

Morphologische und vegetationsanalytische Untersuchungen an rezenten Kalktuffen im Keupergebiet des südlichen Schönbuchs¹⁾

VON WOLFGANG FREY und WILFRIED PROBST

A. Einleitung

Die Tufflager im württembergischen Keupergebiet sind wegen ihrer geringen Mächtigkeit nur wenig beachtet worden. Für den südlichen Schönbuch, das Goldersbachbergland, finden sich nur spärliche Angaben in der Literatur. KARRER (1864, S. 158) erwähnt einen Kalktuffklotz im Kirnbachtal, SCHNEIDERHAN (1904, S. 33) einen Kalktuff im Arenbachtal südlich vom Dickenberg. A. SCHMIDT (1921, S. 44, 56 und 1923, S. 39) gibt auf dem Blatt Aidlingen der Geologischen Spezialkarte 1 : 25000 ein Kalktuffvorkommen im Kaltental (westlich des Punktes 536,0 an der Straße Herrenberg—Hildrizhausen) an; ferner auf dem Blatt Herrenberg eines am Bruderbrunnen (ESE von Hohenentringen). J. STEMMER (1924) und M. SCHMIDT (1930) dürften einzelne Vorkommen bekannt gewesen sein. M. SCHMIDT (1930, S. 138) schreibt: „ihre Entwicklung ist an keiner Stelle auf dem Blatt Tübingen so erheblich, daß sie eine Ausscheidung auf der Karte lohnte“.

¹⁾ Herrn Prof. Dr. K. MÄGDEFRAU zum 65. Geburtstag gewidmet.

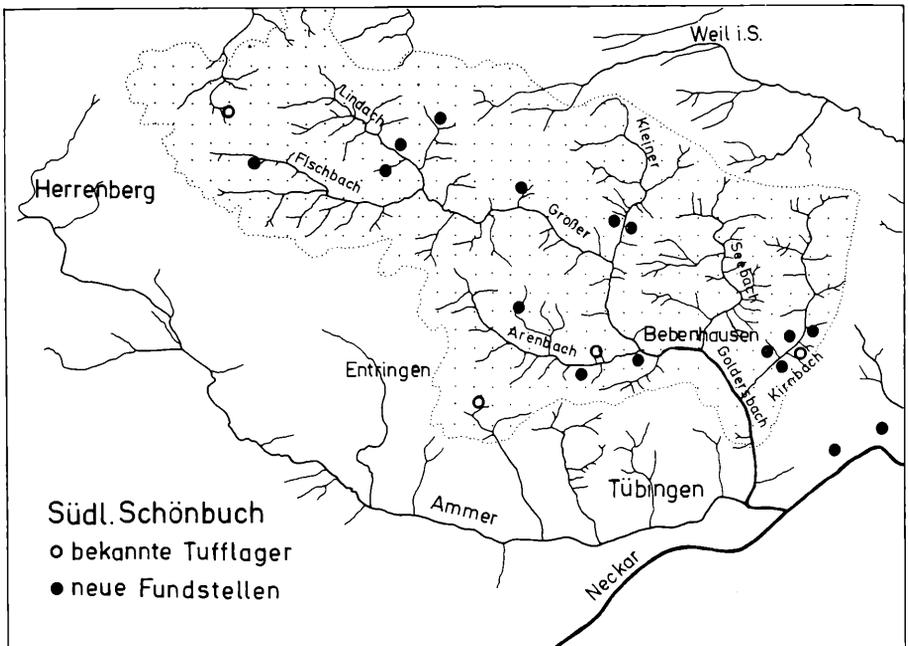


Abb. 1: Kalktufflager im südlichen Schönbuch

In den letzten Jahren haben wir im Gebiet des südlichen Schönbuschs eine Anzahl von Kalktufflagern von z. T. größerer Mächtigkeit festgestellt (Abb. 1). Für Hinweise sind wir den Herren H. LOH und H.-J. MAYER dankbar.

B. Die geologische und hydrologische Situation im Bereich der Tuffbildungsstätten

Der südliche Schönbusch baut sich aus dem Schichtpaket des Mittleren (Gipskeuper, Bunte Mergel, Stubensandstein und Knollenmergel) und Oberen Keupers (Rhät) auf. Die Hochfläche wird überwiegend vom Stubensandstein eingenommen (Abb. 2).

Alle bisher bekannten Kalktufflager liegen im Stubensandstein oder an der Grenze Stubensandstein/Bunte Mergel. Die genaue Feststellung der Schichtenfolge bereitet Schwierigkeiten, da ein vollständiger Aufschluß in der Nachbarschaft einer Tuffbildungsstätte fehlt. Im Klingensystem der Staffeldole und im Buchgraben ist jedoch die für den Stubensandstein angegebene Wechsellagerung (vgl. STOLL 1929, Profile XIV—XXIV für den Schönbusch) von plattigen Sandsteinen, teils tiefroten Mergellagen und massigen Sandsteinen, die im oberen Teil des mittleren Stubensandsteins (Herrenberger Sandsteine) vorkommen, deutlich erkennbar.

Wichtigste Voraussetzung für die Bildung von Kalktuff ist ein relativ hoher Karbonatgehalt des Wassers. Dieser kann sich nur einstellen, wenn das Quellwasser vor seinem Austritt karbonathaltige Schichten durchdringt.

Im Stubensandstein treten neben der Kieselsäure, die nur eine untergeordnete Rolle spielt, vor allem Kaolin und kohlenaurer Kalk als Bindemittel auf. Die Sandsteine mit karbonatischem Bindemittel, bei denen der Karbonatgehalt bis zu 30—50 Gew.-% betragen kann (HELING 1963—1964, S. 253), sind für die Tuffbildung entscheidend.

Der Stubensandstein ist der Hauptwasserträger des Gebiets. Die grobkörnigen Sandsteine sind im Gegensatz zu den dazwischenliegenden tonreichen Mergelschichten wasserdurch-

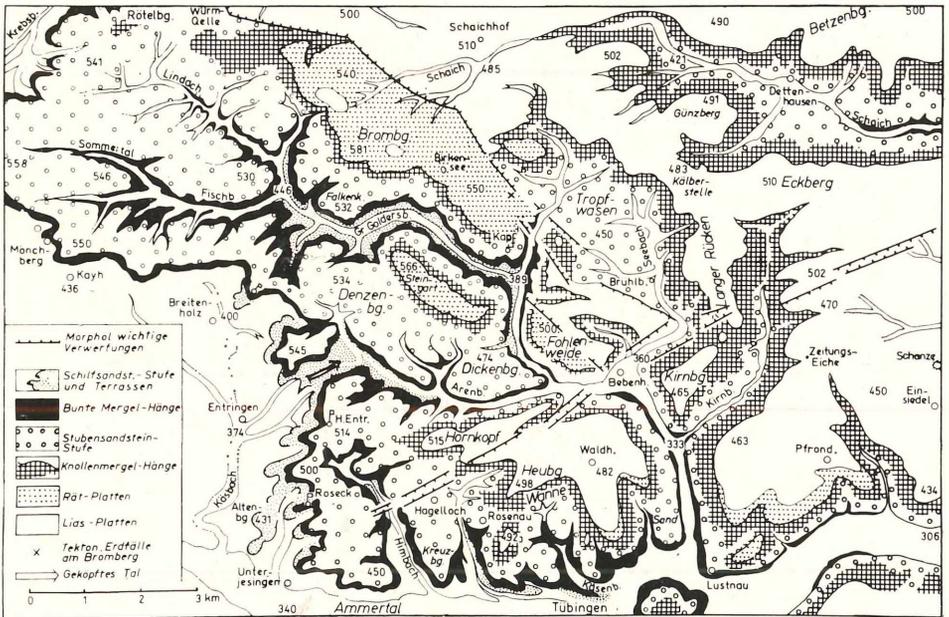


Abb. 2: Bau und Oberflächenformen des Schönbuschs
Aus H. GREES „Der Schönbusch“ S. 14 (F. HUTTENLOCHER)

lässig. Über den Mergelschichten und an der Grenze zu den Bunten Mergeln kommt es zu einem Wasserstau und zur Bildung von Quellhorizonten. Hier liegen die weitaus meisten Quellen der Schönbuchbäche.

Bisher ist höchstwahrscheinlich nur ein kleiner Teil der Tufflager im Schönbuch bekannt. Man kann annehmen, daß vor allem im Quellbereich noch eine größere Anzahl von Tuffen existiert.

Unter den aus der Literatur bekannten und von uns beobachteten Tufflagern nimmt der Tuff im Klingensystem der Staffeldole (Blatt Tübingen 7420, NNE des Punktes 426,8) eine herausragende Stellung ein. In der vorliegenden Arbeit greifen wir exemplarisch diesen relativ mächtigen Tuff heraus und zeigen an ihm die Voraussetzungen für die Bildung von Kalktuffen im Keupergebiet, die Morphologie und die Vegetation des Tuffes auf.

C. Chemische Voraussetzungen für die Bildung von Kalktuffen

1. Anreicherung von Ca^{++} -Ionen im Wasser

Das Regenwasser nimmt aus der Luft und aus den obersten humosen Bodenschichten CO_2 und organische Säuren (Humussäuren) auf. Da etwa 0,1% des im Wasser gelösten CO_2 als H_2CO_3 vorliegen, stellt das Wasser beim Eindringen in das Gestein eine schwache Kohlensäure-Lösung dar.



