

HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN



BAND 38



HALLE (SAALE) 2016

HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

Herausgeber

**Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg**

G. BORG M. FRÜHAUF
C. GLÄSSER H. HEINISCH C. LEMPP
H. PÖLLMANN P. WYCISK

Schriftleitung

D. MERTMANN T. DEGEN S. STÖBER

BAND 38

Halle (Saale) 2016

Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg



Titelbild / Frontpage

Im Harzvorland: Blick vom Hoppelberg (Unterkreidesandstein) zu den Thekenbergen (Involutussandstein, Coniac). In der Bildmitte befinden sich die Zwieberge (Unterkreidesandstein).

Foto: F. SCHMIDT DÖHL, Abb. 3, S. 32.

Anschrift von Herausgebern und Schriftleitung:

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Geowissenschaften und Geographie
Von Seckendorff - Platz 3/4
D-06120 Halle (Saale)

e-mail: hjg@geo.uni-halle.de

Schriftleitung:

D. Mertmann T. Degen S. Stöber

ISSN 2193-1305

© 2016 im Selbstverlag des Institut für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Alle Rechte vorbehalten

Inhaltsverzeichnis

Sediment Characterization from the Saale 2013 Flooding Event..... 1

PAUL THONIG, MATHIAS WEISSE, EMILIA BARON, CHRISTOF LEMPP AND IAN LERCHE

Steht der Magdeburger Dom auf dem Domfelsen?.....15

GÜNTER SCHÖNBERG

**Die Entstehung des Trockentals südöstlich von Langenstein und der
voreiszeitliche Verlauf der Bode im nördlichen Harzvorland.....29**

Frank Schmidt-Döhl

**Welchen Beitrag leistet die Geographiedidaktik bei der Analyse
komplexer Mensch-Umwelt-Systeme?.....41**

JANNICK HEMPOWICZ

**Prevention of groundwater wells from salinization by subsurface
dams: A 2d numerical modelling approach.....55**

Gabriel Knorr, Reiner Stollberg, Nandimandalam Janardhana Raju,
Peter Wycisk, Wolfgang Gossel

**Dr. rer. nat. Günter Krumbiegel (1926-2014), Kustos des
Geiseltalmuseums i.R., Nestor der Geiseltalforschung.....67**

MEINOLF HELLMUND

SEDIMENT CHARACTERIZATION FROM THE SAALE 2013 FLOODING EVENT

PAUL THONIG, MATHIAS WEIßE, EMILIA BARON, CHRISTOF LEMPP AND IAN LERCHE

Institut für Geowissenschaften und Geographie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Von-Seckendorff-Platz 3, D-06120 Halle (Saale)

Corresponding author: e-mail: lercheian@yahoo.com

Schlüsselwörter: Hochwasser 2013, Saale, Sedimentcharakterisierung, Kornverteilung, Ablagerungsbedingungen

Keywords: Saale river, flooding 2013, sediment deposition, fine-grained material

Zusammenfassung

Die Sedimentablagerungen des Saale-Hochwassers im Frühjahr 2013 werden charakterisiert auf der Basis von Probenahmen aus den überfluteten Uferbereichen im Stadtgebiet von Halle. Diese Ablagerungen werden zum einen klassifiziert nach Art des Sediments (Sedimenteigenschaften: Mächtigkeit, Grobkorn-Anteil, Anteil an organischer Substanz, Trockenfestigkeit) und zum anderen nach Art ihres Ablagerungsraumes (Lokationseigenschaften: Abstand vom Saale-Flussbett, Bedeckung durch Vegetation, Relief, Untergrundbeschaffenheit). Diese Sediment- und Lokationskriterien werden hinsichtlich der Häufigkeit ihres Auftretens und eines möglichen Zusammenhangs zwischen Sediment- und Lokationseigenschaften untersucht. Es wird gezeigt, dass sich die Zusammensetzung der Sedimente im Laufe ihres Transports von Süd nach Nord durch das Stadtgebiet von Halle verändert. Es kommt bis in das Gebiet von Throta/Lettin zu einer Verringerung der mittleren Korngröße und zugleich zu einer Veränderung der Kornverteilung der abgelagerten Hochwasser-Sedimente. Die Dominanz feinkörniger Sedimentanteile wird zunehmend deutlich, je weiter nördlich die Ablagerung stattgefunden hat. Außerdem begünstigen weiche Untergrundbedingungen (wie Wiesen, Kieswege oder unbefestigte Straßen) die Ablagerung von relativ mächtigeren Sedimenten > 1mm. Im Gegensatz dazu dominieren auf festem Untergrund (wie befestigten Straßen und Wegen) Sedimentablagerungen von < 1 mm Mächtigkeit. Aus der durchschnittlichen Mächtigkeit der beprobten, feinkörnigen Hochwasserablagerungen mit Korndurchmessern < 2 mm lässt sich ein transportiertes Sedimentvolumen von 5 bis 15 l/m² ableiten. Im gesamten Überflutungsgebiet von ca. 32,8 km² in Halle ergibt sich ein geschätztes Sedimentvolumen von 3x10⁵ m³ an feinkörnigen Ablagerungen durch das Frühjahrs-Hochwasser 2013.

Abstract

Sediment deposition, after the Saale river flooding event of 2013, is characterized here based on samples

taken along the river banks in the flooded region.

Based on classifications having to do with both sediment (thickness of sediment; percentage of coarse material; organic material presence; dry strength of the sediment) as well as location (distance to the Saale river; vegetation cover; relief; firmness of the basal layer beneath the flood sediments) it is shown that the transport of fine-grained sediment along the Saale had its direction changed by the flooding in the region between Halle-Trotha and Lettin. There was a sorting of the grain sizes that, on the one hand, lowered the medium grain sizes and, on the other hand, altered the grain size distribution at the same time. The preponderance of fine-grained sediment is more noticeable the further north one progresses along the Saale river.

In addition, soft basal materials such as meadows, gravel paths or dirt roads are associated with relatively thick sediment that is almost always more than 1 mm. In contrast on firm grounds, such as paved roads and sidewalks, the dominance is one of thicknesses smaller than 1 mm. The average thickness of the fine-grained material indicates a transported sediment volume of between about 5 to 15 l/m². In the total flooded region in Halle of around 32.8 km² one can estimate some 3x10⁵ m³ of fine-grained material was deposited.

1. Introduction

In June 2013 the Saale river overflowed its banks massively. The main reason for the flooding was due to the torrential rains that had taken place in southern and central Germany during most of May. These waters were ultimately channeled into the flowing rivers (Donau, Saale, Elbe etc.) and, as more and more water found its ways into the rivers, there was a significant rise in river levels. Figure 1 shows the daily amount of rainfall at one measuring station (W-Schönbrunn, Fichtelbirge) from the beginning of May through early June, which was typical for the whole of southern and central Germany. There

was a peak of around 37 mm of rain but also a steady downpour for several days ranging to around 20-25 mm. As a consequence of the focusing of this downpour into valleys the rivers located in those valleys first filled and then overflowed. Figure 2 shows the water level in the Saale river at Halle-Trotha during the flood period. Note from figure 2 that the normal river level is around 3 m but during the flood stage reached a depth of over 8 m.

Because the land around the Saale river is relatively flat and is typically around a meter or so higher than the normal river level the Saale overflowed its banks massively. Indeed in Halle (Saale) there was serious overflowing in the town streets abutting the Saale river and without the voluntary help of many thousands of people who filled sand sacks to raise the level of the earthen Gimritzer dam to the west of Halle one would have had even more enormous flooding of the lower-lying section

of Halle known as Halle Newtown (Halle-Neustadt). As it was the overflow came perilously close to breaching the Gimritzer dam and it was not clear for over a week if the dam would hold.

In the midst of this major flooding sediment was transported with the flood waters, some of the sediment was deposited and a fraction later removed by the receding flood waters but not all. The sediment was, generally, made up of coarse-grained material, silt and/or clay particles (mud) and with organic detritus in part. Because the coarse grains are typically much larger than the mud particles there was a tendency for the overflow waters to deposit coarse material closer to the normal river boundaries than for the small mud particles that could be transported considerable distances from the river in the flood waters and that did not settle out as quickly as did coarse material. The origin of the organic material

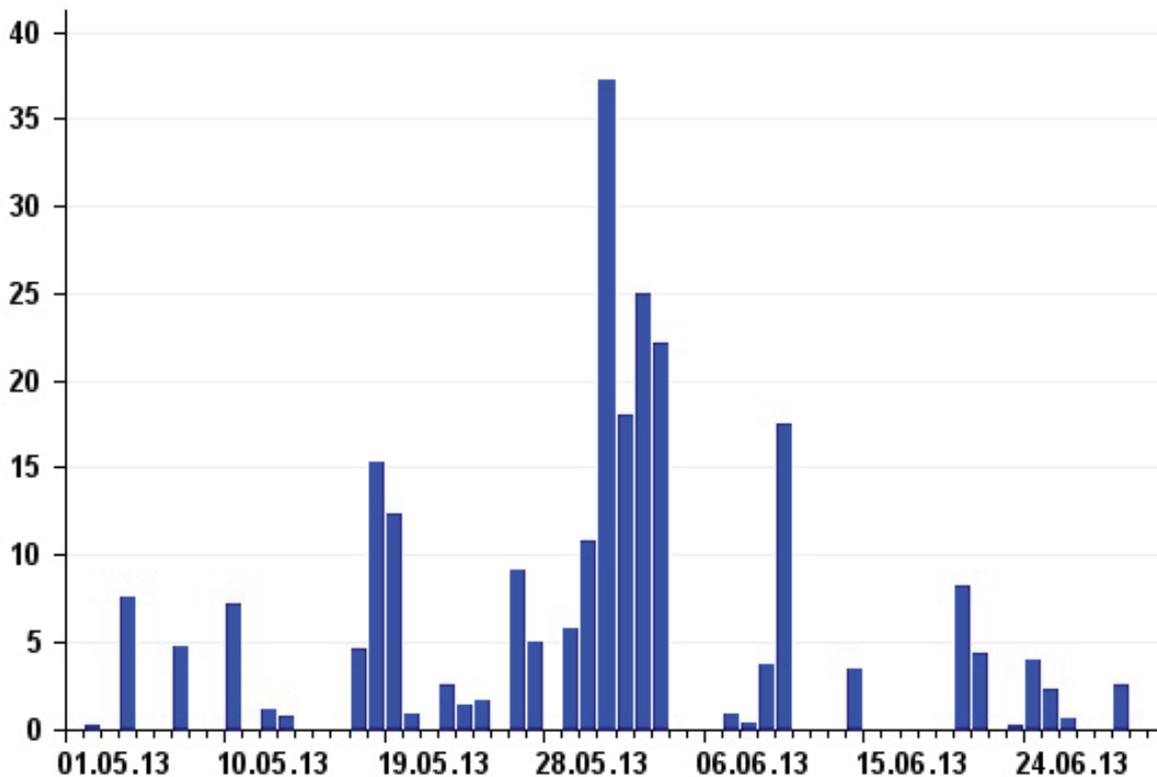


Fig. 1: Daily rainfall amounts (ordinate in mm) as measured at the weather station Wunsiedel-Schönbrunn (Fichtelgebirge) near the source of the Saale (<http://www.wetteronline.de>).

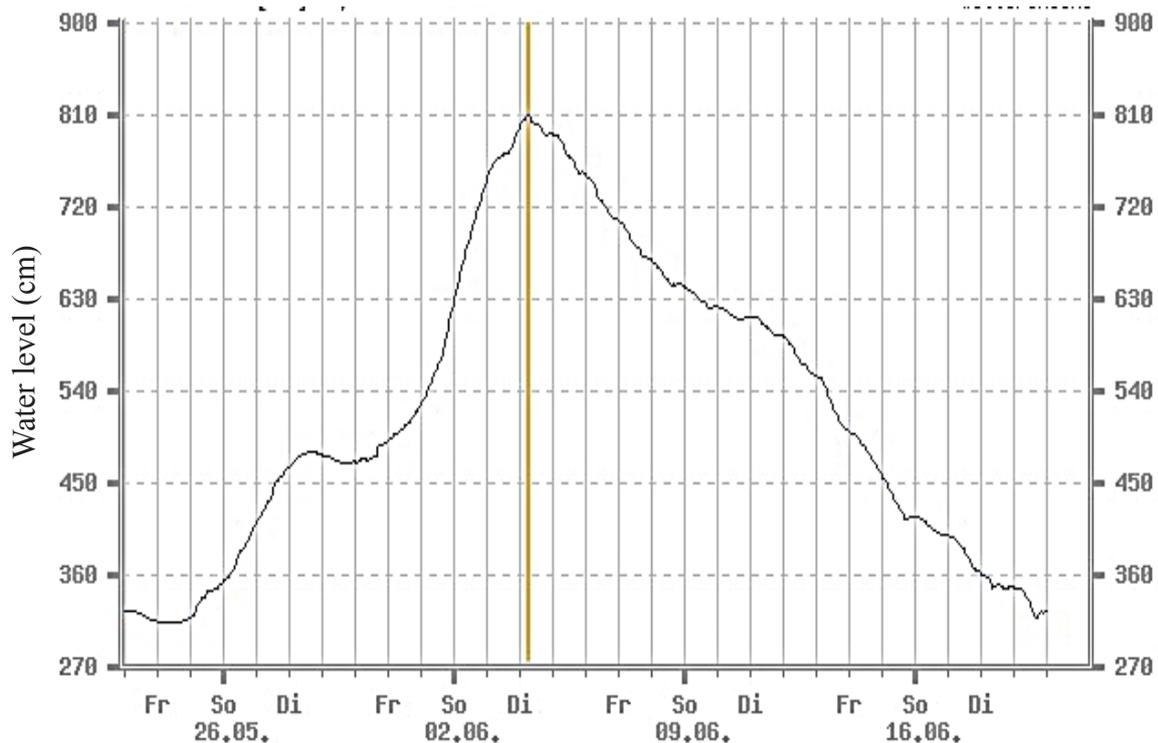


Fig. 2 : Saale water level at Halle-Trotha between 26 May 2013 through 16 June 2013. On 5 June 2013 the maximum of 811 cm was reached.

can be twofold: a component can be from transport with the flood waters in the river while a second component can arise from the flooding waters picking up organic detritus from the ground as the waters overflow the region.

In addition, while the river banks are, typically, a meter or so above normal water level there are massive exceptions to influence the amount and direction of flow of the flooding. First if the land is locally very flat then the flood waters have an easier time of penetrating further than if the river banks are locally steep. Coarse material can be more easily transported in a flat environment that when the river must expend considerable (relatively speaking) energy to push the coarse material over a steep bank. Second the deposition of sediment depends also on the relative smoothness of the underlying stratum. For instance flow over asphalted streets proceeds more easily than flow over heavily vegetated regions generally leading to a broader but thinner thickness of deposited mud. Measurement location relative to the

river banks also plays a role in influencing results obtained. The farther from the river bank one measures the smaller is the amount of transported sediment in general (although a high volume per second transport of flood waters away from the river can mean a corresponding higher amount of sediment at significant distances from the river as shown in Figure 3).

2. Sediment Measurements and Analysis

An analysis of the sediments and their composition was undertaken at several locations in the vicinity of Halle. An overview of the distribution of the fine-grained material is presented in Figure 4 taken at locations along the river. Shown are the mode, median and average grain sizes following the Saale river from south to north (the direction of flow of the river). To be noted is the somewhat “ragged” appearance of the grain sizes at the southern end of the investigated regions with a more gradual trend to smaller grain sizes the further one follows the river north indicating the more general deposition of silts and clays

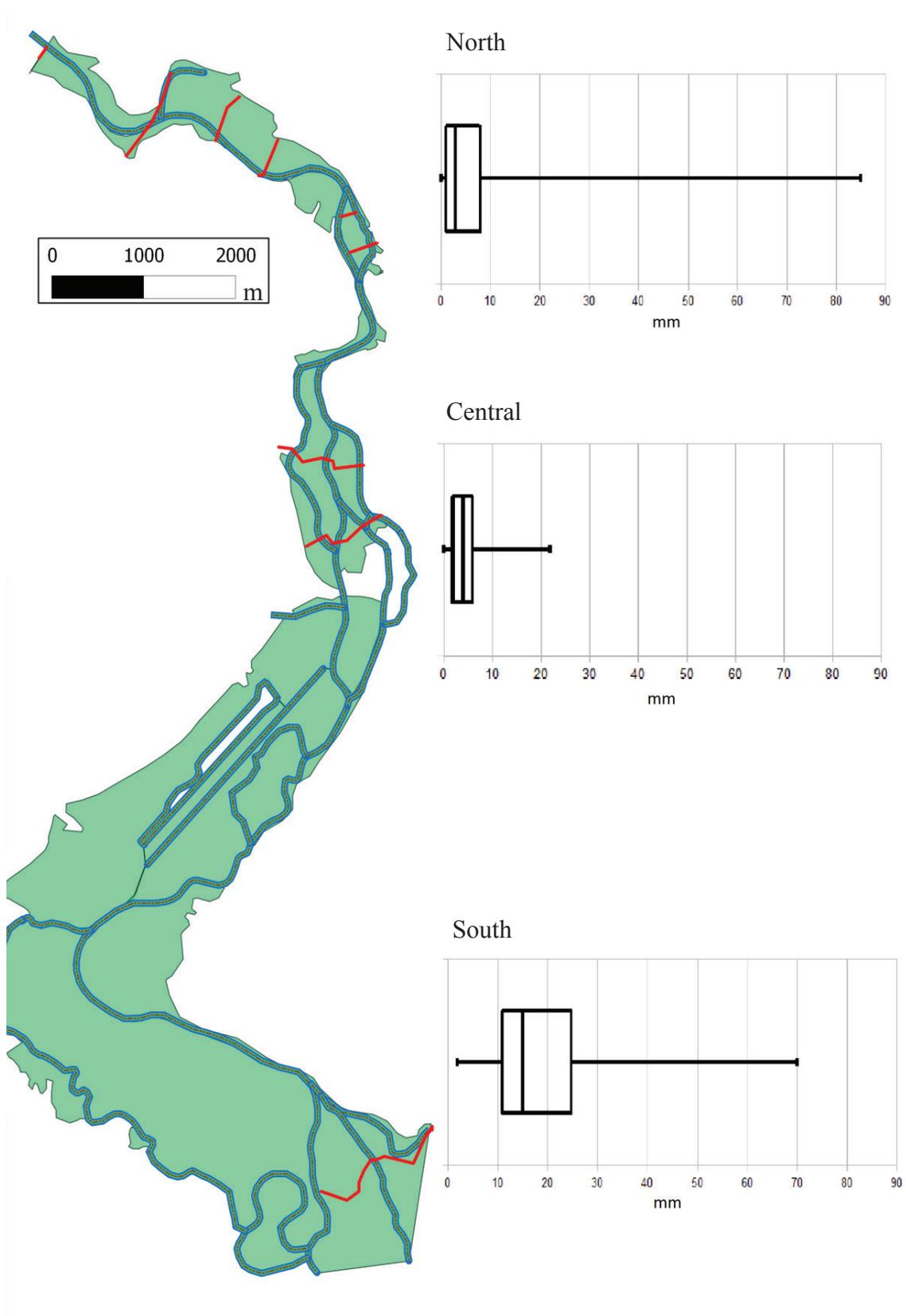


Fig. 3 : Flooded area of Saale river at Halle: Thickness of deposited sediment with distance along the Saale river. The thickness is measured in mm. The boxes show the mean and standard deviation of the thickness with the massive outlier range also given.

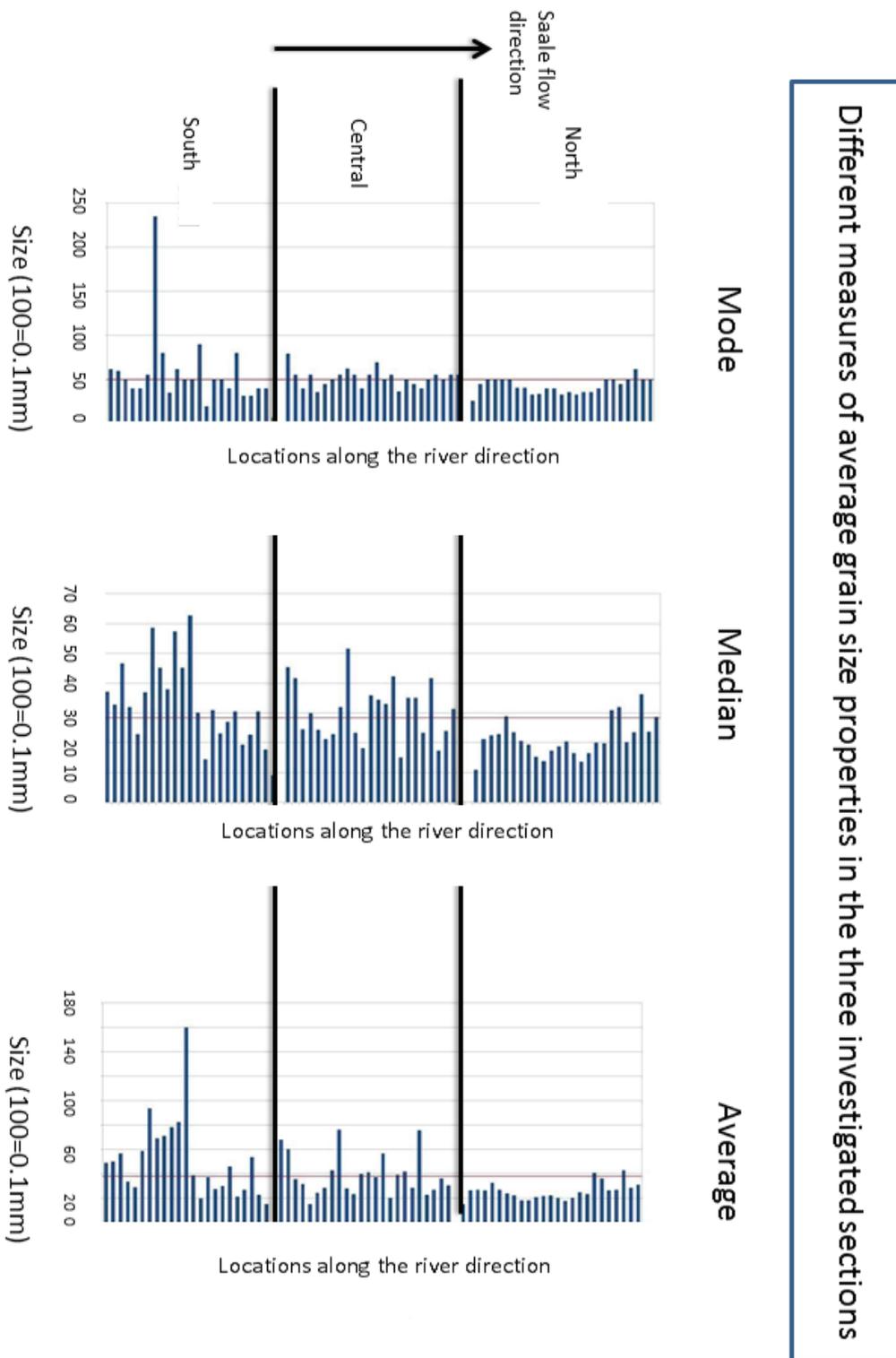


Fig. 4 : Distribution of grain sizes at locations along the direction of flow of the Saale river. Mode, median and average values are presented from south through to north. Note the trend to finer grain sizes as locations progressively head north indicating the preponderance of silt and/or clay deposition at the northern end.

as fine grained material. However, note also from Figure 3 that in the northern part of the Saale area the thickness of deposited sediment scatters considerably despite the relatively uniform average grain size distribution. For each sample attention was also given to the location conditions. As a result two different groups of effects were in place.

