

Quellschwemmkegel – eine wenig bekannte Quellart und Oberflächenform im Karstgebiet der Paderborner Hochfläche

Spring Alluvial Cones – a Little-known Type of Spring and Surface Formation Found in the Karst Terrain of the Paderborn High Plateau

WOLFGANG FEIGE & KARL-HEINZ OTTO

(Manuskripteingang: 21. Mai 2004)

Kurzfassung: Für das Kreidekalkgebiet der Paderborner Hochfläche (Nordrhein-Westfalen) wird erstmalig eine Karsterscheinung detailliert beschrieben und untersucht, die von FEIGE (1961) entdeckt und als „Quellschwemmkegel“ bezeichnet wurde. Es handelt sich dabei um ca. 15 temporäre Wasseraustritte in den in die Hochfläche eingeschnittenen, überwiegend als Grünland genutzten Tälern mit eindeutigem Karstcharakter: ihre Schüttung schwankt stark und sie trüben sich zeitweilig. Sie entspringen auf schildförmigen Erhebungen, die Durchmesser von mehreren Dekametern und Höhen bis zu 2 Metern erreichen.

Quellschwemmkegel sind bislang nur für die Karstlandschaft der Paderborner Hochfläche nachgewiesen worden. Ihre Entstehung lässt sich wie folgt erklären: Auf den offenen Feldfluren der Hochflächen zwischen den Tälern wird in niederschlagsreichen Zeiten viel toniges und schluffiges Verwitterungsmaterial in Dolinen und Gesteinsklüfte eingeschwemmt und von unterirdischen Karstwasserströmen mitgeführt. Zudem werden bei der Lösung von anstehendem Gestein Residualtone freigesetzt, wodurch der Suspensionsanteil der Karstwässer zusätzlich erhöht wird. Wasserdruck und Turbulenz verhindern weitgehend eine Klärung der Trübe auf dem unterirdischen Lauf, und so werden die mitgeführten Schwebstoffe in den Quellen zutage gefördert. Hier erlischt die Transportkraft, und die Trübe wird ringförmig um die Quellöffnungen im Gras der Talauen abgelagert. Die frischen Ablagerungen werden von diesem durchwachsen und die Quellschwemmkegel werden allmählich höher. Unter Wald bilden sich keine Quellschwemmkegel. Sie können daher erst nach der Rodung der Wälder entstanden sein, deren Beginn an das Ende der Jungsteinzeit datiert werden kann.

Schlagworte: Geomorphologie, Geohydrologie, Karst, Paderborner Hochfläche, Kreidezeit, Quellen

Abstract: For the first time, this article describes and examines in detail a phenomenon of the karst terrain on the Cretaceous limestone plateau of Paderborn (North Rhine-Westphalia) that was discovered by Feige in 1961 and named 'spring alluvial cone'. The term refers to about 15 points where water temporarily emerges into valleys cut into the plateau, which are used mainly as grassland. The karst character of these springs is obvious: Their yield fluctuates widely, and each of them sometimes becomes turbid. They flow from the tops of shield-shaped elevations which can grow as large as several tens of meters in diameter, measuring up to 2 meters in height.

The karst plateau of Paderborn is the only place so far where these spring alluvial cones have been documented. Their evolution may be explained as follows: In times of copious precipitation, a great amount of eroded silt and clay is washed into sinkholes and ravines on the open fields of the tablelands between the valleys and carried along by subterranean streams of karst water, whose burden of suspended matter further increased by residual clay produced by the erosion of living rock. As turbidity is largely maintained along the subterranean water flow by water pressure and turbulence, suspended particles are carried right to the mouths of the springs, where they are deposited in a ring in the surrounding grass of the valley bottom. The grass grows through the deposits, and the alluvial cones gradually increase in height. As spring alluvial cones will not form in forested areas, they can only have originated after the forests were cleared not before the Neolithic era.

Keywords: Geomorphology, geohydrology, karst, karst area of the Paderborn high plateau, Cretaceous, springs

1. Verbreitung und Zustand der gegenwärtig bekannten Quellschwemmkegel (QSK)

Hauptverbreitungsgebiet der QSK ist das Tal der Alme, die im nordöstlichen Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge) entspringt, südlich von Büren in die verkarsteten Kreidekalktafeln ein-

tritt und diese westlich von Paderborn am Hellwegquellhorizont wieder verlässt.

Im Jahre 1960 befanden sich im Almetal zwischen Wewelsburg und Alfien noch 17 Kegel (FEIGE 1961). Von diesen sind inzwischen 9 durch Wegebau und Drainage ganz oder teilweise zerstört worden (Abb. 1).

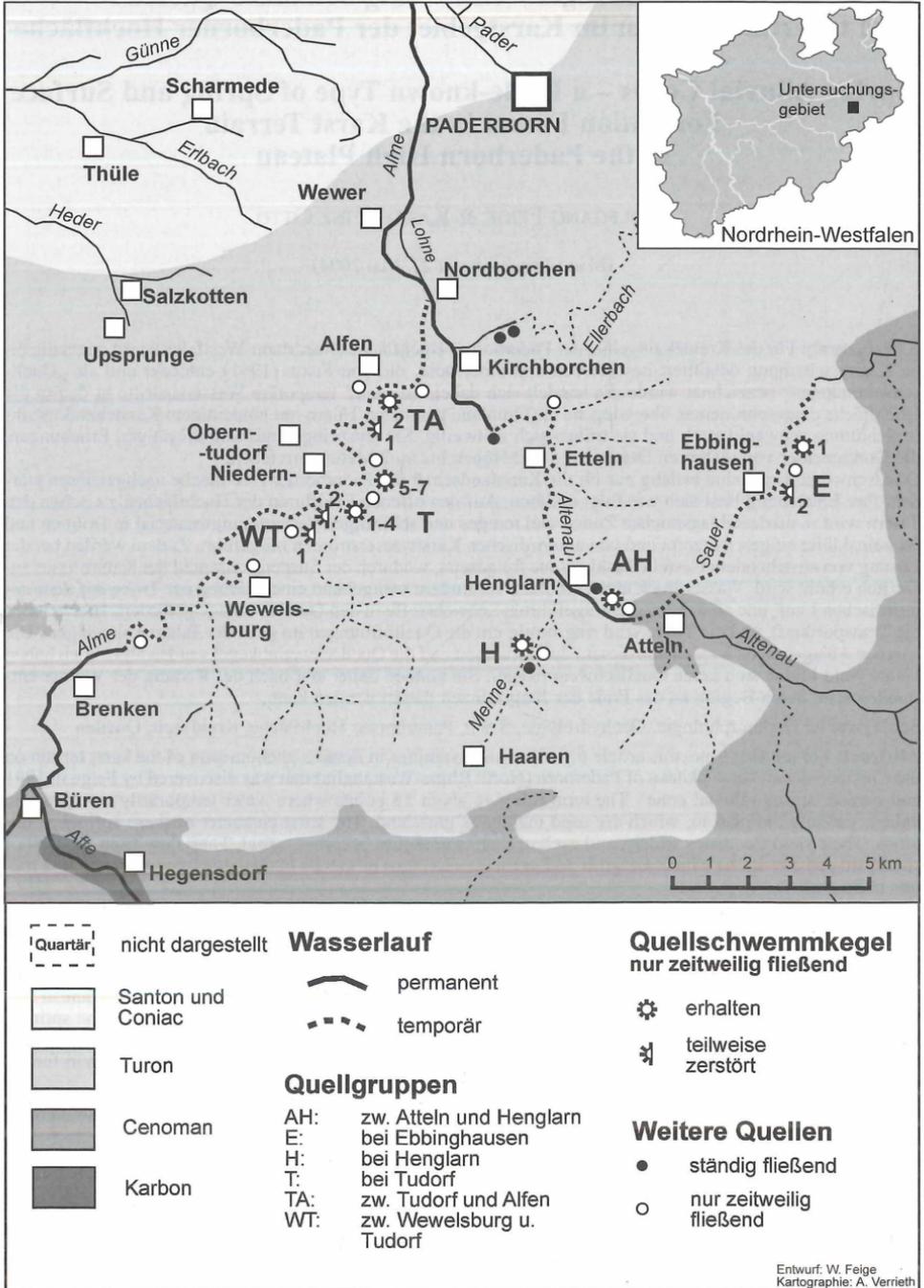


Abbildung 1: Karstgebiet der Paderborner Hochfläche

Figure 1: Karst area of the Paderborn high plateau

Es lassen sich im Almetal nach der Höhenlage drei Quellgruppen mit QSK unterscheiden:

1. Gruppe TA – zwischen Tudorf und Alfen, 142–144 m ü. NN (ein erhaltener und ein halbzerstörter QSK [TA 1–2]);
2. Gruppe T – bei Tudorf, 150–153 m ü. NN (sieben erhaltene Kegel [T 1–7]);
3. Gruppe WT – zwischen Wewelsburg und Tudorf, 159–161 m ü. NN (zwei halbzerstörte QSK [WT 1–2]).

Erst in den Jahren 1998 bis 2002 wurden auch im Flussgebiet der Altenau, die in der Egge entspringt und bei Borchon in die Alme mündet, QSK entdeckt:

4. AH – im Altenautal zwischen Atteln und Henglar, 184 m ü. NN (ein teilweise zerstörter QSK);
5. H – Mental bei Henglar, 212 m ü. NN (ein vollständig erhaltener QSK);
6. Gruppe E – im Sauertal bei Ebbinghausen, 212–220 m ü. NN (ein ganz erhaltener und ein halbzerstörter QSK [E 1–2]).

Sämtliche QSK liegen physiogeographisch gesehen in den Talauen temporärer Trockentäler. Aus kulturgeographischer Sicht befinden sich alle Quellen bis auf die der Gruppe WT in Mähweiden. Auch für die Quellen der Gruppe WT lässt sich nachweisen, dass sie ehemals in Weiden gelegen haben, bevor diese 1963 aufgefördert wurden.

2. Fließrhythmus der Quellschwemmkegel

Zur Ermittlung des Fließverhaltens temporärer Quellen werden üblicherweise automatische Schreibpegel eingesetzt. Diese standen den Autoren für die Untersuchung der QSK aber nicht zur Verfügung. Um dennoch präzise und aussagefähige Ergebnisse zu erarbeiten, wurden – trotz des damit verbundenen hohen Zeitaufwandes – eine Vielzahl von Geländebegehungen durchgeführt.

