymmetriearten betrifft, nur die Tatsache, daß primäre Asymmetrie so gut wie ganz fehlt, so daß die in der Tabelle errechneten Werte als Maßstab für den Grad der sekundären Asymmetrie gewertet werden können. Wenn auch ein höherer Asymmetrie-Grad und damit eine bessere Ausprägung der Asymmetrie in den Tälern des mittleren Buntsandsteins als in denen des Bausandsteins zu erkennen ist (SW = 2,0 : 1,5), so bleiben doch auch diese Zahlen hinter denen von LÖSCHE (1938) bzw. POSER & MÜLLER (1951) für die Lockermassen errechneten weit zurück. Es scheint in der Tat so zu sein, daß in locker liegenden Sedimenten (Schotter, Lehme, Sande, Kiese) die Abtragungsvorgänge, die zur Talasymmetrie führten, besser zur Geltung kamen als in den festeren Gesteinen. Außerdem wird der Gehalt an Schluff- und Tonanteilen innerhalb der Gesteine eine wichtige Rolle für die Abtragungsleistung spielen, worauf FEZER (1953, S. 69) speziell für die Asymmetrieausbildung und in allgemeinerer Sicht für die Periglazialforschung TROLL (1944) hingewiesen haben. Nur so scheinen mir die Unterschiede in der Ausprägung der Talasymmetrie erklärbar. Die Befunde und Erklärungen liegen

damit auf der gleichen Linie wie die im vorigen Abschnitt gemachten. Wir beobachteten Ähnliches auch im Muschelkalk, worüber ich ausführlicher an anderer Stelle bereits berichtet habe (HEMPEL 1955).

Die fehlende oder mangelhaft ausgeprägte Primär-Asymmetrie in den Oberläufen der Täler bedarf noch einer kurzen Beleuchtung. Man könnte sie einfach als Zeichen dafür werten, daß sich schon weit oben im Anfang solcher Täler genügend Schmelzwasser oberflächlich gesammelt hatte, so daß eine Umkehr der Asymmetrie möglich war.

Es gibt aber auch Hinweise darauf, daß diese Verwischung des Grades der primären Asymmetrie jüngeren Alters, also postpleistozän, sein kann. Auffallend ist nämlich die Tatsache, die im übrigen auch schon von SCHMID (1925) und JESSEN (1935) erkannt und näher untersucht worden ist, daß viele nach Norden bis Osten gerichteten Hänge in Talanfängen sehr feucht sind und die Bodendecke im allgemeinen viel tiefer reicht als auf den süd- bzw. westexponierten Talflanken. So steht man oft unter dem Eindruck, daß noch unter heutigen Klimaverhältnissen die Schuttdecken auf den nord- bis ostexponierten Hängen abgetragen werden. Der Eindruck wird noch verstärkt durch gelegentliche Beobachtungen über junge Rutschvorgänge an den Wänden von Kerben, die ebenfalls nach Norden exponiert sind (vgl. ähnliche Beobachtungen bei KELLERSOHN 1952, S. 37). Wenn man dazu bedenkt, daß es im Postglazial auch Zeiten gegeben hat, die feuchter waren und in denen diese Expositionsunterschiede besser zur Geltung gekommen sind als heute, so ist es durchaus denkbar, daß eine im Pleistozän angelegte und relativ gut ausgeprägte primäre Asymmetrie aufgehoben oder wenigstens verwischt worden ist. Noch viel mehr gilt das, wenn der Asymmetrie-Grad ohnehin klein war. Wenngleich man diese Vorgänge nicht oder nur schwer beweisen kann, so scheint es mir doch wichtig, daran zu denken und bei der Beurteilung der Formenbildung, hier also der Talasymmetrie, zu berücksichtigen. Gerade bei der Abwägung des Einflusses von Gesteinsstruktur und klimatischen Kräften auf die Formenbildung brauchen solche Vorgänge keine unerschwingliche Bedeutung zu haben.

