
Kapitel 4

Zur Morphogenese flächiger Quellfluren

Carl Beierkuhnlein und Arno Kleber

1. Einführung

Quellen können in Limnokrene (Tümpelquellen mit einem wassergefüllten Quelltopf), Rheokrene (Sturzquellen mit einem Quellbach direkt am Quellaustritt, STEINMANN 1915) und Helokrene (Sumpf- oder Sickerquellen, THIENEMANN 1925) unterteilt werden. Zwischen diesen Typen sind Übergänge möglich. Helokrene überwiegen in Mittelgebirgen und in tieferen Lagen (THIENEMANN 1925), während mit zunehmender Hangneigung der rheokrene Typ dominiert (GEISLER 1975). In den silikatischen Mittelgebirgen Nordostbayerns und Thüringens liegt die Mehrzahl der Quellen in steilem Gelände, was aufgrund der hydrogeologischen Voraussetzungen für die Entstehung von Quellen nicht verwundert, und somit meist unter Wald. Trotz dieser Bevorzugung steilerer Hänge treten rheokrene *und* helokrene Quellen auf; insbesondere auf den dichten Tonschiefern des Thüringer Schiefergebirges und des Frankenwalds herrschen letztere sogar vor (BEIERKUHNLEIN 1994, SCHMIDT & BEIERKUHNLEIN 1995). Dort findet sich bei kleineren Einzugsgebieten auch eine größere Dichte von Quellen als in Fichtelgebirge oder Erzgebirge. Bedingt durch die geringe Wasserspeicherfähigkeit der Gesteine tritt das Wasser helokrener Quellen nach einem kurzen Transport im Interflow relativ schnell wieder aus. Diese Quellen weisen daher auch einen ausgeprägten Jahresgang der Schüttung und der Quellwassertemperaturen auf (BEIERKUHNLEIN & GRÄSLE 1993). Rheokrene Quellen hingegen sind entweder an Verwerfungen gebunden oder an einen mächtigen Grundwasserkörper, wie er teilweise im tiefgründigen Granitgrus des Erzgebirges oder des Fichtelgebirges angetroffen werden wird. Doch auch in den letztgenannten Mittelgebirgen sind helokrene Quellen keineswegs selten. Eine Ursache für ihre Ausbildung dürfte im Wassertransport in oberflächennahen pleistozänen Deckschichten liegen. Anklänge an den limnokrenen Typs sind dagegen auf Plateaulagen der Hochflächen beschränkt.

Wo sich Rinnensysteme an die Quellen anschließen, gehen sie regelmäßig auf anthropogene Einflüsse zurück, da sie im direkten Umfeld von Störungen, insbesondere in Verbindung mit mittelalterlichen und neuzeitlichen Ackerflächen, mit Kohlstätten oder mit Weganlagen auftreten, und weil sie die jüngste periglaziale Deckschicht (jungtundrenzeitliche Hauptlage) kappen, womit sie sich als jüngere, holozäne Bildungen ausweisen (SEMMELE 1993; eigene Beobachtungen aus den nordostbayerischen Grenzgebirgen, der Frankenalb, dem Steigerwald und hessischen Mittelgebirgen). Die charakteristische Oberflächenform der helokrenen Quellen im steileren Relief der silikatischen Mittelgebirge Nordostbayerns und Thüringens ist eine scharf abgegrenzte, zirkusartige Eintiefung des Quellbereichs in den umgebenden Hang (bzw. Hangdelle), deren Boden gegenüber dem Hang abgeflacht ist (Abb. 4.1). Unterhalb der Quellbereiche folgen dezimeter- bis metertief

eingeschnittene Gerinne. Solche Verflachungen treten in Hanglage in Mittelgebirgen ähnlicher geologischer Ausstattung im Westen Deutschlands praktisch nicht auf. Dort gehen Quellen eines eingetieften Gewässernetzes direkt in Rinnen über.

