

DIE TUFFKASKADE "HOHEN BRUNNEN" BEI BERCHING/OPF.

von

ROBERT GLASSL * und MICHAEL SCHIEBER **

Zusammenfassung

Am Albrand bei Berching/Oberpfalz treten an zahlreichen Stellen Quellen aus, die an die örtlichen geologischen und stratigraphischen Gegebenheiten gebunden sind (Schichtquellen). Unterschiedliche genetische Vorgänge führen zur Ausfällung des in den Wässern gelösten Kalkes (sekundärer Kalk). Es entstehen dabei Kalktuffe (biogene Genese) und Kalksinter (abiogene Genese) unterschiedlichen Ausmaßes und unterschiedlicher Formgebung.

Ein Tuffvorkommen beim Burgstall "Hohen Brunnen" weckt dabei besonderes Interesse, da es in seiner Gesamtausdehnung große Mächtigkeiten erreicht und sein rezenter Teil aus einer Abfolge verschieden großer Kaskaden mit ihren typischen Bogenformen besteht.

An dieser Stelle werden die morphologische Formgebung aufgezeigt und ökologische Standorteigenschaften untersucht. Die Genese der Tuffe, sowie ihre Altersstellung werden diskutiert.

Abstract

At several places in the "Fränkische Alb" near Berching/Oberpfalz springs appear on the land surface, which are closely connected with the geological and stratigraphic situations (strata springs). Different genetic processes cause the precipitation of lime dissolved in the water (secondary lime). The results are the development of *lime-tufa* (biogene development) and *lime-sinter* (abiogene development) of different size and shape.

The tufa of the "Burgstall Hohen Brunnen" near Berching is of special interest due to its great thickness, horizontal extension and the development of a sequence of different sized cascades with the typical arch structures.

At this place the morphology will be investigated as well as its ecological characters. The development and age of the tufa is discussed.

* Dipl.-Geogr. Robert Glassl, Schönbergstr. 9, 8416 Hemau

** Dr. Michael Schieber, Tulpenweg 5a, 8401 Pentling

1. Einführung

Am Albrand bei Berching/Opf. treten an der Schichtgrenze zwischen Dogger und Malm kalkreiche Quellen an die Oberfläche, die Kalktuffbildungen unterschiedlicher Erscheinungsformen hervorrufen. Neben Kalk-Auskleidungen von Bachläufen und Fließgerinnen (Rachental, östlich von Berching) treten Tuffvorhänge (nördlich Viehausen), über Zehner von Metern hinwegziehende, bis zu 60 cm hohe und einen halben Meter breite Tuffrinnen (Erasbach, Pollanten) und, als eine der eindrucksvollsten Ausprägungen, eine großflächig ausgebildete Tuffkaskade am Burgstall "Hohen Brunnen", 2 km westlich von Sollngriesbach (s. Abb. 1) auf.

Von Oktober 1985 bis Juli 1988 wurden die Erasbacher Tuffrinne und die Tuffkaskade am Burgstall näher bearbeitet. Dabei standen morphologische, bodengeographische und hydrologische Untersuchungen im Vordergrund. Die Kaskade wird in diesem Aufsatz vorgestellt.

In der raumbezogenen Literatur wird zwar auf die Kaskade am Burgstall hingewiesen, doch wird sie nicht näher beschrieben (SCHMIDT-KALER, 1981; SEITZ, 1974). Ein Ziel vorliegender Arbeit ist es somit, eine in unserem Raum seltene Naturerscheinung durch eingehende Untersuchungen zu würdigen und ein besseres Verständnis dafür zu schaffen. Zum anderen soll eine Grundlage für ein Naturschutzkonzept erarbeitet werden, das die Ausweisung der Kaskade als Naturschutzdenkmal innerhalb eines Schutzgebietes zur Aufgabe hat.

2. Untersuchungsmethoden

In den im Bereich des Tuffkörpers angegebenen Probenentnahmepunkten KT1 - KT5 (vgl. Abb. 2) wurden von November 1985 bis Juni 1987 einmal im Monat (Monatsende) Wasserproben entnommen und gleichzeitig eine Reihe zusätzlicher Untersuchungen vorgenommen (vgl. Kap. 3.2. und 3.3.). Die Messung der Quellschüttungen begann erst im März 1986 und endete ebenfalls im Juni 1987. Zwei Testmessungen zur Bestimmung des CO₂-Gehaltes von Wasserproben konnten erst im Frühsommer 1988 durchgeführt werden.

2.1. Untersuchungen im Gelände

1. Kartierung der horizontalen Ausbreitung des Kalktuffkörpers auf der Basis der Bayerischen Höhenflurkarte 1:5000 während mehrerer Geländebegehungen. Die Einmessung der Vertikalausdehnung des Tuffkörpers erfolgte mit einem Höhenmesser der Marke Thommen mit einer 1m-Einstellung.
2. Erfassung der Mächtigkeit des Kalktuffkörpers durch Bohrungen mit einem Schlagbohrgestänge (zusammensetzbar aus 1m-Segmenten).
3. Anlage einer Bodencatena im Anschluß an die Quellaustritte bis zum Albtrauf (Höhenbestimmung ebenfalls mit dem unter 1. genannten Höhenmesser).

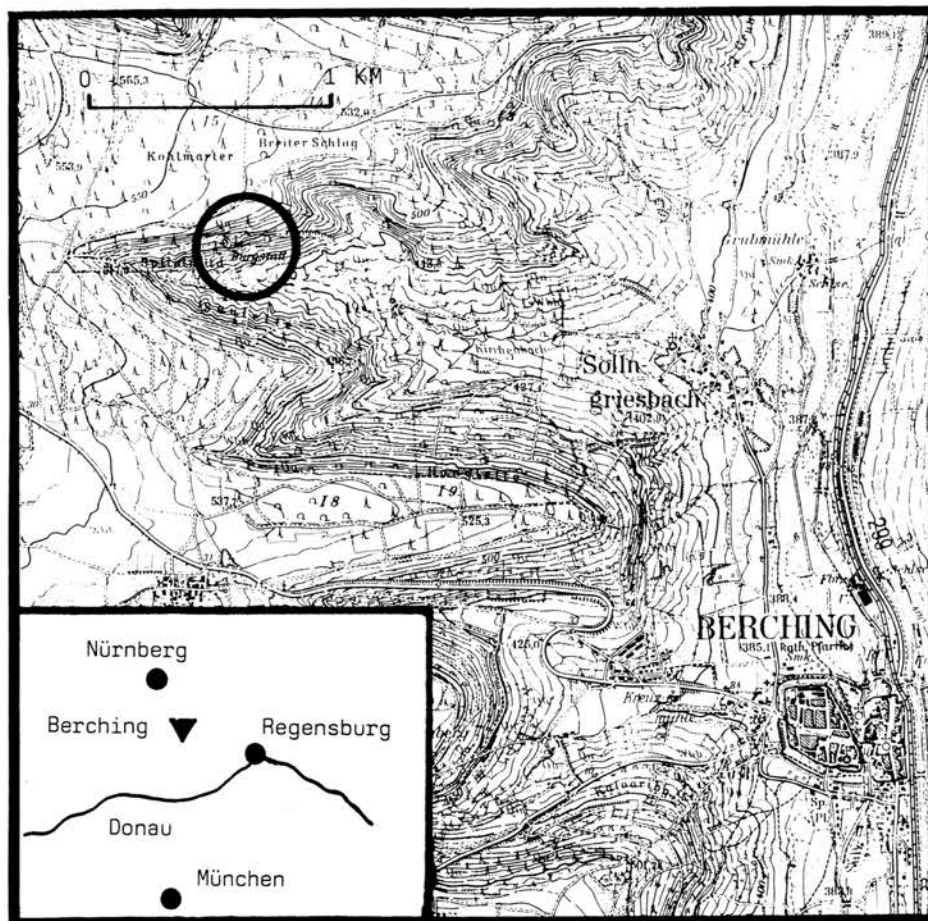


Abb. 1: Geographische Lage des Burgstalls "Hohen Brunnen" bei Berching/Opf.

(Kartengrundlage: Topographische Karte 1:25.000, Blatt Nr. 6834; Wiedergabe mit Genehmigung des Bayer. Landesvermessungsamtes München, Nr. 12 285/88)

4. Entnahme von Wasserproben unmittelbar an den Quellaustritten (KT1, KT2), am Zusammenfluß der beiden Quellbäche (KT3), am Beginn der Tuffkaskade (KT4) sowie in deren Zentrum (KT5) (s. Abb. 2). Die Proben wurden nach der Entnahme bis zur Messung der Ca-Gehalte tiefgefroren.
5. Messung der Wasser- und Lufttemperatur an den jeweiligen Probenentnahmestellen (Thermometer).
6. Messung der pH-Werte des Wassers an den Probenentnahmestellen mit Hilfe einer pH Universal Indikator Lösung (Nr. 9175) der Fa. Merck, Darmstadt (vgl. Kap. 2.2.).
7. CO₂-Bestimmung im Wasser an den Probenentnahmestellen mit Hilfe eines Gelände-Titrationsverfahrens der Fa. LaMotte Chemical/Chestertown, Maryland, USA.
8. Messung der Quellschüttungen
 - Die Messung der Quellschüttung der Quelle 1 (KT1) war insofern unproblematisch, als der Quellbach nach einigen Metern durch ein im Zuge des forstlichen Wegebaues im Bach eingebautes Betonrohr von 5,2 m Länge und 30 cm Durchmesser geleitet wurde. Die Fließgeschwindigkeit wurde mit Hilfe eines Schwimmers bestimmt (Parallelmessungen mit Stoppuhr). Mit Hilfe dieser Parameter sowie der Messung der Höhe des Wasserkörpers im Rohr ist eine Bestimmung der Quellschüttung (l/sec) möglich (Geometrie von Körpern).
 - Die Schüttung der zweiten Quelle (KT2) konnte durch Anlage einer etwa 1m langen Meßstrecke mit rel. rechteckigem Querschnitt (Tiefe 15 cm, Breite 28 cm) im Quellbach unmittelbar vor dem Zusammenfluß der beiden Quellbäche in ähnlicher Weise bestimmt werden.