c) Asymmetrie im unteren Buntsandstein

Neben den Untersuchungen im Bausandstein und übrigen mittleren Buntsandstein, d. h. also gesteinsmäßig gesehen, in den harten, dickbankigen Sandsteinen und solchen mit zahlreichen tonigen Zwischenlagen, wurde versucht, etwas über die Talasymmetrie im unteren Buntsandstein festzustellen. Der untere Buntsandstein besteht aus dünnen Sandsteinbänkchen, Schiefertönen und bröckeligen Tönen, ist also ein Gestein, das nur eine geringe Festigkeit besitzt. Es wäre also nach dem bisher über die Talasymmetrie Gesagten zu erwarten, daß der Grad der Asymmetrie sich erhöhen und die Talformen den von LÖSCHE bzw. POSER & MÜLLER beschriebenen ähnlich sein würden. Die wenigen Untersuchungen, die im Unter-Eichsfeld und südlichen Harzvorland gemacht werden konnten, bestätigen diese Annahme. Die Zahl der Messungen ist aber zu klein, um zu einer Tabelle, die den anderen gleichwertig und mit ihnen vergleichbar wäre, zusammengestellt werden zu können. Das Gebiet des unteren Buntsandsteins ist nämlich weitgehend ackerbaulich genutzt. Selbst die Stellen, die heute unter Wald liegen, sind in vielen Fällen in früheren Jahrhunderten noch offenes Kulturland gewesen (vgl. L. HEMPEL, geb. TECKLENBURG, 1954, 1957), so daß man also allenthalben Spuren anthropogener Überformung der Oberfläche finden kann. Allein im Nordost- und Ostteil des Kaufunger Waldes dürfen günstige Beobachtungsmöglichkeiten für die Ausprägung der Asymmetrie im unteren Buntsandstein angetroffen werden. Leider konnte ich dieses Gebiet in Nordhessen infolge Fahrverbot auf den Forststraßen nur flüchtig durchstreifen und daher keine genauen Messungen anstellen. Ich hatte aber den sicheren Eindruck, daß die Talasymmetrie in den tonig-sandigen Schichten des unteren Buntsandsteins deutlicher ausgeprägt ist als in den übrigen Abteilungen des Buntsandsteins.

Insofern wird man vielleicht die im Unter-Eichsfeld gemessenen Asymmetrie-Grade (Süden: 1,7; SW: 2,9; W: 2,3) als groben Anhalt mit der nötigen Vorsicht verwenden dürfen²⁾.

d) Besondere Formen der Talasymmetrie

Über diese systematisch angesetzten Untersuchungen über asymmetrische Täler hinaus wurden bei Fahrten und Begehungen in Buntsandsteinlandschaften auch andere, mehr zufällige Beobachtungen von Asymmetrieformen gemacht. Sie ergänzen die Eindrücke, die schon im vorigen Abschnitt von den Beziehungen zwischen klimatischen Kräften, Gesteinsstruktur und Asymmetrie gewonnen wurden.



Abb. 3. Talhang eines asymmetrischen Tals im Bausandstein des Reinhausener Forstes südostwärts von Göttingen; Exposition: Osten; Schuttdecke wird stellenweise von anstehenden Felsen durchragt. (photo Ludwig HEMPEL, 1955).



Abb. 4. Tal wie Abb. 3; Exposition: Westen; steile Felsenwände über den Schuttfüßen; Schuttfächer am Fuß der Spalten (Bildmitte und rechts), z. T. bereits abgetragen.

(photo Ludwig HEMPEL, 1955).

Eine auffallende Erscheinung in den Buntsandsteingebieten in der Umgebung von Göttingen, insbesondere im Reinhausener Forst, wo der Bausandstein ein karbonatisches Bindemittel hat, sind die Täler mit felsigen Hängen. Diese Felsen ragen von der Oberfläche des Schuttes teils 15—20 m, teils aber nur wenige

²⁾ Im Rahmen einer Arbeitsexkursion des Geographischen Instituts der Freien Universität Berlin im Frühjahr 1958 konnte ich zahlreiche Messungen an asymmetrischen Tälern des Kaufunger Waldes anstellen. Sie bestätigen die oben gemachten Angaben über die Asymmetrie-Grade im unteren Buntsandstein.