In den Hydrologischen Jahren 1998 bis 2000 wurden die QSK – von zwei mehrwöchigen Unterbrechungen abgesehen – mindestens zweimal im Monat und im Durchschnitt alle acht Tage, in den Hydrologischen Jahren 2001 und 2002 kontinuierlich mindestens einmal in der Woche und im Durchschnitt alle vier Tage aufgesucht. Wegen der geringeren Zahl der Beobachtungen in den Jahren 1998 bis 2000 lässt sich für den gesamten Untersuchungszeitraum nur angeben, ob die Quellen in den einzelnen Monaten immer fließend, teils fließend und teils trocken oder im-

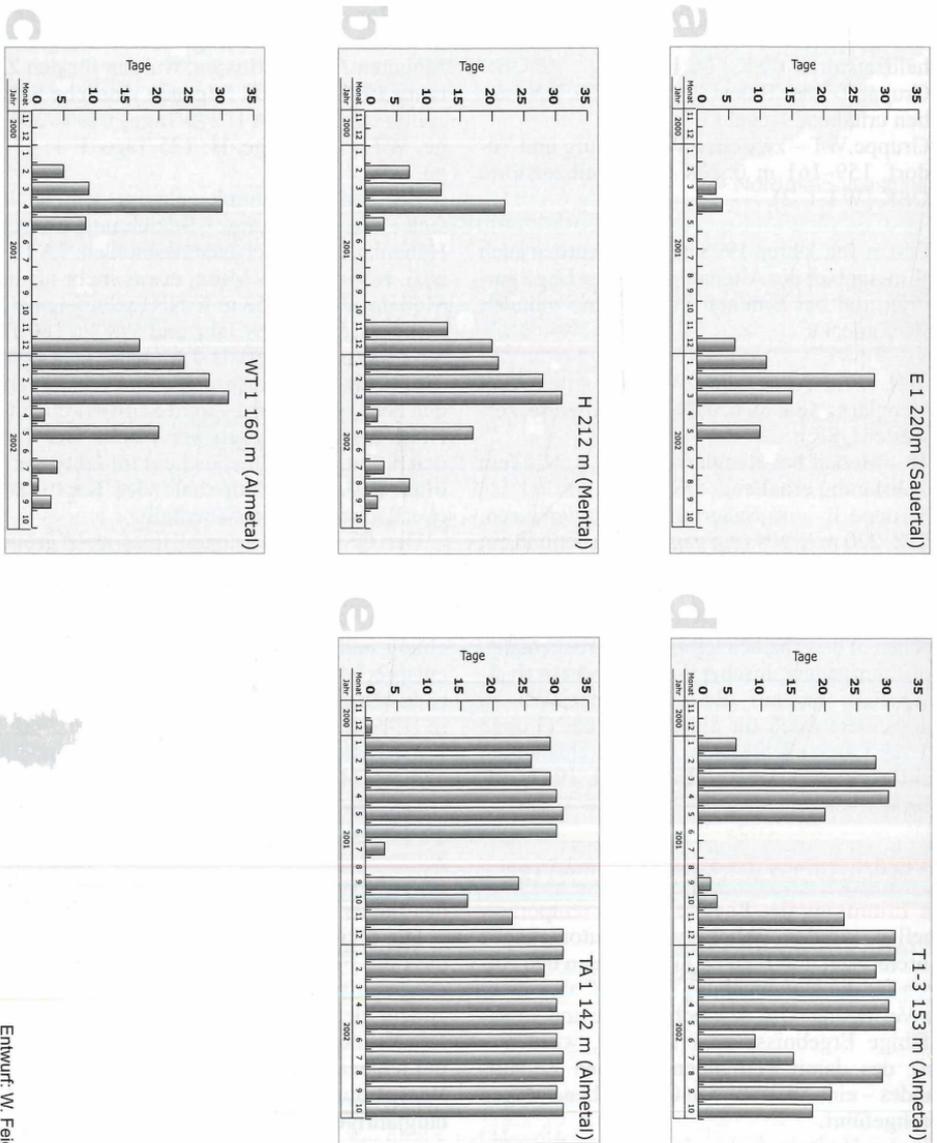
mer trocken angetroffen wurden. Unter der Annahme, dass in den Monaten, in denen Quellen fließend angetroffen wurden, diese 30 Tage, in den Monaten, in denen sie immer trocken angetroffen wurden, 0 Tage und in den übrigen Monaten 15 Tage flossen, wurden für den Zeitraum 1998 bis 2002 folgende jährliche Schüttzeiten ermittelt: TA 1: 279 Tage, T 1–3: 204 Tage, WT 1: 114 Tage, H: 125 Tage, E 1: 67 Tage.

Bei den Schwemmkegeln im Almetal lässt sich eine eindeutige Beziehung zwischen Höhenlage und Fließdauer feststellen: TA 1 (142 m ü. NN) floss im Mittel etwas mehr als neun Monate, T 1–3 (153 m ü. NN) schütteten etwas mehr als ein halbes Jahr und WT 2 (160 m ü. NN) etwas weniger als 4 Monate. Das zeitlich unterschiedliche Anspringen und Wiederversiegen der Quellen wird durch Schwankungen der Höhe des Karstwassers verursacht: Der Talboden des unteren Almetals liegt im Jahresverlauf öfter und länger unterhalb der Karstwasser-oberfläche als weiter oberhalb.

Der QSK H im Mental floss trotz größerer Höhenlage etwas länger als die Quelle WT 1 im Almetal. Das lässt sich dadurch erklären, dass die Karstwasser-oberfläche, der Geländeabdachung und dem Einfallen der Kreideschichten entsprechend, von Nordnordwesten nach Südsüdosten ansteigt und der Talboden des Mentals in Höhe des QSK etwas häufiger unterhalb der Karstwasser-oberfläche liegt als das Almetal in Höhe der Gruppe WT.

Der am höchsten gelegene QSK E 1 im Sauertal bei Ebbinghausen floss im Vergleich zu allen anderen am seltensten und kürzesten. Nur im außergewöhnlich niederschlagsreichen Februar des Jahres 2002 floss er ununterbrochen.

Die Diagramme in Abbildung 2 bestätigen, dass die Fließzeiten der QSK generell mit der orographischen Höhe abnehmen. Sie spiegeln zudem den Niederschlagsgang. Während die Jahressummen der Niederschläge im Jahre 2001 in Lichtenau-Blankenrode (864 mm) und Büren-Wewelsburg (791 mm) ziemlich genau dem langjährigen Mittel entsprachen, waren sie im Jahre 2002 mit 1.184 mm in Lichtenau-Blankenrode und 1.120 mm in Büren-Wewelsburg ganz außergewöhnlich hoch. Davon profitierten insbesondere die höher gelegenen Quellen, da sich das Karstgrundwasser stark auffüllen konnte. Der Mental-Kegel z. B. floss im Jahr 2002 mehr als dreimal so lang, der oberste Almetal Quellschwemmkegel WT 1 mehr als doppelt so lang wie im Jahr 2001. Vergleicht man das Fließverhalten der beiden Quellen weiter, so fällt auf, dass bei etwa gleicher Gesamtfließdauer in den beiden Hydrologischen Jahren (H: 188 Ta-



Entwurf: W. Feige
 Grafik: A. Verrleth

Abbildung 2: Fließtätigkeit ausgewählter Quellschwemmkegel in den Hydrologischen Jahren 2001 bis 2002 (Tage im Monat)

Figure 1: Flow activity of selected spring alluvial cones in the hydrological years of 2001 and 2002 (days per month)



Abbildung 3: Quellschwemmkegel im Mental (Foto)

Figure 3: Spring alluvial cone in the Men valley (photograph) Foto: K.-H. OTTO

ge, WT 187 Tage) in manchen Monaten die Quelle WT 1 (z. B. April 2001) in anderen die Quelle H (z. B. November 2001) länger floss. Das lässt darauf schließen, dass das Karstwasser keinen einheitlichen Grundwasserkörper bildet, sondern vorwiegend auf voneinander getrennten Karstgerinnen zirkuliert.

Was den Jahresgang der Quellstätigkeit betrifft, waren sie in den Monaten Oktober und November, also um die Wende der Hydrologischen Jahre, besonders oft und lange trocken. Den Höhepunkt ihrer Fließtätigkeit erreichten die Quellen in den Frühjahrsmonaten März und April. In diesen Monaten flossen die Quellen der Gruppen TA und T ununterbrochen und die der Gruppe WT und der QSK H überwiegend. In den Monaten Mai bis September versiegten die Quellen nacheinander wieder.

Nachfolgend werden die am besten erhaltenen QSK ausführlicher beschrieben: Der QSK H im Mental bei Henglar und die QSK-Gruppe T 1–4 bei Niederntudorf im Almetal. Um Wiederholungen zu vermeiden, wird auf das Trübungsverhalten der Quellen nur beim Mentaler Kegel, auf das potenzielle Einzugsgebiet lediglich bei den Tudorfer Kegeln näher eingegangen.

3. Der Quellschwemmkegel im Mental

Beim QSK H handelt es sich um den größten bisher bekannten Kegel im gesamten Karstgebiet der Paderborner Hochfläche (Abb. 3, 4). Er liegt im oberen Teil des Mentals, einem kleinen Seitental der Altenau, das durch den temporär fließenden Menne-Bach in die Altenau entwässert.