2.2. Laborverfahren

1. pH - Test : Zur Kontrolle der Genauigkeit der im Gelände ermittelten pH - Werte (Indikatorverfahren s. Kap. 2.1., Punkt 6) wurden im Labor die gleichen Wasserproben elektrometrisch mit der geeichten Glaselektrode nachgemessen. Dabei ergaben sich nahezu identische Werte.
2. Die Carbonatgehalte der Tuffproben (Oberflächen- und Bohrproben) wurden gasvolumetrisch mit 10%-iger Salzsäure in der Scheibler-Apparatur ermittelt.
3. Die Ca-Bicarbonatgehalte in den Wasserproben wurden unter Verwendung eines Flammenphotometers (Fa. Eppendorf) bestimmt. Dabei wurden zunächst die CaO-Gehalte der Proben ermittelt und diese in Ca(HCO₃)₂ umgerechnet (Faktor: 2.8906).
4. Von einigen Bohrproben wurde der Gehalt an organischer Substanz ermittelt. Dies geschah durch nasse Verbrennung mit K₂Cr₂O₇ (Kalium-Dichromat). Unter der Annahme eines mittleren Kohlenstoff-

gehalts (C-Gehalt) der org. Substanz von 58% wurden die so bestimmten Gesamt-C-Gehalte der untersuchten Proben durch den Faktor 1.72 in organische Substanzgehalte umgerechnet.

3. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen in Gelände und Labor führten zu einer Vielfalt von Erkenntnissen, die hier näher vorgestellt werden sollen.

3.1. Geomorphologische Befunde

Wie fast alle Kalktuffbildungen im Berchinger Raum ist auch die Tuffkaskade am Burgstall "Hohen Brunnen" an kalkreiche Quellen gebunden, die an der Malmuntergrenze entspringen. Der StauhORIZONT wird dabei vom Ornatenton (Dogger Zeta), der morphologisch eine charakteristische Verebnung unterhalb der steil ansteigenden Malmstufe zeigt, gebildet. Die Malmstufe ist aufgebaut von der Schichtfazies des Malm Alpha und Beta und tritt in hellen Bankkalcken an die Oberfläche. Das Liegende bilden der Eisensandstein des Dogger Beta und die Schichtfazies des Dogger Gamma bis Zeta.

Verantwortlich für die Bildung der Kaskade sind zwei Schichtquellen, die in 515 m NN ca. 40 m voneinander entfernt entspringen.. Bis zur oberen Kante der Kaskade sind die Quellbäche in ihrem Verlauf festgelegt (s. Abb. 2). Dann aber fließt das Wasser in sich stets verändernden Ablaufbahnen über den gesamten rezenten Kaskadenbereich und sorgt somit für den Fortbestand dieser Tuffbildung.

Der an der Quellenbasis 50 m breite rezente Tuffteil liegt zungenförmig eingebettet in einem heute nicht mehr weiter gebildeten älteren, subrezentem Tuffkörper, dessen Breite sich von maximal 120 m auf 50 m verjüngt (s. Abb. 2). Von 515 m NN bis 510 m NN ist der gesamte Komplex flach geneigt und fällt dann steil auf 490 m NN ab, um schließlich wieder flacher werdend in einer Höhenlage von 470 m NN auszulaufen. Nur der rezente Teil weist kaskadenartige Treppungen auf, der fossile Bereich dagegen ist durch eine gleichförmige Hangneigung gekennzeichnet, hebt sich allerdings von den seitlich angrenzenden, ursprünglichen Hängen sichtbar ab.

Der grün-olivfarbene Ornatenton bildet die Liegendgrenze des Tuffes, der, von den Quellen ausgehend, zunächst allmählich, dann aber stark an Mächtigkeit gewinnt (s. Abb. 3). Konnte in der Tiefbohrung 2 der Ornatenton noch in 2,4 m Tiefe erfaßt werden, so weist der Tuff in der ca. 17 m weiter südlich liegenden Bohrung 4 bereits eine Mächtigkeit von 6 m auf, die auf über 7 m (Tiefbohrungen 1 und 3) zunimmt und damit um ein Vielfaches über jenen 30 cm Tuffmächtigkeit liegt, die in der Literatur angegeben werden (SEITZ, 1974: 367). Auch die inmitten der Kaskade niedergebrachte, vier Meter tiefe Bohrung (TB 5) konnte den Tuff nicht durchstoßen.

Es liegt demnach eine, nicht nur in ihrer horizontalen Ausbreitung, sondern auch in ihrem vertikalen Aufbau, mächtige Tuffbildung vor, die auf eine starke Kalkausfällung in relativ kurzer Zeit hinweist (s. Kap. 4).

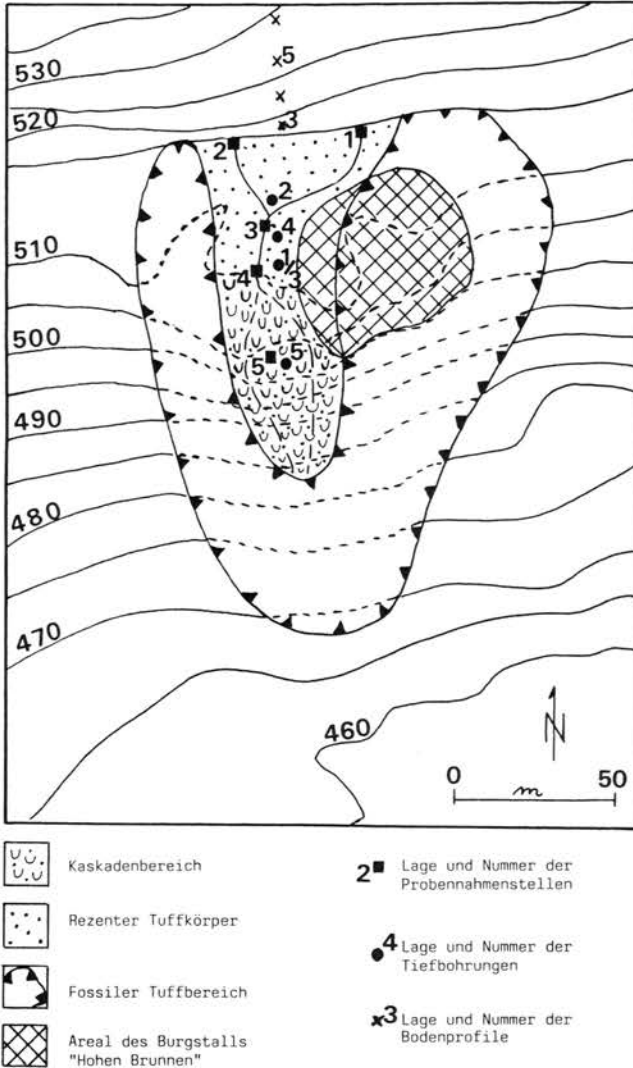


Abb. 2: Grundrißskizze des Tuffkomplexes "Hohen Brunnen" mit Höhenlinien
 (Entwurf und Zeichnung: Schieber/Glassl, 10 '88)

Im nördlichen Abschnitt ist, ehe der Tuff in kleineren und größeren Stufen kaskadenartig abfällt, eine initiale Bodenbildung zu erkennen (s. Abb. 3; TB 2). Der Tuff selbst liegt im gesamten rezenten Bereich überwiegend unstrukturiert vor. Er ist hauptsächlich feinkörnig, in einem lockeren, hellen und frischen Zustand. Teilweise besteht ein Verbund mit größeren Tuffstücken. Geringmächtige Schichten mit sehr dichtem, kompakten Tuff, meist ockerfarben gefärbt, deuten auf unterschiedliche Ablagerungsbedingungen.

In Bohrung 4 konnte über der untersten Ablagerungsschicht, die einen sehr festen Tuff zeigt, eine Bodenbildung nachgewiesen werden (s. Kap. 3.3., Tab. 2). Die Aufkalkung innerhalb dieser Bodenbildung ist mit Sicherheit als sekundär zu betrachten.

Grundsätzlich ist zu erwähnen, daß sich aufgrund der unterschiedlichen Ablagerungsscharkteristika, vor allem aber aufgrund der versinterten, mit einem Kalkfilm überzogenen Pflanzen (Moose, Blätter, Pollen), die dadurch in ihrer Struktur erhalten bleiben, Aussagen zur Klima- und Waldgeschichte treffen lassen. Entsprechende Untersuchungen (Kernbohrungen, Pflanzenbestimmungen, Pollenuntersuchungen, ^{14}C - und Isotopendatierungen) wären durchzuführen.

Die Tuffablagerungen führten aber nicht nur zu einer Überprägung der ursprünglichen Hangform, sondern sie wirken sich auch auf die Vegetation aus, die im Tuffumfeld anders ausgebildet ist als in der Umgebung.