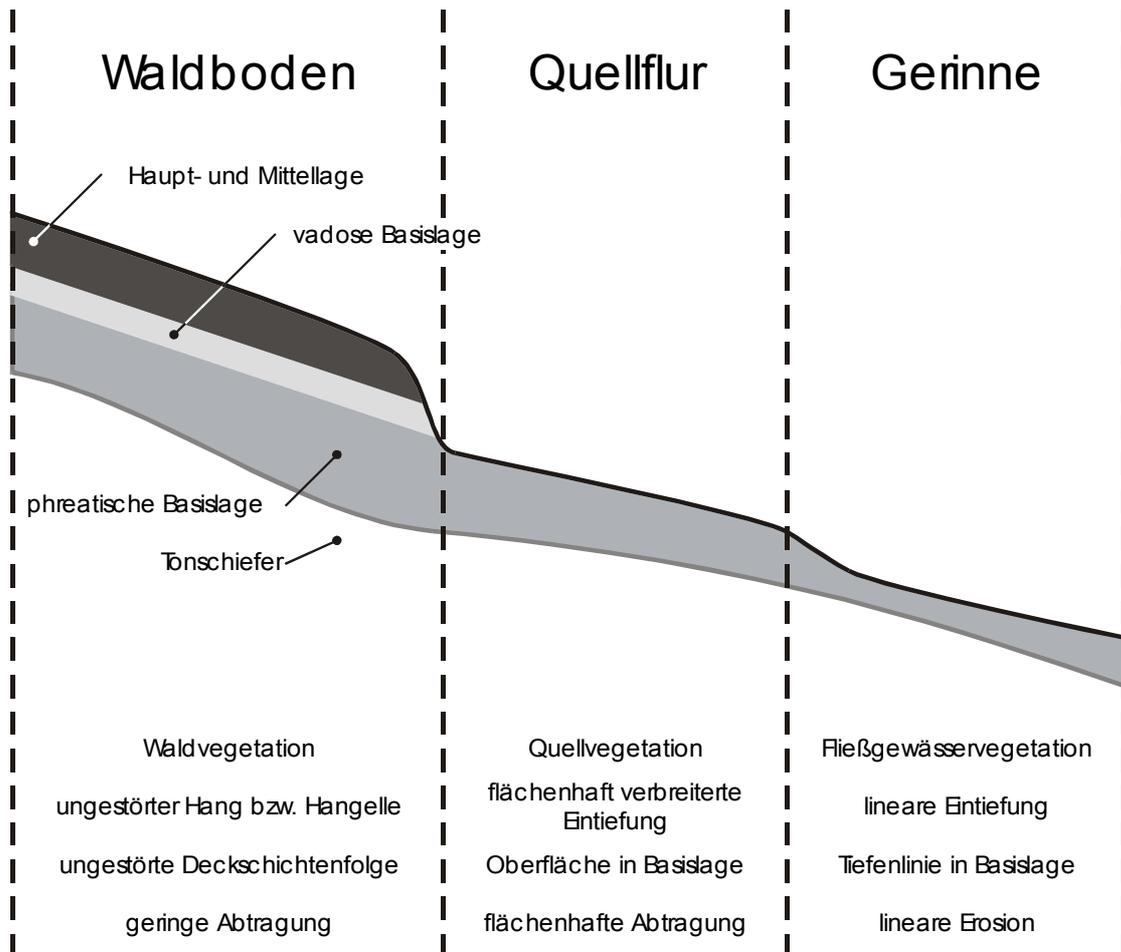


Abb. 4.1 Schema der räumlichen Verteilung von Ökotypen, Vegetationseinheiten und Prozessen im Bereich flächig eingetiefter Quellfluren

In solchen flächig ausgebildeten Hang-Quellbereichen der östlichen Mittelgebirge fehlt auch in Waldgebieten der Baumwuchs nahezu völlig (vgl. auch KÄSTNER 1942). Demgegenüber sind in den westlichen Wäldern waldfreie Quellfluren selten (PHILIPPI 1975, MÖLLER 1979, WEY 1988).

Somit unterscheiden sich bei ähnlicher Genese und Untergrund die Formen der Quellbereiche wie auch deren Pflanzenbestand im Westen und Osten Deutschlands deutlich voneinander. Der vorliegende Beitrag will auf der Grundlage von Feldbeobachtungen eine mögliche Ursache dieser Unterschiede diskutieren.