Dies bewirkt — zusammen mit den H^+ -Ionen der organischen Säuren —, daß sich Calciumkarbonat wesentlich besser löst als in reinem Wasser.

Begründung:

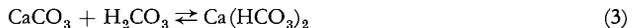
Da die Dissoziationskonstante der Kohlensäure äußerst niedrig ist ($K_2 = 5,2 \cdot 10^{-11}$) können die durch die Dissoziation des CaCO_3 und der H_2CO_3 gebildeten H^+ - und CO_3^{--} -Ionen bei größerer Konzentration nicht mehr nebeneinander bestehen. Sie müssen sich zu Bikarbonationen (HCO_3^-) vereinigen.



Das Gleichgewicht dieser Reaktion liegt umso mehr auf der rechten Seite, je saurer das Wasser ist. Neben der Kohlensäure tragen also noch andere Säuren zur Bikarbonatbildung bei.

Da auf diese Weise die CO_3^{--} -Ionen-Konzentration abnimmt, muß, damit das Löslichkeitsprodukt $c_{\text{Ca}^{++}} \cdot c_{\text{CO}_3^{--}} = L$ konstant bleibt, die Zahl der gelösten Calciumionen zunehmen.

Diese Vorgänge lassen sich in der Gleichung



zusammenfassen. Die Menge des gelösten Kalksteins ist zum einen von der Menge der gelösten Kohlensäure und damit auch indirekt von der Menge des gelösten CO_2 und zum anderen von der H^+ -Ionen-Konzentration abhängig.

Die Löslichkeit des CO_2 im Wasser ist umso größer, je größer der CO_2 -Partialdruck der mit dem Wasser im Gleichgewicht stehenden Gasphase und je niedriger die Wassertemperatur ist.

2. Bedingungen, die zur Ausfällung von Kalkstein führen

Alle Veränderungen, die das Gleichgewicht der Gleichung (2) auf die linke Seite verschieben, führen zur Ausfällung von Kalk. Zum einen ist dies eine Verringerung des im Wasser gelösten CO_2 , zum anderen eine Verminderung der H^+ -Ionenkonzentration.

Bedingungen, die diese Veränderungen bewirken, wollen wir als chemisch-physikalische Faktoren der Kalktuffbildung bezeichnen, z. B.

1. Erwärmung des Wassers nach dem Quellaustritt
2. Druckentlastung des Wassers beim Austritt
3. Verringerung des CO_2 -Partialdrucks der Luft beim Quellaustritt
4. Verringerung der CO_2 -Konzentration im Wasser durch assimilierende Pflanzen
Vergrößerung der Grenzfläche Wasser/Luft (in Verbindung mit 1.—4.)

Da sich das Gleichgewicht (2) nur sehr langsam einstellt (nach OHLE 1952, zit. in STIRN 1964, kann dies „Wochen bis Monate“ dauern), ist für die Intensität der Kalkausfällung noch von Bedeutung, wie lange das übersättigte Wasser an einer bestimmten Stelle festgehalten wird. Zudem ist für die Ablagerung des bereits ausgefällten CaCO_3 die Beschaffenheit des Substrats und seine Eignung als Niederschlagsmedium wichtig. Eigenschaften des überrieselten oder überflossenen Substrates, die in diesem Sinne eine Kalkablagerung begünstigen, sollen als morphologische Faktoren zusammengefaßt werden, z. B.

1. Wasserspeichernde Wirkung von Moosen und Algen-Gallerten
2. Algengallerten und -schleime als Niederschlagsmedien
3. Reusenwirkung der Wassermoose für herangetriebene Calcitkristalle.

D. Meßergebnisse

	30. 9. 1971	7. 10. 1971
1. Wassertemperatur		
Oberhalb des Tuffs	10,5° C	10,0° C
Quellhorizont	9,8°	10,0°
Punkt F (Bachlauf) (Abb. 4)	11,0°	10,1°
<i>Cratoneuron</i> -Tuff (Punkt E)	—	11,0°
Unterhalb des Tuffs (Punkt A)	10,8°	10,5°
2. pH-Werte (Messung mit einem Batteriegerät mit Glaselektrode)		
Zwischen Punkt E und F (Bachlauf)		8,4
Punkt E		8,2
Punkt D		8,5
Punkt B		9,0
Punkt A		8,8
Unterhalb des Tuffs		8,7
3. Härte (Gesamthärtebestimmung mit Aquamerck)		
Oberhalb des Tuffs	16 dH	—
Quellhorizonte	20 dH	19 dH
Punkt C (Bachlauf)	—	20 dH
Zufluß bei Punkt B	—	17 dH
Unterhalb des Tuffs	19 dH	21 dH, 20 dH
4. Wasserführung des Baches unterhalb des Tuffs nach der längeren Trockenperiode im Herbst 1971: 1/4 l/sec am 7. 10. 1971.		

Da der Tuff nur eine räumlich kleine Fläche einnimmt, sind die zu erwartende Erhöhung der Wassertemperatur, die Zunahme des pH-Wertes und die Abnahme der Gesamthärte, nur bedingt auszumachen.

Die Meßergebnisse lassen erkennen, daß sich innerhalb der Tuffbildungsstätte mit Entfernung vom Wasseraustritt die Wassertemperatur und der pH-Wert erhöhen und die Gesamthärte abnimmt. Widersprüchlich erscheinen die niedrige Wassertemperatur, der niedrige pH-Wert und die relativ hohe Gesamthärte des Wassers am Ende des Tuffs. Dies läßt sich leicht damit erklären, daß im unteren Bereich der Untersuchungsfläche relativ sehr viel Wasser am Hang austritt, aber die Tuffbildung nur in Ansätzen vorhanden ist.

E. Chemische Zusammensetzung des Kalktuffs

Röntgendiffraktogramme, die uns Herr Dr. G. IRION vom Laboratorium für Sedimentforschung in Heidelberg freundlicherweise von einer jüngeren und einer älteren Kalktuffprobe

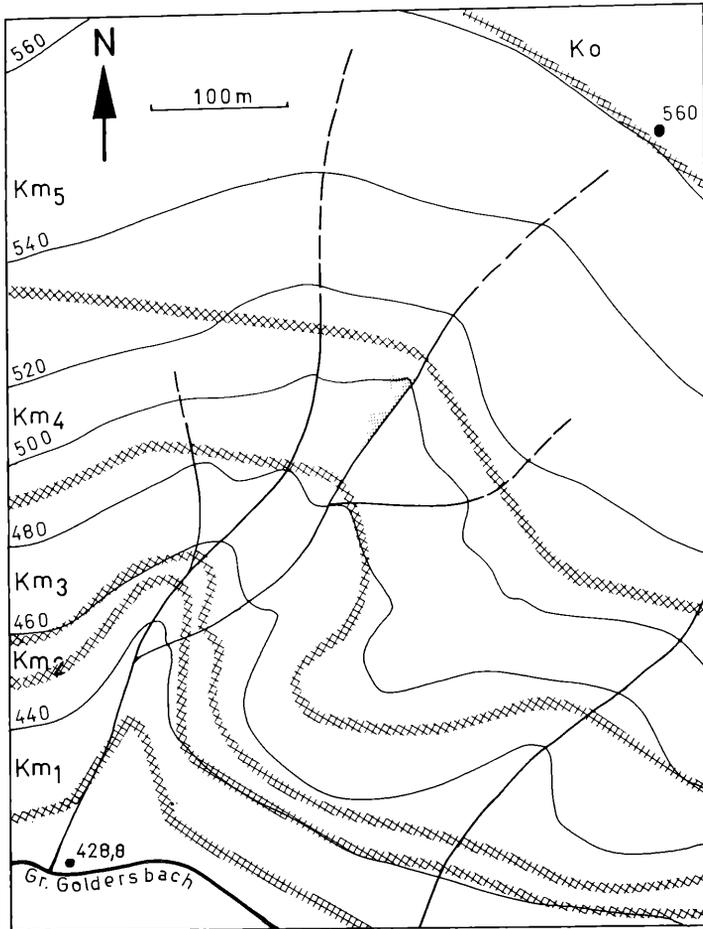


Abb. 3: Das Klingensystem der Staffeldole

km₁ Gipskeuper, km₂ Schilfsandstein, km₃ Bunte Mergel, km₄ Stubensandstein, km₅ Knollenmergel, ko Rhätsandstein

anfertigte, ergaben, daß die Proben praktisch aus reinem Calcit bestehen. Gips oder andere SO_4^{--} -Ionen, wie etwa Coelestin (SrSO_4), waren röntgenographisch nicht nachweisbar. Ferner ergab die Untersuchung keine Besonderheiten in Bezug auf Mg.

Die Probe des jüngeren Kalktuffs wies einen geringeren Quarzgehalt auf als die des älteren.

F. Morphologie des Tuffs in der Staffeldole

Die Kalktuffvorkommen werden nach der Stelle ihres Auftretens im Gewässer und nach ihrer Morphologie in Quell-, Bach-, Tal- und Gehängetuffe sowie Mündungskegel unterschieden.

Die Wasserschüttung der meisten Schönbuchquellen ist sehr gering. Oft sickert das Wasser in \pm flächig ausgedehnten Quellhorizonten aus dem Boden. In solchen Fällen kommt es unmittelbar beim Austritt des Wassers zur Bildung von Quelltuffen. Von der Schwäbischen Alb sind keine vergleichbaren Tuffbildungen beschrieben.