A. Sediment characteristics:

- Thickness of sediment;
- Percentage of coarse-grained material;
- Organic material presence;
- Dry strength of the sediment.

B. Location characteristics:

- Distance to the Saale river;
- Vegetation cover;
- Relief;
- Firmness of the basal layer beneath the flood sediments.

A total of 234 sediment measurements were made at different locations along the Saale in the flooded domains after the flood waters receded (Figures 5, 6).

The sediment characteristics were more sharply defined as follows:

The sediment thickness varied considerably in the area. The majority of samples had thicknesses in the range from less than 1 mm to around 3 mm, although exceptional measurements to 0.5 m were also obtained. The choice of a thickness limit of 1 mm is somewhat arbitrary but happens to indicate a group of thickness measurements dominated by fine material in contrast to those measurements that had most often a vertical gradient and so were more easily measurable.

The samples were divided into those containing coarse material and those without. Based on DIN EN ISO 14688-1 coarse grains have sizes between 0.063 mm to 2 mm. Fine particles of clay and silt require less energy to be transported and, in addition, no particles with sizes greater than the coarse grain sizes were considered.

The samples were also separated depending on their content of organic versus no organic

material.

The last characteristic used was the dry strength of sediment based on DIN EN ISO 14688-1 that allows one to decide between different degrees of dry strength. Although the complete spectrum of dry strengths was found in the investigated area, the low and medium dry strengths dominated because the difference between coarse grains and fine mud particles provides an overriding control.

The location characteristics were defined as follows:

The distance from the main flow channel of the Saale was used as one location characteristic with a separation for those sediment samples at distances greater than (less than) 100 m. This choice split the samples into two roughly equal groups and is also simple to measure.

A significant role is played by the physical character of the ground: it is relatively easy to distinguish between paved areas such as streets or the Saale Kai in comparison to softer grounds such as fields, meadows and woods.

A further influencing factor is the presence of low or high vegetation. Low vegetation is mainly meadow and grassland while high vegetation has bushes and trees. One would anticipate a correlation in organic content of the samples with the type and amount of each such vegetated region as well as an influence on the thickness of residual flood sediments.

A more difficult determination is that of the steepness of the relief away from the river despite the fact that the steepness must influence the coarse fraction of sediment deposition at least. Only in a few places was it possible to measure directly the relief steepness - such as in the region of Lettin. In other areas the steepness of the normal Saale river bank was used as a proxy.

There are several aspects of the sediment and location characteristics that can be investigated (comp. BARON 2013, WEIßE 2013). To obtain a total overview of the interaction between sediment characteristics and the location descriptions one can consider

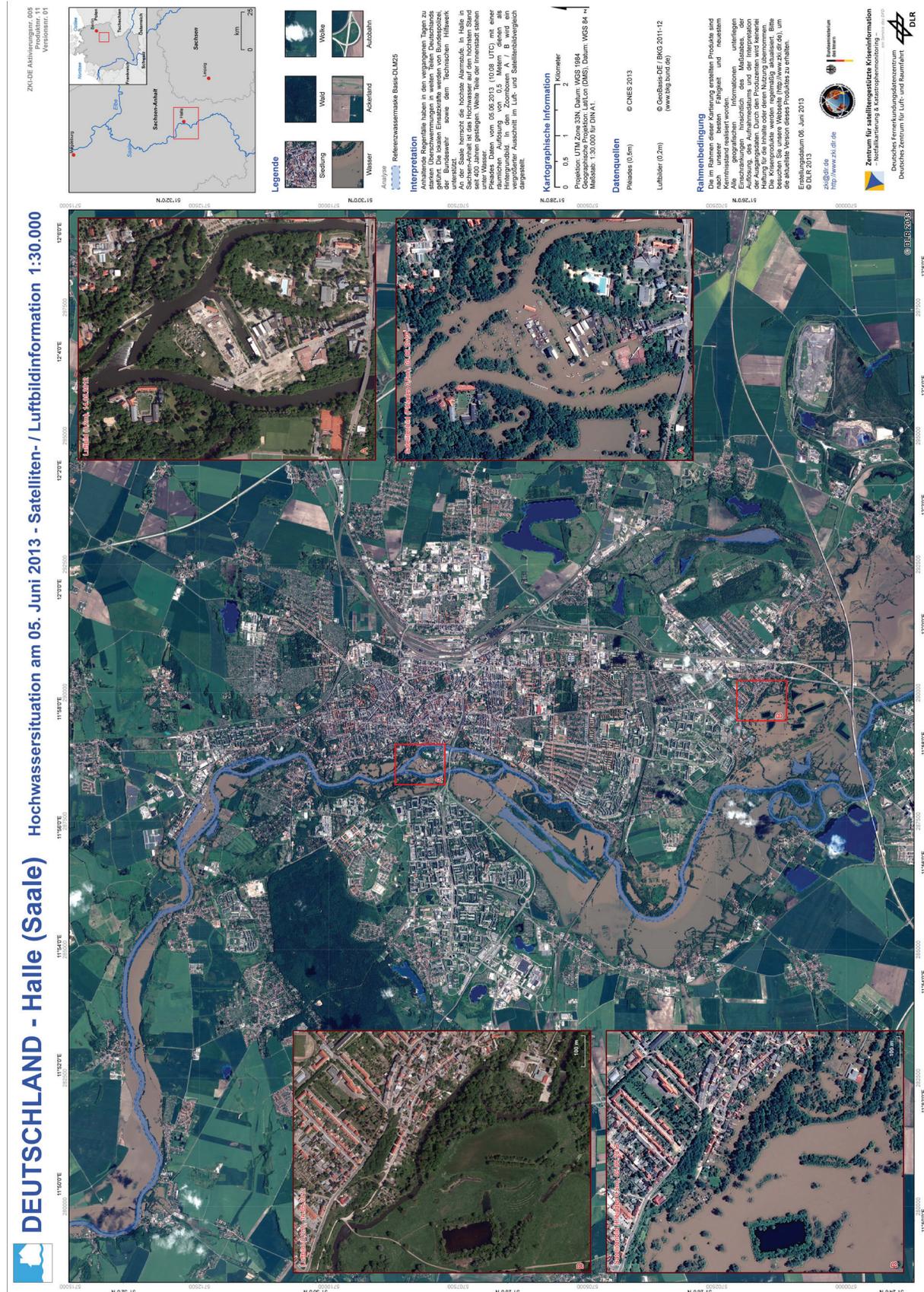


Fig. 5 : Investigation was mainly undertaken in the northern parts of Halle. Map shows the extent of the flooding, including two example areas to compare normal and flooded situations. (© ZKI/DLR).

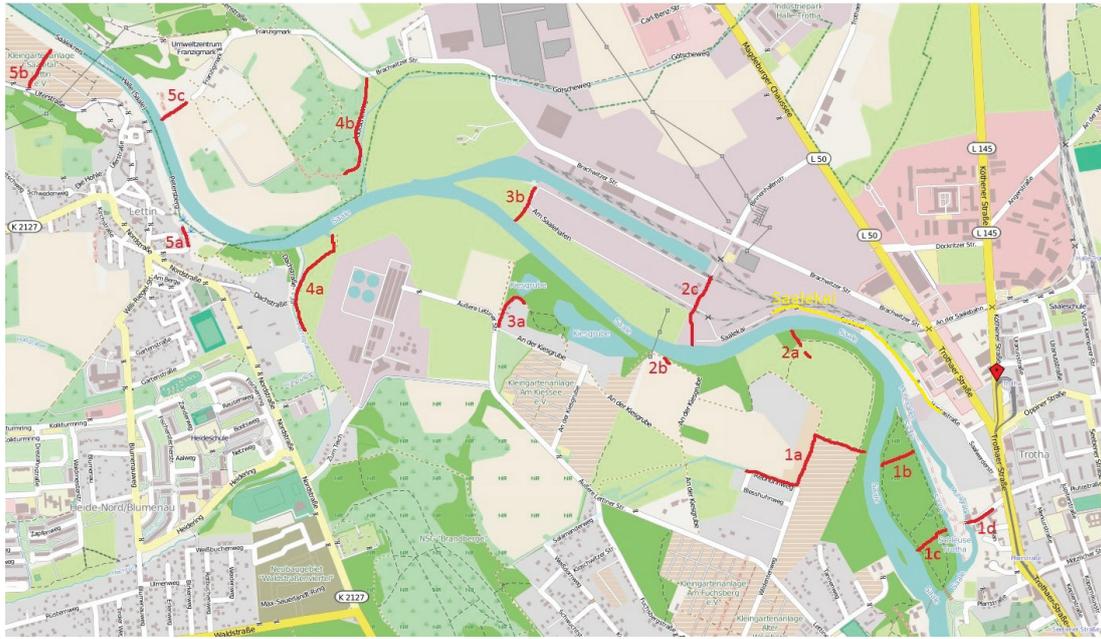


Fig. 6: A more detailed view of the main area of investigation with the locations of the various profiles marked in red - except that along the river for the Saale Kai (marked in yellow). Note this map is without indication of flooded areas. (Open Street Map- Daten/Lizenz Open Database License, ODBL).

all the individual measurements together. This particular aspect forms the basis for the rest of the article. In addition, one can investigate the corresponding interactions for individual profiles measured at increasing

distances away from the Saale river and at different locations along the river. Such profile locations are marked in red and yellow on Figure 6. However their investigation would make for a very long article indeed

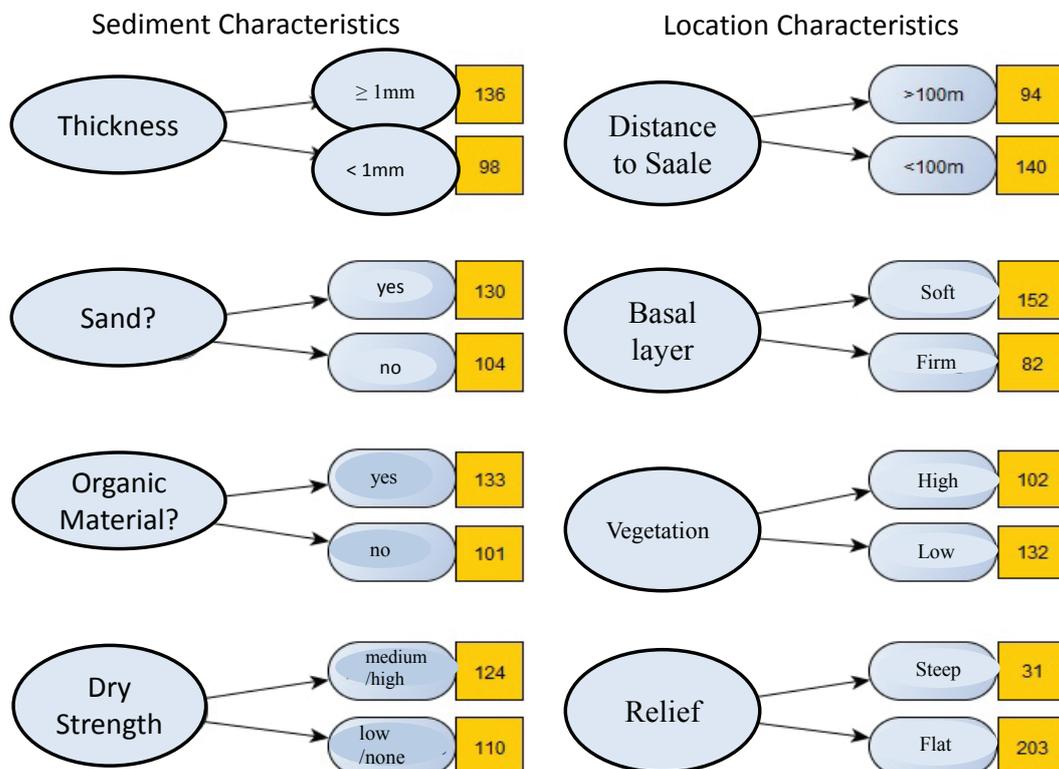


Fig. 7: Summary of events and their sediment and location characteristics considered separately.

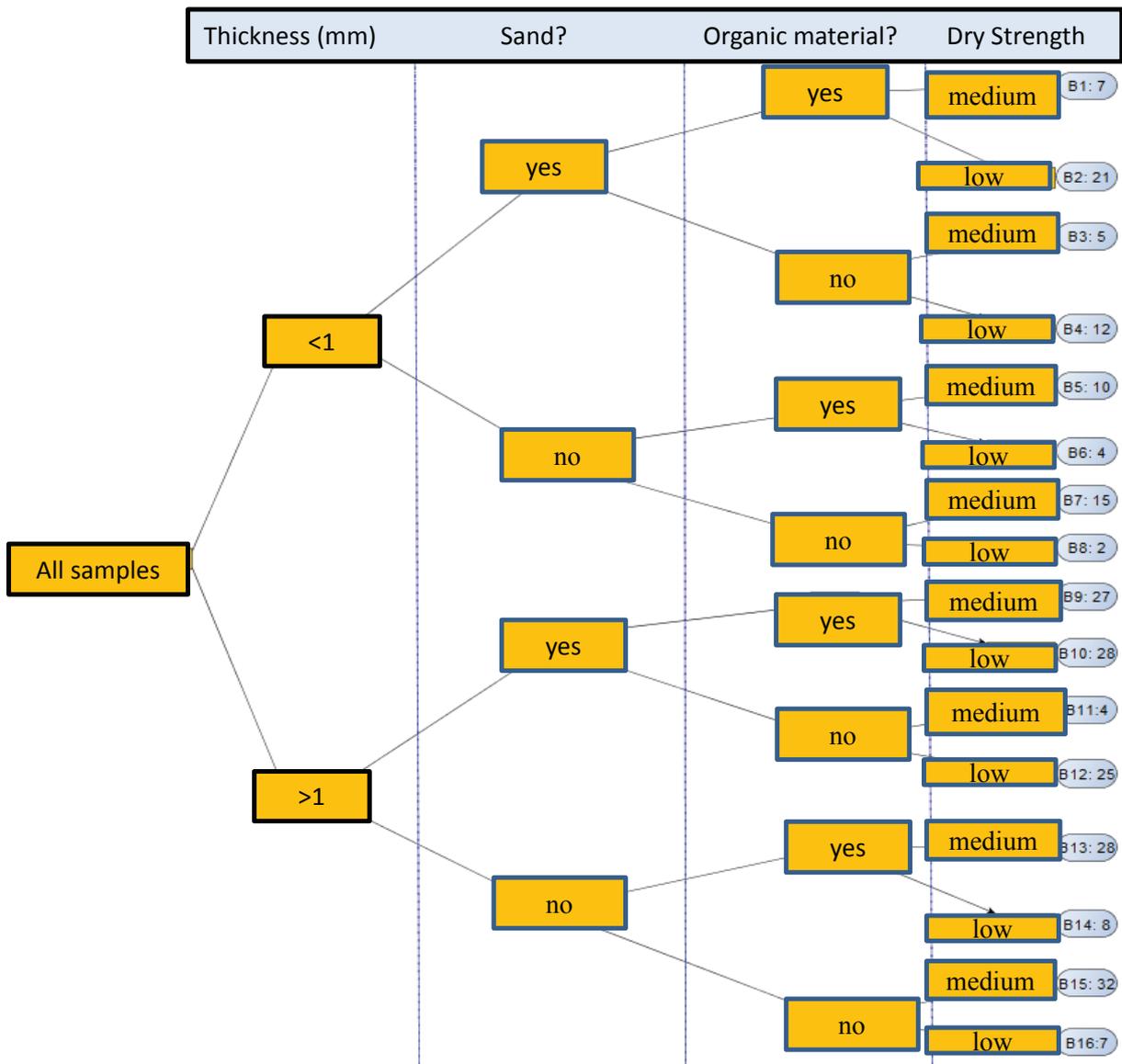


Fig. 8: Individual sediment characteristics defined in terms of positive/negative appearances of events as shown for each characteristic.

and for that reason, as well as the fact that such a detailed investigation has already been undertaken by THONIG (2014), individual profiles are not considered further here.

The total sum of the measured points is first broken up into groups that refer to their sediment characteristics irrespective of location characteristics (Figure 7). In this way one obtains a rough overview of the frequency of occurrence of each sediment characteristic. The left hand side of Figure 7 depicts this breakup with the corresponding absolute frequency of occurrence of each factor.

Equally one can group the measurements by their location characteristics irrespective of the sediment behavior to obtain a rough idea of the influence of location characteristics on the frequency of occurrence of each type of location parameter. This breakdown is shown on the right hand side of Figure 7.

In addition one can take each individual sample and set up a categorization of the sediment characteristics based on the attributes each sample possesses. As shown in Figure 8 such a process groups the samples into several classes by asking whether each

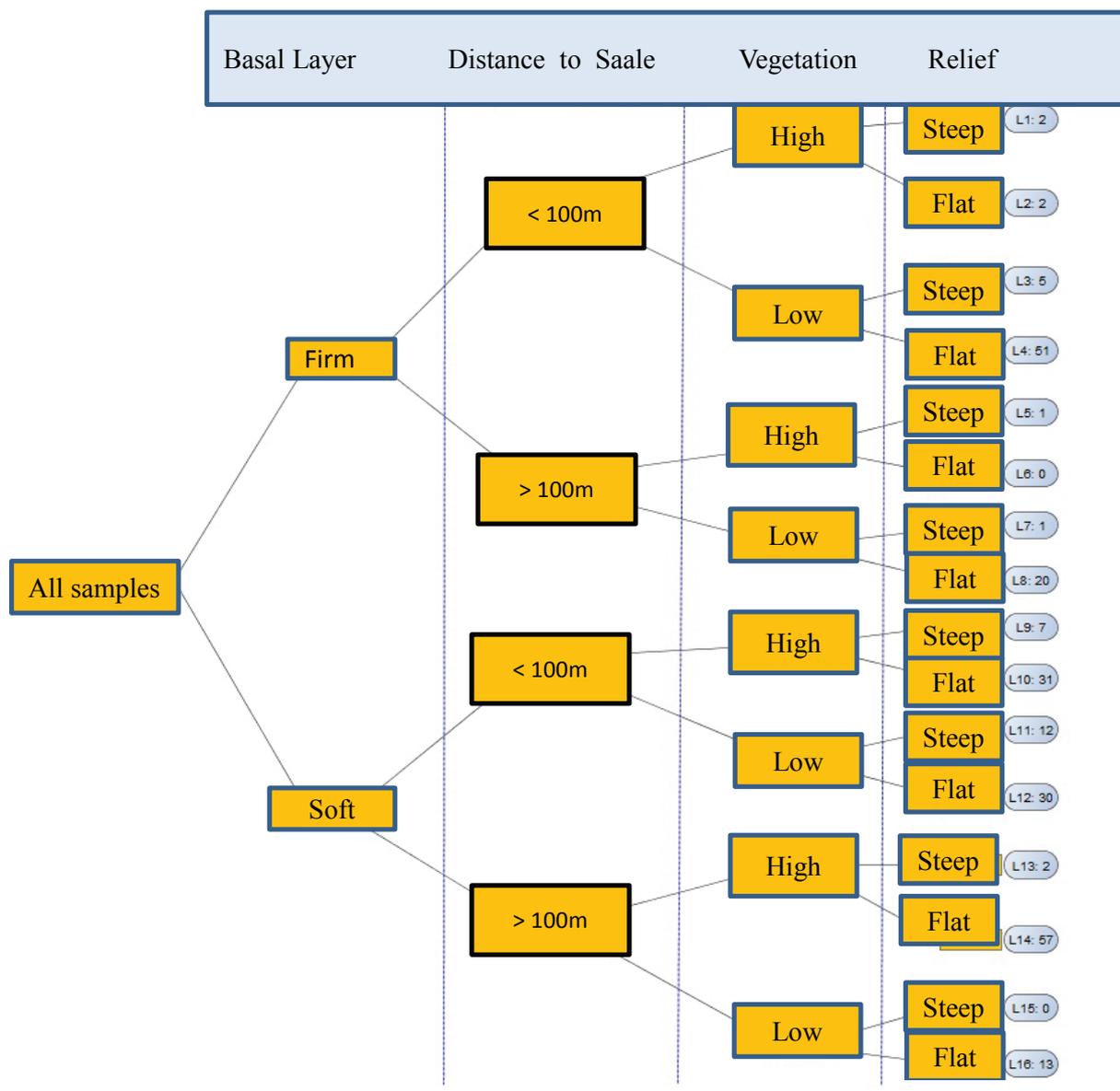


Fig. 9: Individual location characteristics defined in terms of positive/negative appearances of events as shown for each characteristic.

sample is thicker or thinner than 1 mm, whether each sample contains coarse material or not, whether each sample contains organic matter or not and whether each sample has low or medium dry strength. In this way one generates 16 different groups and, as shown in Figure 8, one can so obtain the number of samples that fall into each group. These classes are noted by symbols B1 to B16 with the corresponding number of samples in each B classification given as shown also in Figure 8.