2. Ergebnisse

Die ausgeglichenen thermischen Verhältnisse des Quellwassers und seine stetige Nachlieferung gewährleisten einen konstanten Wärmestrom im Quellbereich. Dies gilt auch für helokrene Quellen, trotz ihres Jahresgangs der Schüttung und der Wassertemperaturen. Bedingt durch die enge Koppelung an die hydrogeologischen Verhältnisse ihrer kleinen Einzugsgebiete (s. verschiedene Beiträge in diesem Band) reagieren sie während des Sommers auf die erhöhte Evapotranspiration mit geringer Schüttung. Nach einer Zunahme im Herbst erfolgt im Winter bei gefrorenem Boden erneut eine verringerte Nachlieferung, bevor im Frühjahr wieder eine stärkere Bildung von Sickerwasser, z. T. aus der Schneeschmelze, zur Zunahme des Wassertransports und der Quellschüttung führt (KLEBER & SCHELLENBERGER 1998).



Abb. 4.2:
Abtauen frisch gefallenen Schnees im Quellbereich. Die Kreisform des Quellsumpfes und der ansetzende Quellbach heben sich klar dunkel ab.



Abb. 4.3:
Kammeisbildung im Quellbereich. Deutlich ist zu erkennen, wie die Eisnadeln schichtenweise während der Frostereignisse übereinander wachsen (hier insgesamt etwa 15 cm in 5 Nächten).

Bedingt durch die Wärmezufuhr auch bei geringer Schüttung schmilzt der Schneeniederschlag im Quellbereich rasch wieder ab (Abb. 4.2 , Abb. 4.4). Dieser Ablationsprozess wiederholt sich während eines Winters mehrfach, und zwar auch bei Lufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt. Dies wurde bereits von EBERT (1920), allerdings ganz allgemein für Vernässungen und nicht explizit für Quellen, geschildert. Das Fehlen einer isolierenden Schneedecke führt dann in Strahlungsnächten zu einer besonders starken Frosteinwirkung im Quellbereich. Ist die Nachlieferung an Quellwasser zu gering, um ein Eindringen des Frostes in den oberflächennahen Bereich zu verhindern bzw. um gefrorene Bodenpartien wieder aufzutauen, während die Bodenwasserspannung immer noch ausreichend schnell Wasser von unten nachliefert (vgl. OUTCALT 1971), so kommt es zur Bildung von Kammeis im gesamten Quellbereich. Dies kann zwar durch die mit dem Eis angehobene Moosdecke verdeckt sein, fällt jedoch zumindest beim Tritt auf betroffene Quellbereiche auf. Steigen die Temperaturen während des Tages nicht wesentlich an, so bleibt das Kammeis erhalten und wächst in der folgenden Nacht weiter. Innerhalb weniger Nächte können dann Eisnadeln von mehreren Zentimetern Länge entstehen (Abb. 4.3). Derartige Wachstumsbeträge dürften durch Störungen der isolierenden immergrünen Vegetation der bodennahen Schicht aus Moosen und *Chrysoplenium oppositifolium* gefördert werden, wie sie beispielsweise durch suhlendes Wild verursacht werden, jedoch ist die Bildung von Kammeis im Quellbereich auch unter einer geschlossenen Vegetationsdecke zu beobachten.

Das Kammeis kann erklären, weshalb Holzgewächse sich an derartigen Quellen nicht etablieren können. Die mechanische Belastung durch das Herausheben der Vegetationsdecke kann nämlich nur von Arten toleriert werden, die in ihrem Bau und in ihren Strategien an solche Beanspruchungen angepasst sind. Dies ist insbesondere beim Jungwuchs von Holzgewächsen nicht gegeben. Durch den physikalischen Stress während des Winterhalbjahres wird also die Etablierung von Gehölzen verhindert bzw. gekeimte und bereits entwickelte Gehölzpflanzen werden zerstört. Dieser Prozess ist vermutlich selbstverstärkend, da ein offenes Kronendach über der Quelle die Frosteinwirkung intensiviert.