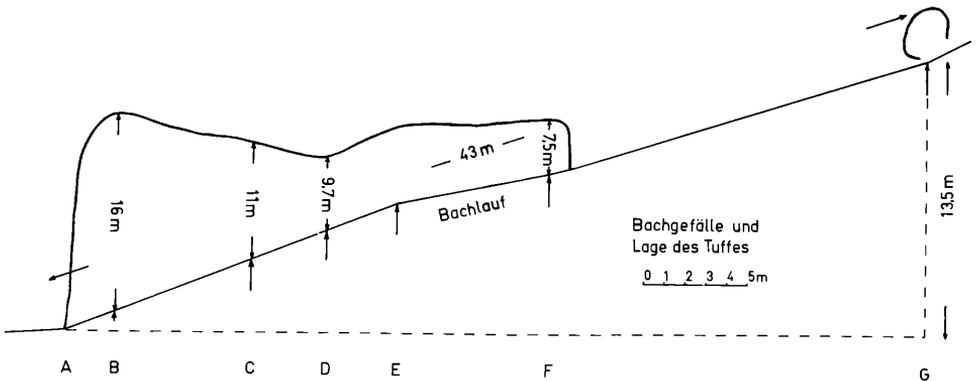


Abb. 4: Bachgefälle und Lage des Tuffes

Selten sind dagegen Bachtuffe, die an Stellen mit besonders starkem Gefälle auftreten und Ansätze von Gehängetuffen an überrieselten Sandsteinfelsen.

Das Klingensystem der Staffeldole (Abb. 3) besteht aus zwei Haupttästen. Die beiden Bäche entspringen in 550 bzw. 560 m Höhe im Knollenmergel, vereinigen sich in 438 m Höhe und münden beim Punkt 426,8 in den Großen Goldersbach.

Auf etwa 700 m Länge wird ein Höhenunterschied von 135 m überwunden. Die Wasserführung der beiden Bäche ist nur im Frühjahr und nach starken Regenfällen bedeutend. Während der Untersuchungszeit (sehr trockener Sommer und Herbst 1971) waren die oberen Bachläufe trocken. Erst verschiedene Quellen in den Mergellagen des Stubensandsteins führten den Klingen Wasser zu.

Der orographisch linke Quellast ist in den Knollenmergelhang seicht eingeschnitten. Er stürzt beim Erreichen des Stubensandsteins über kleine Stufen zu Tal und wird hier durch die Quellhorizonte mit weiteren Zuflüssen gespeist. Nach einem kurzen, flachen Verlauf hat sich der Bach tief in die Bunten Mergel eingeschnitten. Durch die sich anschließende Schilfsandsteinstufe und den Gipskeuper fließt er dem Goldersbach zu.

Der Tuff liegt im Stubensandstein zwischen 490 und 505 m Höhe auf der orographisch rechten Talseite (Abb. 3). Von der unteren Grenze des Stubensandsteins (Punkt A, Abb. 4), die durch eine deutliche Sandsteinbank markiert wird, zieht sich der Tuff bis zu dem 13,5 m höher gelegenen Punkt F, wo massige Sandsteine anstehen. Auf dieser Strecke ist der Bachlauf mit Sandstein- und Tuffbrocken verblockt.

Bei Punkt B (Abb. 5a) beträgt die seitliche Ausdehnung des Tuffes 16 m, der Höhenunterschied 9,5 m. Der Hang oberhalb des Tuffes und der auf der gegenüberliegenden Bachseite sind 40° geneigt. In Abb. 5a sind die hier vorhandenen, wenig mächtigen *Cratoneuron-commutatum*-Polster mit geringer Tuffbildung eingetragen.

Bei Punkt C (Abb. 5b) dehnt sich der Tuff über 11 m bei einem Höhenunterschied von 5,5 m aus. Das Profil zeigt von oben beginnend einen mächtigen Tuffklotz, der den Ansatz eines Gehängetuffes darstellt. Der nachrutschende Hang hat auf der Oberseite eine 0,5 m mächtige Mergelschicht aufgeschüttet. Das Wasser, das von den Moospolstern an der Stirn abtropft, schlägt 1,8 m tiefer auf. Daran schließen sich in Richtung Bachlauf wieder flächig ausgebildete 0,5 bis 1 m mächtige Tufflager an.

Die Tuffbildungsstätte hat bei Punkt D (Abb. 5c) noch eine Ausdehnung von 9,7 m; der Höhenunterschied beträgt 3,1 m. Der obere Teil ist verschüttet, im unteren konnte eine Tuffmächtigkeit von 1 bis 1,5 m festgestellt werden. Der Tuffklotz am Bachrand zeigt keine rezente Tuffbildung. Der Neigungswinkel des orographisch linken Hanges beträgt 40° , der

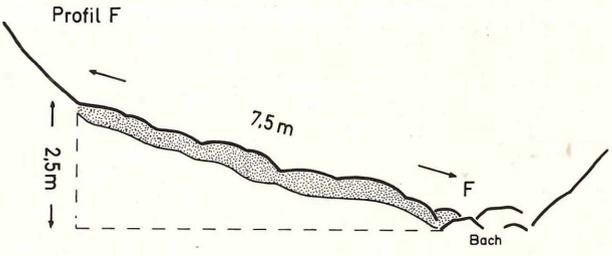
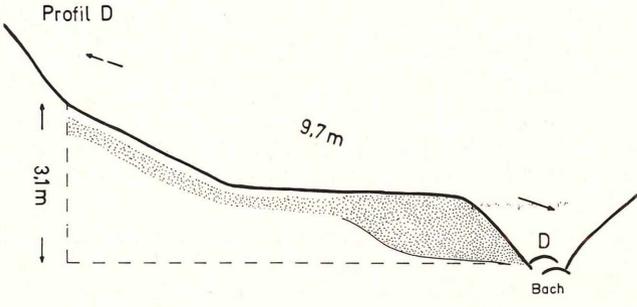
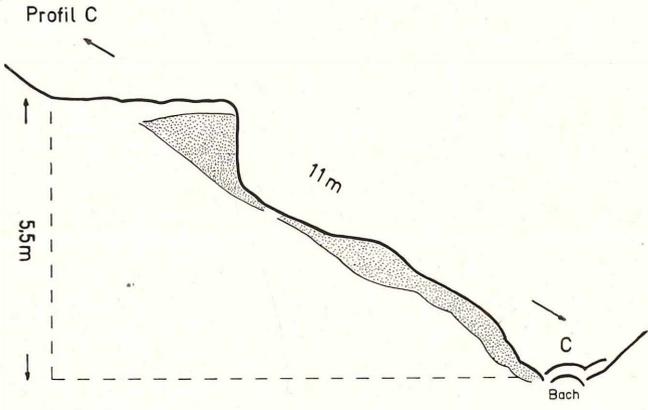
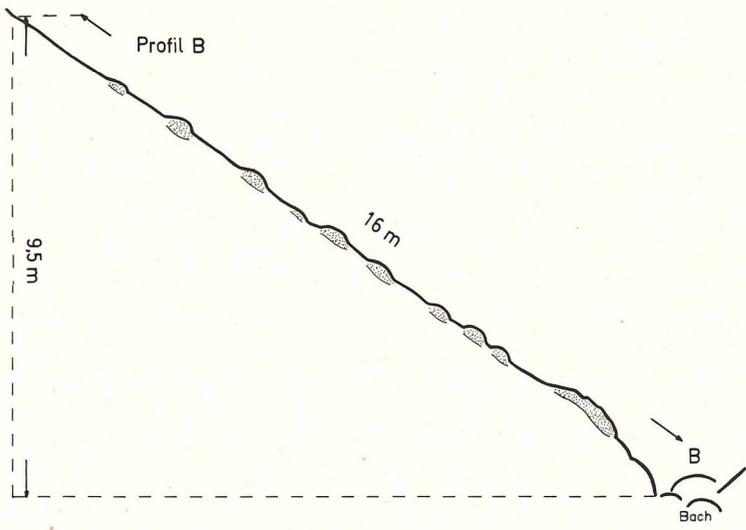


Abb. 5a—d: Profile B, C, D, F

des orographisch rechten, sich an den Tuff anschließenden, 50°. Dies ist ein Hinweis dafür, daß aus den Schichten der rechten Seite bereits sehr viel Material abtransportiert wurde. Das Profil bei Punkt F (Breite des Tuffs 7,5 m, Höhenunterschied 2,5 m) (Abb. 5d) geht durch die Zone aktivster rezenter Tuffbildung. Es zeigt einen typischen Quelltuff, der eine Mächtigkeit von 0,5 m erreicht hat. Diese starke rezente Tuffbildung wird durch folgende Faktoren begünstigt:

1. Relativ starke Wasserschüttung an dieser Stelle.
2. Kräftige Sonneneinstrahlung, die das Wasser in den *Cratoneuron*-Polstern ziemlich stark erwärmt (vgl. Meßergebnisse).
3. Die Neigung des Tuffs ist an dieser Stelle gering (2,5 auf 7,5 m), so daß die Moospolster sehr langsam durchsickert werden.

Die Hangneigung beträgt auf beiden Seiten jeweils 45°.