Equally, one can categorize the location

characteristics of each sample in a similar manner. Shown in Figure 9 are the 16 groupings based on the four location criteria namely: is the substrate hard or not, is the sample taken at a distance greater or less than 100 m from the Saale river, is there low or high vegetation for the sample location, and is the relief steep or not. These classes are labeled L1 to L16 on figure 10 and the number of samples falling into each of the L classes is also give in Figure 9.

An alternative way to view the breakdown of the sediment and location characterizations

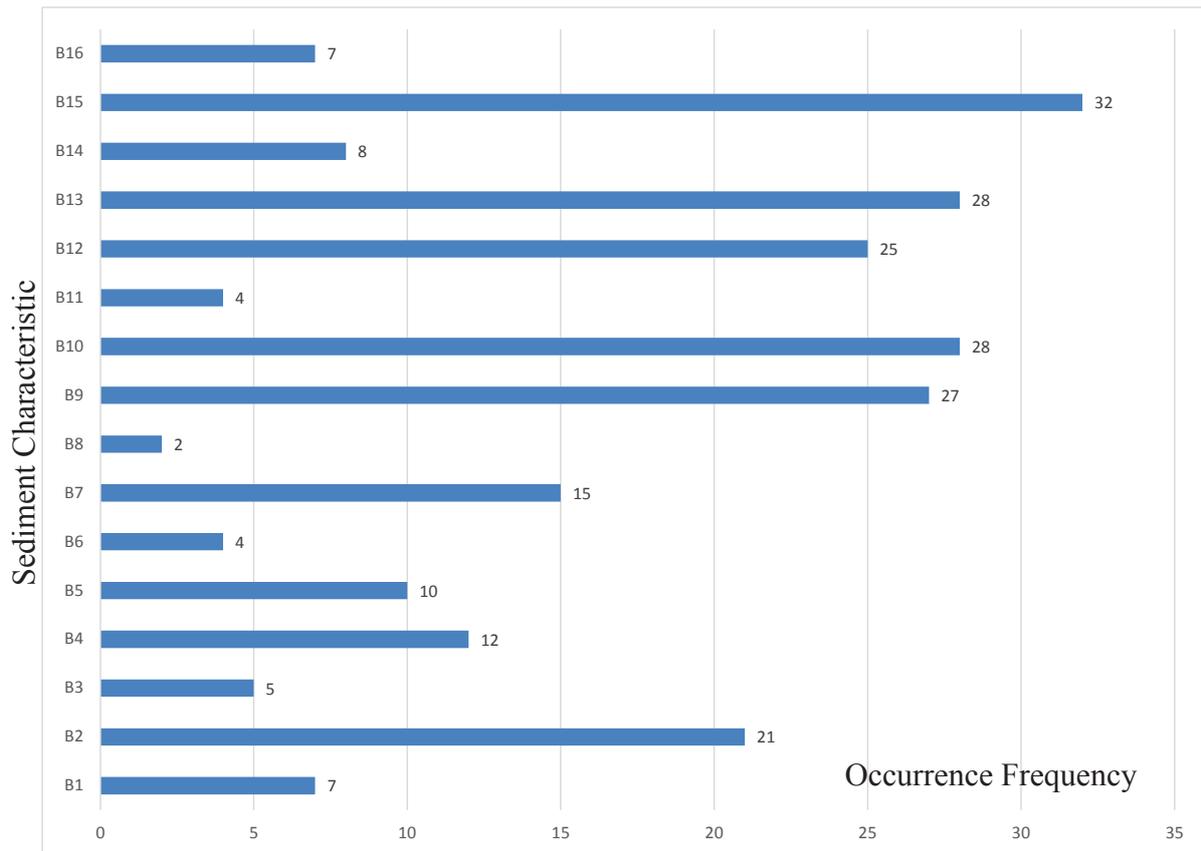


Fig. 10 : Frequency of occurrence of events for sediment characteristics only.

into classes is to plot just the frequency of occurrence of members in each class. Figure 10 shows this frequency diagram for the 16 sediment classes from which one notes the dominance (in the sense of more than 20 sample values in the class) of just six of the sixteen classes. Equally, Figure 11 presents the corresponding information for the location classes from which one notes that just two classes (L4 and L14) dominate all the other classes with memberships of over 50 each, with a secondary grouping for classes L8, L10 and L12 containing memberships of 20 to 31. The two highest classes have in common that they both have flat relief despite all other attributes being different.

While this breakdown of the information is instructive it misses a major point in that the sediment characterization is considered independently of the location characterization, and vice versa of course. In order to incorporate both sorts of information at the same time and so to form a more complete

picture of the flooding events and their interdependence on the total characteristics one proceeds as follows. First a matrix is constructed of all entries according to both schemes of classification.

A pictorial representation of the complete matrix of occurrence frequency is shown in Figure 12 from which one notes immediately the region of high frequencies of occurrence between classifications L16-L8 and B16-B11 with a secondary group of relatively high frequencies lying between L8-L4 and B1-B6. The high group has a common denominator in that the samples represent deposition on soft grounds and with thicknesses dominated by those greater than 1mm. The secondary group represents deposition on hard basal grounds with a concomitant very thin layering of less than 1 mm.

There is a strong connection between the basal support and the thickness of sediment. Soft basal materials such as meadows, gravel paths or dirt roads are associated

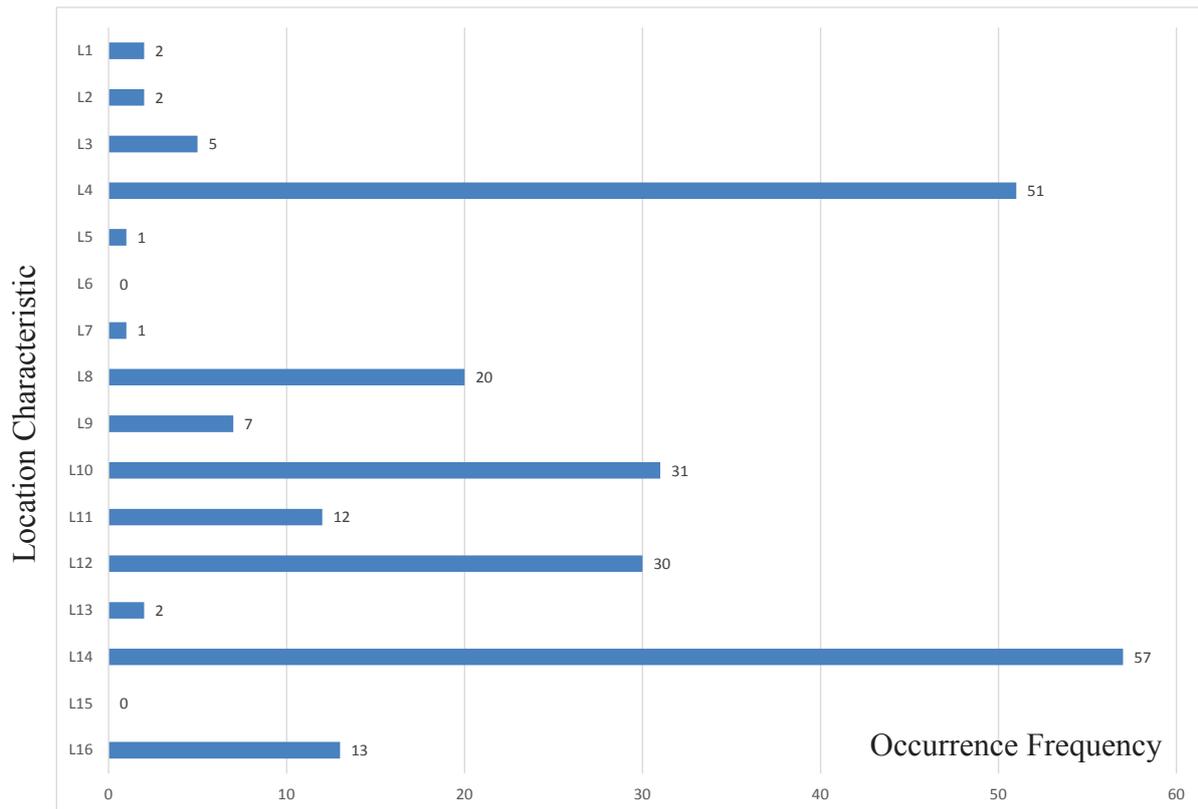


Fig. 11 : Frequency of occurrence of events for location characteristics only.

with relatively thick sediment that is almost always more than 1 mm. In contrast on firm grounds, such as paved roads and sidewalks, the dominance is one of thicknesses smaller than 1 mm.

An explanation for this connection is that soft basal material provides an uneven surface and so has a higher potential to accumulate sediment. For instance in puddles and small depressions it is easier to accumulate sediment than on smooth asphalted areas. In addition, in meadows the vegetation can lead to retention as well. A second possibility is that on hard grounds it is much easier to measure the sediment thickness so that an extremely thin sediment cover of less than 1 mm is relatively easily measured. In contrast on soft ground the boundary between sediment and basal layer is more difficult to determine. It can happen that one errs on the side of setting a thickness at more than 1 mm due to this uncertainty. However, because there was no hard ground throughout most of the study

region this potential error is unavoidable.

Further connections between the criteria used are also to be noted. For instance all high occurrence frequencies related to vegetation and thickness indicate that where one had low levels of vegetation the sediment thickness was less than 1 mm while high levels of vegetation were almost all blessed with thicker layering of sediment. One cause can be that thick vegetation hinders the flow speed of the flood waters and so allows more deposition of sediment. Note that thick vegetation is usually correlated with a soft basal layer so that one anticipates a similar behavior as indeed seen while hard grounds tend to lack thick vegetation to a significant extent. A connection of vegetation degree to other criteria used, such as organic material content in the samples, could not be determined.

A further dependence between the criteria used is to be seen in the coarse grained content of the samples: those with high content mostly show low to zero dry strength. If no coarse

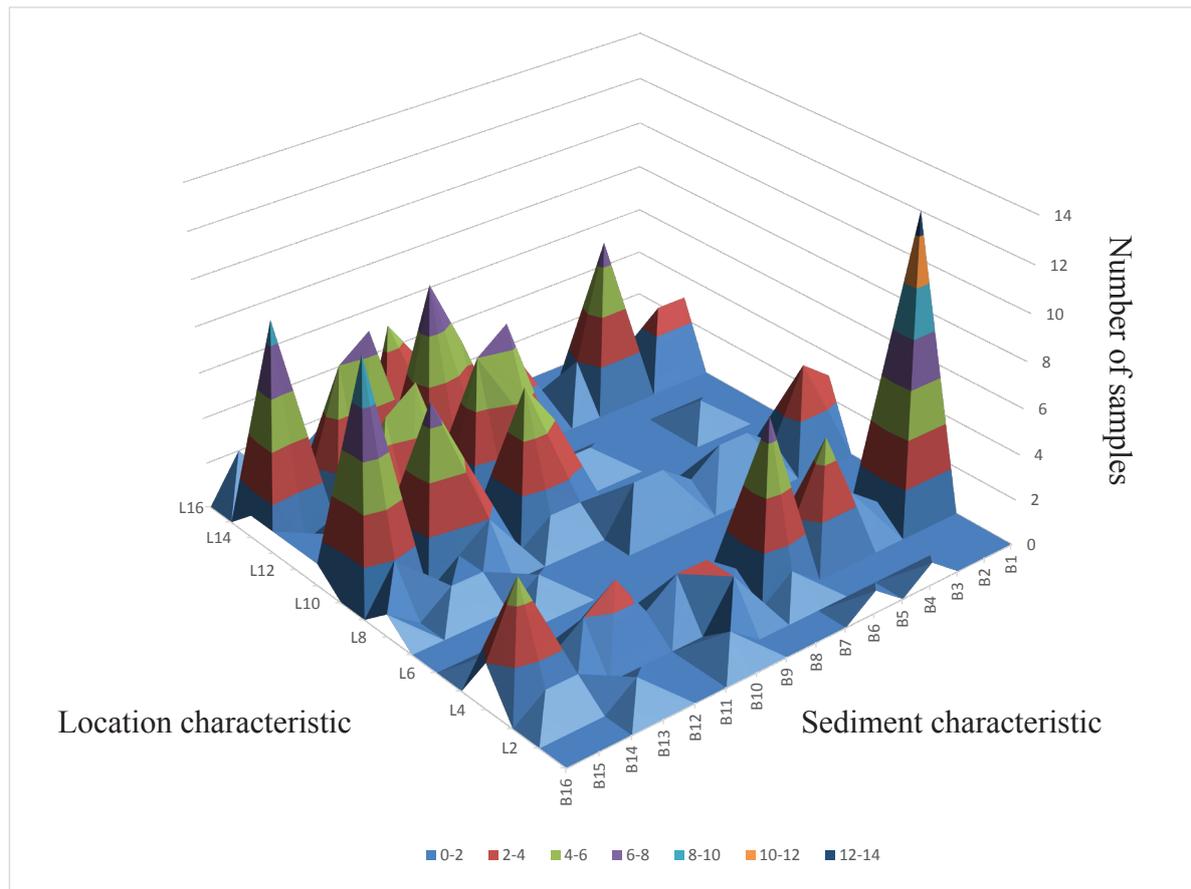


Fig. 12: Occurrence frequency of events when both sediment and location characteristics are considered simultaneously.

material is present then the dry strength tends towards medium to high values. This result is not unexpected because the larger grain size particles tend to lower significantly both the dry strength and the binding ability of deposited sediments.

3. Interpretation and Conclusion

The massive flooding of the Saale had interesting consequences for sediment behavior in the flooded regions. Sediment deposition was dominant in regions without hard grounds but with vegetation and was much less in hard substrate regions.

The average thickness of the fine-grained material indicated a transport volume of between about 5 to 15 l/m². In the total flooded region in Halle of around 32.8 km² one can estimate some 3x10⁵ m³ of fine-grained material was deposited.

The transport of fine-grained sediment along

the Saale had its direction changed by the flooding in the region Halle: Between Trotha and Lettin in the north, a sorting of the grain sizes was reached, that, on the one hand, lowered the medium grain sizes and, on the other hand, altered the grain size distribution at the same time.

The combined influence of location characteristics and sediment characteristics led to a pattern of sediment deposition in the flooded domains that typifies the significant variations between hard and soft grounds, vegetation cover, relief (flat versus steep) and coarse grain content. This information can likely be of use in the event of a further flood event of the magnitude of that from June 2013.

4. Acknowledgements

We thank Dr. N. HAUSCHKE for his supervisory role with the students.

5. References

- BARON, E. (2013): Sedimentgeologische Untersuchungen an Hochwassersedimenten im Raum Halle - Beesen (Halle/Saale). Unpublished BSc-Thesis, Martin-Luther-University, Halle (Saale).
- DIN EN Iso 14688-1 (2002): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2002), Beuth-Verlag, Berlin, Wien, Zürich.
- THONIG, P., 2014, Sedimentologische Untersuchung der Sedimente des Saalehochwassers 2013 im Bereich zwischen Halle-Trotha und Lettin. Unpublished B.Sc.-Thesis, Martin-Luther-University, Halle (Saale).
- WEIßE, M. (2013): Sedimentologische Untersuchung von Hochwasserablagerungen im Bereich der Peissnitzinsel (Halle/Saale). Unpublished BSc-Thesis Martin-Luther-University, Halle (Saale).

STEHT DER MAGDEBURGER DOM AUF DEM DOMFELSEN?

GÜNTER SCHÖNBERG

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Köthener Straße 38, 06118 Halle/Saale, Standort: Fürstenwallstraße 10, 39104 Magdeburg

E-mail: Schoenberg@lagb.mw.sachsen-anhalt.de

Schlüsselwörter: Magdeburger Dom, Domfelsen, Geologische Erkundung, Archäologische Grabung

Keywords: Magdeburg cathedral, cathedral rock, geological exploration, archaeological excavation

Zusammenfassung

Die Frage, ob der Magdeburger Dom auf dem Domfelsen steht, wird im Verlauf der Geschichte wiederholt aufgeworfen. Geplante Strombaumaßnahmen waren um das Jahr 2000 erneuter Anlass dafür. Nach einer Bestandsaufnahme der historischen Aufzeichnungen werden die zahlreichen Untersuchungsergebnisse der letzten Jahrzehnte im Umfeld des Doms erläutert und der Kenntnisstand im Jahre 2000 zusammengefasst. Archäologische Forschungsgrabungen ermöglichen zwischen 2006 und 2010 erstmals geologische Aufschlüsse zur Untergrunderkundung im Dom selbst und führten zu einem unverhofften Erkenntniszuwachs. Moderne Auswert- und Darstellungsmethoden fügen alle bis heute bekannten Daten zu einem abgerundeten Bild des geologischen Untergrundes im Bereich des Magdeburger Doms zusammen. Ihr Vergleich mit den bisherigen archäologischen Befunden ergibt gute Übereinstimmungen und ermöglicht eine nachvollziehbare Interpretation bezüglich des für den Dom gewählten Standortes.

Abstract

The question whether the Magdeburg cathedral stands on the cathedral rock is raised in the course of the history repeatedly. Planned stream building measures were a renewed occasion for it about 2000. After an inventory of the historical records the numerous investigation results of the last decades are explained in the context of the cathedral and the state of knowledge is summarized in 2000. Archaeological research excavations allow then between 2006 and 2010 for the first time geologic explanations on the underground investigation in the cathedral and led to an unexpected knowledge increase. All data known till this day join modern evaluation and representation methods to a rounded picture of the geologic underground in the area of the Magdeburg cathedral. Their comparison with the previous archaeological findings results in good accordance and enables a comprehensible interpretation with regard to the location chosen for the cathedral.

1. Veranlassung

Der bei Niedrigwasser deutlich hervortretende Domfelsen in der Stromelbe in Magdeburg ist als Schifffahrtshindernis bei der Binnenschifffahrt schon lange ein Begriff. Mehrmals wurde in der Vergangenheit bereits versucht diese Engstelle zu entschärfen.

In Vorbereitung eines Planfeststellungsverfahrens zu geplanten Strombaumaßnahmen in der Stadtstrecke Elbe in Magdeburg rückte der Domfelsen im Jahre 2000 erneut in den Mittelpunkt des Interesses. Zahlreiche Untersuchungen in der Elbe, wie Messungen mittels Sedimentecholot und Bodensichtsonar sowie direkte Aufschlüsse (Sondierungen, Kernbohrungen), erbrachten bereits im Vorfeld umfangreiches Datenmaterial (Abb. 1, vgl. SCHÖLLHORN & SEHER 1999). Gutachten zu möglichen Auswirkungen von Abtragungen am Felsen in der Elbe auf benachbarte Bauwerke (PALLOKS 1999) sowie direkte Erschütterungsmessungen im Dom bei Probeabtragungen (PALLOKS 2000) wurden im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe erstellt. In diesem Zusammenhang stand die Frage nach der Tiefe des Felsens unterhalb des Doms ebenfalls im Blickpunkt.

Im Rahmen der Beteiligung am Planfeststellungsverfahren nahm sich das Landesamt für Geologie und Bergwesen (LAGB) dieser Frage an. Mit Unterstützung der IHU Geologie und Analytik Stendal (IHU) erfolgte im Juli 2000 eine Erkundung der Festgesteinsoberfläche im näheren Umfeld des Magdeburger Doms mit insgesamt 5

Rammkernsondierungen. Zu ihrer Lage und den Ergebnissen wird unter dem Pkt. 3. weiteres ausgeführt.

Wenige Meter nördlich des Doms fand in der Regierungsstraße ab 2001 eine archäologische Forschungsgrabung statt, die unter Leitung von R. KUHN (2005) einen ottonischen Kirchenbau untersuchte (Abb. 2). Dabei wurde ein in Magdeburg heute selten anzutreffendes Baumaterial verwendet: der im Mittelalter weit verbreitete Kalksinter. Das gemeinsame Interesse von Geologen und Archäologen, das sich hier entwickelte, sollte in den nächsten Jahren wesentlich zu dem Erkenntniszuwachs bezüglich des Domuntergrundes beitragen.

2. Historische Quellen

Das Interesse am Dom und seinem Untergrund beschäftigte die Magdeburger

seit jeher und so ist es nicht verwunderlich, dass in zahlreichen Beiträgen der Frage nachgegangen wurde, ob der Dom auf dem Domfels steht oder nicht. Die Meinungen der Fachleute gehen dabei weit auseinander, wobei hier nur die Bekanntesten mit ihren Argumentationen, dafür und dagegen, zusammenfassend dargestellt werden sollen.