Darüber hinaus ist von einer geomorphologischen Wirkung dieser Prozesse auszugehen. Zwar ist die direkte abtragende Bedeutung des Kammeises selbst unter günstigen Bedingungen als gering einzuschätzen (HEINE 1977), insbesondere bei Annäherung der Oberflächenform an die Horizontale, jedoch bewirkt es eine Homogenisierung der oberflächennächsten Bodenabschnitte (AHNERT 1996) und eine Zerstörung größerer Bodenaggregate, was, zusammen mit der wenig schützenden Vegetationsdecke ohne ausgeprägtes Wurzelgeflecht und insbesondere dort wo diese lokal gestört ist, eine Erleichterung der Abtragung durch denudative und erosive Prozesse im direkten Umfeld der Quelle zur Folge hat. Die dadurch bewirkte Eintiefung kann das Niveau des obersten permanent wasserführenden Aquifers erreichen (Abb. 4.1), im weiteren Verlauf kommt es dann zu einer flächenhaften seitlichen Ausweitung der Quellflur. Hangab schließt sich ein linear eingetiefter Quellbach an, der sich teilweise fingerartig in die eingeebneten Quellbereiche zurückschneidet. Darüber hinaus gibt es jedoch für eine – theoretisch denkbare – Rückbildung dieser Quellen zum rheokrenen Typ infolge rückschreitender Erosion des Quellbachs keine Hinweise im Gelände, was an dem noch geringen Alter dieser Formen liegen mag.