3.1. Geohydrologische Aspekte

Das Mental ist in die klüftigen Mergelkalkbänke der lamarki-Schichten des Turon (krt2) eingeschnitten (Geologische Karte von NRW 1:25000, Blatt 4418 Wünnenberg). Diese 60–80 m mächtigen Ablagerungen haben einen mittleren CaCO_3 -Gehalt von 70–85 % (SKUPIN 1989) und neigen dementsprechend stark zur Verkarstung. In die dickbankigen Mergelkalle sind örtlich geringmächtige, wasserstauende Kalk- und Tonmergelbänke eingeschaltet, über denen sich „schwebende“ Grundwasservorkommen bilden können. An ein solches sind wahrscheinlich 2 Quellen gebunden, die ca. 300 m oberhalb des QSK entspringen und zumeist nur schwach, aber ausdauernd fließen. Ständig fließende Quellen

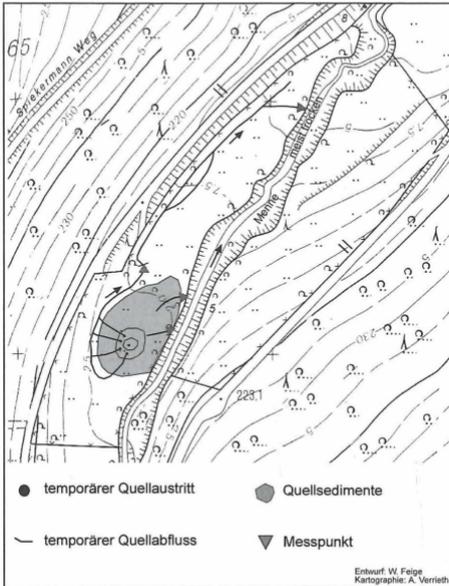


Abbildung 4: Lage des Quellschwemmkegel im Mental

Figure 4: Location of the spring alluvial in the Men valley

sind in den lamarki-Schichten selten. Quicksprünge dagegen treten häufiger und zumeist in Gruppen oder gelegentlich auch in Reihen auf. Sie sind in der Regel an tiefreichende Klüftzonen gebunden, die sich im Winterhalbjahr oder auch nach stärkeren Regenfällen im Sommer mit Wasser füllen. Wo diese Klüfte tiefeingeschnittene Täler kreuzen, bilden sich bevorzugt Quicksprünge oder sogar Dauerquellen. Der QSK im Mental scheint an einer solchen Kluft zu liegen. Nach starken Niederschlagsereignissen ist nicht nur der Kegel im Talgrund, sondern sind bis zu 4 weitere temporäre Quellen am östlichen Talhang in Tätigkeit.

3.2. Morphologische und bodenkundliche Aspekte

Zur exakten morphographischen und morphometrischen Erfassung des Mentaler QSK wurde mit Hilfe eines Nivelliergerätes (Ni 30) ein geometrisches Nivellement (im Raster von 3 x 3 m) durchgeführt. Die insgesamt 441 gemessenen Höhenpunkte, die unter Zuhilfenahme eines nahegelegenen trigonometrischen Punktes in absolute Werte umgerechnet wurden, bilden die Grundlage des nachfolgenden digitalen Reliefmodells, das dem Betrachter eine anschauliche graphische Vorstellung vom Mentaler QSK ermöglicht (Abb. 5; OTTO 1991).

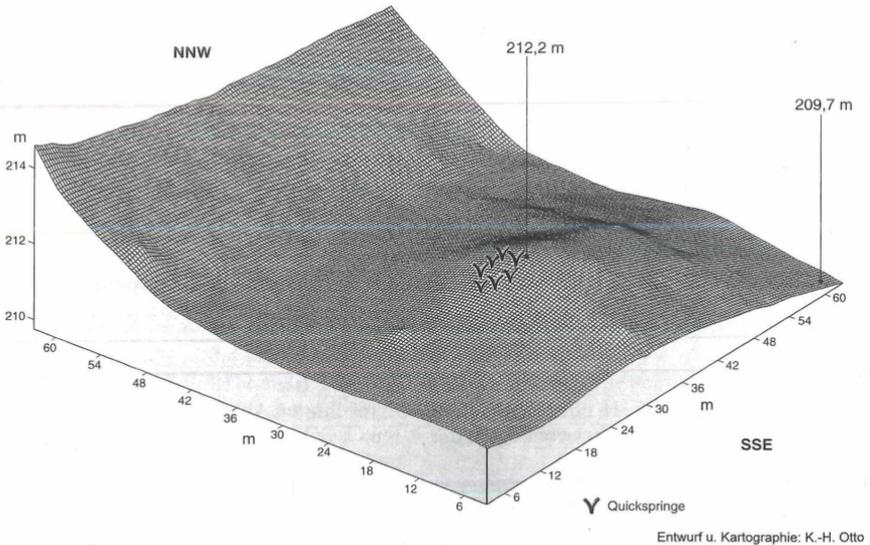


Abbildung 5: Digitales Reliefmodell des Quellschwemmkegels im Mental

Figure 5: Digital relief model of the spring alluvial cone in the Mental valley

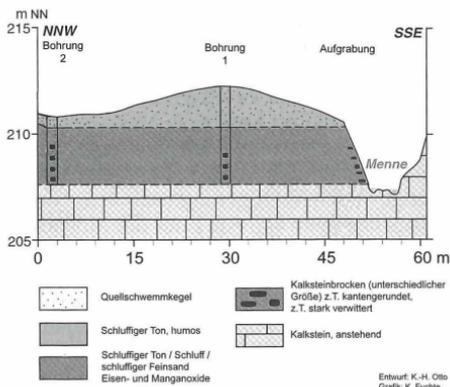


Abbildung 6: Bohrungen und Grabungen im Bereich des Quellschwemmkegels im Mental

Figure 6: Exploratory drills and digs in the vicinity of the spring alluvial cone in the Men valley

Der QSK hat von SSW nach NNE – also in Talrichtung – einen Durchmesser von ca. 54 m, senkrecht dazu von 48 m. Während der im südlichen Teil des Kegels gelegene höchste Punkt eine absolute Höhe von 212,2 m erreicht, weist die im Norden gelegene tiefste Stelle einen absoluten Wert von 209,7 m auf. Der QSK ist also im Grundriss und Aufriss leicht asymmetrisch. Dies erklärt sich daraus, dass die Hauptabflussrichtung des Schwemmkegels dem Talverlauf entsprechend von Süden nach Norden tendiert. Der Rauminhalt des Kegels beträgt annähernd 3.000 m³. Die Neigung der Hänge erreicht stellenweise fünf Grad.

Um genauere Vorstellungen vom Aufbau des oberflächennahen Untergrundes im Bereich des QSK zu bekommen, wurden entlang einer den Kegel und das rezente Bachbett der Menne in WNW–ESE-Richtung schneidenden Profillinie zwei Schlitzsondenbohrungen niedergebracht. Aufgrund der Zähigkeit und des hohen Widerstandes des schluffigen Untergrundmaterials vor allem beim Herausziehen des Bohrgestänges musste ein Cobra-Motorhammer mit entsprechend „starkem“ Hebelziehgerät eingesetzt werden. Die genaue Lage der Bohrungen und die dabei erzielten Ergebnisse sind der Abbildung 6 zu entnehmen. Neben den beiden Bohrungen wurde an der dem QSK zugewandten Böschung des Menne-Baches zusätzlich eine Profilgrabung vorgenommen.

Bei der Bohrung 1, auf dem Top des Schwemmhügels, wurde das im Untergrund anstehende Kalkgestein in einer Tiefe von 4,50 m

(entspricht 207,7 m ü. NN) erreicht. Von 0–1,85 m unter der Oberfläche besteht der Untergrund hier aus schluffigem Ton, der humose Anteile aufweist und mittel- bis dunkelbraun gefärbt ist. Von 1,85–3,45 m folgt ebenfalls schluffiger Ton, allerdings hier mit Eisen- und Manganoxiden. Dieser Ton besitzt eine mittelbraune Färbung. Exakt 3,45 m unter der Oberfläche befand sich ein kleiner Kalksteinbrocken, der stark verwittert und zugleich kantengerundet war. Von 3,45–3,80 m wurde zunächst Schluff mit Eisen- und Manganoxiden und mittelbrauner Färbung vorgefunden und daran anschließend bis 4,30 m schluffiger Feinsand/Lehm ebenfalls mit Eisen- und Manganoxiden, aber hellgrauer Färbung, erbohrt. Von 4,30 m bis zum anstehenden Kalkgestein ist schließlich hellgrauer Schluff ausgebildet.

An der Bohrstelle 2, am Fuße des QSK, steht das Kalkgestein bereits in einer Tiefe von 3,25 m (entspricht 207,6 m ü. NN) an. Von 0–0,55 m wurde bei dieser Bohrung zunächst wieder schluffiger Ton gefunden, der durch humose Anteile und dunkel- bis mittelbraune Färbung gekennzeichnet ist. Von 0,55–1,66 m folgt schluffiger Ton mit Eisen- und Manganoxiden und mittelbrauner Färbung. In einer Tiefe von 1,20 m befand sich ein stark verwitterter Kalksteinbrocken von hellgrauer Farbe. Von 1,66–3,25 m folgte ebenfalls schluffiger Ton mit Eisen- und Manganoxiden und mittel- bis hellbrauner Färbung. Im unteren Teil dieses Profilabschnittes wurden mehrere Kalksteinchen vorgefunden.

Die Profilgrabung an der dem Schwemmkegel zugewandten Böschung des rezentes Bachtales der Menne erbrachte folgende Resultate: Von 0–0,63 m ist hier schluffiger Ton mit humosen Anteilen und dunkel- bis mittelbrauner Färbung ausgebildet. Von 0,63 m bis hinunter auf das anstehende Kalkgestein (etwa bei 207,6 m ü. NN) folgen schluffiger Ton und schluffiger Feinsand mit Eisen- und Manganoxiden und mittelbrauner Färbung. Je geringer der Abstand zum anstehenden Kalkgestein, um so größer wurde die Anzahl von eingestreuten unterschiedlich großen, aber allesamt plattigen, kantengerundeten Kalksteinbrocken. Es handelt sich daher wahrscheinlich um Bachgerölle.

Ausweislich der Bohrungen und der Aufgrabung bildet das anstehende Kalkgestein im Untergrund des QSK eine fast horizontale Basisfläche (Abb. 6). Darüber befindet sich eine insgesamt etwa 2,6 m mächtige Schicht aus schluffigem Ton, Schluff, Feinsand/Lehm von mittelgrauer bis hellgrauer Färbung, die mit einzelnen mehr oder weniger großen, stark verwitterten Kalksteinbrocken durchsetzt ist. Diese Sedimentschicht entspricht dem in der Geologischen

Entwurf: K.-H. Otto
Grafik: K. Fuchte

Karte von NRW 1:25000, Blatt 4418 Wünnenberg, ausgewiesenen und bereits weiter oben beschriebenen Schwemmlehm (u/krt2). Dieser Schwemmlehm unterscheidet sich vom darüber liegenden und damit jüngerem QSK-Sediment insbesondere durch das Vorhandensein von Mangan- und Eisenoxideinschlüssen. Die Existenz von Eisen- und Manganoxiden ist ein Indiz für zumindest zeitweiligen Stauwassereinfluss. Dass der von den Quickspringen aufgebaute Lehm keine derartigen Ausprägungen aufweist, lässt sich folgendermaßen erklären: Durch die fortlaufende Akkumulation der schluffigen Sedimente fand allmählich eine Erhöhung des Kegels und damit eine zunehmende Emporhebung dieser Ablagerungen über den Einflussbereich des Stauwassers statt. Folglich konnten sich hier keine Eisen- und Manganoxide bilden.