Meter hoch auf. Irgendwelche besonderen Zusammenhänge von Exposition und besonderer Häufigkeit von Felsen sind nicht zu erkennen. Lediglich an den beiden größeren Tälern, der Garte und dem Wendebach, kann man beobachten, daß sich die Felsen fast ausschließlich auf dem nach Süden bzw. Südwesten exponierten Hang befinden. Man kann natürlich daran denken, daß dies eine rein gesteinsbedingte Asymmetrie im Sinne des Schichtfallens nach Norden ist. Garte und Wendebach würden also nach Norden auf einer festen Gesteinsunterlage abrutschen. Dem widersprechen aber die Formen in beiden Tälern, insbesondere die Hangformen unterhalb der Felsen bis zur heutigen Talsohle. Man kann also diese bevorzugte Südexposition der Felsen als ein Ergebnis gerichteter pleistozäner, klimabedingter Abtragungsvorgänge werten. In den Seitentälern ist eine solche Asymmetrie nur schwer zu erkennen. Die vom Wendebach abzweigenden Täler haben alle Südwest-Nordost-Erstreckung. Die Talhänge sind also im allgemeinen nach Südosten bzw. Nordwesten exponiert, d. h. nach Himmelsrichtungen, deren Asymmetrie-Grade sich ohnehin nach den bisherigen Erfahrungen nicht sehr voneinander unterscheiden.

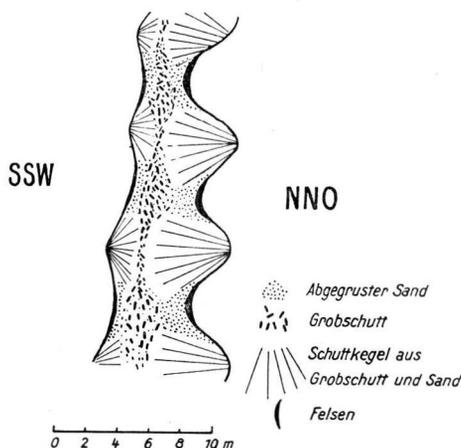


Abb. 5. Aufsichtsskizze von einem asymmetrischen Tal im Bausandstein des Reinhauser Forstes südostwärts von Göttingen.

Anders ist das bei den Seitentälern der Garte. Sie laufen fast alle in nord-südlicher Richtung, d. h. ihre Hänge sind nach Westen bzw. Osten exponiert. Hier kann man beobachten, daß die Felsen vorzugsweise, jedoch nicht ausschließlich, auf der nach Westen gerichteten Seite auftreten. Stellenweise kann man das auch im Einzugsgebiet des Wendebachs an entsprechend exponierten Stellen beobachten. Die nach Osten schauende Seite ist bis an die Talkante mit Schutt bedeckt. Der Schutt ist allerdings nicht allzu mächtig, denn es ragen hier und dort und insbesondere am oberen Talrand noch anstehende Bausandsteinfelsen aus dem Schuttmantel heraus (vgl. Abb. 3). Am gegenüberliegenden Hang dagegen steht die Felsenwand in einem vergleichsweise mächtigen Schuttsockel, der überall dort, wo die Felswand an Klüften oder Spalten unterbrochen ist, besonders stark anschwillt und eine Art Halde oder Kegel bildet (Abb. 4). An einigen Stellen erreichen die an die Klüfte angelehnten Hohlformen 10—30 m Länge. Irgendwelche Anzeichen rezenter Formung fehlen meistens, wengleich eine solche Einwirkung an einzelnen Stellen nicht ganz ausgeschlossen scheint. Im großen und ganzen aber wird diese Felsenbildung auf eiszeitliche Klimaeinflüsse zurückzuführen sein, wie die Verzahnung des sicher pleistozänen Schuttes auf der Talsohle mit dem am Fuß der Wände beweist.

Welche Entwicklung dabei die Formen durchgemacht haben, kann man sehr schön an einem Seitental des Wendebachs (südlich des Treppen-Berges) erkennen. Dort ist ein nur wenige Meter eingetieftes Tal frei von rezenten linienhaften Abtragungsvorgängen ge-