Zu den Befürwortern gehört Dr. A. SCHREIBER, der bereits 1873 in einem Beitrag zum Untergrund der Stadt Magdeburg schrieb:

„Es ist wahrscheinlich, dass die Lage des Doms durch diesen Höhenzug des Rothliegenden bedingt ist; denn ein so gewaltiges Bauwerk ließ sich nach der bei den Vorfahren vorwiegenden Ansicht wohl nur dem Felsengrunde mit voller Sicherheit anvertrauen.“

Diese Ableitung traf er aus seinem Kenntnisstand von mehreren Felsrücken des Kar-

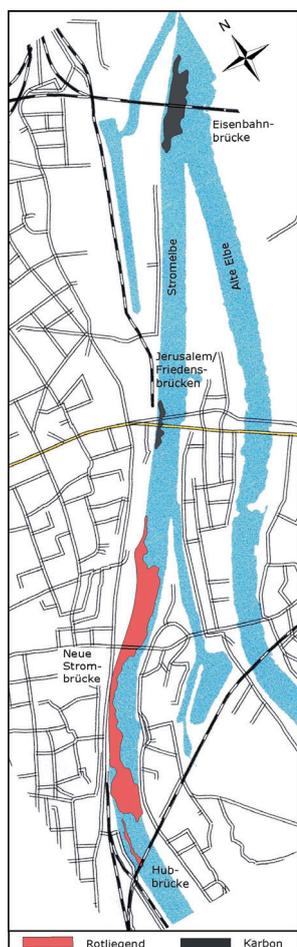


Abb. 1 : Felshochlagen in der Stromelbe (Bundesanstalt für Wasserbau, 1999)



Abb. 2 : Archäologische Grabungen am Domplatz 2001 bis 2003

bon und des Rotliegend, die das Stadtgebiet annähernd in West-Ost-Richtung durchziehen und u. a. auch bei Niedrigwasser in der Elbe hervortraten bzw. in Brunnen und bei tiefen Ausschachtungen beobachtet wurden (vgl. SCHREIBER 1884).

In den Erläuterungen zur Geologischen Karte, Blatt Magdeburg, schreibt F. WIEGERS (1923):

„Das Oberste Oberrotliegende bildet den Baugrund des Domes; es ist in 43 m Meereshöhe im Hof der Elbstrombauverwaltung, Domplatz 2, und westlich des Doms auf dem Grundstück der Reichsbank in 46 m Meereshöhe erbohrt worden, überlagert von Grünsand und Diluvium.“

Zum Zeitpunkt der preußischen geologischen Landesaufnahme waren detaillierte Kenntnisse zur Geologie im Stadtgebiet vorhanden, wobei der direkte Nachweis des Felsens unterhalb des Doms offenbar fehlte.

In Kenntnis der historischen Quellen äußerte O. HARTMANN (2005) im Heft 99 der Schriftenreihe des Stadtplanungsamtes Magdeburg zu diesem Thema:

„Unterstellt man nun, dass die erwähnte Rippe zwischen Flußbett und Nord LB nicht gleichmäßig ansteigt, sondern im Bereich des o. g. Steilufers durch die Erosion des Flusses eine Steilstufe auch im Rotliegend bestand, so könnte zumindest der östliche Bereich des Domes durchaus teilweise auf Festgestein gegründet sein.“

Untermauernd berichtete Herr HARTMANN im Eingangsbereich der Krypta, vor deren Sanierung Anfang der 1990er Jahre, anstehendes Rotliegend gesehen zu haben. Eine Dokumentation dessen bzw. des Zustandes der Krypta vor diesen Arbeiten existiert nicht.

Im Unterschied zu den Befürwortern argumentieren die Skeptiker z. T. mit Untersuchungsergebnissen, die nicht so einfach von der Hand zu weisen sind.

So führte der Geheime Bergrat Dr. L. VON WERVEKE (1926) in einem Aufsatz im Monatsblatt der Magdeburger Zeitung aus:

„Die Magdeburger, soweit ihnen etwas

daran gelegen ist, werden sich also an den Gedanken gewöhnen müssen, daß der Dom nicht unmittelbar auf der Fortsetzung des Domfelsens steht. Die bisher aufgedeckten alten Mauerreste reichen nicht tiefer als bis wenig unter die ‚Steinsohle‘ des Lößes.“

Zu diesem Schluss kommt er in Kenntnis zu archäologischen Grabungen des Architekten KOCH, der 1926 an der Ostseite des Doms die Krypta ergraben hatte. Das Profil legte hier bis 3,67 m Auffüllungen frei, denen Löß mit einer Steinsohle folgte. Ab 4,20 m unter Gelände stand Grünsand an. Auf Initiative von WERVEKE wurde im Mai 1926 eine Bohrung aus der Grabung heraus bis zu einer Tiefe von 10,45 m unter der Oberfläche des Pflasters niedergebracht. Es war nur Grünsand mit einer Mächtigkeit von 6,25 m durchteuft worden.

Am 22. Januar 1935 titelt die Magdeburger Zeitung:

„Steht der Dom auf dem Domfelsens? Ein Versuchsschacht wurde gegraben – überraschende Feststellung: Der Dom steht auf gewachsenem Sand- und Lehmboden – Ein Turm wiegt 27.000 Tonnen“

Der Verfasser des Artikels, Oberbaurat A. RUDHARD, stellte darin fest:

„Die Domfundamente reichen nur 4,70 Meter unter das jetzige, und nur 3,70 m unter das ursprüngliche Terrain, und sie stehen ohne jegliche Verbreiterung in lehmurchsetztem Sand.“

Der Versuchsschacht befand sich auf der Westseite des Nordturmes und erreichte die Basis seines Fundamentes bei o. g. Tiefe. Zur Klärung der darunter liegenden Schichten ist weitere zwei Meter tiefer gegraben wurden. Das festgestellte Bodenprofil ist aus Abbildung 3 ersichtlich.

3. Untersuchungsergebnisse der Neuzeit

In Vorbereitung von Sanierungsmaßnahmen am Dom ist im Auftrag des Konsistoriums der Kirchenprovinz Sachsen 1993 ein ingenieurgeologisches Gutachten zur Baugrundbeschaffenheit im Bereich des

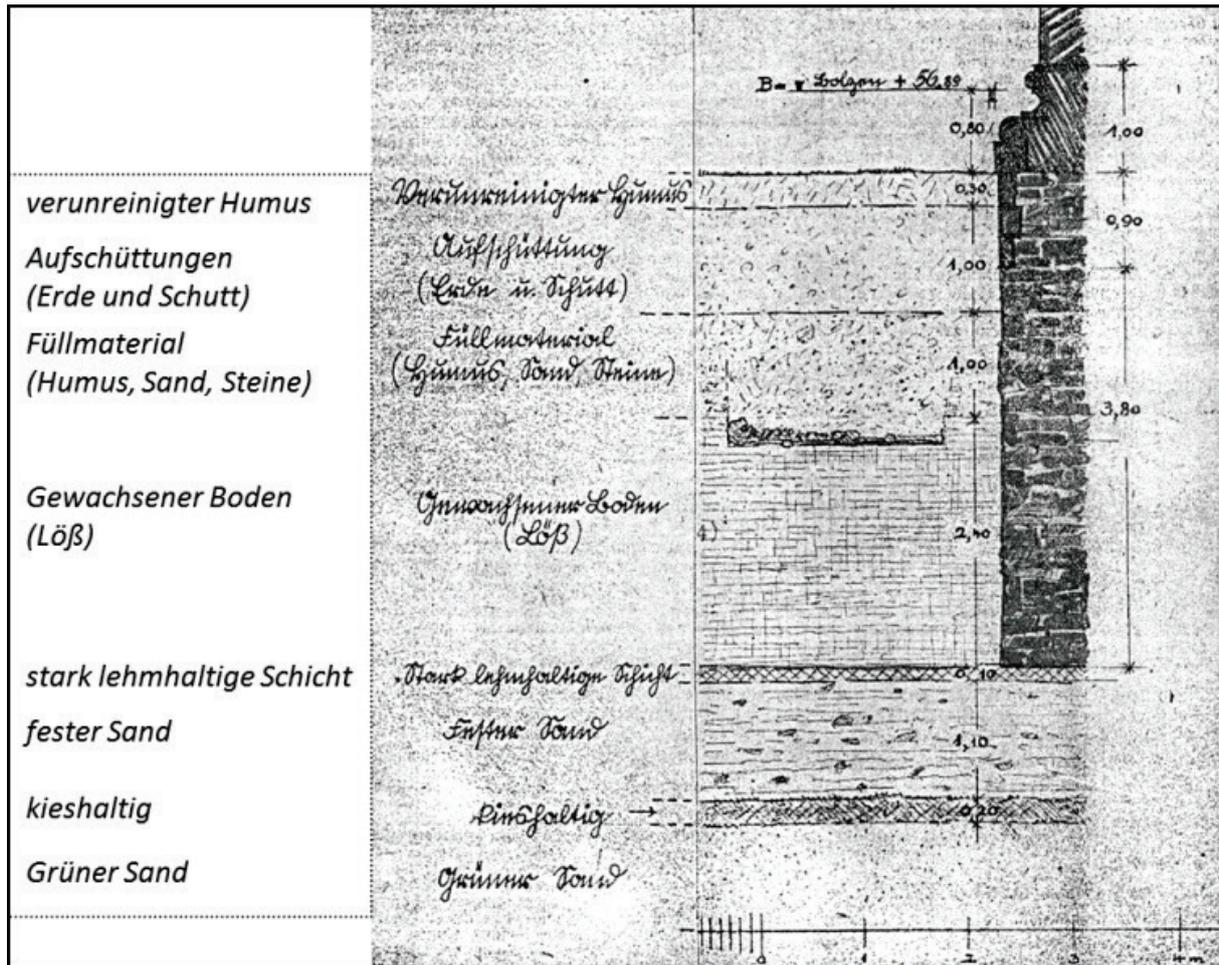


Abb. 3 : Bodenprofil der Probegrabung von RUDHARD (1935)

Magdeburger Domes erstellt worden (MÖKER & SCHÜTTE 1993). Hierfür sind im Außenbereich in Fundamentnähe Bohrungen und Drucksondierungen (bis max. 7,5 m Tiefe) ausgeführt und 4 Schürfguben angelegt worden. Daraus zeigt ein an der Nordseite des Domes von Osten nach Westen verlaufender geologischer Schnitt (Abb. 4) folgenden Untergrundaufbau.

Unter den bis zu 3,8 m mächtigen Aufschüttungen ist Lößlehm bis in eine Tiefe von 4,8 m unter Gelände verbreitet. Darunter folgen wenige Dezimeter pleistozäne Sande, die im Ostteil allerdings fehlen. Der darunter anstehende tertiäre Feinsand (sog. Grünsand, wegen seiner Färbung) ist an keiner Stelle durchteuft wurden.

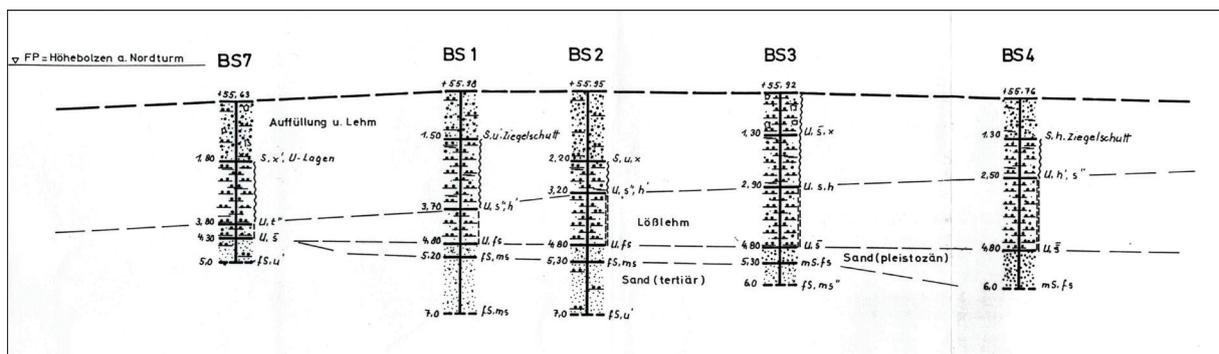


Abb. 4 : Ost-West-Baugrundschnitt aus dem ingenieurgeologischen Gutachten von MÖKER & SCHÜTTE (1993)

In der Krypta wurden außerdem Sondierungen vorgenommen, die eine Einbindetiefe der Domfundamente von ca. 0,6 m unter dem Ausgrabungsniveau und deren Gründung im Grünsand erbrachten.

Wie unter Pkt. 1. bereits erwähnt, sind von LAGB und IHU im Juli 2000 fünf Rammkernsondierungen zur Festgesteins erkundung im Domumfeld niedergebracht worden (Lage s. Abb. 7), von denen vier die Felsoberfläche erreicht haben. Das war der Fall im Garten des Dompfarramtes bei 9,9 m, am Remtergang (Lager des Steinmetz) ab 12,4 m, in der Zufahrt des Vogteigartens (Eingang zum Förder) bei 6,4 m und am Brunnen im Möllenvogteigarten bei 5,0 m unter Geländeoberfläche. Nur die Bohrung im Ostteil des Kreuzganges hat bis zu einer Tiefe von 10,4 m kein Festgestein angetroffen.

Im Vorfeld der Sanierung der Turmruine am Fürstenwall 3a durch das Architekten- und Ingenieurbüro SUSSMANN erfolgte im

Jahr 2000 eine detaillierte Dokumentation des Turmzustandes. Dieser ist im 14. Jahrhundert unmittelbar auf dem Rotliegend gegründet wurden, dessen Oberfläche hier eine Höhe von 42,6 m über NN aufweist. In Abhängigkeit vom Elb Spiegel war infolge der direkten Kommunikation zur nur 50 Meter entfernt liegenden Elbe fast immer eine geschützte Wasserentnahme innerhalb des Turms möglich.

Eine nicht alltägliche Gelegenheit das Festgestein des Rotliegend in Augenschein zu nehmen, ergab sich beim Bau der Nord LB am Domplatz im Jahr 2000 (Abb. 5). An der Ostseite der Baugrube (in Domnähe) stand der Fels klippenartig an, überlagert von Grünsand, Schmelzwassersanden und Löß (Abb. 6). Die maximale Höhe der Festgesteinsoberfläche lag hier ein Meter über der Baugrubensohle bei ca. 48,0 m über NN (vgl. SCHÖNBERG & MÖBES 2005).



Abb. 5: Baugrube der Nord LB (HUBBE 2000).



Abb. 6: Festgesteinsaufschluss (Rotliegend) an der Südostseite der Baugrube Nord LB (HUBBE, 2000)

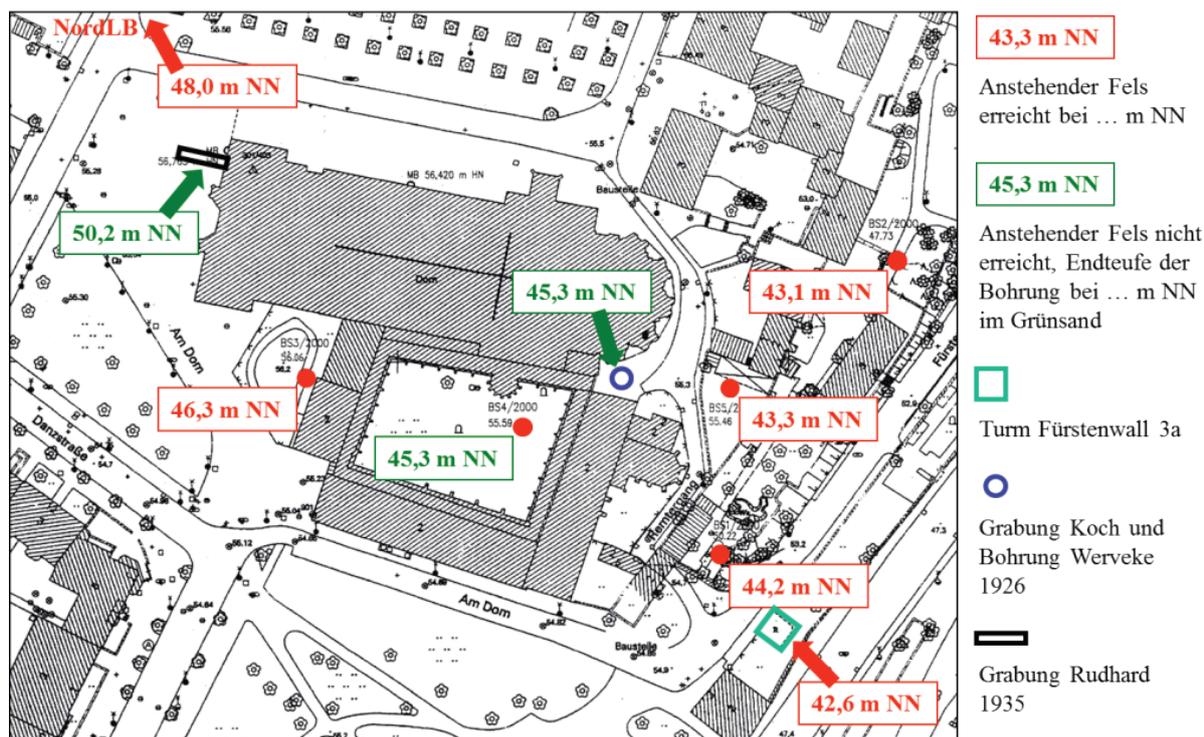


Abb. 7 : Kenntnisstand zum Untergrundaufbau des Magdeburger Doms im Jahr 2000

Fasst man den Kenntnisstand zum geologischen Bau des Untergrundes bis zum Jahr 2000 zusammen, so ist festzustellen, dass er im weiteren Umfeld des Doms recht gut ist, allerdings den Dom selbst und seine Gründung betreffend eher unzureichend. Abbildung 7 macht das deutlich.

4. Erkenntniszuwachs im Zuge archäologischer Grabungen

Im Zuge der bereits erwähnten archäologischen Grabungen auf dem Domplatz von 2001 bis 2003 ist im Bereich der sog. Nordkirche u. a. die Bergung einer gemauerten Grabkammer aus Kalksinter erfolgt (vgl. KUHN et al. 2005), die heute im Kulturhistorischen Museum im Otto-Saal zu sehen ist. Bezüglich des geologischen Untergrundaufbaus ist es hier zu keinen wesentlich neueren Erkenntnissen gekommen, vor allem wegen der geringen Grabungstiefe.

Ganz anders war das im Zuge der Forschungsgrabungen im Dom selbst, die im Zeitraum 2006 bis 2010 ebenfalls durch R. KUHN geleitet wurden (Abb. 8) und einzigartige Funde sowie neue Erkenntnisse

zu den Vorgängerbauten des Doms erbrachten.

Aus der engen Zusammenarbeit von Archäologie und Geologie ergab sich im Laufe der Grabungen erstmals die Möglichkeit, die geologische Schichtenfolge unterhalb des Grabungsniveaus auch im Dom selbst näher zu untersuchen.

Das LAGB erhielt die Möglichkeit insgesamt 8 Rammkernsondierungen durchzuführen, wofür dem Grabungsteam um R. KUHN unser besonderer Dank gilt. Der zur Verfügung stehende Platz und die archäologischen Fundbedingungen erforderten dabei besondere Vorsicht und ließen darüber hinaus keine weiteren Bohrungen zu. Diese wurden immer von der jeweiligen Sohle der Grabung abgeteuft, die an der Basis der Kulturschichten das natürlich anstehende Gestein aufwies.

3 Rammkernsondierungen wurden im Jahr 2007 niedergebracht. Die erste westlich des Nordturms (im Schnitt C) aus der 2,8 m tiefen Grabung erbohrte Löß bis 4,6 m Tiefe, gefolgt von pleistozänen Sanden bis 6.1 m und Grünsand bis zur Endtiefe von 11.8 m unter Geländeoberkante. Damit wurde das Ergebnis der in unmittelbarer Nähe erfolgten

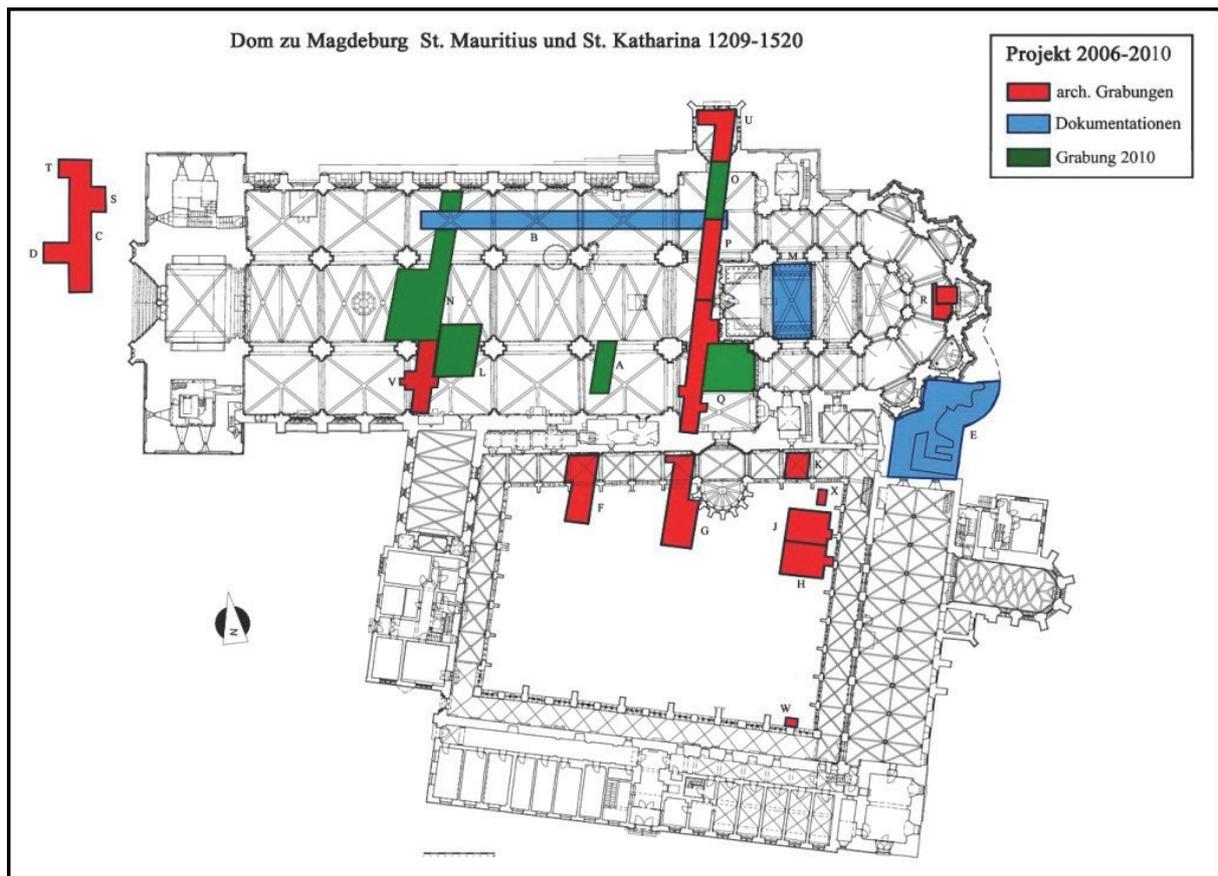


Abb. 8 : Archäologische Grabungen am und im Magdeburger Dom 2006 bis 2010 (KUHN 2009)

Grabung von RUDHARD (1935) bestätigt, der die Fundamentbasis des Nordturms hier bei 4,7 m unter Gelände feststellte (Abb. 3).