3.3. Hydrologische Aspekte

3.3.1. Fließverhalten (Fließ- und Trockenzeiten)

Der QSK war in den Hydrologischen Sommerhalbjahren ganz überwiegend trocken. In den Jahren 1998 bis 2001 wurde er in den Monaten Juni, Juli und August immer trocken, in den Monaten Mai, September und Oktober ganz überwiegend trocken angetroffen. Lediglich im außergewöhnlich feuchten Jahr 2002 floss er auch in den Monaten Juli bis September kurzfristig. In den Hydrologischen Winterhalbjahren konnte er in allen Monaten häufiger fließend als trocken beobachtet werden. Für den Zeitraum 1.11.2000 bis 31.10.2002 können wegen der häufigeren Geländebegehungen genauere Angaben über Fließzeiten gemacht werden (Abb. 2b).

3.3.2. Niederschlagsgang und Fließverhalten im Hydrologischen Jahr 2001

In den ersten sieben Monaten (November bis Mai) des Jahres 2001 lässt sich eine enge Beziehung zwischen Niederschlagsgang und Fließtätigkeit konstatieren. Nachdem der Schwemmkegel schon von Mai bis Oktober des Hydrologischen Jahres 2000 trocken gelegen hatte, vermochten ihn auch die geringen Niederschläge zu Beginn des Hydrologischen Jahres 2001 (November bis Januar in Lichtenau-Blankenrode insgesamt nur 129,4 mm) nicht zum Fließen zu bringen (Abb. 7). Erst Anfang Februar füllten ergiebige Niederschläge das Karstwasser kurzfristig so weit auf, dass der QSK zu schütten begann. Nach wenigen Tagen versiegte die Quelle aber bereits wieder.

Im März füllte sich das Karstwasser durch ziemlich gleichmäßig über den Monat verteilte Niederschläge (98,2 mm) so „nachhaltig“ auf, dass der QSK in der zweiten Monatshälfte mehr als 10 Tage und im April trotz etwas geringerer Niederschläge (80 mm) noch über 20 Tage floss. Das Maximum des Abflusses trat also erst mit einer gewissen Verzögerung nach dem Niederschlagsmaximum auf. Am Ende des Monats war der Kegel dann wieder trocken. Am 3. Mai brachten 10 mm Niederschlag den Schwemmkegel ein letztes Mal in diesem Jahr für wenige Tage zum Fließen. Für den weiteren Verlauf des Jahres 2001 lässt sich keine weitere Korrelation zwischen Niederschlagsgang und Quellabfluss feststellen.

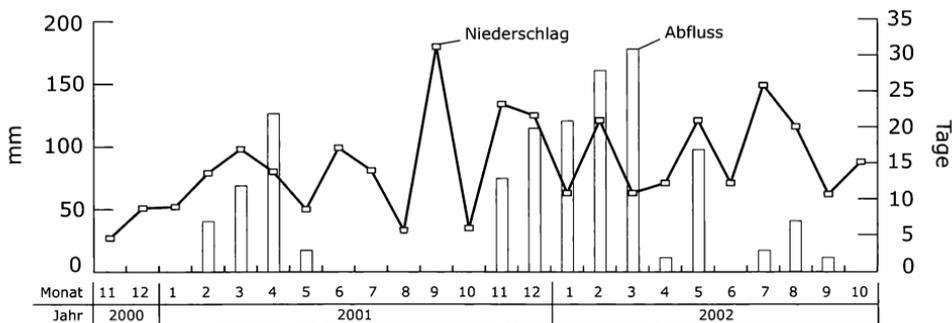
Der Mai war mit 50 mm recht trocken, wodurch die Karstwasseroberfläche so stark absank, dass der QSK trotz relativ hoher Niederschläge im Juni und Juli trocken blieb und in diesen Monaten sogar die Tudorfer QSK nicht mehr flossen. Im sehr niederschlagsarmen August waren sogar sämtliche QSK ohne Abfluss (Abb. 2).

Die außergewöhnlich hohen Niederschläge im September (180,3 mm) brachten durch einen Anstieg des Karstwassers zwar die QSK TA 1 und auch T 1–3, nicht aber den Mentaler QSK zum Fließen. Der Oktober war wiederum sehr niederschlagsarm (34,5 mm), so dass im Verlauf dieses Monats die QSK bei Niedermtudorf versiegten (Abb. 2).

3.3.3. Niederschlagsgang, Abflussgang und Trübungsverhalten im Hydrologischen Jahr 2002

Im Hydrologischen Jahr 2002 wurde neben dem allgemeinen Fließverhalten auch das Trübungsverhalten des QSK beobachtet. Dabei wurden bei insgesamt vierundvierzig Geländebegehungen Messungen des Abflusses und eine Reihe von Messungen der Quelltrübe durchgeführt.

Abflussmengenmessungen: Vom Mentaler QSK fließen nur geringe Mengen in östlicher Richtung unmittelbar in die Menne ab (Abb. 4). Da sie sich vor Erreichen des Baches in drei schmalen Abflussbahnen mit starkem Gefälle konzentrieren, lassen sie sich leicht in einem Messgefäß auffangen. Es wurden in östlicher Richtung Abflüsse bis zu 1,5 l/s exakt gemessen (Tab. 1). Die Hauptmasse des Quellwassers fließt nach Westen ab, sammelt sich hier am Fuß des Kegels, fließt parallel zur Menne am westlichen Talhang entlang nach Norden und erreicht bei einer Schüttung der Quelle von mehr als 10 l/s nach ca. 200 m die Menne. Bei geringerer Schüttung versickert das Wasser am Fuße des



Entwurf: W. Feige
 Grafik: A. Verrieth

Abbildung 7: Niederschläge in Lichtenau-Blankenrode (mm/Monat) und Abfluss des Mentaler Quellschwemmkegel (Tage/Monat) in den Hydrologischen Jahren 2001 und 2002

Figure 7: Precipitation at Lichtenau-Blankenrode (mm/month) vs. discharge of the Men valley spring alluvial cone (days/month) in the hydrological years of 2001 and 2002

Talhangs, teils allmählich, teils in einer lokalisierbaren Schwinde. Dieser Hauptabfluss des Quellwassers wurde Anfang November 2001 durch einen ca. 20 m langen Erddamm von Hand aufgestaut und ein Thompsonwehr eingebaut, durch das ca. 90 % des westlichen Abflusses aufgefangen werden können.

Eine zweite Messstelle wurde an der Mündung des Hauptabflusses in die Menne eingerichtet. Hier lässt sich der Rest des nicht versickerten Quellwassers am Uferhang der Menne erfassen. Die auf der Basis von 40 Messungen berechnete mittlere Schüttungsmenge betrug im Winterhalbjahr 2002 am Fuße des QSK 5,7 l/s, an der Mündung des Hauptabflusses in die Menne 1,6 l/s. Die höchste Schüttung des Winterhalbjahres wurde am 27.02.02 mit 17,5 l/s registriert und der Gesamtabfluss am gleichen Tage auf 20 l/s geschätzt.

Trübungsverhalten und Schwebstoffmessungen: Grundsätzlich lassen sich rein optisch unterscheiden: Schwache, gerade noch wahrnehmbare Trübungen, mittlere Trübungen (mit grauer Wasserfarbe) und starke Trübungen (mit gelber Wasserfarbe).

Trübungen mit gelber Farbe treten in der Regel nur kurzfristig nach vorausgegangenen starken Regenfällen und/oder Schneeschmelze auf. Sie dauern selten mehr als ein bis drei Tage. An die kurzen Phasen der Gelbfärbungen schließen sich häufig längere Phasen der Graufärbung an, die schließlich in Phasen noch geringerer Trübung übergehen.

Um quantitative Vorstellungen über den Sedimentgehalt bei den unterschiedlichen Trübungsstufen zu gewinnen, wurden bei Gelb-, Grau- und kaum wahrnehmbaren Trübungen an verschiedenen Tagen je mehrere 10 Liter-Wasserproben entnommen und der Schwebstoffgehalt ermittelt. Dabei wurden folgende Durchschnittswerte ermittelt: bei Gelbfärbung des Wassers: 0,428 g/l, bei Graufärbung des Wassers: 0,056 g/l. Die kaum wahrnehmbaren Trübungen wurden bei den späteren Berechnungen des Schwebstoffgehaltes nicht berücksichtigt.

Beziehungen zwischen Niederschlagsgang und Fließ- und Trübungsverhalten: Nachfolgend werden die Ergebnisse der Beobachtungen und Messungen für die Monate November und Dezember 2001 in Diagrammform vorgestellt (Abb. 8). Das Diagramm enthält darüber hinaus die täglichen Niederschlagsmengen der Station Lichtenau-Blankenrode, die dem potenziellen Einzugsgebiet des Mentaler QSK am nächsten liegt. In dem Diagramm sind die Beobachtungstage kenntlich gemacht. Für die Tage zwischen den Beobachtungsterminen konnte das Fließ- und Trübungsverhalten nur annäherungsweise durch Interpolation ermittelt werden. Dabei wurde grundsätzlich wie folgt verfahren:

Wenn an zwei aufeinander folgenden Terminen die gleichen Beobachtungen gemacht wurden, wurden diese auch für die Zwischenzeit angenommen.