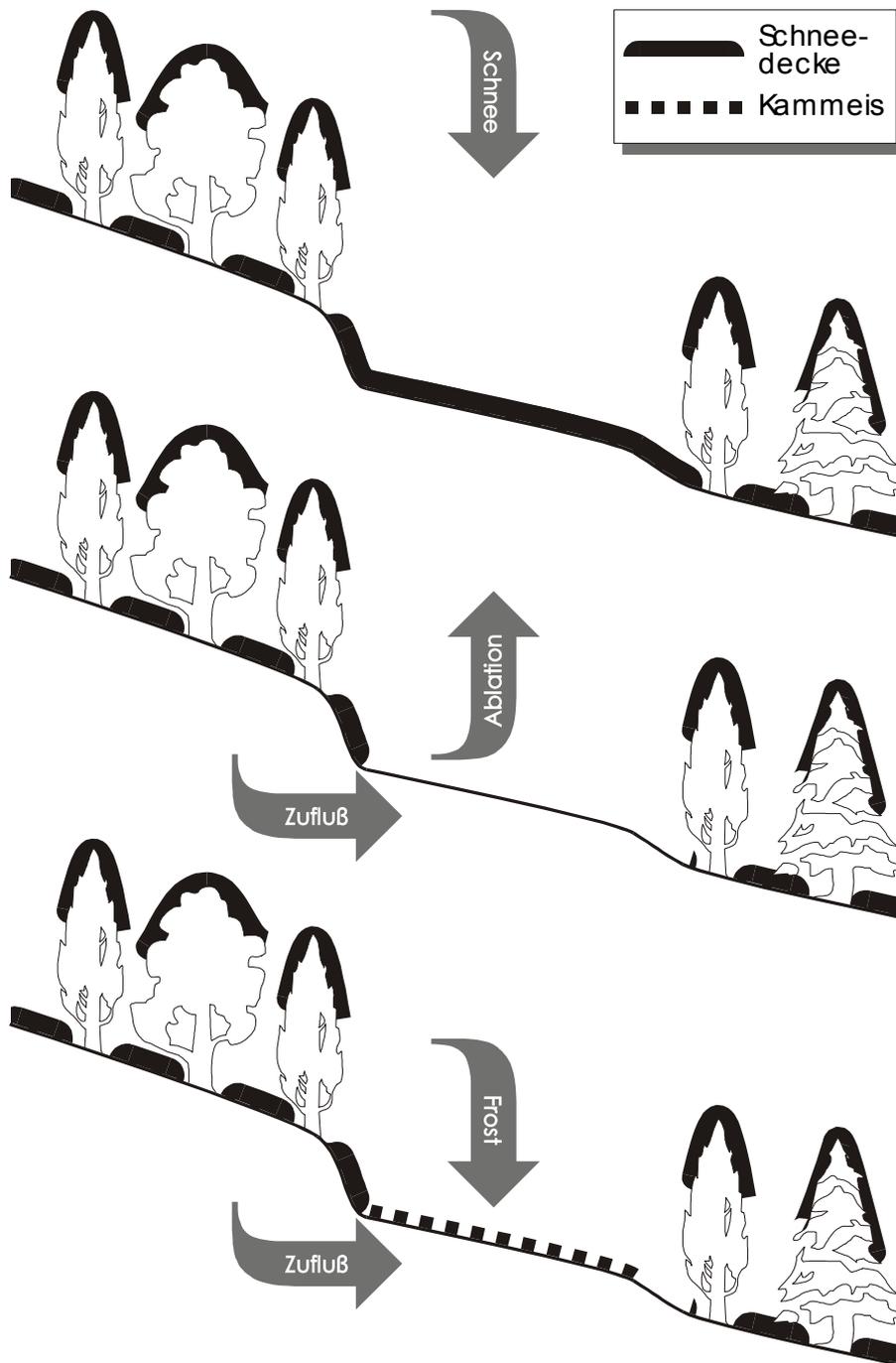


Abb. 4.4: Schema der zeitlichen Abfolge von Schneeniederschlag, Ablation im Quellbereich und Kammeisbildung

3. Diskussion

Die flächenhafte Ausweitung der Quellflur hat zur Folge, dass sich die Quellen der Waldgebiete der kontinentalen Mittelgebirge Deutschlands markant gegen die umgebenden Waldböden abgrenzen. Es handelt sich hier um eine scharfe natürliche Grenze zweier angrenzender Ökotope, die sich auch in der Vegetation sehr deutlich bemerkbar macht. Ähnlich abrupte natürliche Grenzen zwischen terrestrischen bzw. semiterrestrischen Ökotypen treten ansonsten nur selten auf.

Die Rahmenbedingungen der Kammeisbildung, insbesondere die Notwendigkeit anhaltender Bodenoberflächentemperaturen unter -2°C (OUTCALT 1971), lassen eine Abhängigkeit des gesamten Prozesses vom Klima annehmen. Insbesondere das kontinentale thermische Klima – eventuell auch das hygrische infolge unterschiedlicher Schneehöhen – der untersuchten Mittelgebirge begünstigt Kammeis im Vergleich zu den maritim geprägten westlichen Mittelgebirgen. Damit lässt sich der Gegensatz waldfreier, flächenhaft eingetiefter Quellen im Osten und bewaldeter Quellen im Westen, die entweder eingekerbt oder diffus versumpft sind, erklären. Es ist zu erwarten, dass das Phänomen im noch kontinentaler geprägten Klimabereich ein Ende findet, da die herbstliche Vorratsbildung in den Wasserspeichern mit zunehmender Trockenheit abnehmen dürfte.

Darüber hinaus scheint der Prozess an ein interflowgeprägtes Abflussregime gebunden zu sein, also an Deckschichtenkonstellationen, in denen der laterale Hangwasserzug gegenüber der Tiefenversickerung begünstigt ist. Dies trifft auf Einzugsgebiete auf silikatischem Gestein zu, wo stark den vertikalen Fluss stauende Basislagen auftreten, und insbesondere auf Gebiete mit Tonschiefer, der aufgrund seiner ausgeprägten hydraulischen Anisotropie den lateralen Fluss fördert (KLEBER & SCHELLENBERGER 1998).

4. Zusammenfassung

Die Quellfluren der silikatischen Mittelgebirge im Osten Deutschlands (inkl. Nordostbayern) sind im Gegensatz zu denen im maritimen Westen auch unter Wald ohne Baumwuchs. Oft sind sie durch eine zirkusartige, verebnete Eintiefung gekennzeichnet. Diese Eigenschaften werden als Folge der Kammeisbildung gedeutet, welche bei relativ konstanter Nachlieferung von gespanntem Wasser aus Aquiferen in Deckschichten bei anhaltend tiefen Wintertemperaturen der Bodenoberfläche erfolgt. Das Kammeis verhindert die Etablierung von Baumindividuen und ermöglicht die laterale, flächenhafte Ausweitung der Quelle. Wegen der ausgeprägten Klimaabhängigkeit des Kammeises sind diese Phänomene auf Gebiete mit kontinentalem Klimas beschränkt.