Die beiden anderen Sondierungen erfolgten im Nordteil des Kreuzganges, wobei die im Schnitt F (im Innenhof) bis auf 10 Zentimeter genau der Schichtenfolge der im Schnitt C entsprach und bis zur Endtiefe von hier nur 9,7 m ebenfalls Grünsand enthielt. Die dritte Sondierung direkt im Kreuzgang (Schnitt K) dagegen erbohrte aus der 2,9 m tiefen Grabung nur noch Löß bis 3,8 m unter Gelände, dem hier direkt der Grünsand bis zur Endtiefe von 10,9 m folgte. Damit wird belegt, dass wie auch im Baugrundschnitt an der Domnordseite (s. Abb. 4 unter Pkt. 3.) bereits nachgewiesen, die Mächtigkeit der pleistozänen Sande Richtung Elbe abnimmt und diese im Ostteil des Doms völlig fehlen.

2008 konnten zwei Rammkernsondierungen durchgeführt werden, eine im Dom vor dem Lettner (im Schnitt Q) und eine weitere im Nordteil des Remters unmittelbar südlich

des Zuganges zur Krypta. Erstere erfolgte aus der 2,3 m tiefen Grabung und erbrachte bis 4,3 m Löß, bis 4,5 m Reste pleistozäner Sande und bis zur Endtiefe von 9,3 m unter Domfußboden wiederum Grünsand.

Die zweite Bohrung im Remter wurde von der Geländeoberfläche ausgeführt, weil hier keine Ausgrabungen sondern nur Fußbodenarbeiten erfolgten. Unter ca. 1 m Auffüllungen stand auch Löß bis 3,1 m an, der von nur 10 cm pleistozänem Sand unterlagert wurde und dem Grünsand bis zum Ende der Sondierung bei 8,0 m unter Gelände folgte. Leider war auf Grund der hohen Festigkeit des trockenen Grünsandes keine größere Tiefe erreichbar und damit konnte die Bohrung von WERVEKE (1926) aus der Grabung der Krypta heraus mit 10,45 m Tiefe nicht übertroffen werden (s. Pkt. 2).

Nach einem „bohrungsfreiem Jahr“ sind 2010 dann erneut drei Rammkernsondierungen im Dom selbst niedergebracht worden, und das mit durchaus interessanten Ergebnissen.



Abb. 9: Vorbereitung der Rammkernsondierung unterhalb des Kenotaph von Editha (HARTUNG, 2010)

Im Schnitt N konnte aus der 3,8 m tiefen Grabung erstmals im mittleren Teil des Doms die Schichtenfolge erkundet werden. Auch hier stand, wie zu erwarten war, Löß bis 4,5 m an, gefolgt von pleistozänem Sand bis 5,9 m und Grünsand bis zur Endtiefe von 9,8 m unter Domfußboden.

Dann ergab sich eine Gelegenheit, die aus vielerlei Sicht einmalig bleiben wird. Im Zusammenhang mit der Untersuchung des Scheingrabes von Königin Editha, dessen Abbau und den sich anschließenden Grabungen unterhalb desselben wurde hier von den Archäologen eine Tiefe von 5,1 m erreicht. Der Grünsand war bereits an der Sohle der Grabung sichtbar und es bestand Optimismus, die Festgesteinsoberfläche hier endlich einmal zu erreichen. Dafür hätten vermutlich weitere 6 bis 7 m Sondierungstiefe ausgereicht, es wurden leider nur 4,5 m von der Grabungssohle aus und damit nur 9,6

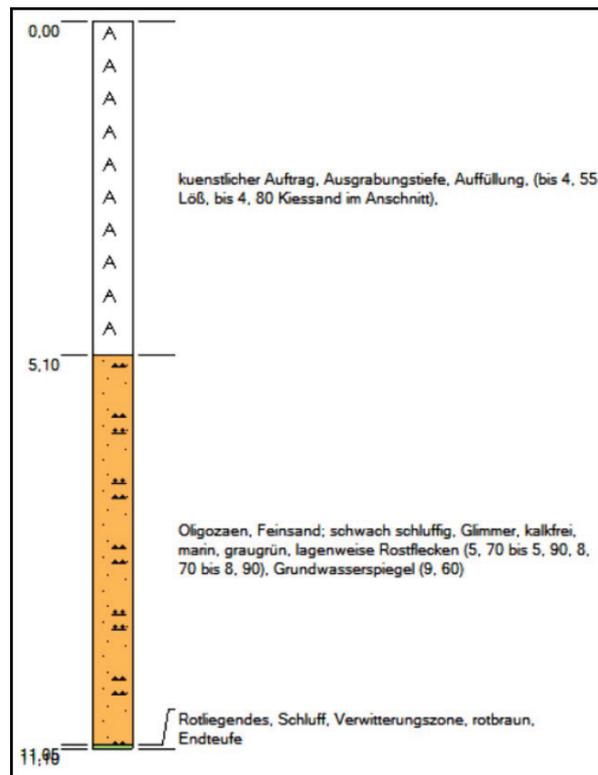


Abb. 10: Bohrprofil 3/2010 im Dom in Nähe der Paradiesvorhalle

m unter der Oberfläche. Der Grünsand (bis zu Endtiefe) erwies sich einerseits wieder als sehr dicht und der wenige Platz sowie die zu wahrende Vorsicht bezüglich der archäologischen Funde setzten Grenzen (s. Abb. 9). Damit blieb die Bohrung von WERWEKE (1926) im Bereich der Krypta erneut unübertroffen.

Eine Möglichkeit ergab sich noch mit der letzten Rammkernsondierung und bekanntlich kommt ja „das Beste zum Schluss“. Im Schnitt O vor der Paradiesvorhalle gaben die Archäologen wiederum alles und erreichten auch hier eine Grabungstiefe von 5,1 m mit anstehendem Grünsand an der Sohle! Die Herausforderung zur Sondierung war groß in dem ca. 1 m breiten Einschnitt, der aus Sicherheitsgründen einen nahezu bergmännischen Ausbau aufwies und damit wenig Bewegungsraum. Trotzdem gelang es eine 6 m tiefe Sondierung bis zur Endtiefe von

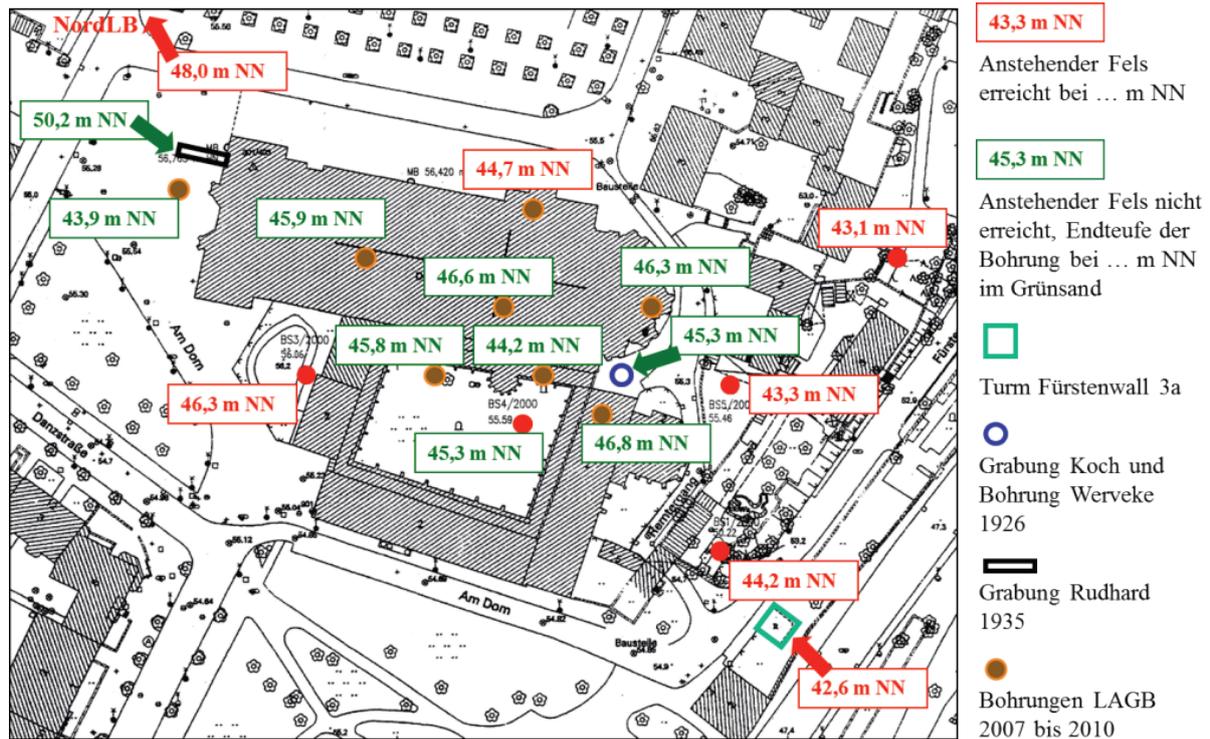


Abb. 11 : Kenntnisstand zum Untergraundaufbau des Magdeburger Doms im Jahr 2010

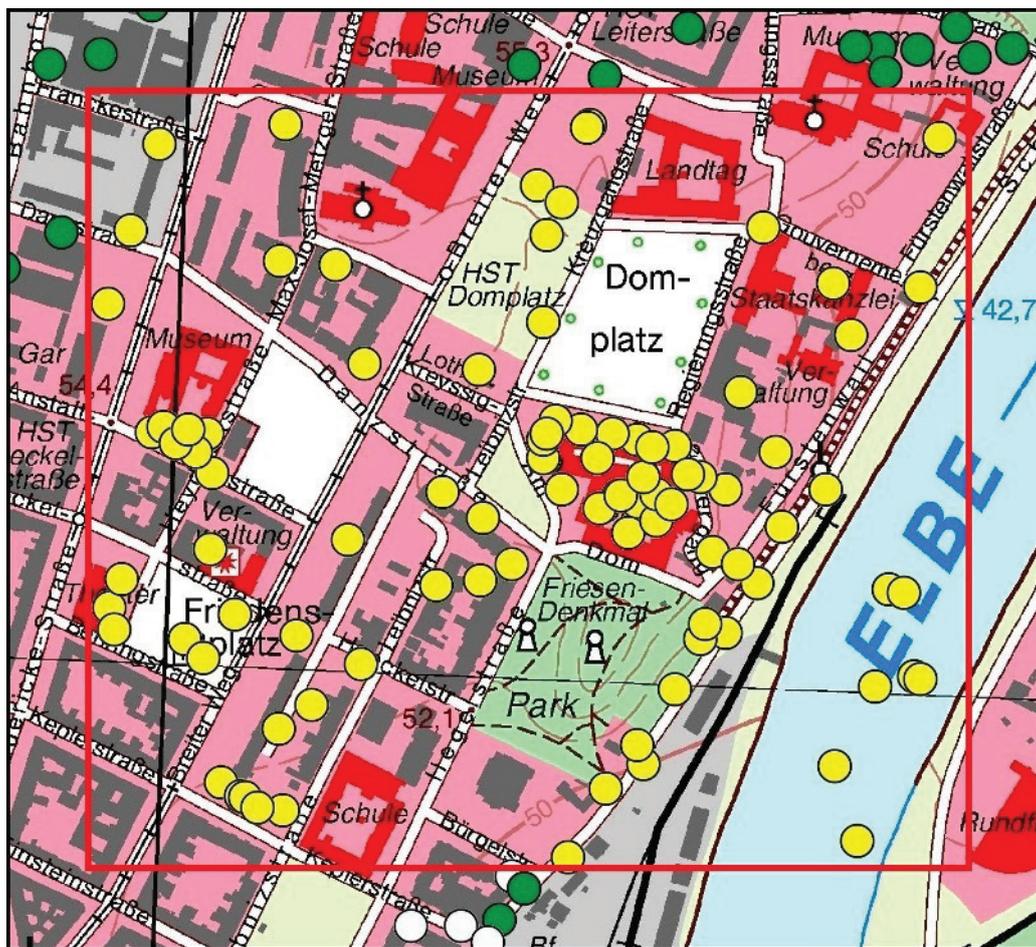


Abb. 12 : Selektierte Bohrungen (gelb) aus der LBDB des LAGB im Umfeld des Doms

11,1 m niederzubringen, die zum Lohn auf den letzten 5 Zentimetern den rot gefärbten Verwitterungshorizont des Rotliegend und damit den Domfelsen erreichte (s. Abb. 10). Es war der zweittiefste Aufschluss (nach dem am Nordturms 2007) und gleichzeitig der einzige, der die Festgesteinsoberfläche erreicht hatte.

Bei einer Durchschnittstiefe der 8 Rammkernsondierungen von ca. 10 Metern und einer nachgewiesenen Tiefe der Fundamentbasis des Nordturms von 4,7 m unter Gelände, der von RUDHARD (1935) mit ca. 27.000 Tonnen Gewicht angegeben wurde, fällt die Interpretation der neuen geologischen Untersuchungsergebnisse im Zuge der archäologischen Grabungen nicht schwer.

5. Stand des derzeitigen Wissens

Wie aus Abbildung 11 gut erkennbar wird, schließen die Ergebnisse der Bohrungen des LAGB von 2007 bis 2010 die Erkenntnislücke zum Untergrundaufbau im näheren Umfeld und im Dom selbst, auch wenn die meisten den Felsen nicht erreicht haben.

Allein mit den Angaben der Bohrtiefen in m NN ist jedoch keine auf einen Blick erfassbare

Darstellung des Untergrundaufbaues realisierbar. Aus diesem Grund wurden alle Aufschlüsse in der Landesbohrdatenbank (LBDB) des LAGB erfasst. Damit war einerseits die Voraussetzung für eine digitale Weiterverarbeitung gegeben und andererseits konnte die Einordnung der Untersuchungsergebnisse in den geologischen Gesamttraum erfolgen. Dafür wurden in einem ca. 600 (Nord-Süd) mal 700 Meter (Ost-West) großen Gebiet, mit dem Dom im Zentrum, alle zur Verfügung stehenden Aufschlüsse aus der Datenbank selektiert. Deutlich wird die Häufung der Informationen im Dombereich durch die Erkenntnisse aus den letzten 20 Jahren sichtbar (s. Abb. 12).

Zur räumlichen Verarbeitung und Modellierung der Daten wurde eine 3D-Software verwendet, wobei der Schwerpunkt der Darstellung den Isolinien der Oberflächen des Grünsandes und des Festgesteins galt. Auf letzterem lag natürlich ein besonderes Interesse und trotz der sehr inhomogenen Verteilung der bis zum Festgestein reichenden Aufschlüsse (natürlich wurden auch alle verwendet, die an der Basis „nur“ Grünsand aufwiesen), zeigen sich

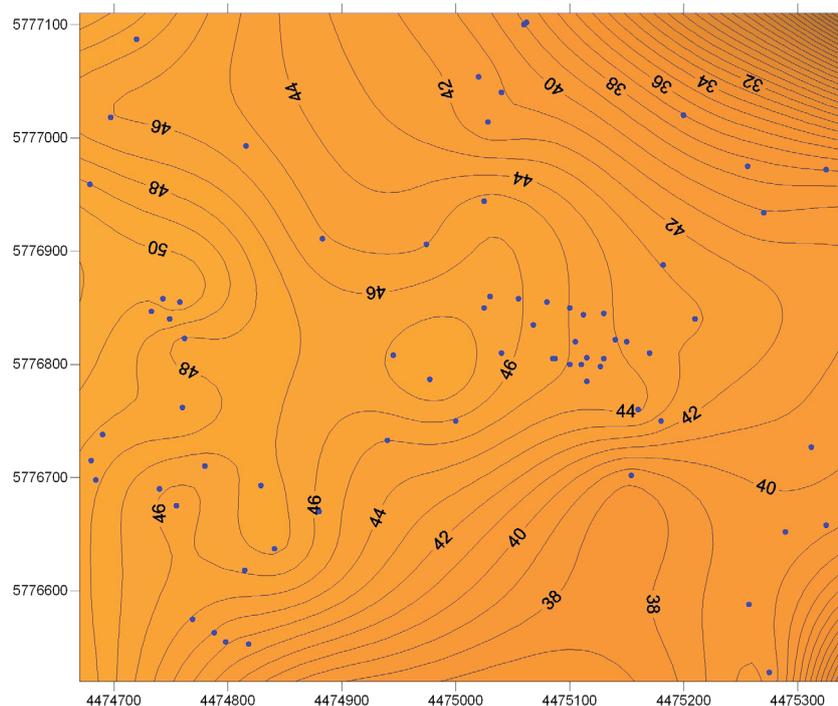


Abb. 13 : Isolinien-Darstellung der Oberfläche Festgestein (Rotliegend)

eindeutige Tendenzen (s. Abb. 13).

Vom Dom aus über die Danzstraße nach Westen bis zum Kulturhistorischen Museum erstreckt sich ein Höhenrücken, der mit 44 m NN im Osten beginnt und am Museum über 50 m NN erreicht. Davon ausgehend fällt die Festgesteinsoberfläche nach Nordost und nach Süden steil mit ≥ 10 Meter ab. Nach Osten zur Elbe hin ist das Gefälle wesentlich flacher ausgebildet. Es zeigt sich, dass der Dom zwar nicht am höchsten Punkt, aber doch im Bereich der Hochlage des Festgesteins liegt, auch wenn zwischen seinen Fundamenten und dem Fels noch mehrere Meter Grünsand ansteht.

Die Oberflächenmorphologie des Grünsandes ist dem des Festgesteines grundsätzlich ähnlich, mit einem markanten Unterschied. Die Elbe hat ihn natürlich vollständig abgetragen, so dass in ihrem Verlauf kein Grünsand mehr erhalten ist und der Abhang zum Elbtal steiler und deutlich erkennbar wird. Auch westlich des Doms im Umfeld des Kulturhistorischen Museums ist er lokal vollständig abgetragen und pleistozäne Schichten liegen hier direkt auf dem Fels. Die etwas ‚unruhige‘ Grünsandoberfläche im Dombereich ist auf die gehäufte Anzahl der verwendeten Aufschlüsse und auf Modellierungseffekte zurückzuführen (s.

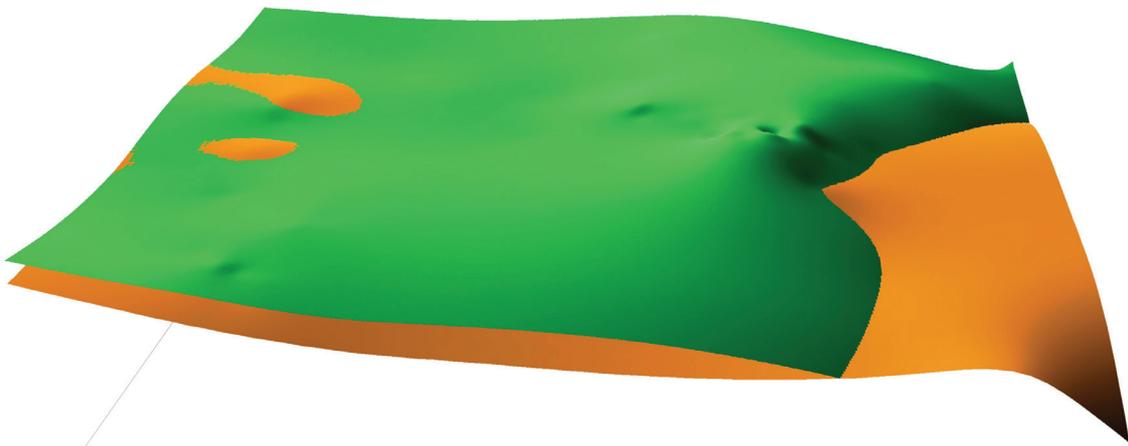


Abb. 14 : Raumlagen der Oberflächen des Festgesteins (Rotliegend) und des Grünsandes (Tertiär)

Abb. 14).

6. Interpretation und historische Einordnung

Neben den Fragen zum tieferen Untergrund im näheren Umfeld des Magdeburger Doms gab es immer wieder Versuche der Rekonstruktion der ehemaligen Geländeoberfläche im Bereich der Magdeburger Altstadt. Antrieb dafür war u. a. die Suche nach Belegen, dass die Geländebeziehungen zur Zeit Karls des Großen wesentlich für die Wahl des Standortes der ‚Magadoburg‘ waren. Die heutigen Geländebeziehungen lassen solche Rückschlüsse jedoch nicht mehr zu. Es sind weder Anzeichen der vor den Stadtmauern gelegenen Gräben und deren Verbindungen

zur Elbe erkennbar, noch zeichnen sich die Zuflüsse der Stadtgräben durch die von der Börde kommenden Gewässer ab.