Bei Punkt G steht neben dem Bachbett ein mächtiger, dicht mit *Cratoneuron commutatum* überzogener Sandsteinklotz. Ein mitinkrustierter umgefallener Baumstamm zeigt, daß die Tuffbildung hier wohl frühestens vor 10 Jahren eingesetzt hat.

G. Die Vegetation der Schönbuch-Kalktuffe

1. Tuffbildner und Tuffbildung

Man bezeichnet nur solche Arten als Kalktuffpflanzen, die die Inkrustierung durch Kalk zu überleben vermögen und daraus einen Vorteil über Konkurrenten erlangen (GRÜNINGER 1965). Da sie außerdem die Kalktuffbildung begünstigen oder beschleunigen, werden sie auch als „tuffbildende Pflanzen“ bezeichnet.

Von den Tuffen der Schwäbischen Alb sind als wichtige Tuffbildner unter den Cyanophyceen die Gattungen *Lyngbya* und *Phormidium*, unter den Phycophyten die Gattungen *Vaucheria*, *Cladophora* und verschiedene Diatomeen und unter den Bryophyten *Cratoneuron commutatum*, *Cr. filicinum* (in schwächerem Maße), *Platyhypnidium riparioides*, *Brachythecium rivulare*, *Eucladium verticillatum*, *Bryum pseudotriquetrum* und *Didymodon tophaceus* zu nennen (STIRN 1964).

Ebenso wie auf der Schwäbischen Alb dominieren auch im Schönbuch bei der Tuffbildung die Vertreter der pleurokarpn Laubmoose. Besonders häufig sind *Cratoneuron commutatum*-Polster, die an vielen Stellen eine gerade erst beginnende Tuffbildung erkennen lassen.

Die optimale Ausbreitungsfähigkeit von *Cratoneuron commutatum* wird durch die Flüchtigkeit der Quellhorizonte, die geringe Wasserführung an diesen Stellen, durch die die Polster vollständig durchtränkt, aber nicht überspült werden, ermöglicht. Dadurch ist das schnelle Spitzenwachstum der Sprosse gewährleistet. Hinzu kommt, daß durch die starke Verzweigung dieser Art das Wasser relativ lange festgehalten wird, was für die Einstellung des Gleichgewichtszustandes zwischen dem im Wasser gelösten und gasförmigen CO₂ wesentlich ist. Außerdem ist die Reusenwirkung der Moosästchen für das Festhalten der herangetriebenen Calcit-Kristalle von Bedeutung.

Durch die ständige Inkrustierung an der Basis werden sehr schnell Aufwölbungszonen geschaffen.

Wegen der geringen Wasserschüttung der Quellen und der in diesem und im Abschnitt H beschriebenen Verschüttungen haben sich mehr als 1 m hohe Kalktuffbarren nur an wenigen Stellen gebildet. Mit dem Mächtigerwerden stellen sich auf den Tuffblöcken weitere Tuffbildner ein, so z. B. *Vaucheria*-Polster zwischen den Moosrasen, *Bryum pseudotriquetrum* und, wenn der Tuff versintert (z. B. in der Staffeldole), *Eucladium verticillatum*. Diese Art bevorzugt Standorte, die nur mäßig mit Wasser benetzt werden.

An den wenigen Stellen mit stärker fließendem Wasser siedelt sich *Platyhypnidium riparioides* an. An den Randbereichen der Tuffe und an den Stellen, an denen die Tuffbildung aussetzt, treten *Cratoneuron filicinum* und *Pellia fabbroniana* auf.

Ob die Tuffpflanzen über die Assimilation direkt auf den CO_2 -Gehalt des Wassers einwirken, ist nach unserer Ansicht bis heute nicht mit Sicherheit entschieden. Es lag nicht im Rahmen dieser Arbeit, darauf näher einzugehen.

2. Die Pflanzengesellschaften des Tufflagers im Klingensystem der Staffeldole

a. *Cratoneuron commutatum*-Gesellschaft (*Cratoneuron commutati* s. str. POELT 1954)

Diese Gesellschaft tritt überwiegend im Quellbereich, in schwach fließendem Wasser und in der Spritzwasserzone von Bächen und Wasserfällen auf. Sie ist auf dem Tufflager im Klingensystem der Staffeldole im Bereich der Profile an den Punkten C und zwischen D und E ausgebildet, außerdem am Punkt F. Zwischen den *Cratoneuron commutatum*-Polstern, die etwa 3/4 der Fläche bedecken, kommen *Platyhypnidium riparioides*, *Bryum pseudotriquetrum* und *Eucladium verticillatum* vor. Begleiter sind *Fissidens pusillus*, *Seligeria pusilla*, *Pellia fabbroniana*. Der Algenbewuchs, der den Ästen der basal stark mit Kalk inkrustierten Moosen aufsitzt, wurde nicht näher untersucht.

Das *Cratoneuron commutati* ist charakteristisch für die Quelltuffe des Schönbuchs.

b. *Phragmites communis*-*Eupatorium cannabinum*-Gesellschaft

Neben den eigentlichen Tuffpflanzen kann man an verschiedenen Tuffbildungsstätten im Schönbuch — besonders deutlich am Tuff im Klingensystem der Staffeldole — eine charakteristische Folgegesellschaft unterscheiden. Durch die im Stubensandstein anstehenden Mergelschichten und die damit zusammenhängende starke Wasserdurchtränkung des Bodens, kommt es häufig zu Hangrutschen mit Verschüttungen der Tuffflächen. Dies trat im unteren Teil des Staffeldolentuffs und im Bereich der Profile an den Punkten B und C ein. Dadurch erlischt die Tuffbildung. An diesen stark wasserhaltigen Stellen breitet sich eine Gesellschaft aus, in

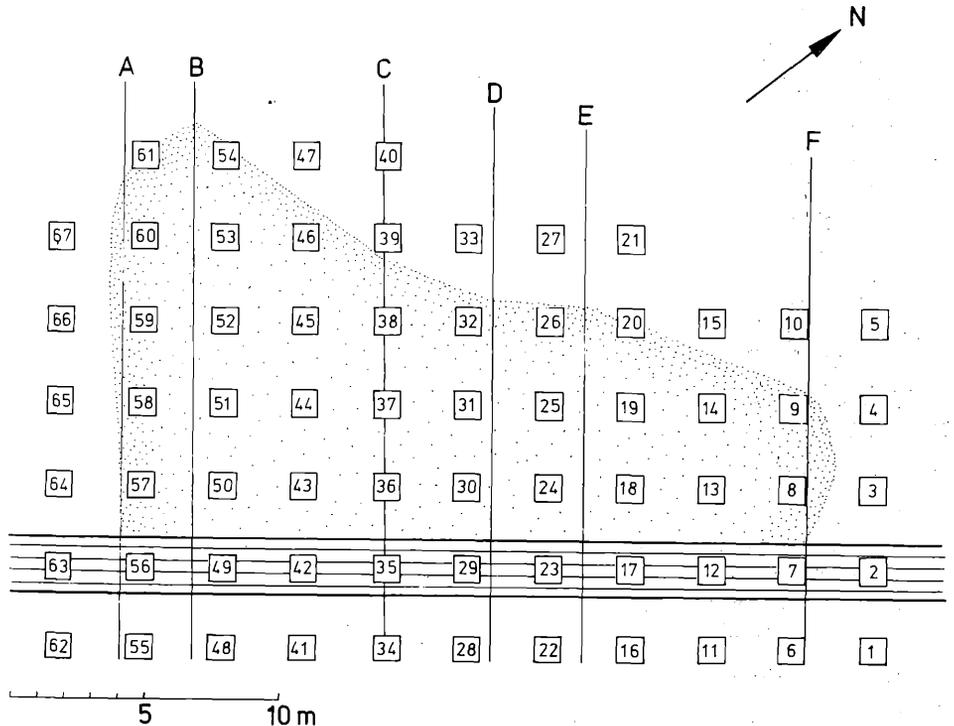


Abb. 6: Lage der Probequadrate in der Untersuchungsfläche

Tabelle 1: Ergebnis der Aufnahme

(Arten, die nur in einem Probequadrat gefunden wurden, blieben bei der statistischen Auswertung unberücksichtigt. Sie wurden deshalb bei der Durchnummerierung nicht erfaßt)