Wenn zwischen zwei Terminen Unterschiede in den Beobachtungen zu verzeichnen waren,

Tabelle 1: Mittlere Abflussmengen des Mentalkegels im Hydrologischen Jahr 2002 an Tagen mit Abfluss
 Table 1: Mean discharge volumes of the Men valley cone on active days in the hydrological year of 2002

| Monat | Fließtage | Gemessener Abfluss am Fuße des Quellschwemmkegels in l/s | Geschätzter Gesamtabfluss am Fuße des Kegels in l/s | Gemessener Abfluss an der Mündung des Hauptabflusses in l/s |
|-----------|-----------|--|---|---|
| November | 12 | 2 | 2,2 | 0 |
| Dezember | 20 | 5,2 | 5,7 | 0,9 |
| Januar | 21 | 7,4 | 8,2 | 2,8 |
| Februar | 28 | 12,1 | 13,2 | 3,1 |
| März | 31 | 9,3 | 10,2 | 2,3 |
| April | 2 | 0,1 | 0,1 | 0 |
| Mai | 17 | keine Messungen | 10 | 2,5 |
| Juni | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Juli | 3 | keine Messungen | 15 | keine Messung |
| August | 7 | keine Messungen | 7 | 0 |
| September | 2 | keine Messungen | 2 | 0 |
| Oktober | 0 | 0 | 0 | 0 |

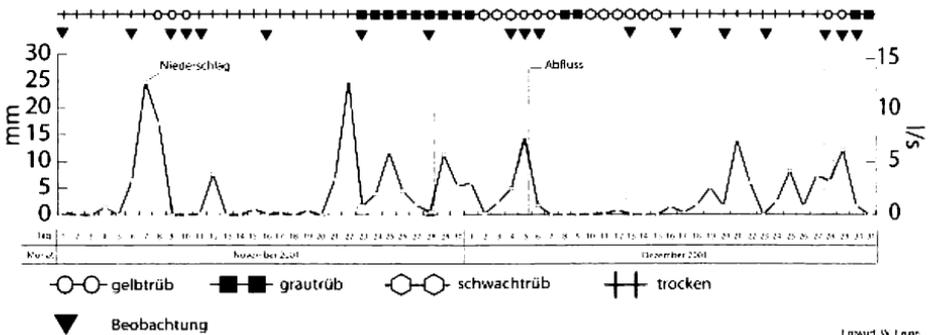


Abbildung 8: Fließ- und Trübungsphasen des Mental-Kegels in Relation zum Niederschlagsgang in Lichtenau-Blankenrode im November/Dezember 2001 (in mm N, l/s)

Figure 8: Flow and turbidity phases of the Men valley cone vs. precipitation history at Lichtenau-Blankenrode in November/December 2001 (in mm N, l/s)

wurden die Beobachtungen auch für die Hälfte der vorausgehenden und nachfolgenden Zwischenzeit angenommen. Von diesen Grundsätzen wurde abgewichen, wenn der Niederschlagsgang oder der Abflussgang eine genauere Aufteilung der Zwischenzeit zuließ.

Nachdem der Schwemmkegel seit Mai des Jahres trocken gelegen hatte, fielen nach ebenfalls noch trockenem Monatsbeginn vom 6. bis 8. November 48,4 mm Niederschlag. Am 6.11. wurde der Kegel noch trocken, am 9.11. jedoch gelb fließend angetroffen. Da das Kluftsystem nach langer Trockenheit sich erst wieder auffüllen musste, wird angenommen, dass der QSK erst im Verlauf des 8.11. zu fließen begann. Trotz der hohen Niederschläge an den Vortagen betrug die Schüttung der Quelle am 9.11. nur 1,5 l/s.

Am 10.11. wurden 1 l/s gemessen, am 11.11. war der QSK bereits wieder trocken.

Vom 9. bis 20.11. fielen lediglich 10 mm Niederschlag. Der Mentalkegel lag in dieser Zeit trocken. Am 22.11. regnete es erneut (25 mm Niederschlag nach 6,7 mm am Vortag).

Am 23.11. fließen um 10.30 etwa 1 l/s schwach getrübes Wasser am Wehr ab. Um 15.00 Uhr ist die Schüttung auf 2 l/s gestiegen, das Wasser ist grau getrübt. Der Abfluss erreicht die Menne zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht.

Vom 28.11. bis 4.12. fielen erneut 33,9 mm in Lichtenau-Blankenrode. In dieser Zeit konnten ausnahmsweise keine Geländebesuche durchgeführt werden. Erfahrungsgemäß dürfte der QSK aber weiter in Tätigkeit gewesen und das Wasser grau bis schwach getrübt gewesen sein.

Tabelle 2: Überschlägige Berechnung der Schwebstoffmengen des Mentaler Quellschwemmkegels im November und Dezember 2001

Table 2: Rough computation of the quantities of suspended matter at the Men valley spring alluvial-cone in November and December 2001

3 Tage Gelbfärbung im November bei einer mittleren Schüttung von 1,5 l/s
 $0,428 \text{ g/l} \cdot 86.400 \text{ s} = 37,0 \text{ kg/d/l} \cdot 3 \text{ d} \cdot 1,5 \text{ l/s} = 166 \text{ kg}$ gerundet 200 kg

5 Tage Gelbfärbung im Dezember bei einer mittleren Schüttung von 6 l/s
 $0,428 \text{ g/l} \cdot 86.400 \text{ s} = 37,0 \text{ kg/d/l} \cdot 5 \text{ d} \cdot 6 \text{ l/s} = 1.104 \text{ kg}$ gerundet 1.100 kg

12 Tage Graufärbung bei einer mittleren Schüttung von 6 l/s
 $0,036 \text{ g/l} \cdot 86.400 \text{ s} = 3,11 \text{ kg/d/l} \cdot 12 \text{ d} \cdot 6 \text{ l/s} = 224 \text{ kg}$ gerundet 200 kg

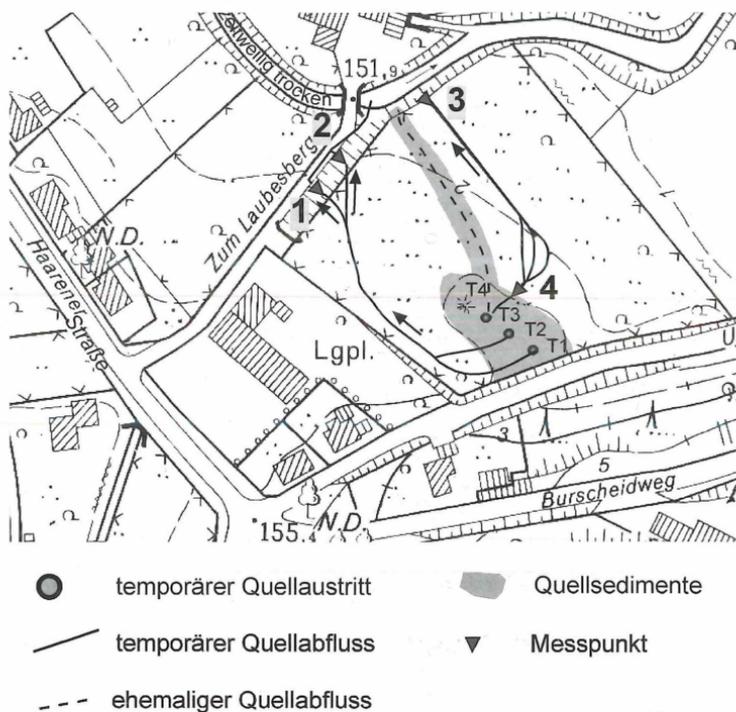
In gleicher Weise wie für den vorstehenden Zeitraum beschrieben, wurden auch für Januar bis Oktober 2002 die monatlichen Schwebstoffmengen überschlägig ermittelt. Die gerundeten Werte betragen für:

| | | |
|-----------|------|----------|
| Januar | 2002 | 300 kg |
| Februar | 2002 | 3.400 kg |
| März | 2002 | 300 kg |
| April | 2002 | 0 kg |
| Mai | 2002 | 1.400 kg |
| Juni | 2002 | 0 kg |
| Juli | 2002 | 1.700 kg |
| August | 2002 | 400 kg |
| September | 2002 | 0 kg |
| Oktober | 2002 | 0 kg |

Schwebstoffe im Hydrologischen Jahr 2002 insgesamt rund 9.000 kg



Abbildung 9: Die Quellschwemmkegel (T 1–4) bei Niederntudorf im Almetal
 Figure 9: Spring alluvial cones (T 1–4) near Niederntudorf in the Alme valley



Entwurf: W. Feige
 Kartographie: A. Verrieth

Abbildung 10: Lage der Quellschwemmkegel (T 1–4) bei Niederntudorf im Almetal
 Figure 10: Location of the spring alluvial cones (T 1–4) near Niederntudorf in the Alme valley

Am 5.12. fielen 18 mm Niederschlag. Da der Monat November insgesamt niederschlagsreich war – Lichtenau-Blankenrode 126,6 mm – und sich das Kluftsystem weitgehend aufgefüllt haben dürfte, wirkten sich die erneuten Niederschläge in einer starken Erhöhung der Schüttung aus. Es wurde ein Abfluss von 11 l/s gemessen und der Gesamtabfluss auf 13 l/s geschätzt. Das Wasser war an den Quellaustritten gelb, am Fuß des Kegels aber nur noch schwach getrübt. Während der größte Teil des Wassers versickerte, erreichten nur 2 l/s die Menne.

Bis zum 18.12. fiel kaum Niederschlag. Entsprechend verminderte sich die Schüttung des Kegels und die Trübung des Quellwassers. Am 13.12. brachte die Quelle noch 3,3 l/s hervor und am 16.12. war sie trocken.

Am 22.12. schneite es stark (17,3 mm), so dass sich am folgenden Tag auch im Mental eine ca. 10 cm tiefe Schneedecke bildete. Der Kegel war allerdings trocken, da die Niederschläge des Vortages in der Schneedecke gespeichert waren. Über Weihnachten setzte Tauwetter ein, und am 28.12. floss der Kegel bei geschätztem Abfluss von 13 l/s stark getrübt. Am 29. und 30. schneite es erneut. Das Wasser wurde klarer.

Da das Hydrologische Jahr 2002 außerordentlich niederschlagsreich war, war auch die Schwebstoffführung dementsprechend hoch. In einem Jahr mit mittleren Niederschlägen dürfte sie erheblich niedriger sein (Tab. 2, S. 155).

3.4. Genese des Mentaler Quellschwemmkegels

Eine unbedingte Voraussetzung für die Bildung von QSK ist die Schwebstoffführung der Quellen und deren nahezu vollständige Sedimentation in unmittelbarer Nähe der Quellaustritte. Alle bisherigen Beobachtungen weisen darauf hin. So wurde z. B. am 24.1.2002 einer Quelle auf der höchsten Erhebung des Kegels eine Wasserprobe entnommen. Sie enthielt 0,036 g Schwebstoff pro Liter. Eine Viertelstunde später wurde am Fuße des Kegels eine weitere Probe entnommen. Sie enthielt lediglich 0,002 g/l, das entspricht knapp 6 %. Die Trübe des Quellwassers wurde somit also fast vollständig schon im Bereich des Kegels sedimentiert.

Die starke Sedimentation auf dem Kegel ist unter anderem auf den intensiven Grasbewuchs zurückzuführen, der durch das relativ warme Quellwasser (8,6 °C am 23.3.2001) gefördert wird. Das Gras wächst bei Quelltätigkeit auch im Winter und begünstigt somit zusätzlich die Ablagerung.