Auf der Grundlage aller zur Verfügung stehenden Informationen hat Chr. SCHUBERT (2005) den Versuch unternommen, eine ursprüngliche Oberfläche der Magdeburger Altstadt im Zeitraum zwischen 800 und 1000 zu rekonstruieren, die vor den intensiven Veränderungen durch den Menschen existierte. Dabei betrachtete er im Wesentlichen den Bereich innerhalb der Stadtbefestigungen, der bis zum 18. Jahrhundert entstanden war. Auf Basis der heutigen Geländehöhen hat er unter Abzug der anthropogenen Auffüllungsmächtigkeit an den jeweiligen Aufschlusspunkten diese

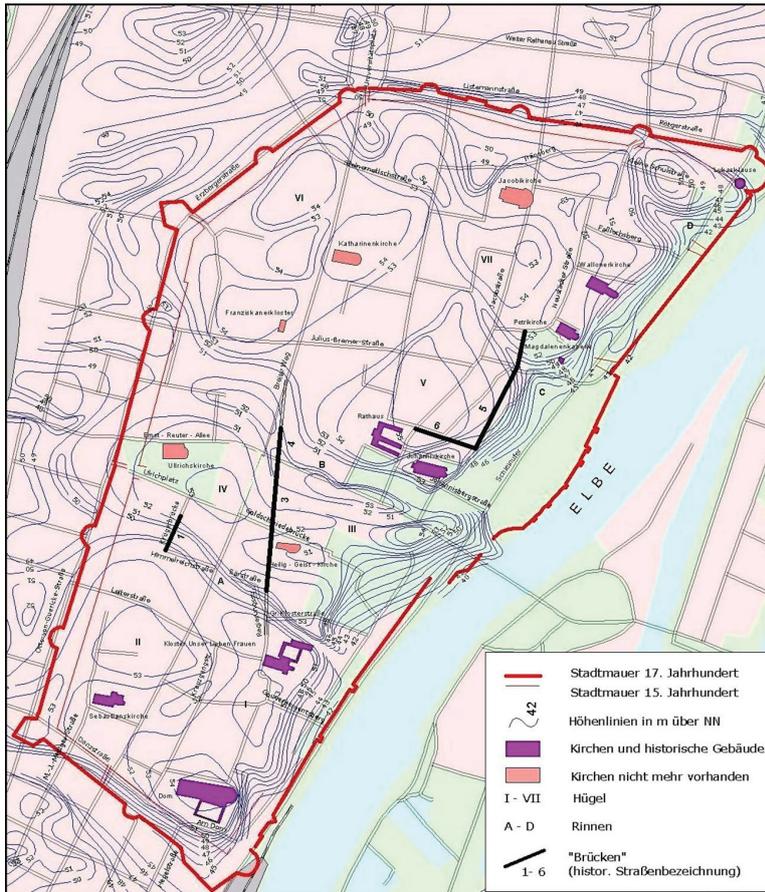


Abb.15: Ursprüngliche Geländeoberfläche der Magdeburger Altstadt (SCHUBERT 2005)

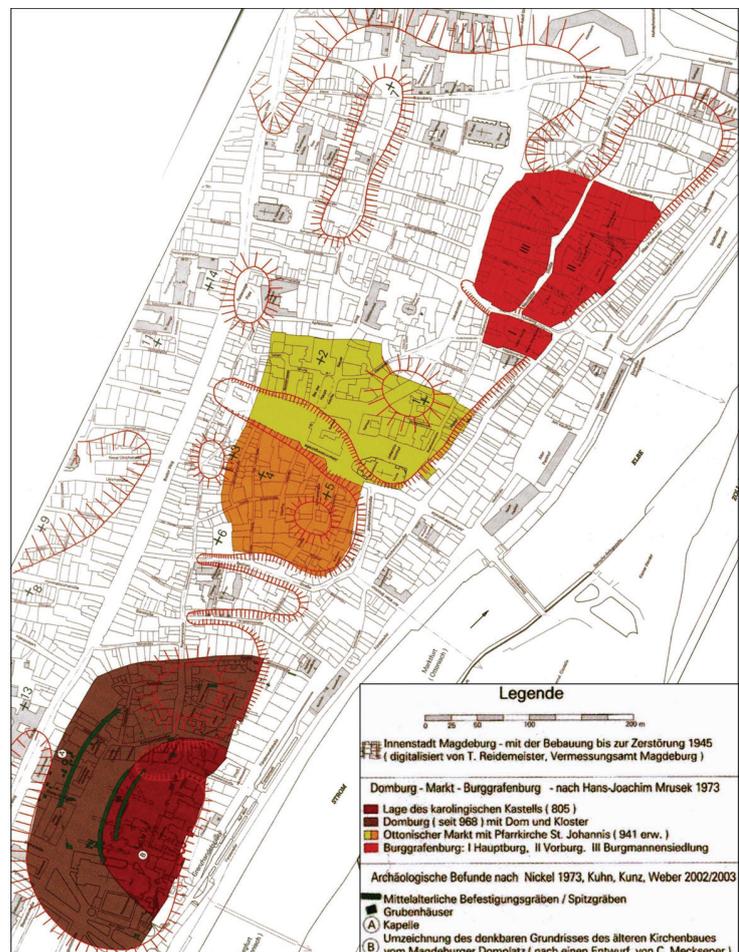


Abb.16: Geländemorphologie im hohen Mittelalter nach archäologischen Befunden (MRUSEK 1956)

ehemalige Oberflächengestalt ermittelt. Grundlage dafür waren hunderte Bohrungen aus der LBDB, zahlreiche Informationen aus temporären Aufschlüssen im Zuge von Baumaßnahmen aller Art und auch archäologische Grabungen sowie alte Kartendarstellungen.

Die Ergebnisse waren einigermaßen überraschend. So ergaben sich eine auch engräumig sehr unterschiedliche Mächtigkeitsverteilung der Auffüllungen innerhalb der Altstadt (von 0 bis 10 m) und starke Abweichungen von der heutigen Oberflächengestalt. Charakteristisch ist die erhebliche Gliederung des Reliefs und ein noch steilerer Abfall in Richtung Elbe im Vergleich zu heute (s. Abb. 15). Tiefe Einschnitte in letzterem können nun eindeutig mit den Einmündungen der Stadtgräben (nördlich Lukasklause und südlich Dom) in Verbindung gebracht werden. Weitere liegen zwischen den beiden, wobei in der Nähe der Großen Klosterstraße und der Johannisbergstraße zwei rinnenartige Einschnitte die gesamte Altstadt durchziehen. Noch heute existieren Straßennamen, die auf eine Überquerung dieser Einschnitte hinweisen, wie z.B. Krügerbrücke und Goldschmiedebrücke. Weitere quer dazu (Nord-Süd) verlaufende Einsenkungen gliedern nach Schubert (2005) die ehemalige Hochfläche der Altstadt in sieben Hügel. Auf dem südlichsten stehen heute der Dom und das Kloster Unser Lieben Frauen.

Historische Betrachtungen und Interpretationen zur städtebaulichen Entwicklung Magdeburgs im Hohen Mittelalter stellte auch MRUSEK (1956) an (Abb. 16). Seine Darstellung von Anhöhen und dazwischen liegenden Senken fußt überwiegend auf archäologischen Befunden und zeigt bemerkenswerte Übereinstimmungen zur Rekonstruktion der ehemaligen Geländeoberfläche aus geologischer Sicht von Schubert (2005). Die Domburg mit ihren mittelalterlichen Befestigungsgräben ist nahezu deckungsgleich mit dem Hügel I. Die tiefen Einschnitte in

den Abhang zur Elbe werden als ehemalige Verkehrs-/Handelswege in der Nähe von flachen Elbübergängen (Furten) interpretiert.

Mit diesen Darstellungen wird deutlich, dass die Lage des Doms mit großer Wahrscheinlichkeit von den topographischen Gegebenheiten und den frühen Ansiedlungen sowie deren Befestigungen bestimmt wurde und nicht vordergründig von der Lage des Domfelsens. Und nach allem was wir heute über den Untergrundaufbau wissen, ist der Magdeburger Dom nicht auf dem Felsen gegründet worden, sondern steht ganz überwiegend auf dem Grünsand.

7. Danksagung

Besonderer Dank gilt dem Grabungsteam um RAINER KUHN für die Unterstützung vor Ort und den fruchtbaren fachlichen Gedankenaustausch.

Für die tatkräftige Unterstützung beim Niederbringen der Rammkernsondierungen möchte ich mich bei KONRAD SCHUBERTH und ANDRÉ BURMEIER sowie bei IVO RAPPSILBER für die Unterstützung bei der 3D-Modellierung herzlich bedanken.

8. Literatur

- HARTMANN, O. (2005): Der Domfelsen - Gestein des Rotliegend und Schifffahrtserchwernis. In: HARTMANN, O. & SCHÖNBERG, G.: Magdeburg - auf Fels gebaut: 33-36, Schriftenreihe des Stadtplanungsamtes Magdeburg, 99, Magdeburg.
- KUHN, R. (2005): Die ottonische Kirche am Magdeburger Domplatz. Baubefunde und stratigraphische Verhältnisse der Grabungsergebnisse 2001-2003. In: KUHN, R., BRANDL, H., HELTEN, L. & JÄGER, F.: Aufgedeckt. Ein neuer ottonischer Kirchenbau am Magdeburger Domplatz: 9-49, Landesamt f. Denkmalpflege u. Archäologie Sachsen-Anhalt, Sonderband 3, Halle (Saale).
- KUHN, R. (2009): Die Vorgängerbauten unter dem Magdeburger Dom. In: KUHN, R. et al.: Aufgedeckt II. Forschungsgrabungen

- am Magdeburger Dom 2006-2009: 31-86, Landesamt f. Denkmalpflege u. Archäologie Sachsen-Anhalt, Sonderband 13, Halle (Saale).
- MÖKER, H. & SCHÜTTE, H. (1993): Ingenieurgeologisches Gutachten über die Baugrundbeschaffenheit im Bereich des Magdeburger Domes. 12 S. u. 7 Anl., Isernhagen, unveröffentlicht.
- MRUSEK, H.-J. (1956): Zur städtebaulichen Entwicklung Magdeburgs im hohen Mittelalter. *Wiss. Zeitschr. Martin-Luther Univ. Halle-Wittenberg*, Reihe V, 6: 1219-1314.
- PALLOKS, W. (1999): Gutachten über zu erwartende Erschütterungsimmissionen an benachbarten Bauwerken in Magdeburg bei Felsabtragarbeiten in der Elbe. 17 S. u. 5 Anl., Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Berlin, unveröffentlicht.
- PALLOKS, W. (2000): Gutachten über Erschütterungen bei Probemaßnahmen zur Sohlvertiefung an der Elbe, Stadtstrecke Magdeburg. 12 S. u. 17 Anl., Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Ilmenau, unveröffentlicht.
- RUDHARD, A. (1935): Steht der Dom auf dem Domfelsen? *Magdeburgische Zeitung*, 39, 22. Januar 1935.
- SCHÖLLHORN, K. & SEHER, U. (1999): Geotechnisches Gutachten über den Ausbau der Stadtstrecke Magdeburg Elbe-km 325-330 für Nassbaggerarbeiten. 25 S. u. 8 Anl., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, unveröffentlicht.
- SCHÖNBERG, G. & MÖBES, A. (2005): Erdgeschichtliche Betrachtungen zum Domplatz in Magdeburg. In: KUNZ, B.: *Schaufenster der Archäologie. Neues aus der archäologischen Forschung in Magdeburg*: 29-32, Landeshauptstadt Magdeburg u. Landesamt f. Denkmalpflege u. Archäologie, Magdeburg.
- SCHREIBER, A. (1873): *Der Untergrund der Stadt Magdeburg*. *Abh. Naturwissenschaft. Ver. Magdeburg*, 4: 13-32.
- SCHREIBER, A. (1884): *Die Bodenverhältnisse Magdeburgs mit besonderer Beziehung auf die industrielle und sanitäre Entwicklung der Stadt*. *Vers. Deutsch. Naturforscher und Ärzte*, Festschrift 57: 83-104, Magdeburg.
- SCHUBERT, CHR. & SCHÖNBERG, G. (2005): *Magdeburg - die Stadt auf den sieben Hügeln*. In: HARTMANN, O. & SCHÖNBERG, G.: *Magdeburg - auf Fels gebaut*: 21-28, Schriftenreihe des Stadtplanungsamtes Magdeburg, 99, Magdeburg.
- WERVEKE, L. v. (1926): *Der Untergrund des Magdeburger Domes*. *Montagsblatt der Magdeburgischen Zeitung*, 26.
- WIEGERS, F., ASSMANN, P., DIENEMANN, W. (1923): *Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten*, Blatt Magdeburg. 50 S., Preußische Geol. Landesanstalt, Berlin.
- Archivunterlagen des Planungsbüros MICHAEL SUSSMANN, Am Dom 5 in Magdeburg.

DIE ENTSTEHUNG DES TROCKENTALS SÜDÖSTLICH VON LANGENSTEIN UND DER VOREISZEITLICHE VERLAUF DER BODE IM NÖRDLICHEN HARZVORLAND

FRANK SCHMIDT-DÖHL

Frank Schmidt-Döhl, Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Baustoffe, Bauphysik und Bauchemie, Eißendorfer Straße 42, 21073 Hamburg

Schlüsselwörter: Quedlinburger Sattel, Trockental, Bode

Keywords: Quedlinburg anticline, dry valley, Bode river

Zusammenfassung

In der Literatur wird die Entstehung des geomorphologischen Reliefs des Quedlinburger Sattels über die unterschiedliche Verwitterungsbeständigkeit der Gesteine erklärt. Hypothese der hier beschriebenen Untersuchung ist jedoch, dass es sich bei dem Trockental südöstlich von Langenstein um ein fossiles Durchbruchtal handelt. Dies basiert auf verschiedenen Beobachtungen, die auch dazu führen, dass die Bode dieses Tal geformt hat. Diese Beobachtungen sind: 1. Der Hoppelberg südöstlich von Langenstein zeigt eine starke Asymmetrie (Prallhang). 2. Die Talsohle geht über zahlreiche Gesteinsgrenzen hinweg. 3. Die Form des Trockentales an seinem oberen Ende passt zu einem Fluss, der von Süden einströmt. 4. An der Roßhöhe nordwestlich von Warnstedt tritt Bodeschotter auf, in ungewöhnlicher Höhe. 5. Die Lücke in der Teufelsmauer zwischen Timmenrode und Warnstedt deutet auf einen früheren Flusslauf hin. Dieser Flussverlauf war aktiv von der Entstehung des Quedlinburger Sattels wahrscheinlich bis zum ersten Eintreffen von Eis am Nordrand des Harzes.

Abstract

In the literature the origin of the geomorphological relief of the Quedlinburg anticline is explained by the different resistance of the rocks. Hypothesis of this investigation however is, that the dry valley southeast of Langenstein is a fossil stream. This is founded on different observations, that lead also to the result, that the river Bode formed the valley. These observations are: 1. The Hoppelberg mountain southeast of Langenstein shows a strong skew (undercut slope). 2. The bottom of the valley crosses a number of different rocks. 3. The shape of the dry valley at the upper end fits to a river flowing in from the south. 4. Bode detritus is situated at the Roßhöhe northwest of Warnstedt, in unusual height. 5. The gap within the Teufelsmauer between Timmenrode and Warnstedt indicates a former course of a river. This course was active from the origin of the Quedlinburg anticline to probably the first arrival of the ice at the north edge of the Harz Mountains.

1. Einleitung

Die Region südöstlich von Langenstein im nördlichen Harzvorland zwischen Blankenburg, Halberstadt und Quedlinburg ist gekennzeichnet durch von Südost nach Nordwest ausgerichtete Höhenrücken. Geologisch befindet sich diese Landschaft im Quedlinburger Sattel, der die subherzynische Kreidemulde in eine südliche Blankenburger Mulde und in eine nördliche Halberstädter Mulde unterteilt. Die Bildung der Sattel-/Muldenstruktur steht in Zusammenhang mit der alpidischen Gebirgsbildung und den dadurch hervorgerufenen Spannungen in der Erdkruste, die auch zur starken Heraushebung des Harzes geführt haben (saxonische Bruchschollentektonik).

Eingebettet in die Struktur des Quedlinburger Sattels ist ein ausgeprägtes Trockental südöstlich von Langenstein. Es reicht von der Ortschaft bis etwa zur Kreisstraße 2359, die den Quedlinburger Sattel quert. Dieses Tal verläuft von Südosten nach Nordwesten und folgt damit dem allgemeinen Verlauf der geologischen Struktur. Allerdings handelt es sich nicht um ein Satteltal, sondern das Tal ist nach Norden gegenüber der Sattelachse versetzt. Im Osten wird es vom tiefer liegenden Tal des Zapfenbaches begrenzt. Im Westen öffnet sich das Tal zur Halberstädter Ebene und wird vom Goldbach gequert, der die Höhenzüge des Quedlinburger Sattels im Westen umfließt. An seiner Südflanke wird das Tal vom Hoppelberg, Tönnigsberg und Schusterberg begrenzt, an seiner Nordflanke von den Thekenbergen (s. Abb. 1). Die

Bergflanken erreichen bis zu ca. 150 m Höhenunterschied zum Talboden und fallen z.T. sehr steil ab. Der flache Boden des Tals ist an seiner schmalsten Stelle immer noch ca. 400 m breit.

In der wissenschaftlichen Literatur wird die Entstehung des geomorphologischen Reliefs im Quedlinburger Sattel, und damit auch des benannten Tals, auf die unterschiedliche Resistenz der vorliegenden Gesteine zurückgeführt. Der Autor vertritt zur Entstehung des Trockentals dagegen die Hypothese, dass es sich um ein fossiles Durchbruchtal eines Flusses handelt. Im Folgenden werden die Argumente für und gegen diese Hypothesen dargestellt.

2. Beobachtungen im Tal und Bewertung der Entstehungshypothesen

Am Beginn dieses Kapitels soll zum besseren Verständnis auf die Geologie des Quedlinburger Sattels eingegangen werden. Es handelt sich um eine mit Halokinese verbundene (Schmalsattel), auf eine Einengung (PATZELT 2003, S. 84) zurückzuführende Auf-faltung bzw. Überschiebung (OTT 1967, S. 117), wobei an der Erdoberfläche Gesteine vom Muschelkalk bis zur Kreide (Santon) plus Quartär vorliegen. Verkompliziert wird die Situation dadurch, dass in die Sattelstruktur ein tektonischer Graben eingelagert ist, der nach OTT (1967) an der Grenze Ober-/Unterkreide entstanden ist. Frühere Darstel-

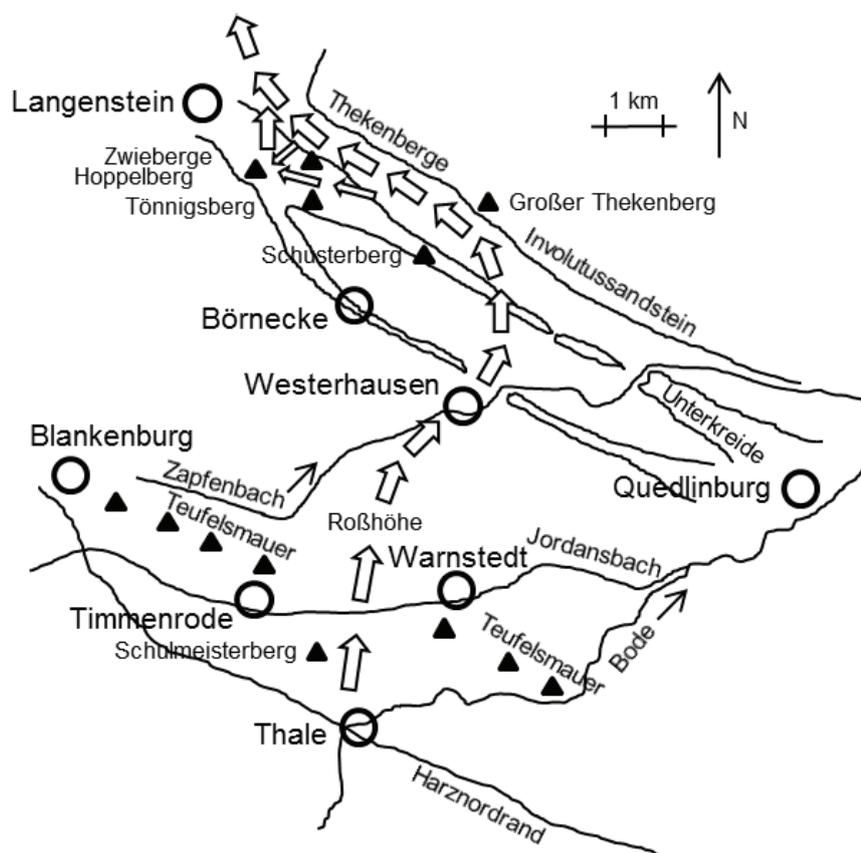


Abb. 1: Wahrscheinlicher Verlauf der voreiszeitlichen Bode vom Harz in den Quedlinburger Sattel. Eingezeichnet sind auch der Unterkreidesandstein rund um das Zentrum des Sattels (Zwieberge, Hoppelberg, Tönnigsberg, Schusterberg, Börnecke) sowie der Involutussandstein innerhalb des Coniacs nördlich des Trockentals (Thekenberge).

Fig. 1: Probable course of the pre ice age river Bode from the Harz Mountains into the Quedlinburg anticline. Also the lower Cretaceous sandstone around the centre of the anticline (Zwieberge, Hoppelberg, Tönnigsberg, Schusterberg, Börnecke) and the Involutus-sandstone within the Coniacian north of the dry valley (Thekenberge) are marked.

lungen der Sattelstruktur sind alle mehr oder weniger falsch, da diese Grabenstruktur noch nicht bekannt war. Der Graben wird im Norden begrenzt durch die Langensteiner-Weg-Störung und im Süden durch die Westerhäuser Störung, an der nach OTT (1967, S. 99) mit Versetzungsbeträgen von 600 bis 800 m gerechnet werden muss. Die Langensteiner Weg-Störung endet unterhalb der heutigen Erdoberfläche. Die Westerhäuser Störung reicht bis zur Erdoberfläche und hat eine vergleichsweise komplizierte Struktur (HEIMLICH 1956). Nach OTT (1967, S. 110) war der Graben im Mittelsanton durchgehend mit Oberkreide bedeckt. Einen Überblick über die Struktur des Sattels mit dem darin befindlichen Graben gibt die folgende Abb. 2.