Probequadrate Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1 Carex flacca	+		+									+			+	+			+		
2 Carex remota			+									+		+							
3 Carex spec.																					+
4 Agrostis stolonifera							+											+			
5 Brachypodium sylvatic.		+	+					+			+	+	+				+	+		+	
6 Deschampsia caespitosa				+				+	+	+			+	+				+	+	+	
7 Festuca gigantea																	+	+	+	+	
8 Phragmites communis																	+	+	+		
9 Molinia caerulea																					
10 Poa nemoralis			+																		
11 Poa cf. palustris																					
12 Dactylis glomerata																					
Festuca ovina																					
13 Hedera helix	+									+											
14 Galium sylvaticum	+		+		+	+				+										+	
15 Galium palustre																					
Rubus fruticosus	+																				
16 Fagus sylvatica			+	+					+	+					+				+		+
17 Lathyrus vernus			+							+											
Lamium spec.				+																	
18 Hieracium sylvaticum					+											+					
19 Campanula trachelium				+																+	
20 Geranium robertianum								+	+			+									
21 Cardamine amara								+	+	+								+	+		
Lysimachia nemorum								+	+												
22 Epilobium parviflorum														+				+	+	+	
Prenanthes purpurea															+						
23 Scrophularia umbrosa																		+			
24 Eupatorium cannabinum																					
25 Solanum dulcamara																					
26 Acer campestre																					
27 Sambucus nigra																					
28 Fragaria spec.			+																		
Juncus inflexus																					
29 Equisetum arvense																		+	+	+	
30 Homalia trichomanoides	+		+																		
31 Madotheca platyphylla	+	+														+			+	+	
32 Pellia fabbroniana		+																		+	
Platyhypnidium ripar.		+																			
Ctenidium molluscum							+														
Metzgeria furcata			+																		
33 Hypnum cupressiforme			+	+																	
34 Brachythecium velut.				+		+															
Brachythecium rutabulum																					
35 Fissidens taxifolius																					+
36 Fissidens pusillus																					
37 Cratoneuron commutatum								+	+			+	+	+			+	+	+		
Mnium punctatum										+											
Bryum spec.										+											
Dicranum scoparium										+											
Hylacomium splendens										+											
38 Eucladium verticillatum																		+			
Amblystegiella spec.																					
39 Dichodontium pellucidum																					
Seligeria pusilla																					
Anomodon viticulosus																					
40 Cratoneuron filicinum		+						+	+			+						+			
41 Lejeunea cavifolia			+																		
42 Ditrichum pus. var. tort.																					
43 Eurhynchium striatum																					
44 Gyroweisia tenuis																					

der *Phragmites communis* und *Eupatorium cannabinum* beherrschend sind. Weiter herrschen vor: *Agrostis stolonifera*, *Poa cf. palustris*, *Cardamine amara* und *Epilobium parviflorum*. Daneben sind häufige Begleiter: *Brachypodium sylvaticum*, *Deschampsia caespitosa*, *Molinia caerulea*, *Festuca gigantea*, *Geranium robertianum*, *Scrophularia umbrosa* und *Solanum dulcamara*.

Die umliegende Waldformation ist ein Hainsimsen-Eichen-Buchenwald.

3. Vegetationsanalyse des Staffeldolentuffs

a. Methode

Zur weiteren Charakterisierung der Vegetation des Staffeldolentuffs untersuchten wir die

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Probequadrat Nr.	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
1 Carex flacca	+	+	+	.	.	+	.	+	+	+	+	+
2 Carex remota
3 Carex spec.	+	+
4 Agrostis stolonifera	+	+
5 Brachypodium sylvatic.	+	+	+	+	+
6 Deschampsia caespitosa	+	+	.	.
7 Festuca gigantea
8 Phragmites communis	+	+	+	.	+	.	+	+	+	+	+
9 Molinia caerulea	+	.	+	+	+	+	+
10 Poa nemoralis
11 Poa cf. palustris	+
12 Dactylis glomerata
Festuca ovina
13 Hedera helix
14 Galium sylvaticum
15 Galium palustre
16 Rubus fruticosus
17 Fagus sylvatica	+
18 Lathyrus vernus
Lamium spec.
18 Hieracium sylvaticum
19 Campanula trachelium
20 Geranium robertianum	+	+	+	.
21 Cardamine amara	+
Lysimachia nemorum
22 Epilobium parviflorum	+
Prenanthes purpurea
23 Scrophularia umbrosa	+	+
24 Eupatorium cannabinum	+	+
25 Solanum dulcamara	+	+	+	+
26 Acer campestre	+
27 Sambucus nigra
28 Fragaria spec.	+
Juncus inflexus
29 Equisetum arvense
30 Homalia trichomanoides	+
31 Madotheca platyphylla	+
32 Pellia fabbroniana	+	+
Platyhypnidium ripar.
Ctenidium molluscum
Metzgeria furcata
33 Hypnum cupressiforme	+	+
34 Brachythecium velut.	+
Brachythecium rutabulum	+
35 Fissidens taxifolius	+
36 Fissidens pusillus	+	+
37 Cratoneuron commutatum	+	+	+
Mnium punctatum
Bryum spec.
Dicranum scoparium
Hylocomium splendens
38 Eucladium verticillatum	+
Amblystegiella spec.	+
39 Dichodontium pellucidum
Seligeria pusilla
Anomodon viticulosus
40 Cratoneuron filicinum	+
41 Lejeunea cavifolia
42 Ditrichum pus. var. tort.	+
43 Eurhynchium striatum
44 Gyroweisia tenuis	+

assoziiert sind (zur Methode vgl. z. B. DE VRIES 1953, GOODALL 1953, LAMBERT & WILLIAMS 1962, LANGE 1968, FREY & PROBST 1974).

Es ergaben sich folgende hochsignifikant assoziierte Artenpaare (geordnet nach der Höhe der Chi-Quadrat-Werte) (Tabelle 2):

Gründe für die positiven Assoziationen sind v. a. gleiche Bedürfnisse und Abhängigkeiten in Bezug auf bestimmte Umweltfaktoren (wie Kalkgehalt oder pH-Wert des Bodens, Feuchtigkeit, Licht usw.).

Wenn eine Art für eine andere Art günstige oder ungünstige Wachstumsbedingungen schafft (z. B. durch Beschattung, Veränderung des Mikroklimas usw.) führt dies zu einer positiven

Tabelle 2: χ^2 -Werte der signifikant assoziierten Artenpaare

	positive Assoziation	negative Assoziation
$\chi^2 \geq 12,12$ Signifikanzniveau 99,95%	χ^2 :	
	32/38 : 27,52	
	18/19 : 27,06	
	39/44 : 19,96	
	13/17 : 19,61	— keine —
	16/33 : 18,74	
	9/24 : 18,01	
	30/33 : 17,98	
	11/25 : 17,05	
	7/29 : 15,24	
	16/17 : 15,24	
	30/31 : 15,24	
	10/28 : 14,98	
	10/41 : 14,98	
	15/43 : 14,98	
28/41 : 14,98		
4/37 : 14,26		
21/37 : 13,61		
38/43 : 12,62		
36/39 : 12,16		
$10,83 \leq \chi^2 \leq 12,12$ Signifikanzniveau 99,90%	11/20 : 11,94	
	7/22 : 11,80	
	32/36 : 11,24	— keine —
	22/29 : 11,00	
	37/38 : 10,92	
$7,88 \leq \chi^2 \leq 10,83$ Signifikanzniveau 99,50%	20/21 : 10,23	
	13/14 : 10,04	
	14/19 : 10,04	
	22/37 : 9,67	
	36/44 : 9,49	
	36/42 : 9,49	
	39/40 : 8,79	— keine —
	22/32 : 8,59	
	1/40 : 8,55	
	2/17 : 8,29	
	21/22 : 8,26	
15/20 : 8,10		
40/44 : 8,10		

oder negativen Assoziation beider Arten. Seltener dürften bestimmte Wurzelausscheidungen für negative Assoziationen verantwortlich sein (KERSHAW 1964, S. 86ff.).

In einem Dendrogramm (vgl. LANGE 1968) werden die Chi-Quadrat-Werte für assoziierte Artenpaare durch waagrechte Verbindungslinien dargestellt (Abb. 7).

Es zeigt sich, daß die assoziierten Artenpaare zwei kleine und zwei große Assoziationsgruppen bilden.

Zur weiteren kartographischen Auswertung der durch den Chi-Quadrat-Test erhaltenen Befunde folgten wir einer von LANGE (1968) vorgeschlagenen Methode: Sie geht von der Tatsache aus, daß die Assoziation zwischen Arten eines Vegetationsgebietes von verschiedenen, voneinander unabhängigen Faktoren verursacht werden können.

Wie wir auch bei unserer Arbeit feststellten, können in einem Untersuchungsgebiet verschiedene Artenpaar-Gruppen bestehen, die mit einer bestimmten Signifikanz assoziiert sind (d. h. einen bestimmten Mindest-Chi-Quadrat-Wert übersteigen). Solche Assoziationsgruppen sind in Abb. 7 deutlich zu erkennen. Sie werden auch als „Knoten“ (LANGE: „nods“) bezeichnet. Für die Ermittlung der Artenknoten im Staffeldolen-Tuffgebiet setzten wir ein Signifikanzniveau von 99,95% ($\chi^2 \geq 12, 12$) an (vgl. Abb. 7, Tab. 2).

Für jeden Knoten können nach LANGE voneinander unabhängig variierende Faktoren oder Faktorengruppen von Bedeutung sein. Will man dieser Vermutung in einer kartographischen Darstellung Rechnung tragen, dann muß man für jede Artengruppe eine eigene Karte zeichnen.

Hierzu werden für jede Artengruppe die möglichen Kombinationen der dazugehörigen Arten festgestellt. Diejenigen Probequadrate, die die häufigste Artenkombination enthalten, erhalten den Index 1. Alle Quadrate, die sich von dieser häufigsten Kombination durch das Fehlen oder Vorhandensein einer Gruppenart unterscheiden, erhalten den Index 2, die Quadrate, die sich durch das Fehlen oder Vorhandensein von zwei Gruppenarten unterscheiden, den Index 3 usw.