Der Kaskadenbereich, der in vielen, unterschiedlich hohen Stufen, die aus girlanden- und halbkreisförmigen Gebilden aufgebaut sind, über 20 m steil abfällt, ist frei von höherem Bewuchs (s. Photo). Moose (näher untersucht bei WALLNER, 1934) sind ganz entscheidend an der Tuff- und Kaskadenbildung beteiligt. Ebenso spielt der Gang des kalkhaltigen Wassers eine Rolle. Daß die Kalkablagerung relativ schnell erfolgen kann, zeigt die Linde, die inmitten der Kaskade steht und vollkommen vom Tuff eingeschlossen ist. Hangabwärts sammelt sich das Wasser, das in sich ändernden Bahnen über die Kaskade fließt, in ein bis zwei Rinnen (je nach Abflußverhältnissen). Hier stellt sich Grasbewuchs ein, der die älteren Tuffe bereits überdeckt. Nur in den Wasserläufen wird weiterhin Tuff abgelagert. Sie sind, von Moosen und Algen abgesehen, frei von Bewuchs.

Inmitten eines mit Hochwald bestandenen Laubmischwaldes wirkt der von höherem Bewuchs freie, rezente Tuffkomplex mikroklimatisch modifizierend.

Nördlich der Quellenaustritte zieht sich die durch den Ornatenton gebildete Verflachung bis zur steil ansteigenden Malmformation über 50 m hin. Darauf entwickelt ist eine Braunerde mit etwa 40 cm Entwicklungstiefe. Diese Bodenbildung geht im Malm über in eine Braunerde-Rendzina mit rasch abnehmender Entwicklungstiefe (s. Abb. 4). Eine Ausnahme stellt das Bodenprofil 8 dar. In einer kleinen Delle hat sich hier, im steilen Malmhang, eine tiefgründige Braunerde entwickelt. Die Bodenbildung wirkt sich auch auf den Bewuchs aus. Der Laubmischwald, der die unteren Hangpartien

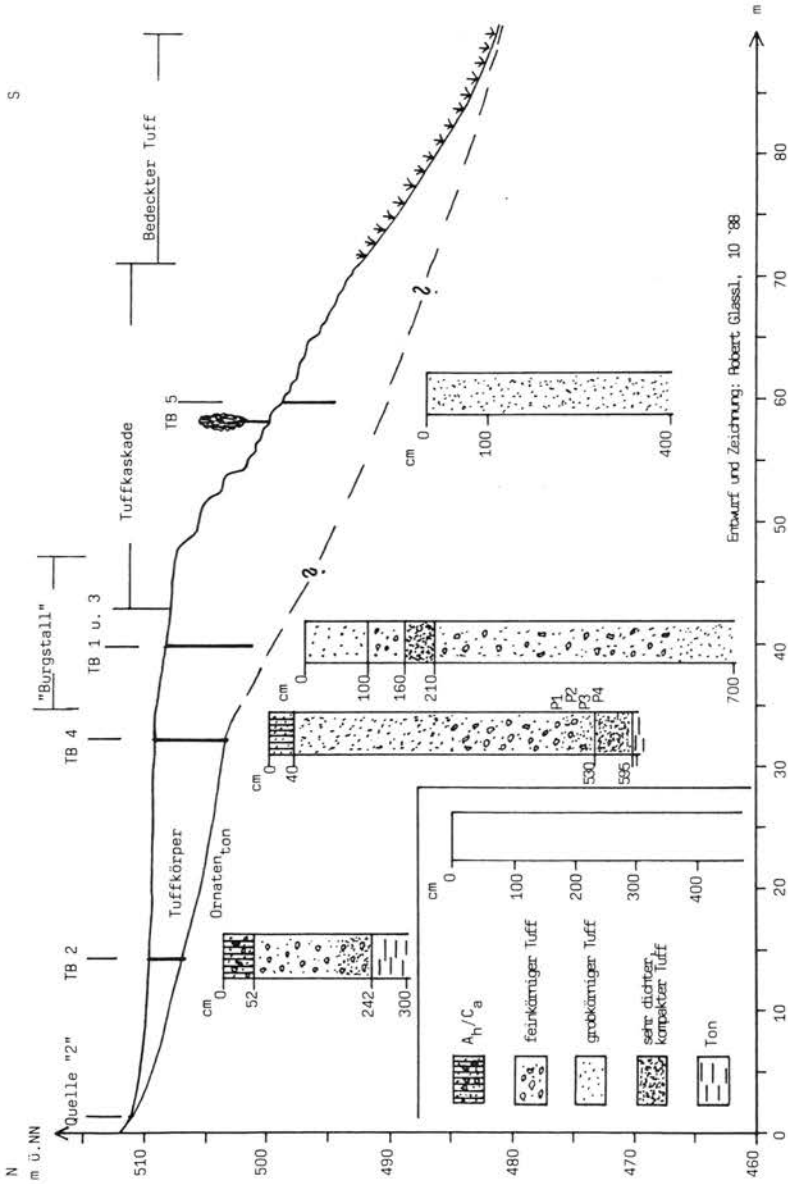


Abb. 3: Tuffcatena "Hohen Brunnen" mit Lage der rezenten Tuff - kaskade und der Tiefbohr - Profile

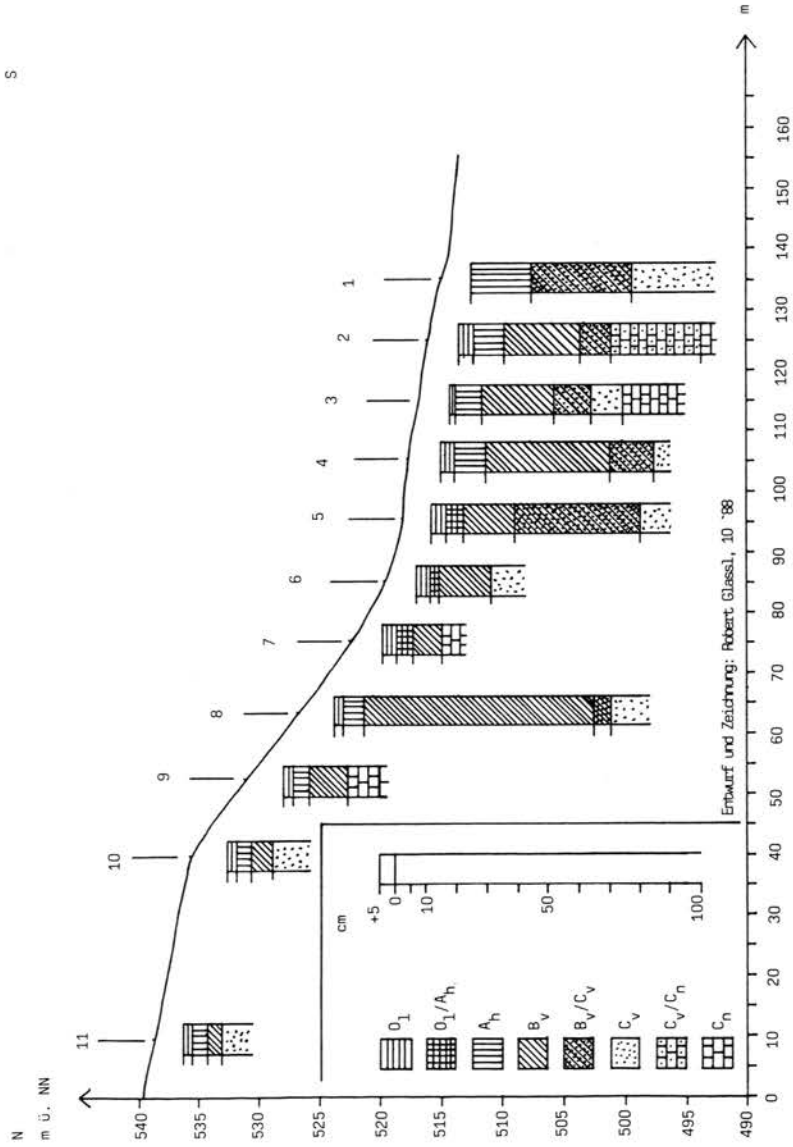


Abb. 4: Bodencatena/Malmanstieg nördlich des Burgstalls "Hohen Brunnen"

dominiert, wird im oberen Malmbereich vom Fichtenwald abgelöst.

Der Malmkörper ist Liefergebiet des Kalkes, der nach Lösung durch aggressives Niederschlagswasser am Quellaustritt abgelagert wird und den Tuffkörper aufbaut (s. Kap. 4.).

3.2. Ergebnisse der hydrologischen Untersuchungen

Von den während der Meßperiode Oktober 1985 bis Juni 1987 an den verschiedenen Probenstandorten entnommenen Wasserproben wurden eine Reihe von hydrologischen Analysen vorgenommen, deren Ergebnisse Hinweise auf die Bildungsbedingungen der Tuffe liefern und Rahmenbedingungen nachzeichnen.

- Wassertemperaturen (Abb. 5)

Der Verlauf der Temperaturkurven, die an den Probenentnahmepunkten über den gesamten Beobachtungszeitraum ermittelt wurden, liefert ein differenziertes Bild über das Temperaturverhalten der Quellwässer. Zunächst ist festzuhalten, daß an den Quellen während der gesamten Beobachtungsperiode Isothermie herrscht, was sowohl für die Temperaturen an den beiden Quellaustritten gilt, als auch für ihr Schwankungsverhalten (Oszillation zwischen 7.5 und 9 °C). Das isotherme Verhalten gilt auch für die beiden folgenden Probenstandorte mit jedoch deutlich vergrößerter Schwankungsbreite. Die größten Temperaturunterschiede liegen im Kaskadenzentrum mit einer Schwankungsbreite von 7.5 °C.