Eine weitere Voraussetzung für die Bildung von QSK ist das Vorhandensein von Acker-

flächen im Einzugsgebiet, auf denen bei Regenfällen Bodenteilchen abgetragen und in Versickerungsstellen eingespült werden, von denen das getrübe Wasser unterirdisch den Quellen zufließt.

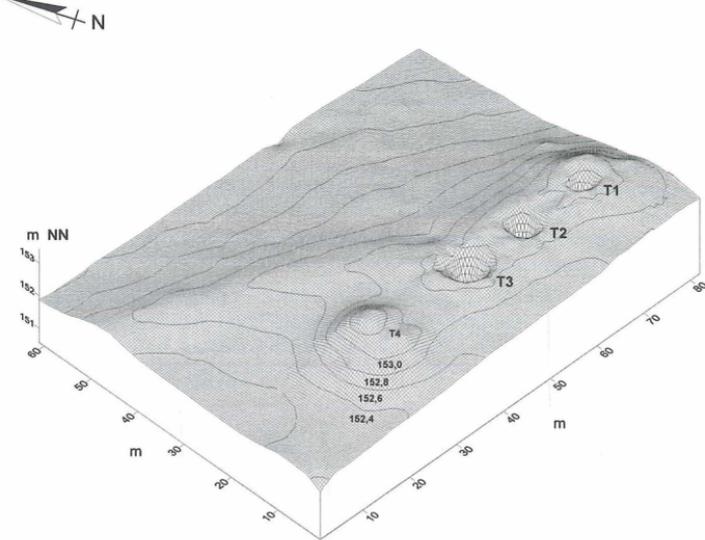
Da die natürliche Pflanzenformation der Paderborner Hochfläche und ihrer Täler der Wald ist, kann die Bildung der QSK erst nach der teilweisen Beseitigung der Wälder erfolgt sein. Terminus post quem der QSK-Bildung ist also die Rodungszeit der Wälder.

Steinkammergräber aus der Jungsteinzeit im Altenautal und auf den umgebenden Höhen weisen auf eine Besiedlung durch Ackerbauern schon im dritten Jahrtausend vor Christus hin. Zwei der sieben Steinkammergräber des Altenautales liegen an der Mündung des Mentals. In einem der Gräber wurde eine Handmühle gefunden, die auf einen beginnenden Getreideanbau hinweist (GÜNTER 1971).

Nachdem auf den Paderborner Hochflächen Äcker und im Mental Grasland entstanden war, wird sich um eine oder mehrere dicht beieinander liegende Quellen zunächst ringförmig Sediment im Gras abgelagert haben. Der Abfluss des Quellwassers wird, wie heute noch, dem Gefälle des Talbodens entsprechend parallel zur Menne nach Norden erfolgt sein. Hierfür spricht auch die Haupterstreckung des Kegels in Nord-Südrichtung. Sie lässt sich dadurch erklären, dass anfangs nicht nur im Umkreis der Quelle(n), sondern auch an den Ufern des Quellbaches dammflussartig Schwebstoffe sedimentiert wurden.

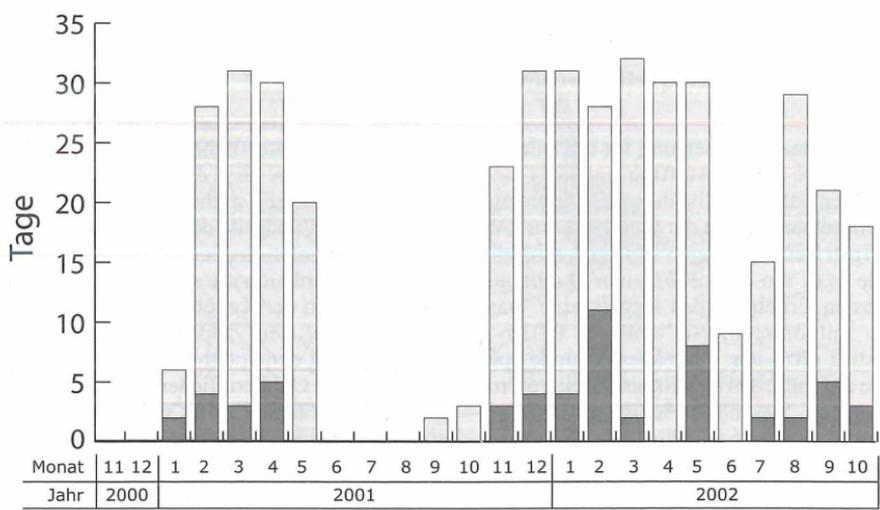
Heute fließt das Quellwasser bevorzugt in nördlicher und westlicher Richtung ab. In der Zwischenzeit hat sich die Abfluss- und Sedimentationsrichtung mehrfach geändert. Sobald die West- und Südseite des Kegels durch die aktuelle Sedimentation über die Umgebung erhöht sein wird, wird sich die Abflussrichtung erneut ändern und so der Kegel allseitig anwachsen.

Warum auf dem Top des QSK im Mental nicht, wie bei den anderen QSK, nur eine, sondern mehrere Quellen fließen, war lange Zeit eine ungelöste Frage: Erst als sich infolge einer besonders starken Schüttung bei den einzelnen Quellaustritten kleine Trichter gebildet hatten, wurde sichtbar, dass in geringer Tiefe unter der Grasnarbe kantige Kalksteine liegen, die nicht durch Wasser in diese hohe und isolierte Lage gebracht sein können. Sehr wahrscheinlich wurden sie von Menschenhand in einem größeren Quelltrichter deponiert, der, wie eine Doline auf einem Feld, die landwirtschaftliche Nutzung einschränkte und daher verfüllt wurde. Die gleiche Beobachtung konnte an dem QSK TA 1 im Almetal gemacht werden.



Entwurf u. Kartographie: K.-H. Otto

Abbildung 11: Digitales Reliefmodell der Quellschwemmkegel in Niedermtudorf
 Figure 11: Digital relief model of the Niedermtudorf spring alluvial cones



■ gelbtrüb ■ klar und schwachtrüb

Entwurf: W. Feige
 Grafik: A. Verrieth

Abbildung 12: Trübungsverhalten der Niedermtudorfer Quellen T 1–3 in den Hydrologischen Jahren 2001 und 2002
 Figure 12: Turbidity history of Niedermtudorf springs T 1–3 in the hydrological years of 2001 and 2002

4. Die Quellschwemmkegel bei Niederntudorf im Almetal

Im Gegensatz zu dem singulären QSK im Mental handelt es sich bei Niederntudorf um eine Gruppe von vier hintereinandergereihten QSK (Abb. 9 u. 10, S. 156). Drei der miteinander zu einem flachen Sedimentrücken verwachsenen Kegel weisen bis zu 2,5 m tiefe Trichter auf, in denen nach kräftigen Niederschlägen das Karstgrundwasser allmählich ansteigt, bis es schließlich überfließt. Im Gegensatz dazu ist der vierte QSK als Hügel ausgebildet. Er ist nicht mehr aktiv und besitzt deshalb auch keine Quellöffnung mehr. Bis zum Jahre 1960 floss der größte Teil des Quellwassers in nördlicher Richtung direkt zur Alme. Hier erstreckt sich heute von der Quelle T 3 eine niedrige Erhebung, die wie bei einem Dammfluss aus Sedimenten des Quellbaches aufgebaut worden ist.

4.1. Morphologische und bodenkundliche Aspekte

Einen detaillierten Überblick über die Morphologie der QSK und deren näherer Umgebung gibt Abbildung 11. Die Graphik basiert auf der Grundlage von insgesamt 560 Messwerten, die durch ein geometrisches Nivellement (im Raster von 3 x 3 m) ermittelt wurden. Die QSK-Reihe hat eine Längserstreckung in NW-SE-Richtung von ca. 70 m und eine Breite von ca. 35 m. Während der höchste Punkt eine absolute Höhe von 153,34 m erreicht, weist die tiefste Stelle (am Grunde des Quelltrichters T 3) einen Wert von 150,38 m ü. NN auf.

Zur Ermittlung des substanziellen Aufbaus des oberflächennahen Untergrundes wurde an der nördlichen Seite unmittelbar am Rand des Quelltrichters T 3 eine Schlitzsondierung niedergebracht. Das im Untergrund anstehende Kalkgestein wurde dabei in einer Tiefe von 4,70 m erreicht. Von 0–0,10 m wurde zunächst schluffiger Ton angetroffen, der auf Grund der hohen humosen Anteile eine dunkelbraune Färbung aufwies. Von 0,10–2,30 m wurde ebenfalls schluffiger Ton gefunden, der infolge rasch abnehmender Humusbestandteile aber zunehmend heller wurde. Seine durchgehend braune bis hellbraune Färbung wurde bisweilen durch rötliche und dunkle Flecken (Eisen- und Manganoxide) unterbrochen. Von 2,30–4,00 m wurden die gleichen Ablagerungen festgestellt, diesmal allerdings mit deutlichen Bodenwasseranteilen. Im Tiefenbereich von 4,00–4,70 m stand schließlich hellbrauner schluffiger Ton mit unterschiedlich großen Kalksteinbröckchen an.

4.2. Geologische Aspekte

Der Talboden der Alme wird bei Niederntudorf von holozänen Auelehmen über Plänerkiesen gebildet. Unter diesen sowie an den unteren Talhängen stehen lamarcki-Schichten des Mittelurton an. Diese sind in einem ca. 100 m südlich der Quellen am Talhang gelegenen, noch heute im Betrieb befindlichen Steinbruch mit den darüber folgenden Schichten des Oberturon (striatocentricus-Schichten) aufgeschlossen.

Sowohl die mittelturonen als auch die oberturonen Ablagerungen bestehen ganz überwiegend aus Mergelkalkbänken, die zum Teil schwach glaukonitisch ausgebildet sind.

Gleiche Lagerungsverhältnisse finden sich im potenziellen Einzugsgebiet der QSK, das – dem Einfallen der Kreideschichten und der allgemeinen Geländeabdachung nach NNW entsprechend – südlich und südöstlich des Almetales zu suchen ist. Auch hier überwiegen Mergelkalkbänke, in die örtlich geringmächtige Mergelschichten eingeschaltet sind. Die Mergelkalke haben einen Calcit-Gehalt von 65–85 % (SKUPIN 1989) und sind somit verkarstungsfähig.