Weiterhin soll die sichtbare Schichtabfolge durch den Quedlinburger Sattel zwischen Börnecke und Westerhausen beschrieben werden. Die Beschreibung orientiert sich an Angaben aus PATZELT (2003, S. 132-133). Von Süd nach Nord kommen zuerst Schichtkämme aus Heidelbergersandstein (oberes Santon) bei Westerhausen. Danach folgen

die Salzbergmergel (unteres Santon). Geht man von der Straße zwischen Westerhausen und Börnecke zur Felsbildung Königstein quert man zuerst einen kleinen Schichtkamm des Involutussandsteins (Coniac), dann kommt eine Senke aus tieferem Coniac mit der Westerhäuser Störung (Cenoman, Turon und wahrscheinlich auch Teile des tieferen Coniacs sind unterdrückt), es folgt der Felsen des Königsteins im Unterkreidesandstein und anschließend „(...)bunte Tonmergel mit festen Dolomitmergel-Bänken („Steinmergel“) der Dolomitmergelkeuper-Folge (...)“. „Die Grenze zum Unterkreidesandstein ist nicht aufgeschlossen, doch wies OTT (1967) in einem nahe gelegenen Schurf gestörte Verbandsverhältnisse nach.“ Anschließend folgt „(...)Keuper im Kern des Quedlinburger Sattels (...)“, „teilweise verdeckt von holozänen Bildungen der Aue. Hier liegt im Bereich des Sattelkerns Reliefumkehr vor.“ Anschließend folgt der (...) Schichtkamm des nach NNE einfallenden Unterkreidesandsteins der nordöstlichen Sattelflanke und weiterhin die breite Senke, in der Cenoman, Turon sowie

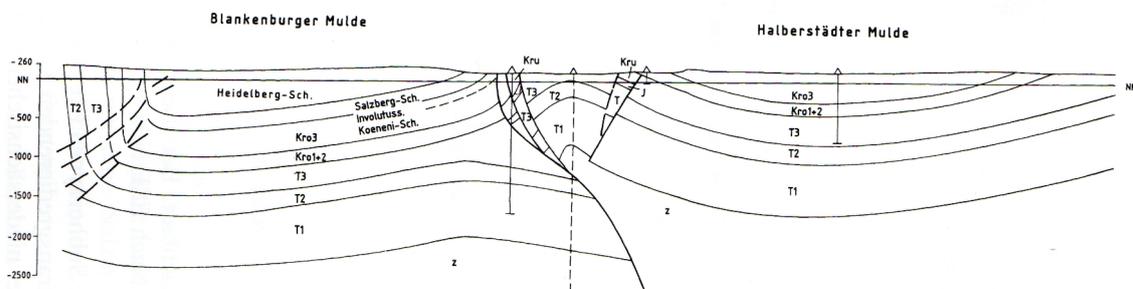


Abb. 2: Geologischer Schnitt durch die Blankenburger Mulde (Süden), den Quedlinburger Sattel und die Halberstädter Mulde (Norden) nahe Westerhausen aus PATZELT (2003), unter Verwendung von Profilschnitten aus JUBITZ (1964), OTT (1967), EBERHARDT (1968) und KOCKEL & FRANZKE (1998). Das hier relevante Tal liegt nördlich (rechts) der Grabenstruktur. Der Talboden reicht von der Unterkreide (nur nahe des Hoppelberges) bis zur angedeuteten Steilstufe im Coniac. Z-Zechstein, T1-Buntsandstein, T2-Muschelkalk, T3-Keuper, J-Unterjura, Kru-Unterkreide, Kro1+2-Cenoman und Turon, Kro3-Coniac. Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung des Verlags (www.schweizerbart.de).

Fig. 2: Geological section of the Blankenburg syncline (south), the Quedlinburg anticline and the Halberstadt syncline (north) near Westerhausen by PATZELT (2003), using sections of JUBITZ (1964), OTT (1967), EBERHARDT (1968) and KOCKEL & FRANZKE (1998). The valley is located in the north (right) of the graben. The bottom of the valley stretches from the Lower Cretaceous (only near the Hoppelberg mountain) until the steep slope within the Coniacian. Z-Zechstein, T1-Buntsandstein, T2-Muschelkalk, T3-Keuper, J-Lower Jurassic, Kru-Lower Cretaceous, Kro1+2-Cenomanian and Turonian, Kro3-Coniacian. Reproduction with kind permission of the publisher (www.schweizerbart.de).

die grauen Mergel und die Formsande des Coniac ausstreichen. OTT (1967) konnte durch Bohrungen nachweisen, dass etwa im Bereich des die Straße querenden Langensteiner Wegs unter dem transgredierenden Cenoman, eine Störung Unterkreide gegen Mittelkeuper begrenzt. Die Unterkreide wurde im Bereich des Quedlinburger Sattels um die Wende Unter/Oberkreide grabenartig abgesenkt.“ Dann folgt der „(...) Involutussandstein am SSW-Flügel der Halberstädter Mulde (...)“, der einen Höhenzug bildet (Coniac). Die Schichten fallen mit etwa 12 Grad nach NE ein. Anschließend folgen die Münchenhofsande. „Ihre Zurechnung zum obersten Coniac oder Untersanton ist unsicher.“ (Zitate: Patzelt 2003, S. 132-133). Die genannte Senke mit Gesteinen des Cenoman, Turon und Coniac ist gleichzusetzen mit dem hier relevanten Tal, das jedoch auch auf Unterkreide übergreift. Die südliche Begrenzung liegt innerhalb des Unterkreidesandstein des Hoppelberges,

die nördliche im Involutussandstein der Thekenberge.

SCHROEDER (1928) schreibt in den Erläuterungen zur geologischen Karte von Halberstadt, dass der Boden des Tals von Formsand- und Mergelschichten des unteren Emscher (Coniac) sowie Mergeln, mergeligen Kalken und Kalken des Turon und Cenoman gebildet wird. Es handelt sich um weiche Gesteine, die leicht erodieren können, wobei sich die etwas größere Härte der Kalke nach SCHROEDER (1928) auch im Tal selbst als schwache Geländewelle ausdrückt.

BACHMANN et al. (2008, S. 21) schreiben zur Entstehung der Morphologie der Blankenburg-Mulde, des Quedlinburger Sattels und der Halberstadt-Mulde: „Vorherrschend war die erosive Ausräumung der überwiegend tonig-kalkigen Kreide und des weniger verbreiteten Unteren Juras. Bis 100 m hohe, schichtrippenartige Höhenrücken markieren



Abb. 3: Blick vom Hoppelberg (Unterkreidesandstein) zu den Thekenbergen (Involutussandstein, Coniac) auf der anderen Seite des Trockentals. In der Bildmitte befinden sich die Zwieberge (Unterkreidesandstein).

Fig. 3: View from the Hoppelberg (lower Cretaceous sandstone) to the Thekenberge (Involutussandstone, Coniacian) at the other side of the dry valley. In the middle of the picture the Zwieberge are located (lower cretaceous sandstone).

den Ausstrich einzelner, morphologisch widerständiger Sandsteinhorizonte (Untere Kreide: Neokom-Sandstein; Obere Kreide: Involutus-Sandstein, Heidelberg-Sandstein).“ „Der Keuper und die wenig widerständigen Mergelsteine der Kreide bilden gewöhnlich flache Bereiche.“ schreiben BACHMANN et al. (2008, S. 405).

HEIMLICH (1956, S. 5) schreibt: „Morphologisch umrahmt der Neokomsandstein als Höhenzug den Satteln Kern (...).“ Die Widerstandsfähigkeit des Unterkreidesandsteins wird von ihm auf eine Infiltration mit Brauneisen und Kieselsäure (Tönnigs-Berg und östlich davon) sowie mit Kieselsäure (Altenburg bei Langenstein, Hoppelberg, Zwieberge, Hasselholz) zurückgeführt. Hinzu kommen verkieselte Klüfte. Diese Infiltration ist nicht schichtgebunden und hat nach Heimlich nach Ablagerung des Heidelbergsandsteins und vor Ablagerung der Heimbürg-Schichten stattgefunden. Er erklärt sie als oberflächennahe Verwitterungskruste. Heimlich (1956, S. 6) schreibt außerdem: „Die Kalke und Pläner des Cenoman und Turon bedingen eine Geländestufe, die Mergel des Emscher dagegen eine Senke. Zum Hangenden schließen sich die Erhebungen des Involutus-Sandstein an (...).“ „Schon hier möchte ich auf die große Abhängigkeit der Morphologie von dem geologischen Bau hinweisen.“

Diese Herleitung der Morphologie aus der Widerstandsfähigkeit der Gesteine trifft für die Region insgesamt sicher zu und erklärt beispielsweise die Reliefumkehr im Zentrum des Sattels (Keuper) nördlich von Börnecke. Gegen die Herleitung des Tals südöstlich von Langenstein aus der morphologischen Härte der vorliegenden Gesteine und selektiver Abtragung spricht allerdings, dass die morphologischen Grenzen des Tals, d.h. die Talflanken, über Gesteinsgrenzen hinweggehen - auch von Gesteinen mit deutlich unterschiedlicher Härte. Der Talboden überstreicht nach der geologischen Karte 1:25.000 (SCHROEDER 1928) die Sandsteine der Unterkreide, Kalke und Mergel des Cenoman und Turon, Mergel des Coniac

sowie Sande des Coniac (Koenenischichten). Der Involutussandstein des Coniac bildet die nördliche Talflanke, ohne dass aufgrund der Verhältnisse festgestellt werden kann, ob der Talboden zusätzlich in diesen Sandstein hineingreift. Hinzu kommen jüngere Sedimente. Das Übergreifen des Talbodens über sehr verschiedene Schichten, auch in den Unterkreidesandstein hinein, steht in Übereinstimmung mit der Hypothese, dass es sich bei dem Tal um ein fossiles Durchbruchtal handelt. Über die morphologische Härte kann das Übergreifen auf den Unterkreidesandstein nordöstlich des Hoppelberges kaum erklärt werden.

Auch eine Bindung der Senke an eine Störung kann ausgeschlossen werden. Die Langensteiner-Weg-Störung reicht nur bis in die Unterkreide. Sie liegt nach OTT (1967) unter Schichten der Oberkreide verborgen und reicht nicht bis zur Erdoberfläche hinauf. Infolgedessen ist sie im Gegensatz zur Westerhäuser Störung, die jedoch sehr viel weiter südlich liegt, nicht auf der geologischen Karte des Harzes 1:100.000 (HINZE et al. 1998) eingetragen.

Am Gipfelgrat des Hoppelberges fallen nach eigenen Beobachtungen die Schichten des dort anstehenden, relativ verwitterungsbeständigen Unterkreidesandsteins schwach nach Süd-westen ein oder stehen waagrecht. Dies bedeutet, der Gipfelgrat des Hoppelberges liegt auf bzw. wenige Meter südwestlich der Sattelachse des Quedlinburger Sattels. Nach den geologischen Karten 1:25.000 (SCHROEDER 1928) und 1:100.000 (HINZE et al. 1998) steht von der Straße zwischen Langenstein und der Gedenkstätte Zwiebergen etwa 1 km im Nordosten des Gipfels, bis wenige hundert Meter südwestlich des Gipfels Unterkreide an. Im Südwesten des Gipfels folgt darauf die Westerhäuser Störung. Während östlich von Börnecke nach PATZELT (2003, S. 132) an der Westerhäuser Störung „(...) Cenoman und Turon und wahrscheinlich auch Teile des tieferen Coniac unterdrückt (...)“ sind, folgt im Bereich des Hoppelberges ein schmaler Streifen Cenoman und Turon und anschließend

Coniac bis Santon. Diese Darstellung deckt sich mit der geologischen Karte 1:25.000 von SCHROEDER (1928), der das Emscher (Coniac und Santon) noch weiter auflöst. Während der Südwesthang des Hoppelberges vergleichsweise sanft abfällt und dieser Verlauf auch durch die hindurchziehende Westerhäuser Störung nicht grundsätzlich verändert wird, fällt der Nordosthang sehr steil ab. Auch wenn Sandsteine auf kurze Distanz große Unterschiede in ihrer Verwitterungsbeständigkeit aufweisen können, ist diese großflächige Asymmetrie durch unterschiedliche morphologische Härte der Gesteinsschichten oder einen Gesteinswechsel nicht erklärbar, da nordöstlich und südwestlich des Gipfels die gleichen Gesteine der Unterkreide anstehen. Sie fallen lediglich in einen Fall nach Nordosten, im anderen Fall nach Südwesten ein. Eine vergleichbare Asymmetrie ist in der Umgebung sonst nicht erkennbar. Die starke Asymmetrie

des Hoppelberges muss also eine andere Ursache haben, die auf eine Erosionswirkung zurückzuführen ist. Die Asymmetrie ist eher erklärbar, wenn der steile Nordosthang des Hoppelberges der Prallhang eines fossilen Flusses wäre. Dieser Prallhang wäre angelegt worden, als der Fluss noch einen Verlauf auf höherem Geländeniveau hatte. Eventuell hat es einen Vorsprung vom Gläsernen Mönch, am Westende der Thekenberge, Richtung Hoppelberg gegeben (s. Abb. 1, 3 und 4), der später vom Fluss durchbrochen wurde, was zur Bildung eines Umlaufberges geführt haben muss. Noch heute verläuft die Straße von Langenstein zur Gedenkstätte Zwiebergen entlang eines Hügels, der auf allen Seiten von Senken eingerahmt ist. Dieser Hügel ist allerdings zu schwach ausgeprägt, um ihn klar als Erosionsrest eines Umlaufberges anzusprechen. Wahrscheinlicher ist, dass der Fluss anfänglich südlich der Zwieberge geflossen ist (s. Abb. 1) und dann auf die



Abb. 4: Ansicht des Trockentales von Osten in der Nähe des Großen Thekenberges. Links der Hoppelberg (Unterkreidesandstein) mit seiner steilen Nordostflanke. Rechts die Thekenberge (Involutussandstein, Coniac).

Fig. 4: View of the dry valley from the east near the Großer Thekenberg. On the left side the Hoppelberg (lower Cretaceous sandstone) with his steep drop to the northeast. On the right side the Thekenberge (Involutus-sandstone, Coniacian).

Nordostflanke des Hoppelberges geprallt ist.

HEIMLICH (1956, S. 19) versucht die außergewöhnliche Morphologie östlich des Hoppelberges auf eine Querstörung zurückzuführen. Er schreibt: „Die Morphologie macht am Westende der Zwieberge eine Querstörung sehr wahrscheinlich, doch kann dafür kein sicherer Beweis erbracht werden.“ Die von SCHROEDER (1928) kartierten Schichtgrenzen ergeben an dieser Stelle keinerlei Hinweise auf eine Querstörung. Die Asymmetrie des Hoppelberges ist damit ebenfalls nicht erklärbar.

3. In welchem Zeitraum ist das Tal entstanden?

Die Entstehung eines Durchbruchtals ist auf verschiedene Weise möglich. AHNERT (2009, S. 208) nennt antezedente und epigenetische Durchbruchstäler sowie die Entstehung durch rückschreitende Erosion. Ein epigenetisches Durchbruchstal würde voraussetzen, dass es nach der Hebung des Quedlinburger Sattels eine vollständige Überdeckung des Reliefs mit Sedimenten gegeben hat, in die sich dann der Fluss eingegraben hat. Dafür gibt es jedoch keine Hinweise. Rückschreitende Erosion ist ebenfalls auszuschließen. Wahrscheinlich ist deshalb die Entstehung als antezedentes Durchbruchtal. Der Fluss muss dann bereits vor der Hebung des Quedlinburger Sattels dem Verlauf des späteren Tals gefolgt sein. Während der Hebung hat er sich eingeschnitten. Zur zeitlichen Einordnung der Talentstehung müssen daher die Auffaltung des Quedlinburger Sattels, die damit in Verbindung stehende Heraushebung des Harzes und die daraus resultierenden Sedimentationsvorgänge in den umgebenden Mulden betrachtet werden.

HENNINGSSEN & KATZUNG (2006, S. 62) schreiben: „Im Zusammenhang mit den Aufpressbewegungen auf sein nordöstliches Vorland hat sich der Harz während der jüngeren Kreide-Zeit in kurzer Zeit (85-83 Mio. Jahren) kräftig herausgehoben, wobei das gesamte Deckgebirge abgetragen und das Grundgebirge erosiv angeschnitten wurde,

wie aus der Zusammensetzung der Sedimente in der im Norden vorgelagerten Subherzynen Mulde (...) zu ersehen ist. Danach wurde der Harz weitgehend eingeebnet. Wie bei den anderen deutschen Mittelgebirgen ist es dann während des Jungtertiärs und Altpleistozäns zu einer erneuten Heraushebung gekommen. Ob sie gleichmäßig oder ruckartig erfolgte, ist umstritten. Möglich ist eine geringfügige Heraushebung von Teilen des Harzes in der Gegenwart.“ Auch nach MOHR (1998, S. 46) „(...) erfolgte die Hauptbewegung am Nordrand des Harzes, eine einengende steil transpressive Heraushebung (...) vorherrschend im Mittelsanton.“ Deutlich wird dies am Sudmerberg bei Goslar, wo Oberes Mittelsanton auf Unteres Mittelsanton transgrediert. Nach MOHR (1993, S. 216-218) „(...) hebt sich das Harzrumpfbirge wohl um rd. 2000 bis 3000 m über die subherzyne Kreidemulde hinaus.“ Die Hauptbewegung erfolgte danach innerhalb des Quadraten-Senons (Wernigeröder Phase der subherzynen Faltung).

Nach OTT (1967, S. 82) reichte das Cenomanmeer sicherlich „(...) über das Gebiet des Harzes hinweg.“ Spätestens im Turon beginnt nach OTT (1967, S. 83) die Bildung der Subherzynen Kreidemulde. Im Untersanton war der Harz gehoben, aber noch mit dem Deckgebirge versehen. Eine Aufrichtungszone war noch nicht vorhanden. OTT (1967, S. 85) schreibt: „Der subherzyne Randtrog (= Subherzyne Kreidemulde) engt sich vom Unter- zum Mittel-Santon weiter ein. Die Südgrenze des Meeres fällt mehr und mehr mit der heutigen Nordbegrenzung des Harzes zusammen. Das Harzpaläozoikum wird erstmals seit dem Zechstein wieder freigelegt (...). Im höheren Santon kommt es zu tektonischen Bewegungen (Wernigeröder Phase). Sie sind für die Herausbildung der heute sichtbaren Strukturen mit entscheidend.“ BACHMANN et al. (2008, S. 262) schreiben: „Am Beckenrand wurden auch das Santon der östlichen Subherzynen Kreidemulde abgelagert. Dort ist oft eine mehrfache Verlagerung der Küstenlinie festzustellen.“

In der Heidelberg-Formation sind eindeutig brackische und terrestrische Ablagerungen nachgewiesen.“ Im Untercampan war die Aufrichtungszone dann voll ausgebildet (die Bildung allerdings noch nicht vollständig abgeschlossen). Das Deckgebirge des Harzes war verschwunden. Nach OTT (1967, S. 97) wirkte sich die für die Bildung des Quedlinburger Sattels entscheidende Wernigeröder Phase im Untercampan am stärksten aus.

Im Bereich des Quedlinburger Sattels hat es also bis in das Santon eine marine Sedimentation gegeben, die einen Flusslauf ausschließt. Sedimente des Campan finden sich jedoch vom Harz bis zum Quedlinburger Sattel nicht, sondern erst weiter westlich, bei Blankenburg. Nach der Ablagerung der Santon-Sedimente wäre es also möglich und wahrscheinlich, dass das Gebiet Festland gewesen ist, und von einem Fluss durchflossen wurde. Gleichzeitig sind die Sedimentgesteine des Santon aber auch in die Auffaltung des Quedlinburger Sattels in vollem Maße einbezogen.

Es spricht also nichts gegen die Hypothese, dass nach der Ablagerung der letzten marinen Sedimente des Santon das Gebiet zwischen Thale und dem Quedlinburger Sattel Festland war, von einem aus dem Harz kommenden Fluss durchströmt wurde und gleichzeitig oder später zur Sattelstruktur aufgefaltet wurde, was nach OTT (1967) wahrscheinlich im Campan der Fall war. Falls die Auffaltung später war, kann die Bildung des Flusstals später erfolgt sein. Dieser Fluss hat ein Durchbruchtal geschaffen, das dann über eine lange Zeit aktiv war, wahrscheinlich bis zum ersten Eisvorstoß an den Harzrand (s.u.). Dabei ist zu bedenken, dass das ursprüngliche Durchbruchtal auf viel höherem stratigraphischem Niveau angelegt worden ist und das heute zu beobachtende Niveau das Ergebnis einer langen zeitlichen Entwicklung ist.

4. Welches Gewässer kommt als Entstehungsursache für das Tal in Frage?

Insbesondere im östlichen Teil, nahe der Kreisstraße 2359, die das Tal quert, ist mit

dem Auge erkennbar, dass das Tal in Richtung Westen abfällt. Es folgte damit dem Einfallen der Sattelachse, die hier nach OTT (1967, S. 104) nach NW abtaucht. Der höchste Punkt liegt heute wenig östlich der Kreisstraße 2359 mit 147 m. Die Straße selbst liegt auf 144 m. Der Talausgang bei Langenstein liegt bei ca. 141 m. Am Westausgang biegt das Tal nach Norden um die Spiegelsberge herum in Richtung Halberstädter Ebene. Halberstadt liegt etwa auf einer Höhe von 130 m. Aus diesen Beobachtungen wird ersichtlich, dass die Fließrichtung von Osten nach Westen war. Eingebettet in den weiteren Verlauf vom Talausgang bis Halberstadt sind die heutigen Flussläufe des Goldbachs und der Holtemme. An seinem östlichen Ende ist der weitere Verlauf vom Tal des Zapfenbaches begrenzt. Das Tal des Zapfenbaches ist jünger als das Trockental, da es deutlich tiefer liegt als dieses.