blieben. Das obere Talende stößt nicht mit anderen Tälern zusammen, wie das z. B. sehr häufig auf den tertiären Flächen beobachtet werden konnte. Es ist ganz isoliert, so daß man die eiszeitlichen Abtragungsformen noch klar erkennen kann. Danach muß die stärkste Abtragung von den Klüften und Spalten aus erfolgt sein, denn an ihrem Fuß sind die mächtigsten Schuttanhäufungen. Dieser Schutt besteht nicht nur aus feinem Material wie der am Fuß der Felsen, sondern enthält auch viele grobe, steinige Beimengungen (Abb. 5). Sie setzen sich bis fast an die heutige Oberfläche fort und werden abgedeckt von einer 20—30 cm mächtigen Bodendecke. Diese Bevorzugung der Kluftlinien durch die Abtragungskräfte während des Pleistozäns dürfte sicherlich mit dem Wasserreichtum dieser Zonen zusammenhängen, der eine intensive Frostsprengung ermöglichte, wie die Gesteinsbrocken im Schuttmaterial beweisen. Es kommt natürlich noch als besonders fördernder Faktor der Umstand hinzu, daß im Bereich der Klüfte die Abtragung von oder nach zwei Seiten wirken kann: Parallel zum Talverlauf und senkrecht dazu entlang den Klüften. Auf diese Weise ist eine schnelle Rückverlegung des Bausandsteins in dieser Zone zu erwarten, wobei gleichzeitig die dazwischenliegenden Partien als Felsen freigelegt wurden sowie als besonders auffallende Formen stehenblieben und so das Bild des Tales bestimmten (vgl. auch die Abbildungen bei KLANDER 1925, Tafel III und IV).

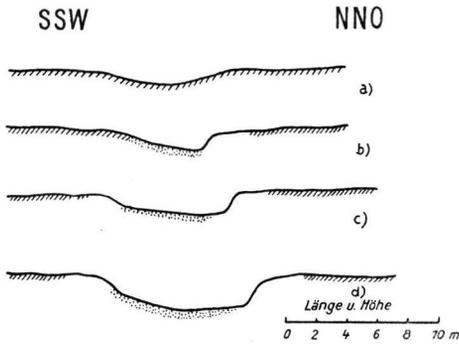


Abb. 6. Querschnitte durch das gleiche Tal wie Abb. 5 jeweils in der Höhe der felsigen Teile: a) Talanfang; b) und c) Mittelteil; d) kurz vor Einmündung ins Haupttal. Einzelheiten vgl. Text.

So intensiv ist die Entwicklung aber nur auf den sonnenseitigen Hängen abgelaufen. Auf den Schattenseiten sind diese Formen — das Abwechseln von steinreichen Schuttkegeln ohne Felsen mit mehr grusigem Sandmaterial unterhalb von Felsen — nur schwach ausgebildet (Abb. 5). Der Unterschied der beiden Hänge nimmt im Oberlauf immer mehr ab, so daß man den Eindruck gewinnt, dieser Teil des Tals sei erst ganz jung aus dem Anstehenden herauspräpariert worden (Abb. 6 a-d). Dabei kann man die Reihe in Abb. 6 nicht nur als räumlichen Querschnitt durch verschiedene Teile des Tals werten, sondern außerdem auch als zeitliche Querschnitte betrachten. Es ist auffallend, daß sich die primäre Asymmetrie, also die Bildung eines Steilhanges ohne Einwirkung des Schmelzwassers, im Bausandstein des Reinhausener Forstes anders ausprägt als in den übrigen Abteilungen des Buntsandsteins und als es aus der Literatur bisher bekannt war: Im felsigen Abschnitt ist der Steilhang nach Süden bis Südwesten, also zur Sonnenseite, der Flachhang in nördlicher Richtung exponiert; betrachtet man dagegen die Hangverhältnisse im Lockermaterial, so ist es hier genau umgekehrt, der flachere Hang blickt nach Süden, der steilere nach Norden.

Es ist verständlich, daß diese Formen noch eindrucksvoller werden, wenn fließendes Wasser hinzutritt und das bereitgestellte Lockermaterial rasch abtransportiert. Verschleppte oder abgeschnittene Schuttfächer sind dann die Folge gewesen; z. T. wird das ganze Lockermaterial im Pleistozän abgetragen worden sein, so daß ständig neue felsige

Partien in Oberflächennähe kamen und die Abtragung rasch längs den Klüften und Spalten vorwärtsschreiten konnte. So wird es verständlich, daß auf diese Weise ein reich verzweigtes System von Hohlformen entstand. Dabei spielte das fließende und erodierende Wasser für die Formung in den kleinen Seitenästen keine besondere Rolle, sondern allein die Begünstigung der frostdynamischen Vorgänge (Verwitterung und Abtransport) in den Klüften war entscheidend für die Ausbildung der Hohlformen.