Die Mergelkalkbänke sind von zahlreichen senkrechten Klüften durchzogen, von denen einzelne mehrere Zentimeter breit und damit karsthydrologisch wegsam sind. Sie sind teils mit Lehm verfüllt, teils aber auch offen und bei höherem Karstgrundwasserstand durchflossen.

Die Schwemmkegelreihe ist mit großer Wahrscheinlichkeit an eine NW-ziehende Kluft oder Störung gebunden.

4.3. Hydrologische Aspekte

4.3.1. Fließverhalten (Fließ- und Trockenzeiten)

Die Niederntudorfer Quellen wurden zusammen mit weiteren Quellgruppen im Almetal in den Jahren 1998 bis 2000 an 136 Tagen in wöchentlichen Abständen aufgesucht. Lediglich in den Monaten November 1999 und Februar/März 2000 wurden die Beobachtungen vor Ort aufgrund von mehrwöchigen Auslandsaufenthalten unterbrochen. Für diese Zeit wurde das Fließverhalten der Quellen an Hand von Niederschlagsdaten abgeschätzt. In den Hydrologischen Jahren 2001 und 2002 wurden die Quellen kontinuierlich an 188 Tagen in Abständen von maximal 7 Tagen unmittelbar beobachtet.

Die Quellen waren in jedem Beobachtungsjahr zeitweilig ohne Abfluss, und zwar erwartungsgemäß vor allem im Sommerhalbjahr (Abb. 2d). Jedoch waren sie auch im November überwiegend trocken, während sie von Dezem-

Tabelle 3: Abfluss der Niedermtudorfer Quellschwemmkegel von Februar bis Juni 2002
 Table 3: Discharge of the Niedermtudorf spring alluvial cones from February to June 2002

| Datum | Abfluss Messpunkt 1 u. 2 an den Mündungen T 1 u. T 2 in l/s | Abfluss Messpunkt 3 an der Mündung von T 3 in l/s | Abfluss an den Mündungen T 1-3 insgesamt in l/s | Abfluss Messpunkt 4 am Trichter T 3 in l/s | Versickerung zwischen MP 4 u. MP 3 |
|------------|---|---|---|---|--|
| 07.02.2002 | 5 | 10 | 15 | | |
| 10.02.2002 | 6 | 10 | 16 | | |
| 16.02.2002 | 5 | 10 | 15 | | |
| 21.02.2002 | 4 | 11 | 15 | | |
| 27.02.2002 | 11 | 11 | 22 | | |
| 11.03.2002 | 9 | 10 | 19 | | |
| 81.03.2002 | 7 | 11 | 18 | | |
| 23.03.2002 | 7 | 11 | 18 | | |
| 29.03.2002 | 6 | 10 | 16 | | |
| 06.04.2002 | 3 | 5 | 8 | | |
| 08.04.2002 | 0 | 0,1 | 0,1 | | |
| 13.04.2002 | 0 | 0,5 | 0,5 | | |
| 18.04.2002 | 0 | 0,5 | 0,5 | 6 | 5,5 |
| 24.04.2002 | 0 | 0,1 | 0,1 | 2 | 1,9 |
| 05.05.2002 | 10 | 10 | 20 | 20 (geschätzt) | 10,0 |
| 11.05.2002 | 12 | 11 | 23 | 20 (geschätzt) | 9,0 |
| 17.05.2002 | 6 | 9 | 15 | 15 (geschätzt) | 6,0 |
| 19.05.2002 | 6 | 9 | 15 | 15 (geschätzt) | 6,0 |
| 25.05.2002 | 1,5 | 3 | 4,5 | 10 | 7,0 |
| 31.05.2002 | 0 | 0,5 | 0,5 | 4 | 3,5 |
| 01.06.2002 | 0 | 0,1 | 0,1 | 3 | 2,9 |
| 06.06.2002 | 0 | 0 | 0 | 0,15 | 0,15 |
| 12.06.2002 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20.06.2002 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 28.06.2002 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

ber bis Februar überwiegend, im März und April immer flossen. Im Mai erfolgte in der Regel der Übergang von der überwiegend feuchten zur trockeneren Jahreszeit. In den Quelltrichtern ließ sich jetzt das Absinken der Karstwasseroberfläche gut beobachten.

Der Wiederanstieg des Karstwasserspiegels erfolgte i. d. R. im Dezember/Januar, je nach Wetterlage entweder über mehrere Tage oder auch in kurzer Zeit, insbesondere auch nach anhaltenden und starken Niederschlägen oder Schneeschmelze.

Die Gesamtließdauer betrug 1998: 204 Tage, 1999: 193 Tage, 2000: 163 Tage, 2001: 120 Tage, 2002: 297 Tage. Die mittlere Fließdauer betrug 1998 bis 2002 also 195 Tage.

4.3.2. Abflussmengen

Auch bei den Tudorfer Quellen erwiesen sich Abflussmengenmessungen als schwierig, da sich das Quellwasser insbesondere bei starker Schüttung breitflächig und in unterschiedlichen Richtungen über die Trichterränder ergießt und ein Teil des Wassers schon im Bereich der Quellsedimente wieder versickert. Einigermaßen exakt lässt sich der Abfluss ermitteln, der die Alme bzw. einen Zuflussgraben zur Alme erreicht (MP 1–3 in Abb. 10, S. 156). Darüber hinaus lässt sich auch der Abfluss von T 3 bei geringer und mittlerer Schüttung durch den Einbau eines Thompsonwehres in einer Eindellung des Trichterrandes exakt bestimmen (MP 4). Jetzt kann auch die Versickerungsmenge von T 3 aus der Differenz der Messwerte an MP 4 und MP 3 errechnet werden. Bei starker Wasserführung fließt jedoch ein Teil der Schüttung von T 3 seitlich am Wehr vorbei. – Die Messungen bei MP 3 erfolgten durch ein zweites Thompsonwehr, bei MP 1 und MP 2 durch Auffangbehälter.

Vom 7. Februar bis zum 6. Juni 2002 wurden an den Mündungen der Quellabflüsse in die Alme 22 Abflussmengen vorgenommen (Tab. 3). Der mittlere Abfluss betrug demnach 10,9 l/s, der höchste Abfluss wurde am 11.05. mit 23 l/s gemessen.

Wenn die Quelle T 3 weniger als 2 l/s schüttet, versickert die gesamte Wassermenge in der Mähweide, in der die Quellen liegen. Bei Abflüssen über 2 l/s erreicht dagegen ein Teil des Wassers die Alme. Je höher die Schüttung, um so größer ist in der Regel auch die Versickerungsmenge. Das erklärt sich daraus, dass der Quellablauf bei geringer Schüttung linear in einer Abflussrinne erfolgt, bei starker Schüttung sich aber fächerförmig über den Osthang des QSK ergießt und die Berührungsfläche mit dem Untergrund größer ist. Die hohe Versickerungs-

rate begünstigt die QSK-Bildung, da die im versickernden Wasser enthaltenen Schwebstoffe restlos sedimentiert werden.

4.3.3. Trübungsverhalten

In den Jahren 1998–2000 wurden bei den QSK in Niederntudorf keine kontinuierlichen Beobachtungen des Schwebstofftransportes durchgeführt, sondern nur besonders auffällige Trübungen aufgezeichnet. Solche wurden überwiegend in den Wintermonaten, nur in Ausnahmefällen im Sommer nach starken Regenfällen registriert (31.07.2000 und 19.–20.8.2000).

Eine kontinuierliche Beobachtung im Hinblick auf ihre Schwebstoffführung (Trübung) wurde bei diesen QSK erst in den Hydrologischen Jahren 2001 und 2002 gemacht. Wie beim Mentalkegel konnten auch hier Gelbfärbungen, Graufärbungen und schwache Trübungen des Quellwassers unterschieden werden, wobei Gelb- und Graufärbungen jedoch fast ausschließlich in den Quelltrichtern beobachtet wurden, während das aus den Trichtern abfließende Wasser in der Regel nur eine schwache Trübung aufwies. Lediglich einmal, und zwar am 22.02.02 wurde das am Trichterrand der Quelle T 3 abfließende Wasser schwach gelb und an der Mündung grau fließend angetroffen. An diesem Tage wurde eine Wasserprobe von 10 l entnommen und später im Labor ein Schwebstoff- bzw. Sedimentgehalt von 0,083 g/l ermittelt. Die im Vergleich zum Mentalkegel geringere Trübung des abfließenden Wassers erklärt sich daraus, dass ein großer Teil der Schwebstoffe schon im Trichterbereich absinkt und hier sedimentiert wird. Die häufig und lange zu beobachtenden Graufärbungen des Wassers in den Trichtern sind zum Teil auf eine zeitweilige oberflächliche Verschmutzung des Wassers zurückzuführen. Sie werden daher bei der Beschreibung des Trübungsverhaltens nicht berücksichtigt.

Im Hydrologischen Jahr 2001 wurden gelbe Trübungen der Niederntudorfer Quellen an insgesamt 14 Tagen im Winterhalbjahr festgestellt (Abb. 12, S. 158). Im Sommerhalbjahr wurden keine Trübungen beobachtet.

Im Hydrologischen Jahr 2002 waren die Quellen dagegen an 44 Tagen gelb getrübt, und zwar im Winterhalbjahr an 24 Tagen und im Sommerhalbjahr an 20 Tagen.

Als Beispiel für den Ablauf eines Trübungsereignisses sollen nachfolgend die Abflussverhältnisse im September 2002 detailliert beschrieben werden.

Nachdem am 20.08 in Büren-Wewelsburg ein Starkregen mit 29,2 mm Niederschlag gefallen war, verliefen die letzte Dekade des August und

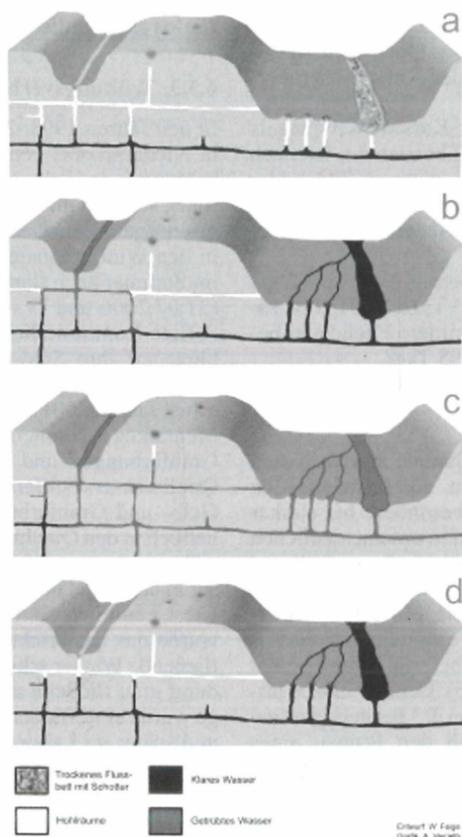


Abbildung 13: Entstehung der Quellschwemmkegel
Figure 13: Evolution of a spring alluvial cone

der Beginn des Monats September nahezu ohne Niederschlag. Das Karstgrundwasser war am Ende des Monats August soweit abgesunken, dass nur noch der Trichter T 3 schwach überfloss, während die Trichter T 1 und T 2 schon nicht mehr ganz gefüllt waren. Am 07.09. waren alle Trichter trocken.