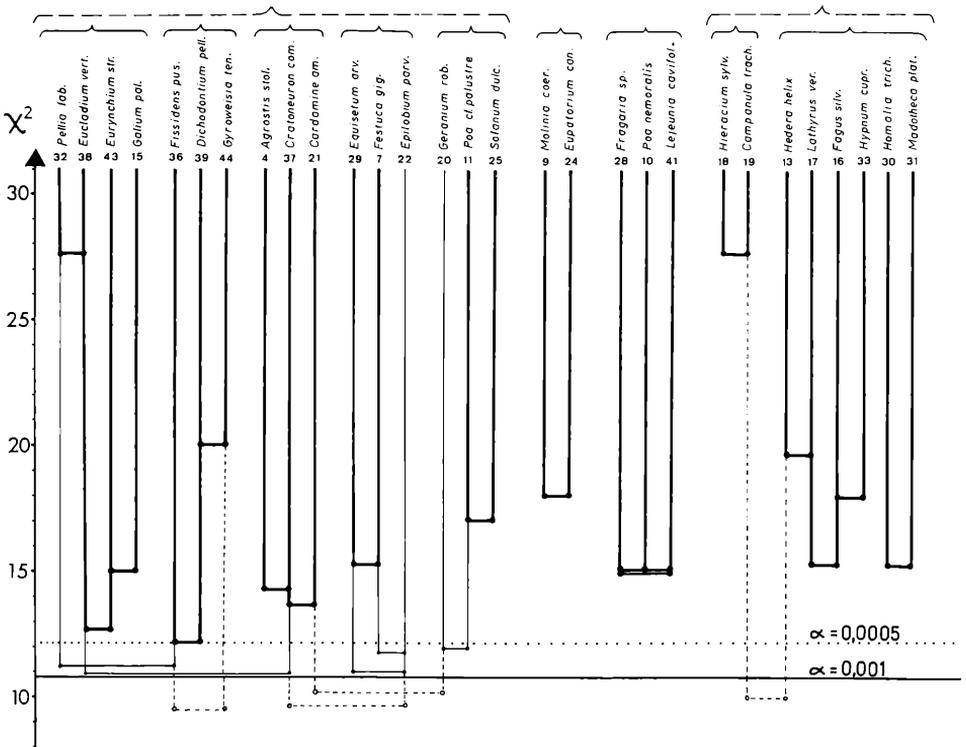


Abb. 7: Graphische Darstellung der assoziierten Arten (χ^2 -Diagramm)

Die Darstellung unterscheidet sich von LANGES „Dendrogramm“ dadurch, daß die waagrecht Verbindungslinien tatsächlich nur zwischen den durch diesen χ^2 -Wert verbundenen Arten gezogen wurden. Sind die beiden Arten noch mit anderen Arten assoziiert, so gehen von der senkrechten Art-Linie noch weitere Querlinien aus.

Für die weitere Auswertung wurden nur die Arten-Assoziationen oberhalb eines Signifikanzniveaus von 99,95% ($\alpha = 0,0005$) berücksichtigt (fette Linien).

Quadrate gleicher Indices können durch Linien („Isographotelen = Linien gleicher Zusammensetzung“, LANGE 1968) voneinander abgegrenzt werden. In Bezug auf eine bestimmte, assoziierte Artengruppe teilt man so das Untersuchungsgebiet in Bereiche verschiedener (von 1 nach 2, 3 usw. abnehmender) Homogenität ein. Die so entstandene Karte kann den Einfluß irgendeines (Umwelt-)Faktors oder einer Faktorengruppe repräsentieren. (Eine etwas ausführlichere Darstellung dieser Methode geben wir an anderer Stelle: vgl. FREY & PROBST 1974).

b) Ergebnisse

Das vorliegende Chi-Quadrat-Diagramm (Abb. 7) zeigt, daß die signifikant assoziierten Artenpaare im wesentlichen zwei großen Gruppen angehören:

Eine Gruppe enthält die typischen Arten des Buchenwaldes: *Hedera helix*, *Lathyrus vernus*, *Fagus sylvatica*, *Campanula trachelium*, *Hieracium sylvaticum*, *Homalia trichomanoides*, *Hypnum cupressiforme* und *Madotheca platyphylla*.

Die fünf Phanerogamen lieben sickerfrische, nährstoffreiche, mäßig saure, lockere Böden. Was den Kalkgehalt des Bodens anbetrifft, so sind sie mehr oder weniger indifferent. *Hieracium* bevorzugt kalkarme Böden. Die Moose sind an Bäumen und Felsen der (Laub)Wälder weitverbreitete Arten.

Abb. 8a zeigt, daß das Maximum dieses Assoziationsknotens am Rande der Aufnahmefläche außerhalb des Tuffgebietes liegt.

Die andere Assoziationsgruppe gliedert sich in fünf besonders hochsignifikant assoziierte Artenpaar-Gruppen (Signifikanzniveau 99,95%). Der Knoten mit den in der Untersuchungsfläche häufigsten Arten besteht aus den Assoziationspaaren *Cratoneuron commutatum-Agrostis stolonifera* ($\chi^2 = 14,26$) und *C. commutatum-Cardamine amara* ($\chi^2 = 13,61$).

Diese Artengruppe kennzeichnet die Orte rezenter Tuffbildung. *Cardamine amara* ist allerdings keine typische Kalktuffpflanze, sie bevorzugt aber den lockeren, nassen Boden zwischen den *Cratoneuron*-Polstern. Ein deutliches Maximum liegt bei Profil D (Abb. 8b).

Das hochsignifikant assoziierte Artenpaar *Pellia fabbronia-Eucladium verticillatum* (das mit *Eucladium* schwach assoziierte Paar *Eurhynchium striatum-Galium palustre* wurde nur in wenigen Quadraten gefunden) stellt eine Kombination zweier typischer Moosarten an nassen Felsen dar. *Eucladium* ist häufig auch kalkkrustiert und wird deshalb wie *Cratoneuron* zu den Tuffbildnern gerechnet. Im Keupergebiet des Schönbuchs sind diese beiden Moose, wie *Cratoneuron commutatum*, ausschließlich auf Quell- und Bachtuffe beschränkt. Die Karte (Abb. 8c) zeigt ein Maximum dieser Assoziation im Bereich der älteren Tuffbrocken am Rande des Bachbetts.

Fissidens pusillus, *Dichodontium pellucidum* und *Gyroweisia tenuis* sind typische Moose feuchter Sandsteinfelsen. Diese Gruppe hat ihr Maximum auf den Steinbrocken im Bachbett (Abb. 8d). In diese Gruppe gehören noch zwei Knoten (Abb. 8e, d) nährstoff- und feuchtigkeitsliebender Arten. Darunter sind Arten (*Solanum dulcamara*, *Poa cf. palustris*, *Equisetum arvense*), die wegen ihres relativ hohen Lichtanspruchs im umgebenden Buchenwald nicht gedeihen würden. Ein Artenpaar, das mit keiner anderen Artengruppe assoziiert ist (*Molinia caerulea-Eupatorium cannabinum*), dürfte ebenfalls mit hoher Bodenfeuchte und stärkerer Belichtung korreliert sein (Abb. 8g).

Ein weiterer isoliert stehender Knoten (*Fragaria spec.*, *Poa nemoralis*, *Lejeunea cavifolia*) erlaubt wegen der geringen Häufigkeit seiner Arten im Untersuchungsgebiet (vgl. Tab. 1) keine weiteren Auswertungen.

Die Assoziationsanalyse der Arten des Tuffstandortes in der Staffeldole ergibt ein differenziertes Bild der Vegetation. Es zeigt sich, daß bei der Besiedlung dieses Standortes die Tuffbildung selbst nur einer von verschiedenen Faktoren ist. Die Tuffbildung wirkt sich sekundär auf den Wasserstau im Boden aus. Diese hohe Bodenfeuchte sowie der durch abgerutschtes

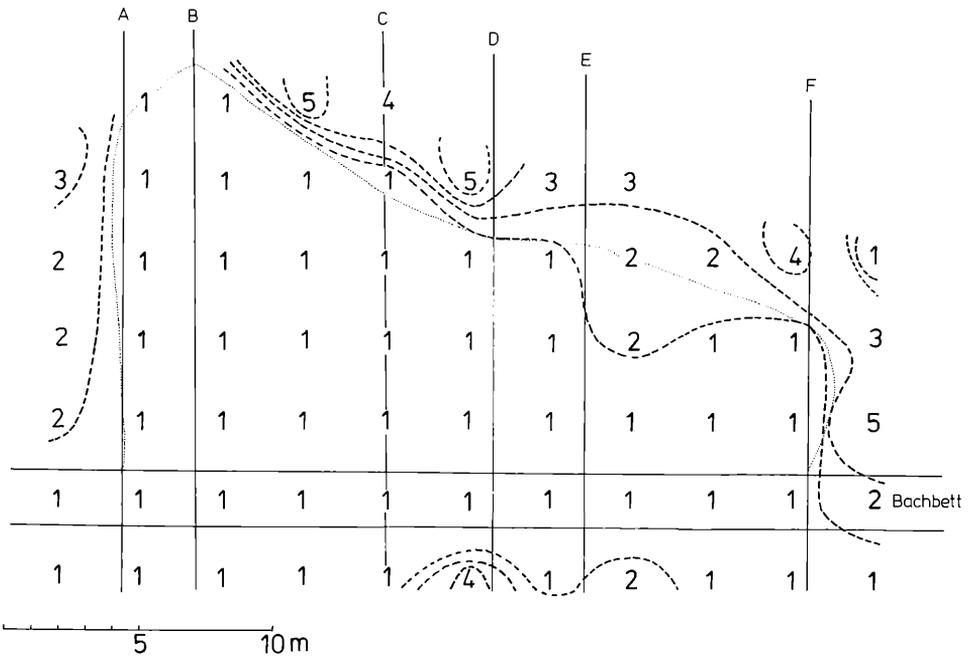


Abb. 8a—g: Isographotelen-Karten für die verschiedenen Assoziationsgruppen

Durch die Linien werden Gebiete umgrenzt, die für die betreffende Artengruppe dasselbe Untersuchungsergebnis erbrachten (LANGE: „Lines of equal outcome“). Unterscheiden sich zwei benachbarte Probequadrate um mehr als eine Kennzahl, so liegt ein größerer „Sprung“ vor, als wenn sie sich nur um eine Kennzahl unterscheiden. Entsprechend wird dies in den Karten durch Doppel- oder Mehrfachlinien dargestellt. Jede Linie kennzeichnet einen Gradienten in einem für die Vegetation wichtigen (Umwelt-)Einfluß.