Alles in allem fügen sich auch diese Beobachtungen über die expositionsbedingten Felsenbildungen gut in das Bild ein, das sich aus Untersuchungen über die Formen im Muschelkalkgestein und Buntsandstein (HEMPEL 1955, 1958), speziell aber über die Talasymmetrie, ergeben hat: Die Gesteinsstruktur hat für Verwitterung und Formenbildung auch während des Pleistozäns eine beachtenswerte Rolle gespielt.

Schrifttum:

- BLUME, H.: Die Marburger Landschaft. Gestalt und morphologische Entwicklung. - Marburger Geographische Schriften 1, 1949.
- BÜDEL, J.: Die morphologischen Wirkungen des Eiszeitklimas im gletscherfreien Gebiet. Beiträge zur Geomorphologie der Klimazonen und Vorzeitklimata (I). - Geologische Rundschau 34, 482-519, 1944.
- FEZER, F.: Schuttmassen, Blockdecken und Talformen im nördlichen Schwarzwald. Studien über die Periglazial-Erscheinungen in Mitteleuropa. Teil I: Studien aus den Mittelgebirgen. - Göttinger Geographische Abhandlungen, Heft 14, 45-77, 1953.
- HEMPEL, Lena, geb. TECKLENBURG: Flurzerstörungen durch Bodenerosion in früheren Jahrhunderten. - Zeitschrift für Agrargeschichte und Agrarsoziologie 2, 114-122, 1954. - - Das morphologische Landschaftsbild des Unter-Eichsfeldes unter besonderer Berücksichtigung der Bodenerosion und ihrer Kleinformen. - Forschungen zur deutschen Landeskunde 98, 1957.
- HEMPEL, Ludwig: Studien über Verwitterung und Formenbildung im Muschelkalkgestein. - Göttinger Geographische Abhandlungen, Heft 18, 1955. - - Studien in norddeutschen Buntsandsteinlandschaften. - Forschungen zur deutschen Landeskunde 112, 1958 (in Vorbereitung).
- JESSEN, O.: Reliefasymmetrie und Auslage. - Petermanns Geographische Mitteilungen, 400-404 und 433-436, 1935.
- KELLERSOHN, H.: Untersuchungen zur Morphologie der Talanfänge im mitteleuropäischen Raum. - Kölner Geographische Arbeiten, Heft 1, 1952.
- KLANDER, F.: Über die im Buntsandstein wandernden Verwitterungslösungen in ihrer Abhängigkeit von äußeren Einflüssen. - Chemie der Erde 2, 49-82, 1925.
- KREBS, N.: Talnetzstudien. - Sitz-Ber. d. Preuß. Akademie d. Wiss., Phys.-math. Kl. 6, 52-72, Berlin 1937.
- LÖSCHE, H.: Die Talungleichseitigkeit im Erzgebirgsbecken. - Geographischer Anzeiger, 78-81, 1938. - - Lassen sich die diluvialen Breitenkreise aus klimabedingten diluvialen Verwitterungsformen rekonstruieren? - Archiv der Deutschen Seewarte 48, 1930.
- POSER, H.: Dauerfrostboden und Temperaturverhältnisse während der Würmeiszeit im nichtver-eisten Mittel- und Westeuropa. - Die Naturwissenschaften 34, 10-18, 1947. - - Boden- und Klimaverhältnisse in Mitteleuropa während der Würmeiszeit. - Erdkunde 2, 53-68, 1948.
- POSER, H., & MÜLLER, Th.: Studien an den asymmetrischen Tälern des Niederbayerischen Hügellandes. - Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., biolog.-physiol.-chem. Abtlg. Nr. 1, 1951.
- SCHMID, J.: Klima, Boden und Baumgestalt im berechneten Mittelgebirge. - Neudamm 1925.
- TROLL, C.: Strukturboden, Solifluktion und Frostklimata der Erde. - Geologische Rundschau 34, 545-694, 1944.

Manusk. eingeg. 15. 4. 1957.

Anschrift des Verf.: Dozent Dr. L. Hempel, Münster i. W., Sperlrichstr. 69.