In der Nacht vom 09. zum 10. und am 10.09. fielen in Büren-Wewelsburg 66 mm Niederschlag. Am Morgen des 10.09. flossen die Quellen T 1 bis T 3 über, das Wasser war klar und erreichte die Alme noch nicht. Um 16.00 Uhr war das Wasser in den Trichtern T 1 und T 3 grau, in T 2 schwach gelb, am 11.09. um 15.00 Uhr in allen Trichtern intensiv gelb gefärbt und erreichte die Alme. Die Gelbfärbung hielt, wenn auch abgeschwächt, bis zum 14.09. an. Am 17.09. war das Wasser der Quellen wieder klar

und gelangte weiterhin bis zur Alme. Am 21.09. flossen nur noch T 2 und T 3 über, das Wasser versickerte aber schon am Fuße der Kegel und erreichte die Alme nicht mehr. Obschon nach einer Trockenperiode von 10 Tagen zwischen dem 22. und 26.09. immerhin 22 mm fielen, sank das Karstwasser weiter ab. Am 28.09. hatten alle Trichter nur noch stehendes Wasser, am 03.10. war der Trichter T 1 bereits völlig trocken.

Auch andere Trübungsereignisse verliefen nach dem gleichen Muster: Nach einer längeren Trockenperiode begannen die Quellen zunächst klar zu fließen. Eine Trübung des Wassers trat erst nach Ablauf mehrerer Stunden ein und dauerte niederschlagsabhängig Stunden oder Tage. Nach Abklingen der Niederschläge ging zunächst die Trübung und erst später auch die Schüttung zurück.

4.4 Genese der Niederntudorfer Quellschwemmkegel

Die Niederntudorfer QSK sind im Prinzip wie der Mentalkegel durch die Ablagerung von Quelltrübe in Grasland entstanden, jedoch sind folgende Unterschiede festzustellen:

1. Da es sich nicht um eine Einzelquelle, sondern um eine Reihe dicht beieinander liegender Quellschwemmkegel handelt, verzahnen sich die Schwebstoffablagerungen zwischen den Quellaustritten, so dass sich kein Einzelkegel, sondern ein Sedimentrücken gebildet hat, über den sich die jüngsten Quellablagerungen nur geringfügig erheben (Abb. 11).
2. Die Quellöffnungen sind nicht als enge Schlotte, sondern als geräumige, bis zu 2,5 m tiefe Trichter ausgebildet. Diese wurden, bevor die Quellen unter Schutz gestellt wurden, von den Anliegern von Zeit zu Zeit mit Steinen, Holz und Autoreifen teilweise verfüllt, weil sie eine Gefahr für spielende Kinder und das Weidevieh darstellten. Auch der Mentalkegel scheint zeitweilig einen Quelltrichter gehabt zu haben, der mit Steinen verfüllt wurde (Kap. 3.4.).
3. Aufgrund der tieferen Lage fließen die Niederntudorfer Quellen häufiger und stärker und fördern dementsprechend auch mehr Schwebstoffe. Infolge der größeren Wasser- und Schwebstoffmengen kann man annehmen, dass auch die Sedimentationsraten der Niederntudorfer QSK größer sind als die des Mentalkegels. Das scheint aber zumindest zur Zeit nicht der Fall zu sein. Trotz zeitweilig intensiver Färbung des Wassers in den Trichtern sind die Schwebstoffgehalte des abfließenden Wassers relativ gering, da ein Teil der Schwebstoffe offensichtlich in den Trichtern selbst sedimentiert wird und/oder bei nachlassender Quellschüttung wieder in die noch durchflossenen Karstgerinne zurücksinkt.
4. Die Niederntudorfer QSK haben seit des Beginns ihrer Entstehung 3.300 m³ Sedimente aufgeschüttet, also mehr als der QSK im Mental.

Abbildung 13 visualisiert am Beispiel eines typischen Abfluss- und Trübungsganges die Entstehung der QSK:

Nach längerer Trockenheit ist das Karstwasser, das keinen einheitlichen Grundwasserspiegel bildet, sondern sich in einzelnen Karstgerinnen und Piezometerröhren bewegt, unter den Boden des Almetales abgesunken. Die Alme, ihre Nebenbäche und die Quellen liegen trocken (Abb. 13a).

Starke Niederschläge führen zu einem oberflächlichen Abfluss und Bodenabtrag auf den ackerbaulich genutzten Hochflächen. Das Wasser fließt den Nebentälern der Alme zu, versickert hier ganz oder teilweise und füllt die Karstgerinne auf. Dadurch erhöht sich in diesen der hydraulische Druck, das Wasser steigt in den Piezometerröhren. Die QSK im Almetal beginnen zu fließen. Das Wasser ist anfangs klar (Abb. 13b).

Erst nach einigen Stunden erreicht das von den Hochflächen in die Oberstohlräume eingeschwemmte, getrübe Oberflächenwasser das Almetal und tritt in den Quellen zutage (Abb. 13c).

Mit Abklingen der Niederschläge hört die Zufuhr von Schwebstoffen von den Hochflächen auf. Den Karstgerinnen wird aber noch einige Zeit klares Sickerwasser zugeführt. In der Schlussphase des Abflussereignisses ist das Quellwasser wieder klar (Abb. 13d).

5. Zusammenfassung

Für das Kreidekalkgebiet der Paderborner Hochfläche (Nordrhein-Westfalen) wird erstmalig eine Karsterscheinung detailliert beschrieben und untersucht, die von Feige (1961) entdeckt und als „Quellschwemmkegel“ bezeichnet wurde. Es handelt sich um temporär fließende Karstquellen im Tal der Alme und in ihren Nebentälern, die sich zeitweilig trüben und aus den Quellsedimenten Erdhügel mit Durchmesser bis zu 50 m und einer Höhe bis zu 2 m aufgeschüttet haben. Es wurden Quellabflüsse bis zu 25 l/s und Schwebstoffmengen bis zu 0,8 g/l gemessen. Es lassen sich nach Größe und Oberflächenform mehrere Typen unterscheiden:

1. relativ kleine Hügel ohne klar lokalisierbare Hauptaustrittsstelle des Wassers;
2. mittelgroße Hügel mit einer schlotförmigen Quellöffnung im Topbereich;
3. große Hügel mit Quelltrichtern, die einen Durchmesser bis zu 3 m und eine Tiefe bis zu 2,5 m erreichen (Almetal bei Niederntudorf).

Der größte QSK (im Mental bei Henglar) hat mehrere schlotförmige Öffnungen. Er hat vermutlich ursprünglich ebenfalls einen Quelltrichter besessen, der jedoch anthropogen verfüllt wurde.

Genetisch handelt es sich bei den Quellschwemmkegeln um eine Sonderform der Auelehmbildung.

Literatur

- BASCAN, M. E. (1970): Hydrologische Verhältnisse am Südostrand des Münsterschen Kreidebeckens und im Eggegebirge unter besonderer Berücksichtigung der Karsthydrologie. – Fortschritte Geol. Rheinl. Westf. (Krefeld) 17, 537–576
- FEIGE, W. (1961): Talentwicklung und Verkarstung im Kreidegebiet der Alme, in: SPIEKER (Hrsg.: Geogr. Kommission f. Westfalen): Landeskundl. Beiträge u. Berichte, H. 11, 3–66
- FEIGE, W. (1998): Die Trockenzeiten der Alme werden länger, in: Die Warte, H. 99
- FEIGE, W. & OTTO, K.-H. (1999): Der Quellschwemmkegel im Mental (Paderborner Hochfläche). – Geographische Kommission für Westfalen, GeKo Aktuell I/1999. (Münster)
- Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1979): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000, Blatt 4418 Wünnenberg (Krefeld)
- GÜNTER, K. (1971): Die Steinzeit in den Kreisen Büren und Paderborn, in: Führer zu vor- und frühgeschichtlichen Denkmälern, hrsg. vom Römisch-germanischen Zentralmuseum Mainz, Band 20: Paderborner Hochfläche (Paderborn – Büren – Salzkotten), 28–46
- LÖHNERT, E. P. (1992): Tracing of the Paderborn karstaquifer (Westphalia, Germany): A critical review. – Proceedings of the 6th International Symposium on Water Tracing. Karlsruhe/Germany, 21.–26. September 1992. A. A. Balkena / Rotterdam / Brookfield 1992
- LÖHNERT, E. P. (1993): New results on cretaceous Limestone karst in Westphalia, Germany
- OTTO, K.-H. (1991): Die Bedeutung der Höhenmessung und Höhendarstellung für Reliefoberflächen unter Moorbedeckung in Nordwestdeutschland. – Münstersche Geogr. Arb., H. 34
- SKUPIN, K. (1989): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000. Erläuterungen zu Blatt 4418 Wünnenberg (Krefeld)
- VILLINGER, E. (1975): Trockentäler und Quellenpositionen im Karst (Schwäbische Alb) – Mitteilungen Verband Deutscher Höhlen- und Karstforscher e.V. Jg. 21, H. 1/2, 7–17

Anschrift der Autoren:

Prof. em. Dr. WOLFGANG FEIGE, Schlesienstr. 36, D-48167 Münster
 Dr. KARL-HEINZ OTTO, Geographisches Institut an der Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 130, D-44801 Bochum

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Decheniana](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [158](#)

Autor(en)/Author(s): Feige Wolfgang, Otto Karl-Heinz

Artikel/Article: [Quellschwemmkegel - eine wenig bekannte Quellart und Oberflächenform im Karstgebiet der Paderborner Hochfläche](#)
[Spring Alluvial Cones - a Little-known Type of Spring and Surface Formation Found in the Karst Terrain of the Paderborn High Plateau](#)
[145-164](#)