Aus dem vorliegenden Datenmaterial ist ferner das jahreszeitlich unterschiedliche Verhalten der Wassertemperaturen an den Entnahmepunkten zu erkennen. Während im Winter die Quelltemperaturen größer sind, als die an den anderen Entnahmepunkten (Abkühlung an der kühleren Atmosphäre), erwärmt sich das Wasser im Sommer trotz einer rel. kurzen Wegstrecke von den Quellaustritten zuweilen sehr deutlich. Im Winter kommt es im Quellen-, Flach- und Kaskadenbereich nie zur Eisbildung auf dem Tuff, da die Wassertemperaturen trotz reduzierter Wasserführung (vgl. Abb. 9) und Fließgeschwindigkeit nie den Gefrierpunkt erreichen oder unterschreiten.

- Lufttemperaturen (Abb. 6)

Der Einfluß der Lufttemperaturen auf die des Wassers nach den Quellaustritten sind unverkennbar. Ihr Verhalten deckt sich weitgehendst mit dem der Wassertemperaturen. Die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften dieser beiden Medien kommen jedoch in der größeren Schwankungsbreite der Lufttemperaturen zum Ausdruck. Mit max. 17 °C und min. -15 °C werden im Vergleich zu den Wasserproben auch größere Extremwerte erreicht.

- pH - Werte des Wassers

Die pH-Werte der die Kaskade, d.h. den rezenten Teil der Tuffablagerungen, überströmenden Wässer blieben während der gesamten Meßperiode an den einzelnen Meßpunkten sehr konstant und änderten sich auch in deren Vergleich untereinander kaum (Tab. 1).

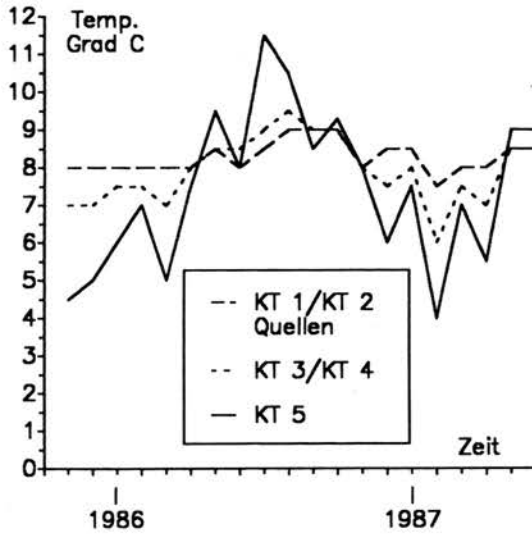


Abb. 5: Wassertemperaturen zum Zeitpunkt der Probennahmen

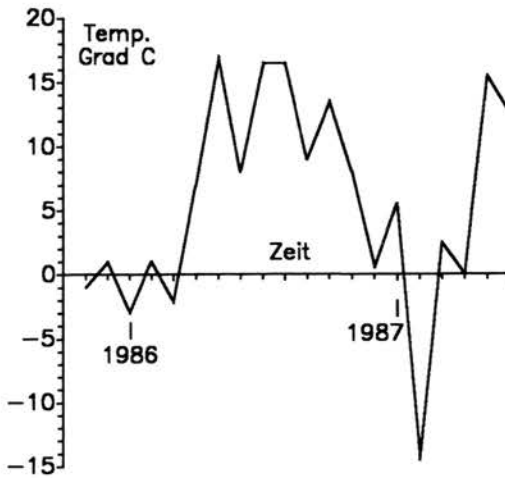


Abb. 6: Lufttemperatur zum Zeitpunkt der Probennahmen am Meßpunkt KT 4

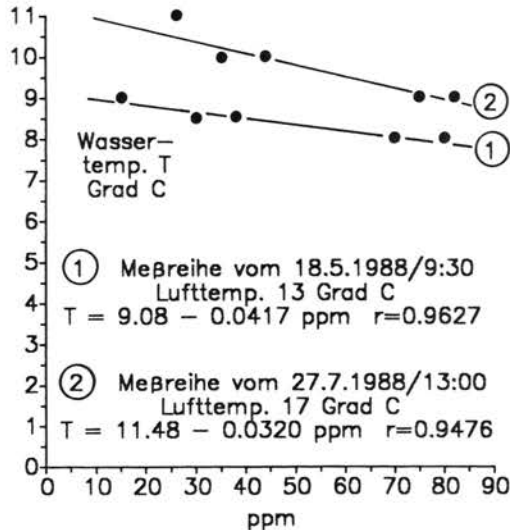
Tabelle 1: pH-Werte des Wassers

Probe	pH-Wert
KT 1	7.0
KT 2	7.0
KT 3	7.0 - 7.5 (8.0)
KT 4	7.0 - 7.5 (8.0)
KT 5	7.5 - 8.0

Die Zunahme der pH-Werte mit wachsender Entfernung von den Quellen muß auf den CO₂-Entzug aus dem Wasser und der damit verbundenen, kurzfristigen (d.h. vor der Ausfällung des Kalkes) Steigerung der Ca-Konzentration zurückgeführt werden.

- CO₂ - Gehalt des Wassers (Abb. 7)

Wegen der verspäteten Verfügbarkeit der Verfahrenstechnik zur Bestimmung des CO₂-Gehaltes von Wässern konnten erst nach Beendigung der eigentlichen Meßreihe zwei Vergleichsmessungen durchgeführt werden, dies allerdings unter während der Meßperiode auftretender ähnlicher Bedingungen (Luft- und Wassertemperaturen wie in den Monaten V/1986 und X/1986). Aus den beiden Meßreihen ist der enge Zusammenhang zwischen Wassertemperatur an der freien Atmosphäre und dem CO₂-Gehalt gut erkennbar. Ebenso wird jedoch auch die Abhängigkeit dieser guten Korrelation von der jeweils herrschenden Lufttemperatur ersichtlich.

Abb. 7: CO₂-Gehalte von Wasserproben

Der zunehmende CO₂-Gehalt bei gleichzeitig sinkender Wassertemperatur ist für die Hydrogenkarbonatbildung (vgl. Abb. 8) und damit letztlich auch für die des Tuffs von nicht unerheblicher Bedeutung, da der Umfang der Kalkausfällung aus dem Wasser eng an dessen CO₂-Gehalt gebunden ist (s. Kap. 4.).

- Gehalte des Wassers an Hydrogenkarbonat (Abb. 8)

Bei der Tuffbildung spielt der Gehalt an gelöstem Calcium-Hydrogenkarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2^-$) eine dominierende Rolle (s. Kap. 4.). In der vorliegenden Meßreihe werden die maximalen Werte erwartungsgemäß unmittelbar an den Quellaustritten erreicht. Die abnehmenden Werte mit Entfernung von den Quellen sind eng gebunden an die abnehmenden Wassertemperaturen (abiogene Komponente), v.a. aber an die Kalkabscheidung durch Moose und Algen, was mit einer Gehaltsreduzierung verbunden ist.

Innerhalb der Meßreihen treten in Abhängigkeit von der Probenahmestelle Werteunterschiede von bis zu 100 ppm (parts per million = Milligramm/Liter) auf. Mit 200 - 360 ppm ergeben sich im Gesamtbild der Meßreihen rel. hohe Werte, die die Mächtigkeit der Tuffausscheidung erklären (s. Kap. 3.1.).

- Quellschüttungen (Abb. 9)

Auch wenn kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Menge des die Kaskade überströmenden Wassers und dessen Hydrogenkarbonatgehalten besteht (Temperatureinfluß, s.o.), so ist aber doch der Schluß erlaubt, daß größere Wassermengen unter entsprechend gleichen äußeren Bedingungen größere Lösungsfrachten beinhalten als kleinere Volumina. Bei einem Vergleich der später gemessenen Schüttungen der beiden Quellen war aber ein Zusammenhang mit dem Hydrogenkarbonatgehalt nur eingeschränkt erkennbar.

Auffallend ist in dieser Meßreihe die jahreszeitliche und damit niederschlagsbedingte Periodizität der Gesamtmenge der Quellwässer. Der Maximalwert im März 1987 ist auf die vorausgehende Schneeschmelze zurückzuführen. Bei einem Vergleich des Schüttungsverhaltens der beiden Quellen untereinander fällt auf, daß die Schüttungsmengen recht unterschiedlich sind, bis hin zu einem völligen Versiegen der Quelle 2 im April 1986.

Auch im Schüttungsverhalten der Quellen untereinander ist eine Gesetzmäßigkeit nicht erkennbar. Zwar schüttet die Quelle 1 im Zeitraum VII/1986 bis I/1987 geringer als Quelle 2; bei Hinzuziehung der anderen Schüttungsbeträge reicht dies jedoch nicht aus, um eine Schüttungsdominanz einer Quelle über die andere zu erkennen.