Die feinpunktierte Linie stellt die Grenze des Tuffs dar.

Abb. 8a: *Fagus sylvatica* — *Hedera heli* — *Lathyrus vernus* — *Hypnum cupressiforme* — *Homalia trichomanoides* — *Madotheca platyphylla*-Knoten

Laub und Humus hohe Nährstoffgehalt scheinen für die Vegetationszusammensetzung wichtig zu sein.

Ob nun tatsächlich, wie LANGE annimmt, die Verteilung der verschiedenen Assoziationsgruppen auf die Untersuchungsfläche jeweils einem besonderen, unabhängigen Faktor zuzuschreiben ist, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen. Vielleicht könnte dies eine sehr weitgehende, exakte Analyse der Umweltfaktoren erhellen.

H. Das Alter der Tuffe im Schönbuch

Da Molluskeneinschlüsse und Chironomidengänge in den untersuchten Schönbuchtuffen nicht festgestellt werden konnten, war eine Altersbestimmung nicht möglich. Die größte Zahl der Tuffbildungsstätten vermittelt jedoch den Eindruck, als hätte die Kalkausscheidung erst in jüngster Zeit eingesetzt. An einigen Stellen (z. B. im Staffeldolentuff) fanden wir in den obersten Schichten Blattabdrücke von *Fagus sylvatica* und *Phragmites communis*.

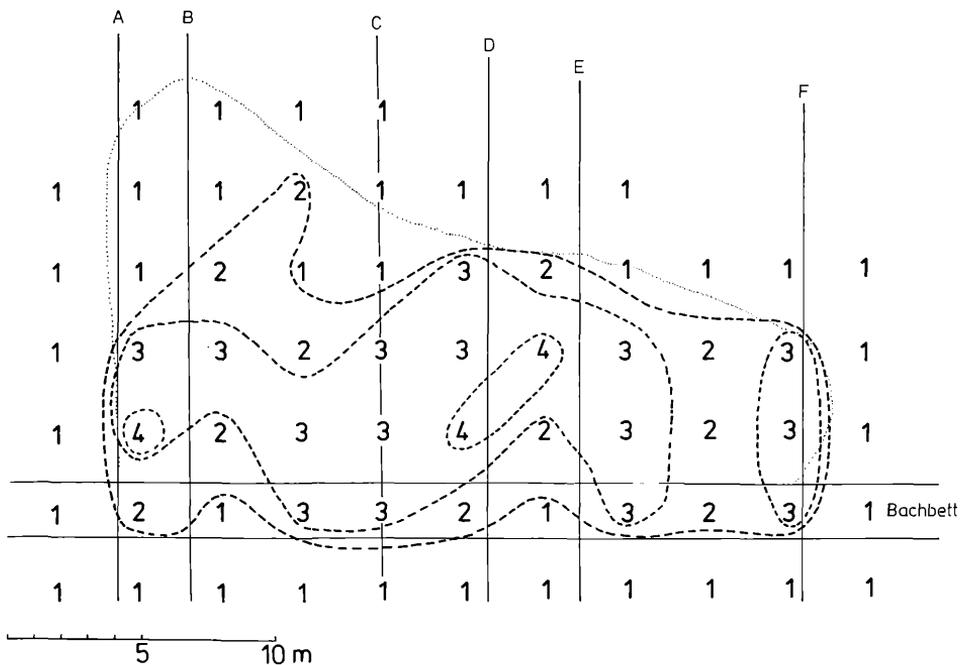


Abb. 8b: *Cratoneuron commutatum* – *Cardamine amara* – *Agrostis stolonifera*-Knoten