5. Summary

Springs in the silicate mountains of the eastern part of Germany (including northeastern Bavaria) often form rounded basins with flat bottoms that are incised into the relief; these basins are free of trees even in forested areas. Both features are uncommon to the maritime west. They are interpreted by means of needle ice that forms if water is constantly delivered by confined aquifers, usually provided by cover-beds, and if winter soil-surface temperatures are continuously low. The needle ice prevents tree growth and enables the lateral back-wearing of the spring walls. Because needle ice heavily relies on climate conditions, these phenomena are restricted to a more continental climate.

Literatur

- AHNERT, F. (1996): Einführung in die Geomorphologie. – 440 S. Stuttgart.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1994): Waldquellfluren im Frankenwald – Untersuchungen zur reaktiven Bioindikation. – Bayreuther Forum Ökologie **10**: 256 S.
- BEIERKUHNLEIN, C. & W. GRÄSLE (1993): Zum Temperaturverhalten von Waldquellen des Frankenwaldes (Nordost-Bayern). – Crunoecia **2**: 5-14.
- EBERT, A. (1920): Zur Kenntnis der prätertiären Landoberfläche im Thüringerwald und Frankenwald. – Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesamt I. 392-470. Berlin.
- GEISLER, P. (1975): Psychrorhitral – Tagorhitral – Kryokrene: Drei neue Typen alpiner Fließgewässer. – Ber. Schweiz. Bot. Ges. **85**(4): 303-309
- HEINE, K. (1977): Zur morphologischen Bedeutung des Kammeises in der subnivalen Zone randtropischer semihumider Hochgebirge. – Z. Geomorphol. N. F. **21**: 57-78
- KÄSTNER, M. (1942): Über einige Waldsumpfgesellschaften, ihre Herauslösung aus den Waldgesellschaften und ihre Neueinordnung. – Bot. Cbl. Beih. **61** B(1/2): 137-207
- KLEBER, A. & A. SCHELLENBERGER (1998): Slope hydrology triggered by cover-beds. With an example from the Frankenwald Mountains, northeastern Bavaria. – Z. Geomorphol. N. F.: **42**: 469-482.
- MÖLLER, H. (1979): Das *Chrysosplenio oppositifolii-Alnetum glutinosae* (Meij. Drees 1936), eine neue Alno-Padion-Assoziation. – Mitt. Flor. soz. Arbeitsgem. N.F. **21**: 167-180
- OUTCALT, S.I. (1971): An algorithm for needle ice growth. – Water Resources Res. **7**: 394-400
- PHILIPPI, G. (1975): Quellflurgesellschaften der Allgäuer Alpen. – Beitr. Naturk. Forsch. Südw.-Dtl. **34**: 259-287. Karlsruhe.
- SCHMIDT, J. & C. BEIERKUHNLEIN (1995): Zur Vegetation der Waldquellen im Hohen Thüringer Schiefergebirge. – Crunoecia **4**: 21-43

SEMMELE, A. (1993): Bodenerosionsschäden unter Wald - Beispiele aus dem Kristallinen Odenwald und dem Taunus. – Jber. wetterau. Ges. ges. Naturkunde **144/145**: 5-15. Hanau/Main.

STEINMANN, P. (1915): Praktikum der Süßwasserbiologie. I. Die Organismen des fließenden Wassers. – Sammlung naturwiss. Praktika **7**: 184 S. Berlin.

THIENEMANN, A. (1924): Die Gewässer Mitteleuropas – eine hydrobiologische Charakteristik ihrer Haupttypen. 84 S. Stuttgart.

WEY, H. (1988): Die Vegetation von Quellgebieten im Raum Trier und ihre Beeinflussung durch land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung der Einzugsgebiete. – Diss. Bot. 125: 170 S. Berlin.