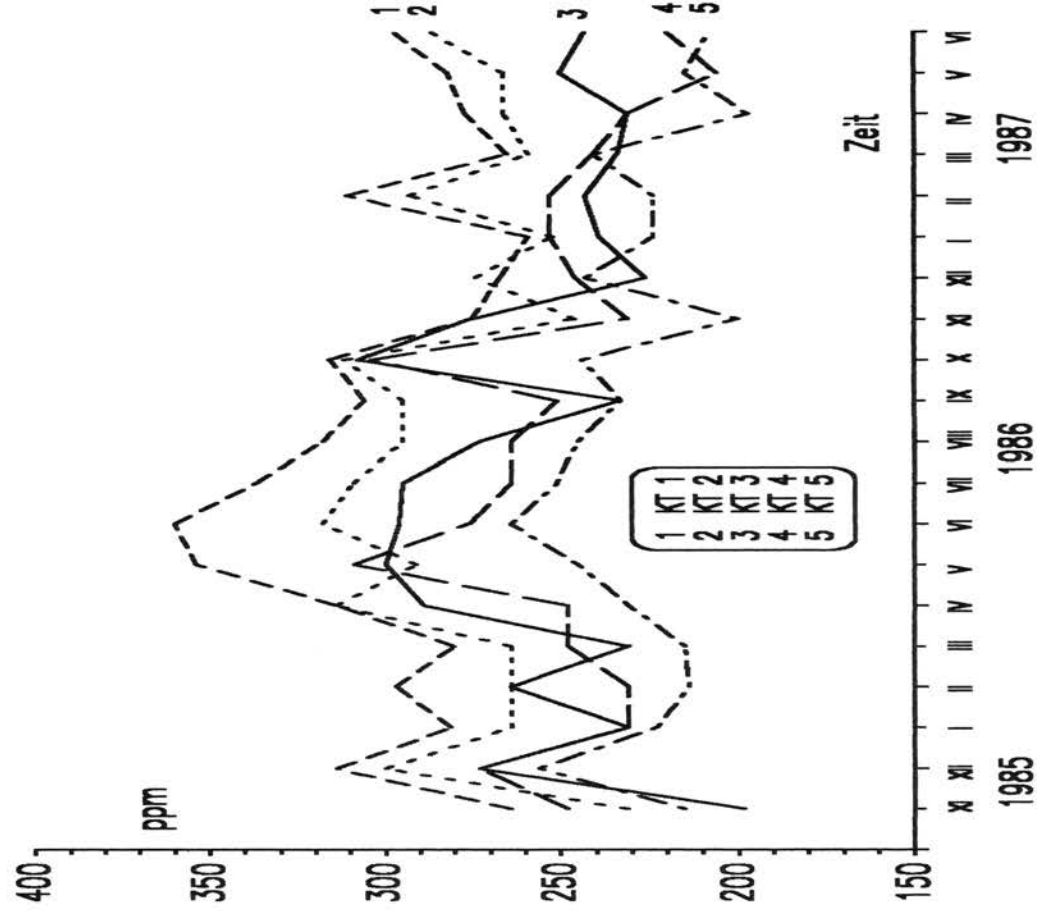
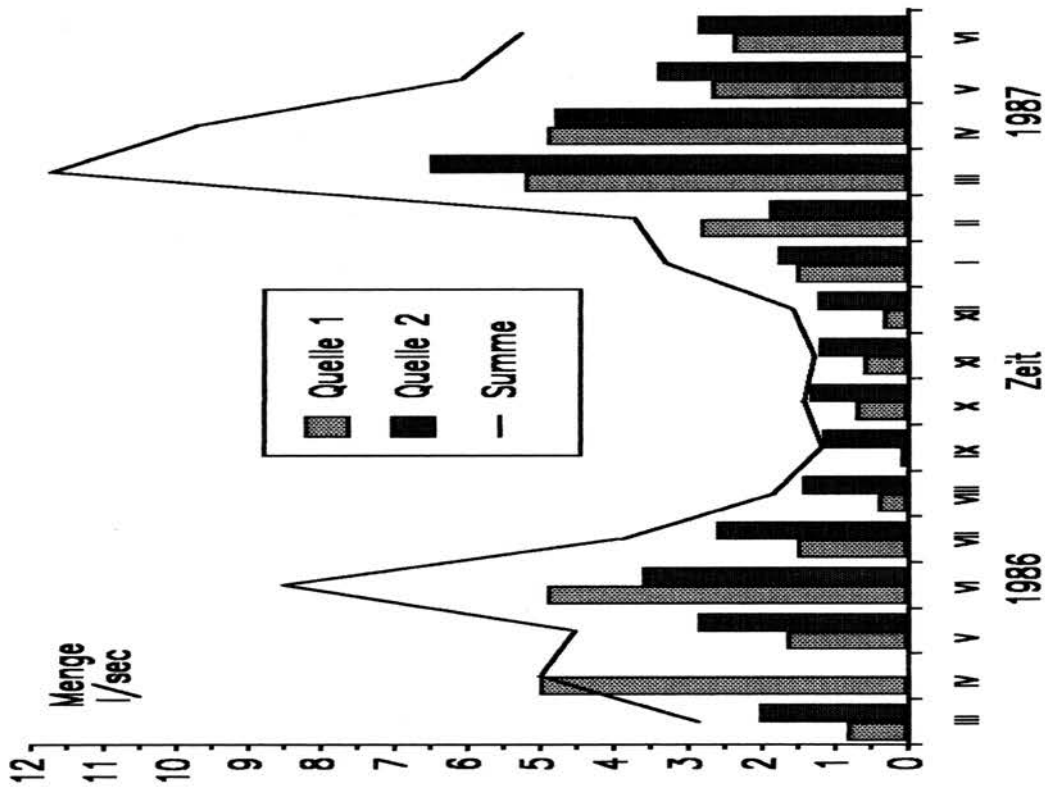
Abb. 8 : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -Gehalte in den Wasserproben

Abb. 9 : Quellschüttungen



3.3. Bodenkundliche Befunde

Unter "Bodenkundliche Befunde" sind Untersuchungsergebnisse zu verstehen, die zum einen den Tuffkörper selbst betreffen, zum anderen aber auch einen Beitrag zur Rekonstruktion seiner vertikalen Ausdehnung bzw. der liegenden, ehemaligen Hangkante leisten.

- Karbonatgehalt der Tuffe

Die Bestimmung der Karbonatgehalte der Tuffe wurde sowohl an Oberflächenproben, als auch in Bohrstockproben durchgeführt.

Oberflächenproben: Die Karbonatgehalte der Oberflächenproben (Abb. 10), die an den fünf Probenentnahmestellen bestimmt wurden, schwanken innerhalb einer rel. großen Bandbreite. Während die Tuffe an den Quellaustritten reine Kalke darstellen, nimmt der Karbonatgehalt mit fortschreitender Entfernung von den Quellen ab, was natürlich auf die Ausfällung des Kalks an der Kaskadenoberfläche zurückzuführen ist. Wegen der nahezu ausschließlich biogenen Tuffbildung (als abiogene Tuffbildung ist in der Kaskade das Umkleiden von Blättern und Zweigen anzusehen, die von den Bäumen in Vertiefungen der Kaskadenbögen fallen und dort liegen bleiben) schwanken die Karbonatgehalte der Tuffe mit zunehmender Entfernung von der Quelle relativ stark (bis zu 25 % im Kaskadenzentrum), da die Ausfällung sekundären Kalks an lebendem organischem Material (v.a. Moosen) nicht in konstanter Konzentration erfolgt.

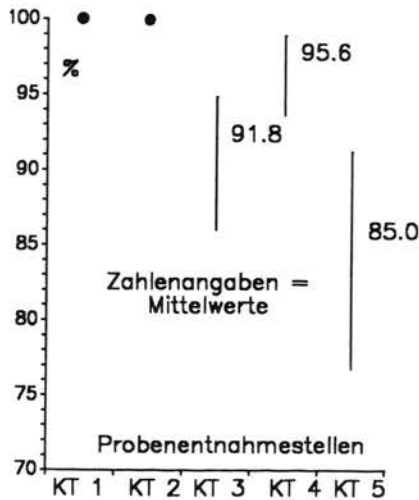


Abb. 10: Carbonatgehalt der Tuffproben (Oberfläche)

Bohrstockproben: Für die Rekonstruktion des Verlaufs der ehemaligen Hangoberfläche wurden an mehreren Stellen Bohrungen angesetzt, wobei in der Bohrung 4, bei der eine deutliche Verfärbung des Tuffs zu beobachten war (s.u.), in den gezogenen Substratproben in 440 cm bis 540 cm Tiefe ebenfalls die Karbonatgehalte bestimmt wurden (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Karbonatgehalte der Bohrstockproben

Entnahmetiefe (cm)	Karbonatgehalt (%)
440 - 445	74
455 - 460	63
495 - 500	45
530 - 535	39

Auffallend ist hier die rapide Abnahme des Karbonatgehaltes des Tuffs, der in diesen Tiefenbereichen mit zunehmenden Gehalten an mineralischer Bodensubstanz einhergeht. Hier ist es offensichtlich im Anfangsstadium der Tuffbildung, also zu einer Zeit, als die Hangoberfläche noch nicht vom Tuff überzogen wurde, zu einem Infiltrieren der Karbonatwässer in den Boden und deren Ausfällung im oberflächennahen Substrat gekommen. Mit zunehmender Entfernung von dieser ehemaligen Oberflächenzone steigt der Karbonatgehalt des Tuffs, der nun nicht mehr im Kontakt mit der mineralischen Bodensubstanz steht und dessen Verunreinigungen - wie bei den rezenten Oberflächentuffen auch - durch Eintrag der Oberflächenwässer zustandekommt. Hier wird also bereits durch die Abfolge des Karbonatgehalts des subrezentem Tuffs die ehemalige Hangoberfläche nachgezeichnet.

- Gehalt an Organischer Substanz

Diese ehemalige Hangoberfläche kann auch durch die, wenn auch relativ geringen Gehalte an organischer Substanz, in der gleichen Tiefenlage auftretenden dunklen Verfärbungen des Substrats nachvollzogen werden (s. Tab. 3).

Tabelle 3: Gehalte an org. Substanz in den Bohrstockproben

Entnahmetiefe (cm)	org. Substanz (%)
440 - 445	0.29
455 - 460	0.21
495 - 500	0.14
530 - 535	0.05

Diese beiden Befunde liefern die Grundlage für die Möglichkeit der Rekonstruktion der ehemaligen Hangoberfläche, wie sie in Abb. 3 vollzogen wurde.