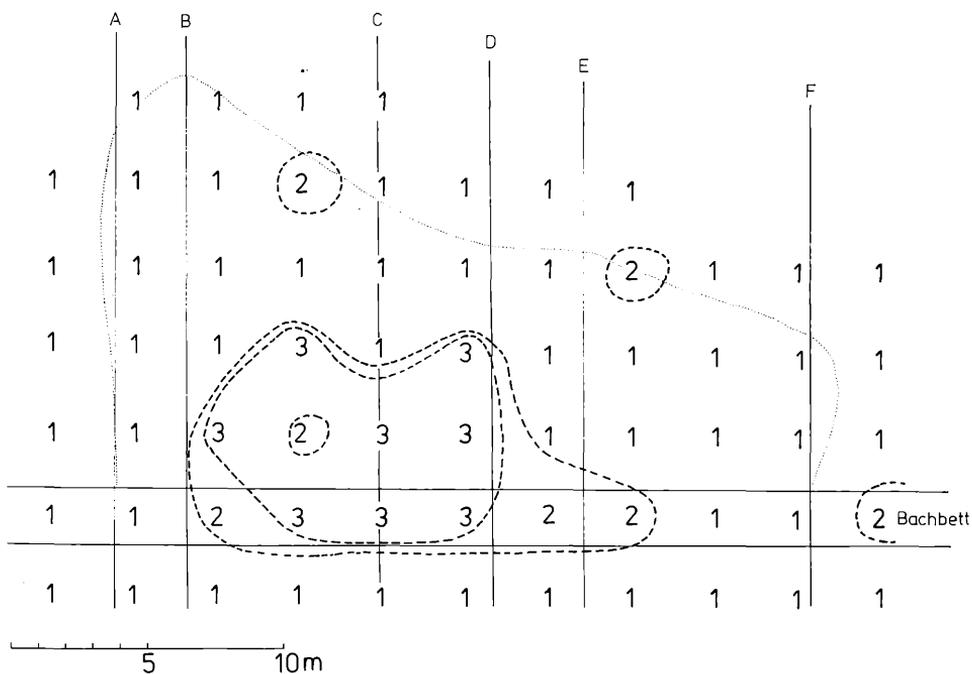


Abb. 8c: *Pellia fabbroniana* – *Eucladium verticillatum*-Knoten

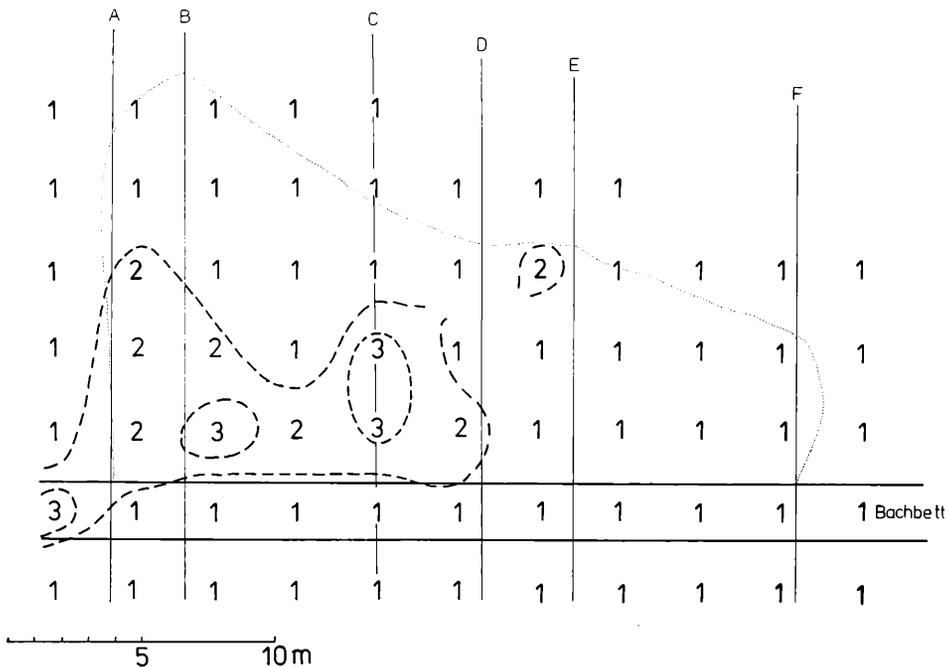


Abb. 8f: *Poa cf. palustris* - *Solanum dulcamara*-Knoten

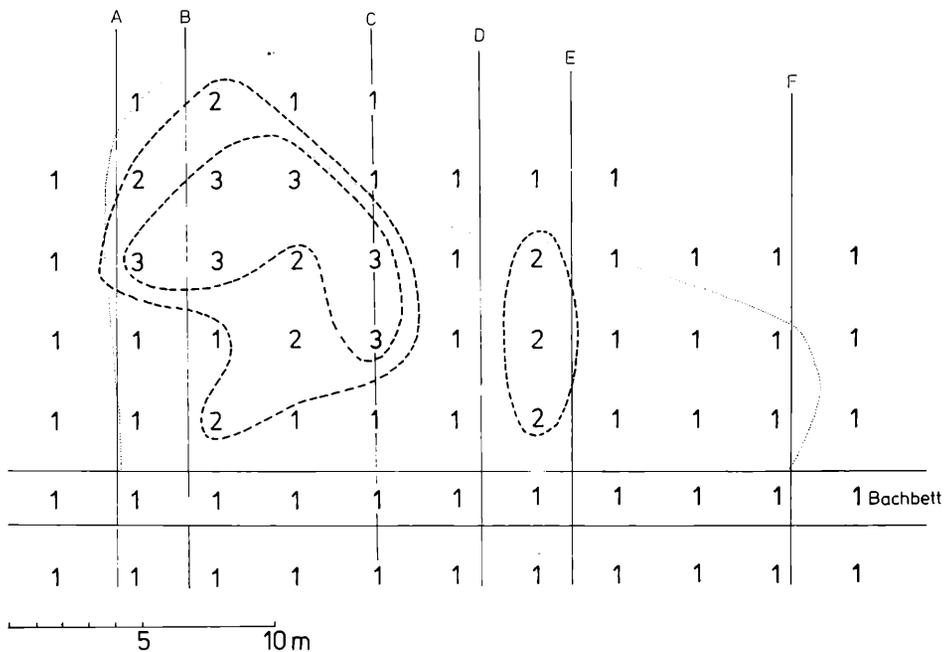


Abb. 8g: *Molinia coerulea* - *Eupatorium cannabinum*-Knoten

Bei den meisten Tuffbildungsstätten (Abb. 1) handelt es sich offensichtlich um ganz junge Bildungen, bei denen die Kalkablagerung eben erst begonnen hat (geringe Mächtigkeit des *Cratoneuron commutatum*-Tuffs). Dies kann damit erklärt werden, daß die Wechsellagerung von Sandsteinen und Mergelschichten eine ständige Verschüttung der Tuffe bedingt. Leider gelang es uns bisher noch nicht einen verschütteten Tuff aufzufinden.

I. Zusammenfassung

Die Kalktufflager im Keupergebiet des südlichen Schönbuchs wurden untersucht. Sie liegen alle im Stubensandstein oder an der Grenze Stubensandstein/Bunte Mergel. In diesem Bereich bilden sich wegen der wechselnden Lagerung oft kalkhaltiger Sandsteinschichten und wasser- undurchlässiger Mergel häufig flächig ausgedehnte Quellhorizonte, an denen das kalkhaltige Wasser aus dem Boden sickert.

Wegen der geringen Schüttung der Quellen kommt es meist schon unmittelbar am Austritt zu einer Tuffbildung (Quelltuffe). Seltener finden sich im Schönbuch Bach- und Ansätze zu Gehänetuffen.

Am Beispiel des Tufflagers im Klingensystem der Staffeldole werden Lage, Morphologie und chemisch-physikalische Bedingungen eines typischen Schönbuchtuffs näher beschrieben.

Eine Vegetationsaufnahme des Staffeldolentuffs zeigt, daß die Stellen rezenter Tuffbildung von einer *Cratoneuron commutatum*-Gesellschaft eingenommen werden. Auf den älteren Tuffpartien, die z. T. durch Hangrutsche verschüttet wurden, siedeln Arten, die hohe Bodenfeuchte bevorzugen (*Eupatorium cannabinum*, *Phragmites communis*, *Solanum dulcamara*, *Agrostis stolonifera*, *Poa cf. palustris*, *Cardamine amara*, *Epilobium parviflorum*).

Eine mit statistischen Methoden durchgeführte Vegetationsanalyse ergibt sieben signifikant assoziierte Artengruppen. Damit wird eine sehr differenzierte Darstellung der Vegetationsverhältnisse möglich.

Schrifttum

- AGNEW, A. D. Q. (1961) — The ecology of *Juncus effusus* L. in North Wales. J. Ecol. 49: 83—102.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964) — Pflanzensoziologie. 3. Aufl. Wien.
- DE VRIES, D. M. (1953) — Objective combinations of species. Acta bot. neerl. 1: 497—499.
- EHRENDORFER, F. (1954) — Gedanken zur Frage der Struktur und Anordnung der Lebensgemeinschaften. Angewandte Pflanzensoziologie. Festschrift für E. AICHINGER 1: 151—167.
- ELLENBERG, H. (1956) — Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. H. WALTER, Einführung in die Phytologie 4 (1). Stuttgart.
- FILZER, P. (1969) — Das Pflanzenkleid des Schönbuchs im Wandel der Zeiten. H. GREES, Der Schönbuch. Beiträge zu seiner landeskundlichen Erforschung. pp. 39—48. Bühl/Baden.
- FREY, W. und PROBST, W. (1974) — Vegetationsanalytische Untersuchungen im Dünengebiet bei Babolsar (Kaspisches Meer, Iran). Bot. Jahrb. Syst. 94: 96—113.
- GEOLOGISCHE KARTE VON BADEN-WÜRTTEMBERG 1 : 25 000 UND ERLÄUTERUNGEN. Blatt 7319 Aidlingen (A. SCHMIDT 1921), Blatt 7320 Böblingen (M. BRÄUHÄUSER 1927), Blatt 7419 Herrenberg (A. SCHMIDT 1923), Blatt 7420 Tübingen (M. SCHMIDT 1930, 1966). Stuttgart.
- GOODALL, D. W. (1953) — Objective methods for the classification of vegetation. I — The use of positive interspecific correlation. Aust. J. Bot. 1: 39—63.
- GREIG-SMITH, P. (1964) — Quantitative plant ecology. London.
- GRÜNINGER, W. (1965) — Rezente Kalktuffbildung im Bereich der Uracher Wasserfälle. Abh. Karst- u. Höhlenkunde, Reihe E 2, 113 p. München.
- HELING, D. (1963) — Zur Petrographie des Stubensandsteins. Petrographische Untersuchungen an einem Stubensandsteinprofil östlich Stuttgart. Beitr. Miner. Petrogr. 9: 251—284.
- HUTTENLOCHER, F. (1969) — Geographischer Überblick. Der Schönbuch. H. GREES, Der Schönbuch. Beiträge zu seiner landeskundlichen Erforschung. pp. 12—30. Bühl/Baden.

- KARRER, F. (1864) — Die Vegetationsverhältnisse des Schönbuchs. *Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ.* 20: 153–164.
- KERSHAW, K. A. (1964) — Quantitative and dynamic ecology. London.
- KNAPP, R. (1967) — Experimentelle Soziologie der höheren Pflanzen. 2. Aufl. Stuttgart.
- LAMBERT, J. M. and W. T. WILLIAMS (1962) — Multivariate methods in plant ecology. IV. Nodal analysis. *J. Ecol.* 50: 775–802.
- LANG, R. (1909, 1910) — Der mittlere Keuper im südlichen Württemberg. *Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ.* 65: 77–131; 66: 1–54.
- LANGE, R. T. (1968) — Influence analysis in vegetation, *Austral. J. Bot.* 16: 555–564.
- POELT, J. (1954) — Moosgesellschaften im Alpenvorland. *Sitzber. Öst. Akad. Wiss. Abt. I* 163: 141–174.
- SCHNEIDERHAN, E. (1904) — Die Umgebung von Bebenhausen. Dissertation Tübingen.
- SEBALD, O. (1969) — Vegetationskundliche Übersichtskarte des Landkreises Tübingen 1:50000. Stuttgart.
- STEMMER, J. (1924) — Geologische Untersuchungen im südwestlichen Schönbuch. Dissertation Tübingen.
- STIRN, A. (1964) — Kalkuffvorkommen und Kalkufftypen der Schwäbischen Alb. Dissertation Tübingen.
- STOLL, H. (1929) — Versuch einer stratigraphischen Gliederung des Stubensandsteins im westlichen Württemberg. *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.* 18–21: 1–63.
- WELBOURN, R. M. and R. T. LANGE (1967) — Subdividing vegetation on interspecific association. *Vegetatio* 15: 129–136.
- WELCH, J. R. (1960) — Observations on deciduous woodland in the eastern province of Tanganyika. *J. Ecol.* 48: 557–573.
- WHITTAKER, R. H. (1970) — Communities and ecosystems. London.
- WILLIAMS, W. T. and J. M. LAMBERT (1959) — Multivariate methods in plant ecology. I — Association analysis in plant communities. *J. Ecol.* 47: 83–101.
- (1960) — Multivariate methods in plant ecology. II — The use of an electronic digital computer for association-analysis. *J. Ecol.* 48: 689–710.

Anschrift der Verfasser:

Dr. W. FREY, Institut für Biologie I, Spezielle Botanik, D-74 Tübingen, Auf der Morgenstelle 1.
 Dr. W. PROBST, Pädagogische Hochschule, D-7987 Weingarten, Kirchplatz 2.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1974

Band/Volume: [33](#)

Autor(en)/Author(s): Probst Wilfried

Artikel/Article: [Morphologische und vegetationsanalytische Untersuchungen an rezenten Kalktuffen im Keupergebiet des südlichen Schönbuchs 59-79](#)