4. Bildung, Formen und Altersabschätzung der Tuffe

Sekundäre Kalkbildungen (Tuffe, Sinter) sind im Verbreitungsgebiet kalkhaltiger Gesteine keine Seltenheit. Sie sind häufig gebunden an geologisch bedingte Schichtquellen und auch ihre Entstehungsbedingungen und Altersstellung sind mehr oder weniger identisch. Unterschiede treten dagegen in der morphologischen Formgebung auf, die von unterschiedlich mächtigen, undifferenzierten Oberflächenverkleidungen bis hin zur Ausbildung differenzierter Mikroformen (Steinerne Rinnen, Kaskaden) reicht. Bildungsbedingungen, morphologische Formgebung und Altersstellung der Tuffkaskade "Hohen Brunnen" bei Berching/Opf. gilt es nun, im Zusammenhang darzustellen.

Die Bildung der Tuffe

Der Vorgang der sekundären Kalkausscheidung ist in Gebieten, in denen Wässer durch anstehendes Kalkgestein zirkulieren und an Schichtquellen wieder austreten, ein Vorgang, der bei JERZ (1981: 30) zusammenfassend beschrieben ist: "Die Ausfällungen von Calciumcarbonat aus karbonatreichem Wasser werden bedingt oder begünstigt durch den Entzug von CO₂ durch Pflanzen, durch Erwärmung und bei Grund- und Quellwasser durch Druckentlastung. Es wird dabei die Löslichkeit für Calciumbicarbonat im Wasser unterschritten".

Im Prinzip sind also zwei Vorgänge, die zur sekundären Kalkausscheidung führen, voneinander zu trennen: die **abiogene Sinterbildung** und die **biogene Tuffbildung**. Der Chemismus beider Vorgänge ist gut bekannt und in unterschiedlicher Form beschrieben worden (WALLNER, 1934; DUNZINGER, 1938; GROSCHOFF, 1952; STIRN, 1964; STEINBERGER, 1967; VOIGTLÄNDER, 1965, 1966, 1968; u.a.).

Da im Fall der Tuffkaskade Hohenbrunnen die - wie der Name schon sagt - biogene Ursache der Kalkausfällung vorliegt, wird versucht, das genetische Prinzip dieses Vorgangs zu erläutern.

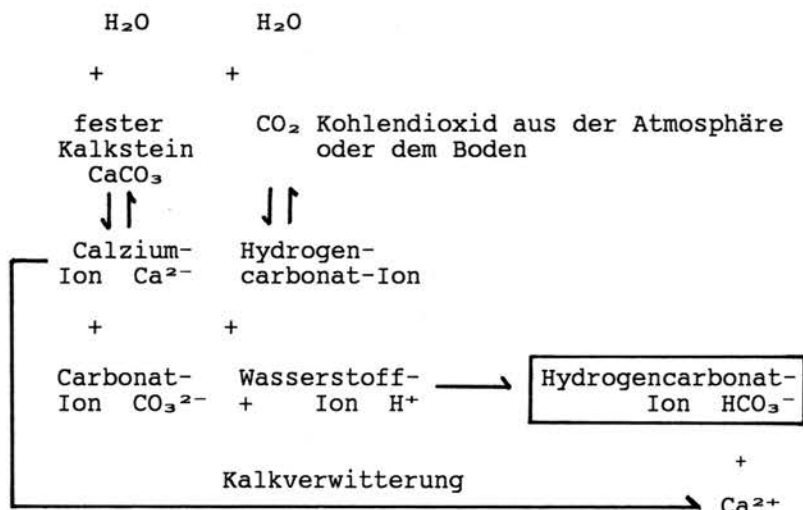
Die Tuffbildung kann in zwei Abschnitte zerlegt werden, bei denen das Calcium-bi- oder -hydrogen-carbonat das End- bzw. Anfangsglied einer Reaktionskette bildet (vgl. Abb. 11).

Erster Schritt: Kalklösung und Hydrogencarbonatbildung!

Der Hydrogencarbonatbildung gehen zwei Teilschritte voraus (nach: JACKSON, 1983):

- a) Bei der Lösung festen Kalksteins entstehen zwei elektrisch geladene Ionen, das Calcium- und das Carbonat-Ion. In chemisch reinem Wasser ist das Reaktionsgleichgewicht jedoch stark nach links (d.h. oben/linke Spalte der Abb. 11) verschoben.
- b) Bei der Vermischung von Wasser und Kohlendioxid (rechte Spalte) entsteht neben dem Bicarbonat-Ion ein freies Wasserstoff-Ion, das Säureeigenschaften trägt (Kohlensäure).

1. Schritt: Kalklösung und Hydrogencarbonatbildung
(verändert nach JACKSON, 1983)



2. Schritt: Kalkausfällung
(verändert nach VOIGTLÄNDER, 1966, 1968)

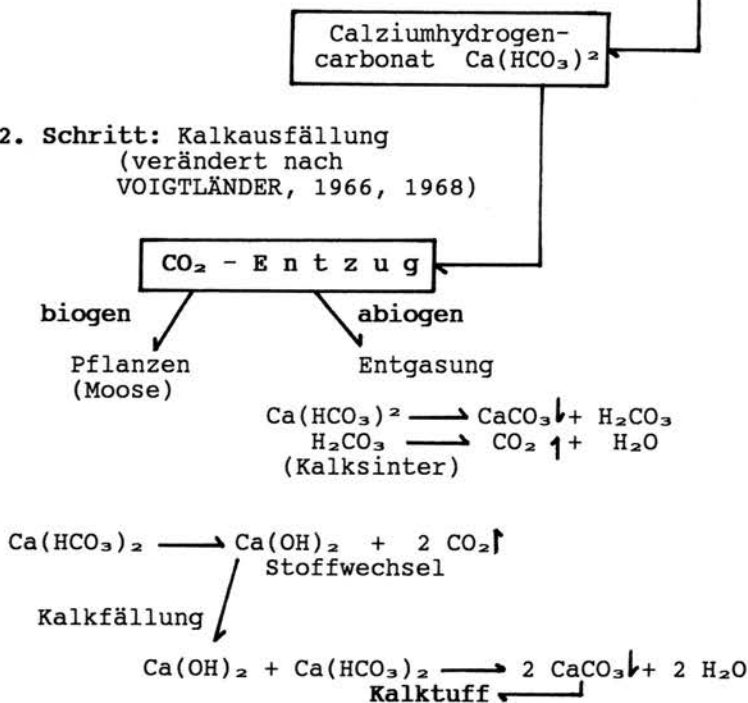


Abb. 11: Flußdiagramm zur sekundären Kalkbildung

Aus den Endprodukten der beiden Spalten bildet sich nun ein zweites Hydrogencarbonat-Ion, wodurch in der Reaktionsgleichung der linken Spalte ein Mangel an Carbonat-Ionen entsteht. "Um das Gleichgewicht wiederherzustellen, löst sich weiterer Kalkstein - ungefähr die 25 fache Menge, die sich in reinem Wasser lösen würde" (JACKSON, 1983).

Zweiter Schritt: Kalkausfällung

Die sekundäre Kalkausfällung führt nun, je nach Bildungsbedingungen, zu zwei unterschiedlichen Typen sedimentären Kalks, dem Tuff oder dem Sinter.

Die Ablagerung des Kalksinters, dessen Bildung in den Kaskadenwan-
nen (s. Abb. 12a,b) zu beobachten ist, wird hervorgerufen durch
Entgasung des kalkhaltigen Wassers (CO_2 - Verlust). Dieser Vor-
gang, bei dem dichter sekundärer Kalk entsteht, wird begünstigt
durch steigende Wassertemperaturen und Zunahme der Fließbewegung
des Wassers. In der Kaskade von Hohen Brunnen spielt dieser Vor-
gang nur eine untergeordnete Rolle (s.o.).

Der weitaus dominierendere Vorgang hingegen ist die biogene Kalk-
ausfällung durch Pflanzen, hier hauptsächlich durch Moose und Al-
gen. Deren Bedeutung für die Bildung von Tuff geht aus einer
Definition hervor, die SHACKLEY (1979: 301) für Kalktuff gibt:
"Tuff oder Quellenkalk sind die geologischen Namen für Calzit, der
auf oder zwischen lebenden Pflanzen, besonders Algen, abgelagert
wurde, wobei das Chlorophyll der Pflanzen die Ausfällung von Kalk
aus dem Grundwasser von Kalkgebieten fördert".

Im vorliegenden Fall handelt es sich überwiegend um das *Astmoos
Cratoneurum* (vgl. Abb. 13), das in vergleichbaren Situationen
ebenfalls als Tuffbildner auftritt (VOIGTLÄNDER, 1965,1966; STIRN,
1964; WALLNER, 1934). Algen scheiden dagegen in der Kaskade von
Hohen Brunnen als Tuffbildner nahezu aus. Die Pflanze nimmt dabei
das gelöste Hydrogencarbonat auf und spaltet es in Calciumhydroxid
und Kohlendioxid auf, das es für seinen Stoffwechsel benötigt. Das
entstandene Hydroxid, das von der Pflanze wieder ausgeschieden
wird, "reagiert sofort mit dem Bicarbonat des umgebenden Wassers
unter Fällung von Calciumcarbonat...." (VOIGTLÄNDER, 1966: 52; die
dort beschriebenen Rahmenbedingungen ähneln sehr den
Meßergebnissen bei der Tuffkaskade Hohen Brunnen), das sich als
feste Ablagerung an lebende Pflanzenteile anlagert. Die Folge ist
die Verkrustung unterer, d.h. sich unter Wasser befindlicher
Pflanzenteile (s. Abb. 13).

Die dichte Vergesellschaftung dieser Moose, ihr kontinuierliches
Wachstum und die stete Kalkfällung können unter Berücksichtigung
des Faktors "Zeit" zu mächtigen Tufflagen führen, wie sie im Tuff-
körper von Hohen Brunnen vorliegen (vgl. Kap. 3.1.).

Entstehung der Kaskadenstruktur

Nach WALLNER (1934) darf als charakteristische Erscheinungsform von Kalktuffen die Kaskadenstruktur angenommen werden, wengleich auch daneben die sog. "Steinernen Rinnen" oder "Wachsenden Steine" (DUNZINGER, 1938; STEINBERGER, 1967; VOIGTLÄNDER, 1965, 1966, 1968; SCHIEBER, 1987) als linear ausgebildete morphologische Mikroformen eine vergleichbare Position einnehmen. In den rezenten Überflutungsbereichen des Tuffkörpers von Hohenbrunnen ist nun die Kaskadenstruktur der Tuffablagerungen und deren Mikroformen (Kaskadenbögen) anzutreffen.

Bei derartigen Formen setzt nach WALLNER (1934) das initiale Stadium der Kaskadenbildung an sog. "Aufwölbungsstellen" an, d.h. in einem Stadium der Tuffbildung, in dem der sekundäre Kalk unter Moosrasen nach dem Quellaustritt an einem unterschiedlich geneigten Hang ausgeschieden wird. Bei der flächenmäßigen Vergrößerung dieser Tuffareale und der damit verbundenen Reduzierung des zur Verfügung stehenden Wassers erfolgt eine Trennung des ursprünglich dichten Moosrasens, was zur Bildung von "unregelmäßig gestalteten Moosinseln" (WALLNER, 1934:10) führt, zwischen denen dann unbedeckter (nackter) Tuff zu erkennen ist. Diese Moosinseln saugen nun, besonders wenn sie aus dem Astmoos Cratoneurum Commutatum aufgebaut sind (wie dies im Fall von Hohen Brunnen gegeben ist), große Wassermengen auf, was zu einem kräftigen Tuffwachstum beiträgt (s. Tuffbildung). Das Ergebnis sind Niveauunterschiede zwischen bedecktem und nacktem Tuff. Mit der Zeit stellen sich diese Moosinseln immer mehr senkrecht zur Fließrichtung des Wassers ein, da sie so am optimalsten mit Wasser versorgt werden. Durch die dauernde basale Verkalkung (s. Abb. 13) bilden die Moosstreifen Wälle, "die zur Aufstauung von kleinen, sich quer über die Wölbungsstelle hin erstreckenden Wasserwannen führen" (WALLNER, 1934:10). Das aus den Wannern abfließende Wasser wirkt nun ähnlich im Zusammenspiel mit tiefer liegenden Moospolstern, sodaß sich dieser Vorgang in unregelmäßiger Lage und Dimension wiederholt. Dabei spielt die Steilheit eines Hanges, die zum Gefälleunterschied führt, eine entscheidende Rolle. "Die Kaskadenstruktur eines Tufflagers ist also bedingt durch das Aufeinanderfolgen von Wannern, Moosriegeln und Verbindungswänden" (WALLNER, 1934:10). In Abb. 12a,b ist diese Wannenstruktur schematisch wiedergegeben (s. dazu auch Photo).

Dieses Schema ist bei der Kaskadenstruktur des Tufflagers bei Hohen Brunnen nachvollziehbar. Es ist jedoch notwendig, auf dortige Modifikationen der Erscheinungsformen der Kaskaden hinzuweisen:

- Auch die Kaskadenwände sind mit Moospolstern bedeckt.
- In den Kaskadenwannen findet kein Pflanzenwachstum statt; dort wird vielmehr abgestorbenes Pflanzenmaterial (Baumblätter, Zweige) eingesintert.
- Die Kaskadenbildung beginnt nicht unmittelbar an den Quellaustritten, sondern erst mit Einsetzen des Steilhanges.
- Wannenzu- und -abläufe liegen nicht immer gegenüber, sondern können zueinander versetzt sein.

Tuffwanne (W) mit Moospolstern an den Kaskadenwänden (K); Tuffkörper (T)

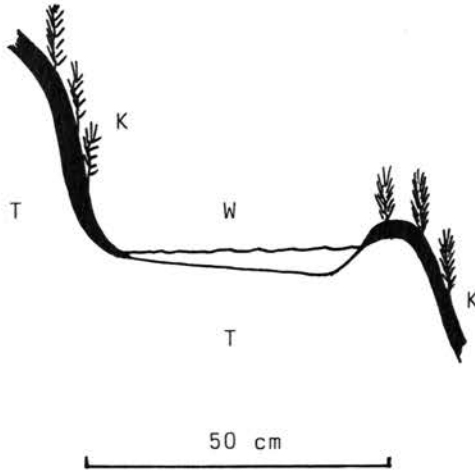


Abb. 12a: Schematischer Querschnitt einer Tuffwanne

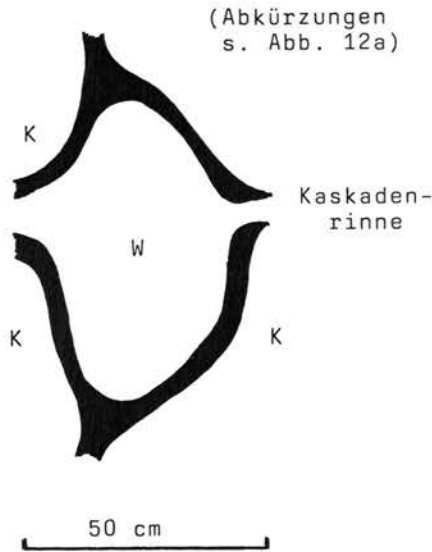


Abb. 12b: Schematischer Grundriß einer Tuffwanne

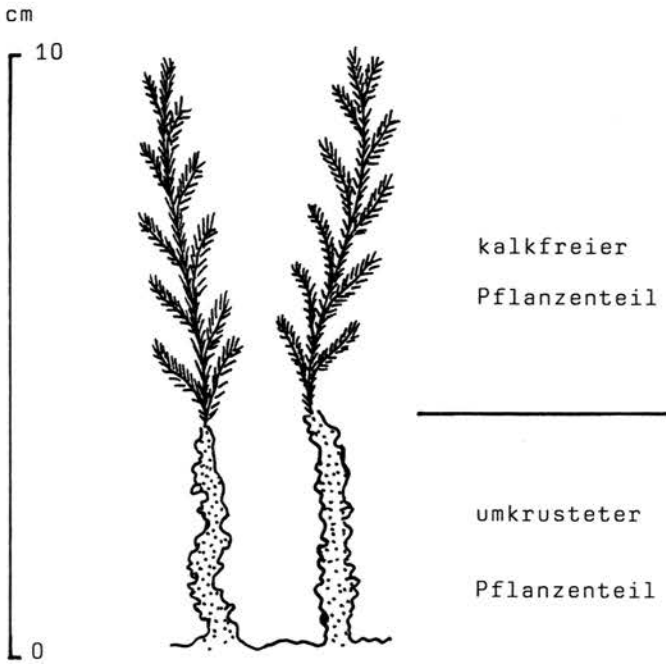


Abb. 13: Schematische Darstellung des Astmooses Cratoneurum
(nach: VOIGTLÄNDER, 1965)

Photo 1:
Detailansicht der Tuff-
kaskade "Hohen Brunnen"
mit rezenten Formen im
Vordergrund sowie dem
baumbestandenem fossi-
len Teil im Bildhinter-
grund (Blickrichtung:
NE).

Aufnahmedatum: 19.04.86



Altersstellung der Tuffe

Eine direkte Bestimmung der Alter der Tuffe war weder im Gelände - ganz im Gegenteil etwa zur Tuffrinne beim benachbarten Erasbach (SCHIEBER, 1987; GLASSL/SCHIEBER, in Arbeit) - noch durch eine Analyse von Tuffproben möglich. Eine Beurteilung der Altersstellung der Tuffe muß sich deshalb auf die Datierung vergleichbarer Vorkommen, d.h. an Paralleluntersuchungen, die die Literatur nennt, orientieren. Für die Tuffe von Hohenbrunnen gilt ferner der problematische Umstand, daß zwischen einem rezenten und einem subrezenten Teil des Tuffkörpers zu unterscheiden ist (vgl. Kap. 3.1.). Da also Aufbau- und Verwitterungsvorgänge im Tuff nebeneinander und in unmittelbarer Nachbarschaft ablaufen, würden genauere Altersbestimmungen an den Tuffen (z.B. Radio-carbon-Methode; Pollenanalyse, die in Tuffen wegen des geringen Pollengehalts bisweilen ausfällt; u.a.) sowohl in horizontaler Richtung (Ausdehnung), als auch in vertikaler Richtung (Mächtigkeit) ein äußerst variierendes Bild ergeben.

Eine an dieser Stelle also nur grob vornehmbare Alterseinschätzung der Tuffe von Hohenbrunnen kann auf Untersuchungen von GROSCHOFF (1952) aufbauen, der für vergleichbare Tuffe in Württemberg postglaziales, d.h. holozänes Alter annimmt. Bei ähnlichen Vorkommen in Württemberg geht STIRN (1964) von einem Bildungsbeginn im Präboreal (10300 - 8800 v. Chr.) aus. Spätere Bildungsphasen sind nach seiner Auffassung an wärmere Phasen der holozänen Klimaentwicklung gebunden (intensivere Kalkfällung unter wärmeren Bedingungen, z.B. während des Atlantikums, 7500 - 4500 v.Chr.). Damit ist auf ein Oszillieren der Intensität der Tuffentwicklung hingewiesen, wodurch eine Konstanz im Tuffwachstum in der Zeit auszuschließen ist (Wechsel stärkerer und schwächerer Tuffausscheidungen).

Die Angaben STIRN'S ergeben für den Tuffkörper von Hohen Brunnen eine akzeptable Vorstellung der Alterseinschätzung, zumal der o.g. Wechsel in der Dynamik der Tuffbildung in den Bohrungen durch dichte und lockere Tufflagen festgestellt werden konnte. Der Einschätzung einer nur unbedeutenden rezenten Tuffbildung kann jedoch nicht gefolgt werden, da etwa in den Moospolstern Einhüllungen der unteren Moosteile durch Tuff, wie sie auch VOIGTLÄNDER (1965, 1966, 1968) beschreibt, und in den Tuffwannen Versinterung abgestorbener Pflanzenreste rezent erfolgt. Damit muß für den rezenten Teil des Tuffkörpers von Hohen Brunnen von einer gegenwärtig andauernden Weiterbildung ausgegangen werden, wie dies etwa auch bei der Tuffrinne von Erasbach (SCHIEBER, 1987; dortiges mittleres Rinnenwachstum in den vergangenen 40-50 Jahren ein Zentimeter pro Jahr) gilt.

Auf ähnliche großräumige Bildungszeiten weisen auch GLÜCKERT (1973) und JERZ (1983) hin, die Tuffalter mit Hilfe der Altersbestimmung von Basistorfen unter Tufflagen in Südbayern bestimmen konnten.

5. Der Burgstall "Hohen Brunnen"

Die Existenz der beiden Quellen ist nicht nur morphologisch, sondern auch kulturhistorisch von Bedeutung.

Die Schutzlage am steilen Hang einer tiefen Einbuchtung des Albrandes, der durch die Kalktuffablagerungen bedingte, plateauähnliche Vorsprung an diesem Hang, sowie das Vorhandensein des (ganzjährig fließenden) Wassers waren ideale Voraussetzungen zur Anlage einer Burg.

Der heute in seinen Grundmauern noch sichtbare Burgstall ist der Rest einer Burganlage der Herren von Hohen Brunnen, die 1144 erstmals erwähnt werden. Ein halbkreisförmiger Wall von ca. vier Meter Höhe schließt das Areal, das eine Ausdehnung von etwa 60 m Durchmesser besitzt (s. Abb. 2), auf der ungeschützten, hangaufwärtigen Seite ab. Ein etwa sechs Meter breiter Graben ist dem Wall vorgelegt. Das Auswurfmaterial diente zusammen mit großen Kalkplatten des Malms zum Aufbau des Walles.

Der heute verfüllte Graben wird durch den jetzigen Verlauf der beiden Quellbäche nachgezeichnet, deren Wasser einst im Graben aufgestaut war. Dazu wurde das Wasser der Quelle 1 nach W abgeleitet. Mit Errichtung des Burgstalls steht also in engem Zusammenhang, daß die vormals großflächige Tuffbildung nun auf einen kleineren, den rezenten Bereich konzentriert wurde.

Der Innenraum der Anlage zeigt heute keine festen Konturen mehr, nur die starken Grundmauern des ehemaligen Burgfriedes sind noch deutlich sichtbar.

Hohlwege bei Sollngriesbach verweisen auf ein altes Wegenetz, das vom Sulztal hinauf zur Jurahochfläche führte.

Tuffe wurden früher auch im Berchinger Raum abgebaut und als Bausteine verwendet. Feingeriebener Tuffsand diente als Scheuermittel und für Düngezwecke. Heute verwendet man Tuffe meist nur noch zu Natursteinverkleidungen und für dekorative Zwecke (Denkmäler). Zerquetscht und zermahlen bildet Tuff die Grundlage der Hohlblocksteine.

Schlußbemerkung

Die Tuffkaskade Hohen Brunnen stellt eine in unserer Gegend einmalige Naturerscheinung dar, deren Schutz und Erhaltung uns allen ein Anliegen sein sollte. Bestrebungen, die die Ausweisung des Waldgebietes bei Sollngriesbach, in dem die Kaskade liegt, zu einem Naturschutzgebiet als Ziel haben, können nur begrüßt werden. Es sollte aber auch daran gedacht werden, daß der Fortbestand dieser Tuffkaskade nur dann gewährleistet wird, wenn sie weiterhin vom kalkreichen Quellwasser überflossen wird. Deshalb ist es nicht nur notwendig, den Kaskadenbereich vor dem Betreten zu schützen, wie es seit einiger Zeit auch getan wird, sondern es muß zugleich sichergestellt sein, daß weiterhin Wasser aus den Quellen zur Verfügung steht.

Eingehendere Untersuchungen (s. Kap. 3) könnten wichtige Beiträge zur Klima- und Vegetationsentwicklung, insbesondere zur Waldgeschichte dieses Bereiches der Südlichen Frankenalb liefern.

Unser besonderer Dank gilt Herrn Franz, Forstdienststelle Burggriesbach, für seine Unterstützung, sowie den Herren Krauss und Engelmann, Berching, die uns wertvolle Hinweise gaben.

Literatur:

- BATSCHKE, H. (1971): Karsthydrologische Untersuchungsmethoden. in: *Geologica Bavarica* 64: 132-166.
- BAYER. LANDESVERMESSUNGSAMT (Hrsg.) (1965): TK 25, Blatt Nr. 6834 Berching. München.
- DAVIS, A.M. (1984): Dating With Pollen: Methodology, Applications, Limitations. in: Mahaney, W.S. (ed.) (1984): *Quaternary Dating Methods. Development in Palaeontology and Stratigraphy 7*; Amsterdam, Oxford, New York, Tokio.
- DUNZINGER, G. (1938): Wachsende Steine, wachsende Rinnen. in: *Umschau in Wissenschaft und Technik* 31: 699-701.
- GLASSL, R. u. M. SCHIEBER (1989): Die Tuffrinne von Erasbach. (in Vorbereitung).
- GLÜCKERT, G. (1973): ^{14}C -Alter eines interstadialen Torfes in der postglazialen Hammerau-Terrasse und eines Moores unter Kalktuff bei Tittmoning an der Salzach/Oberbayern. in: *Eiszeitalter und Gegenwart* 23/24: 371-376.
- GROSCHOFF, P. (1952): Pollenanalytische Datierung württembergischer Kalktuffe und der postglaziale Klimaablauf. in: *Jahresheft Geol.Abt. Württemberg, Statist. Landesamt* 2: 72-94.
- HERRMANN, H. (1957): Die Entstehungsgeschichte der postglazialen Kalktuffe der Umgebung von Weilheim (Oberbayern). in: *Neues Jb. Geol. u. Paläont. Abh.* 105: 11-46; Stuttgart.
- JACKSON, D.D. (1983): Höhlen. in: *Time Life Bücher, Reihe: Der Planet Erde*; Amsterdam.
- JERZ, H. (1981): Kalkabsätze in der Umgebung von Weilheim i. OB. in: *Weilheimer Heimatblätter* 3: 29-38; Weilheim.
- JERZ, H. (1983): Kalksinterbildungen in Südbayern und ihre zeitliche Einstufung. in: *Geol. Jb.* A71: 291-300; Hannover.
- ORTSCHRONIK Sollngriesbach (1984)
- SCHREIBER, S. (1958): Geologische Aufnahme der Umgebung von Berching (Südliche Frankenalb). in: *Erlanger Geol. Abh.* 28.

- SCHIEBER, M. (1987): Südliche Frankenalb. in: Popp, H. (Hrsg.): Geographische Exkursionen im östlichen Bayern. Passauer Schriften zur Geographie 4: 128-134; Passau.
- SCHMIDT-KALER, H. (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 6834 Berching. München.
- SEITZ, F. (1974): Die "steinernerne Wand" bei Sollngriesbach. in: Die Oberpfalz 12: 367.
- SHACKLEY, M.L. (1979): Climate history preserved in calcite. in: Geographical Magazine, Vol. LI, N^o. 4: 301-304.
- STEINBERGER, A. (1967): Der "wachsende Stein" von Usterling. in: Beiträge zur Heimatkunde von Niederbayern 1: 21-34; Landshut.
- STIRN, A. (1964): Kalktuffvorkommen und Kalktufftypen der Schwäbischen Alb. in: Abh. z. Karst- u. Höhlenkunde Reihe E, 1; München.
- VOIGTLÄNDER, W. (1965): Die "Steinernen Rinnen" auf der Baum-Alm. in: Blätter für Naturschutz Bd.45; 1: 11-17.
- VOIGTLÄNDER, W. (1966): Die "Steinerne Rinne" bei Wolfsbronn. in: Geol. Blätter für Nordost Bayern 16: 50-55.
- VOIGTLÄNDER, W. (1968): Der Wachsende Stein in Usterling. in: 25. Bericht des Naturwiss. Ver. Landshut: 9-26.
- WALLNER, J. (1934): Über die Beteiligung kalkablagernder Pflanzen bei der Bildung südbayerischer Tuffe. in: Bibliotheca Botanica 110; Stuttgart.
- WOLF, G. (o.J.): Chronik von Berching. "1100 Jahre Berching". (unveröffentlicht).