Im Tal befinden sich zwei Senken, die das stetige Gefälle unterbrechen. Die eine liegt unterhalb des Großen und des Kleinen Thekenberges. Dort tritt nach sehr großen Niederschlagsereignissen ein Flachwassersee auf, der mehrere Hektar groß werden kann. Dieser ist mit entsprechenden Ablagerungen verbunden, die in der geologischen Karte 1:100.000 (HINZE et al. 1998) als holozäne Ablagerungen gekennzeichnet sind. Die Bildung dieser Senke könnte ggf. auf eiszeitliches Toteis zurückzuführen sein. Die zweite Senke liegt südlich der Ruine des ehemaligen Lokals Landhaus und der Felsklippe Gläserner Mönch, am westlichen Ende der Thekenberge. In die Senke mündet ein kleiner Bach, der dort versickert, das Verlorene Wasser. Diese Senke ist deshalb auf den unterirdischen Abfluss zurückzuführen.

Der einzige rezente Fluss, der aufgrund seiner Größe, seiner Fließrichtung und seines Einzugsgebiets in der Lage wäre, eine solche Struktur zu schaffen, ist die Bode. Für die Bode wird angenommen, dass sie seit sehr langer Zeit ihren jetzigen Verlauf durch den Harznordrand hat, was sich auch in der Entstehung des sehr lang und tief in den Harznordrand eingeschnittenen Bodetals bei Thale

ausdrückt. Man kann natürlich nicht von einem heutigen Fluss auf die Verhältnisse in der Kreide bzw. im frühen Tertiär schließen. Auch der Höhenunterschied zum Vorland war wahrscheinlich längst nicht so groß wie heute. KNAPPE & TRÖGER (1988, S. 58) schreiben: „Morphologisch hob sich der Harz jedoch damals vielleicht bis 200 m von der Umgebung ab.“ FELDMANN (2002, S. 12) geht davon aus, dass der Harz im folgenden Alttertiär einer Einrumpfung unterlegen hat: „Er muss zu dieser Zeit in einem tieferen Erosionsniveau gelegen haben und kann noch nicht als morphologisches Gebirge herausgehoben gewesen sein.“ FELDMANN (2002, S. 117): „Die Hebung des Harzes zum morphologischen Gebirge kann (...) erst nach der Flächenbildung erfolgt sein, also ab dem Ende des Miozäns.“

Aus dem Fehlen ähnlich großer Flusstäler in der unmittelbaren Nähe kann man jedoch vermuten, dass es sich bei dem Fluss, der das Tal südöstlich von Langenstein geschaffen hat, um die Ur-Bode gehandelt hat. Dazu muss der Fluss in der Kreide bzw. im Tertiär nördlich des Harzes einen anderen Verlauf genommen haben als heute. Diese Hypothese wird von einer Reihe von Beobachtungen gestützt. So befindet sich zwischen Timmenrode und Warnstedt, nördlich von Thale, eine auffällige, breite Lücke in der Teufelsmauer (s. Abb. 1). Diese Lücke deutet darauf hin, dass hier ein größerer Fluss einen Durchbruch geschaffen hat. Der Jordansbach, der diese Lücke heute durchfließt, hat bei weitem nicht die Möglichkeit einen solchen Durchbruch zu schaffen. KNAPPE & TRÖGER (1988, S. 59) führen als Grund für diese Lücke wechselnde Verkieselungsintensitäten an. Dies ist zwar denkbar, es erklärt jedoch nicht, warum an gleicher Stelle auch in den anderen Härtingszügen der Aufrichtungszone am Harznordrand entsprechende Lücken vorhanden sind. Die Lücke im Muschelkalk liegt zwischen Schulmeisterberg und Kahlem Berg. Die Lücke im Buntsandstein wird heute vom Silberbach durchflossen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass alle drei Lücken

die gleiche Ursache haben, nämlich einen früheren Bodeabfluss vom Harzrand nach Norden. Hinzu kommt die von SCHROEDER & DAHLGRÜN (1927) festgestellte Ablagerung von Harzsotter in diesem Bereich. Sie schreiben: „Südlich des jetzigen Jordantales, zwischen Timmenrode und Lüdershornberge, liegt eine größere Schotterfläche (190 – 185 m), an ihrer Ebenheit ausgezeichnet erkennbar, dann noch weiter nach Süden eine kleinere (185 m), durch mächtigen Löß von jener getrennt, am Kirchhof von Thale. Letztere schafft eine diluviale Verbindung mit dem Tale des Silberbaches und indirekt mit dem Bodetale.“ SCHROEDER deutet damit einen ehemaligen Verlauf der Bode vom Gebirgsrand nach Norden an, ohne dies jedoch klar auszusprechen. WEYMANN (2003, S. 91) konnte in einem Aufschluss 1 km südöstlich von Timmenrode auf 188 m nur Mittelterrassensedimente des Jordansbaches feststellen. Dies schließt allerdings einen Bodeabfluss von Thale nach Norden nicht aus, da dieser wahrscheinlich auf größerem Höhengniveau erfolgt ist. Außerdem liegt der Aufschluss vom Bodeaustritt aus dem Harz gesehen hinter dem Schulmeisterberg, der von der Bode mit Sicherheit östlich umflossen wurde (s. Abb. 1).

Nimmt man an, dass eine Ur-Bode von Thale nach Norden geflossen ist, stellt sich die Frage nach dem weiteren Flussverlauf. Die niedrigste Höhe der Einsattelung zwischen Jordansbach und Zapfenbach liegt bei 170 m knapp südlich der Roßhöhe. Interessant in diesem Zusammenhang sind Schotterflächen nordöstlich Timmenrode bis hin zur Roßhöhe. Diese weisen SCHROEDER & DAHLGRÜN (1927) einem diluvialen Jordantal zu, ohne die Möglichkeit einer Entstehung durch die Bode zu bedenken oder zu erwähnen. Sie diskutieren nur eine Entstehung durch einen Vorläufer des Blankenburger Mühlbaches oder den Goldbach, wobei sie die Entscheidung für den Jordan auf die Beobachtung gründen, dass die Schotter am Haurichsholz, wenig westlich der Roßhöhe, Kreidekalke enthalten, die von den anderen beiden Bächen nicht

berührt werden. Kreidekalke werden aber auch von einem hypothetischen Bodeverlauf nach Norden berührt, sprechen also nicht gegen die Ablagerung durch eine Ur-Bode. Sie weisen diesen Schotter der Mittelterrasse zu.

PATZELT (2003, S. 126) behandelt ebenfalls die Schotter an der Roßhöhe. Nach seinen Angaben ist in einer neuen Kiesgrube an der Roßhöhe „auch zahlreich Rammberggranit vertreten“. Der Rammberggranit ist ein klarer Hinweis darauf, dass dieses Gestein von der Bode aus dem Harz hertransportiert wurde. PATZELT (2003, S. 126) weist außerdem auf folgendes hin: „Auffallend ist nun aber die Höhenlage der Schotter bis 192 m, während die Mittelterrasse der Bode bei Warnstedt etwa 145 bis 160 m über NN liegt. Eine entsprechend hohe flächenhafte Aufschotterung und nachträgliche Ausräumung ist wenig wahrscheinlich. Vielleicht ist fluviatile Sedimentation zwischen Toteisblöcken („Mischschotter“) eine Erklärung. Recht gering ist allerdings der Anteil an nordischem Material.“

Detailliert untersucht wurde der Aufschluss an der Roßhöhe von WEYMANN (2003, S. 37, 68): „Der paläozoische Geröllanteil kann dem Einzugsgebiet der Bode zugeordnet werden (...). Aufgrund der Höhenlage und des nordischen Geröllanteils können diese Ablagerungen weder als Oberterrassen-, noch als Mittelterrassensedimente angesprochen werden (...), so dass nur eine glazifluviatile Ablagerung wahrscheinlich ist.“ „Der in den Ablagerungen auftretende hohe paläozoische Geröllbestand wird auf Umlagerung älterer Bodesedimente zurückgeführt.“ „Als Schlussfolgerung ist zu sagen, dass die Deutung der proximalen Schmelzwassersedimente mit ihrem geringen nordischen Geröllanteil nicht ganz zweifelsfrei ist. Aber für Schmelzwassersedimente sprechen auch die m-mächtigen Sandlagen, die sonst in den Flußsedimenten des Arbeitsgebietes untypisch sind. Vor allem die große Höhenlage über der heutigen Bode spricht hier für Schmelzwassersedimente.“

Fest steht, dass die Bode seit der Saaleiszeit

in etwa ihrem heutigen Verlauf zwischen Thale und Quedlinburg folgt (WEYMANN 2003). Nimmt man an, dass es eine Ur-Bode von Thale Richtung Norden gegeben hat, stellt sich die Frage, durch welches Ereignis die Veränderung des Verlaufs bei Thale entstanden ist. Dafür kommt insbesondere ein Eisvorstoß bis zum Harzrand in Betracht, der ohne Zweifel einen Flusslauf wesentlich verändern kann. Da die Bode saalezeitlich bereits ihren heutigen Verlauf hatte, kommt deshalb dafür nur der elsterzeitliche Eisvorstoß in Frage. Ein früherer Verlauf der Bode über die Roßhöhe bis zum ersten Eisvorstoß an den Harznordrand kann dort zur Ablagerung von Bodeschottern bis in die Elsterzeit hinein geführt haben und damit die Deutung dieses Aufschlusses wesentlich erleichtern.

Sodann stellt sich die Frage, wo dieser Fluss in das jetzige Trockental südöstlich von Langenstein eingebogen ist. Darauf gibt die Morphologie am östlichen Ende des Trockentals Hinweise. Die Maximalhöhen der Unterkreide-Härtlinge der nördlichen Sattelflanke (das ist die südliche Flanke des Trockentals) zeigen einen deutlichen Einschnitt im Bereich der Kreisstraße 2359. Westlich davon werden durchweg Höhen von mindestens 220 m erreicht. Die höchste Erhebung im Bereich des Einschnittes ist der Sattelberg mit nur etwas über 160 m, an den sich das Tal des Zapfenbaches anschließt. Bei Quedlinburg treten denn wieder deutlich größere Höhen mit über 180 m im Zuge dieses Unterkreide-Ausstriches auf. Der Zapfenbach kann den Einschnitt im Bereich der Kreisstraße 2359 nicht geschaffen haben. Er fließt viel weiter östlich. Die Schichtstufe aus Involutussandstein an der nördlichen Talflanke läuft dagegen unverändert mit Maximalhöhen um 160-175 m nach Osten weiter. Diese Schichtstufe flacht erst viel weiter östlich, im Norden von Quedlinburg, auf Höhen um 130-140 m ab, wo Geschiebemergel einer saalezeitlichen Grundmoräne anzeigt, dass hier ein Gletscher hinübergeflossen ist. Die verminderte Höhe in dem Unterkreidezug der nördlichen Sattelflanke im Bereich der Kreisstraße 2359 wird

als die Stelle gedeutet wo die Bode, von Süden kommend, in das Tal Richtung Langenstein eingebogen ist. Der Talboden zeigt hier nach Osten auch eine merkbare Aufsteilung, die mit dem Prallhang im weichen Gestein der leichten Flussbiegung nach Westen zusammenhängt.

WEYMANN (2003, S. 68, 77) ist der Meinung, dass das heutige Tal des Zapfenbaches in der Mittelterrassenzeit auch von dem Goldbach durchflossen worden ist, der heute den Quedlinburger Sattel westlich umfließt. Dies erklärt, warum das Tal für den heutigen Zapfenbach zu groß erscheint.

5. Fazit

Zwar gibt es zurzeit keinen eindeutigen Beweis dafür, dass das Tal südöstlich von Langenstein ein Durchbruchtal eines Flusses ist, und dass es sich bei diesem Fluss um eine Ur-Bode gehandelt hat, die von Thale aus Richtung Norden geflossen ist. Allerdings gibt es auch keine Widersprüche zu dieser Hypothese. Sie erklärt völlig ohne Schwierigkeiten eine Reihe von Beobachtungen, die nur schwer mit der Alternativhypothese in Übereinstimmung zu bringen sind, die davon ausgeht, dass das Tal das Produkt unterschiedlicher morphologischer Härte der Gesteine ist. Im Einzelnen handelt es sich um die folgenden Beobachtungen, die weiter oben im Detail behandelt wurden:

- Der Hoppelberg zeigt eine starke Südwest-Nordost-Asymmetrie mit einem Steilabfall nach Nordost. Dieser wird als Prallhang des Flusses gedeutet.
- Die Talsohle geht über zahlreiche Gesteinsgrenzen hinweg, insbesondere nahe Langenstein. Dies ist bei einem Durchbruchstal normal.
- Der Unterkreide-Sandstein der nördlichen Flanke des Quedlinburger Sattels zeigt nahe der Kreisstraße 2359 eine starke Absenkung der Maximalhöhen. Die Höhen des Involutussandsteins der nördlichen Talflanke bleiben jedoch in etwa konstant. Gleichzeitig zeigt der Talboden aus weichen Gesteinen eine Aufsteilung nach Osten. Dies

wird als die Stelle gedeutet, wo der Fluss von Süden kommend in das Tal eingebogen ist.

- An der Roßhöhe tritt Schotter mit Ramberggranit auf, der von der Bode aus dem Harz heraustransportiert worden sein muss. Dieses Vorkommen liegt in ungewöhnlich großer Höhe und wird als Mischschotter interpretiert. Ein Verlauf der Ur-Bode über die Roßhöhe erleichtert die Erklärung, wie dieses Material dort hingekommen ist.

- Die Härtlingszüge der Aufrichtungszone am Harznordrand zeigen vom Bodetal südlich von Thale ausgehend, Richtung Norden, deutliche Lücken. Dies wird als die Stelle gedeutet, wo die Ur-Bode aus dem Harz kommend Richtung Norden geflossen ist.

Es gibt also eine Reihe von Indizien dafür, dass die Bode nach der Bildung von Festland zunächst nach Norden geflossen ist und während der Bildung des Quedlinburger Sattels südöstlich von Langenstein ein antezedentes Durchbruchstal geschaffen hat. Der Verlauf der Bode hat sich dann wahrscheinlich im Zuge des ersten Eisvorstoßes an den Harznordrand bei Thale in den heutigen Verlauf Richtung Osten verändert, so dass der hier beschriebene Flusslauf vor allem im Tertiär aktiv war. Der Bereich zwischen Thale und Westerhausen ist danach durch den Jordansbach, den Zapfenbach und den zeitweilig hier fließenden Goldbach umgestaltet worden.

6. Literatur

- AHNERT, F. (2009): Einführung in die Geomorphologie. 4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 393 Seiten.
- BACHMANN, G.H.; EHLING, B.-C.; EICHNER, R. & SCHWAB, M. (Hrsg.) (2008): Geologie von Sachsen-Anhalt. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermillner), Stuttgart, 689 Seiten.
- EBERHARDT, F. (1968): Geologischer Bau und Erdöl-Erdgasführung des subherzynen Beckens. Dissertation Math.-Nat. Fak. Bergakad. Freiberg, 161 Seiten.
- FELDMANN, L. (2002): Das Quartär zwischen

- Harz und Aller mit einem Beitrag zur Landschaftsgeschichte im Tertiär. Clausthaler Geowissenschaften, Band 1, Clausthal-Zellerfeld, 149 Seiten.
- HEIMLICH, K. (1956): Zur Stratigraphie und Tektonik des westlichen Quedlinburger Satfels. Abh. Akad. Wiss. Berlin, Kl. Chemie, Geol. Biol. (Abh. Geotektonik 11), 1-35, Berlin.
- HENNINGSEN, D. & KATZUNG, G. (2006): Einführung in die Geologie Deutschlands. 7. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 234 S.
- HINZE, C.; JORDAN, H.; KNOTH, W.; KRIEBEL, U. & MARTIKLOS, G. (1998): Geologische Karte des Harzes 1:100.000. Halle, (GLA Sachsen-Anhalt).
- JUBITZ, K.-B. (unter Mitwirkung von Albin, Bein, Schwab & Wagenbreth) (1964): Flechtinger Höhenzug und östliches Subherzyn. Exkursionsführer 11. Jahrestagung der Geologischen Gesellschaft der DDR in Leipzig, Berlin, 245 S.
- KNAPPE, H. & TRÖGER, K.-A. (1988): Die Geschichte von den neun Meeren. Ursprung des nördlichen Harzvorlandes. Harzmuseum Wernigerode, Wernigerode, 104 S.
- KOCKEL, F. & FRANZKE, H.J. (1998): Exkursion Guide-The Subhercynian Region-The Northern Harz Boundary. Leipziger Geowiss. 7, 45-71, Leipzig.
- MOHR, K. (1993): Geologie und Mineralagerstätten des Harzes. 2. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 496 S.
- MOHR, K. (1998): Sammlung geologischer Führer, Band 58, Harz, westlicher Teil. 5. Auflage, Gebr. Borntraeger, Berlin, 216 S.
- OTT, S. (1967): Beitrag zur Kenntnis der stratigraphischen, paläogeographischen und tektonischen Verhältnisse der östlichen Subherzynen Kreidemulde. Dissertation, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Greifswald, 130 S.
- PATZELT, G. (2003): Sammlung geologischer Führer, Band 96, Nördliches Harzvorland (Subherzyn), östlicher Teil. Gebr. Borntraeger, Berlin, 182 S.
- SCHROEDER, H. (1928): Karte und Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Lieferung 240, Blatt Halberstadt. Berlin, 72 S.
- SCHROEDER, H. & DAHLGRÜN, F. (1927): Karte und Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Lieferung 240, Blatt Quedlinburg. Berlin, 109 S.
- WEYMANN, H.-J. (2003): Die mittelpleistozäne Flussentwicklung im nordöstlichen Harzvorland. Dissertation Universität Hannover, 128 S.

WELCHEN BEITRAG LEISTET DIE GEOGRAPHIEDIDAKTIK BEI DER ANALYSE KOMPLEXER MENSCH-UMWELT-SYSTEME?

JANNICK HEMPOWICZ

Martin-Luther-Universität Halle/Saale, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Von-Seckendorff-Platz 4, 06120 Halle/Saale

Schlüsselwörter: Komplexe Systeme, Komplexität, Mensch-Umwelt-Systeme, Systemisches Denken, Systemkompetenz, Geographiedidaktik, Design-based Research

Keywords: complex systems, complexity, human-environment systems, systems thinking, system competence, geography education, design-based research

Zusammenfassung

Ein Verständnis für komplexe Mensch-Umwelt-Sachverhalte zu entwickeln, stellt für den Menschen eine große Herausforderung dar. Die Komplexitätsanforderungen übersteigen die bisherigen Erfahrungen dessen, was die Menschen mit ihrer intuitiven Vernunft erfassen können (vgl. SCHEUNPFLUG 2001). Auf der anderen Seite ist es notwendig, dass ein systemisches Denken und ein kompetenter Umgang mit komplexen Sachverhalten gefördert werden, um den zukünftigen Problemen einer fortschreitenden Globalisierung zu begegnen (vgl. ROST 2005).

Der Geographiedidaktik wird dabei eine Schlüsselrolle eingeräumt, da sie die Betrachtung von Mensch-Umwelt-Systemen in den Fokus rückt. Als Leitziel des Geographieunterrichts wird das Erkennen der Zusammenhänge zwischen natürlichen Gegebenheiten und gesellschaftlicher Aktivitäten in verschiedenen Räumen der Erde deklariert (vgl. DGfG 2014). Mit der Integration des Systemkonzepts in die Bildungsstandards und der Entwicklung und Validierung geographischer Systemkompetenzmodelle wurden zukunftsweisende Strukturen geschaffen, die einen kompetenten Umgang mit Mensch-Umwelt-Systemen ermöglichen können.

Der vorliegende Beitrag diskutiert die Bedeutung des Systemkonzepts als Basiskonzept des Faches Geographie und beschreibt ein Kompetenzstruktur- und -stufenmodell zur geographischen Systemkompetenz. Darüber hinaus werden allgemeine Ansätze zur Förderung systemischen Denkens dargelegt und ein aktuelles Forschungsvorhaben skizziert.

Abstract

Envolving a comprehension of complex human-environment systems is a huge challenge for human beings. The requirements of complexity exceed the experiences of what human beings could understand with their intuitive reasons (vgl. SCHEUNPFLUG 2001). On the other hand, it is necessary to foster systems thinking

skills and a competent interaction with complex contents to solve global issues (vgl. ROST 2005).

Therefore, geography education plays a key role by including human-environment systems as a central aspect. The main goal of geography education is to identify the connections between nature and social systems in different scales of the earth (vgl. DGfG 2014). Major impacts were the integration of the system concept into the national education standards as well as the development and validation of system competence models. This paper discusses the importance of the system concept as a major concept in geography education and describes a definite competence model of geographical system competence. Furthermore, approaches to foster systems thinking skills are shown and a current research project is outlined.

1. Komplexe Mensch-Umwelt-Systeme aus geographischer Perspektive

„Die Kluft zwischen ‚naturwissenschaftlich‘ und ‚sozial- oder geisteswissenschaftlich‘ arbeitenden Fächern gilt nach wie vor als nahezu unüberwindbar, auch wenn mittlerweile klar geworden ist, dass die drängenden Fragen des 21. Jahrhunderts weder allein durch naturwissenschaftliche Arbeiten noch durch rein sozialwissenschaftlich erarbeitete Lösungen beantwortet werden können.“ (vgl. EGNER & RATTER 2008, S. 9) Die Wissenschaftsdisziplin der Geographie wird zwar als ein Fach angesehen, dennoch muss sie als Brückenfach sowohl mit Gesellschafts- als auch mit Umweltaspekten agieren. Eine Möglichkeit der Integration beider Ausrichtungen findet sich in den interdisziplinären, fachübergreifenden Systemtheorien (vgl. EGNER 2008; WARDENGA & WEICHHART 2006).

1.1 Systemdefinition und Komplexität

Das aus dem Griechischen stammende Wort System wird mit einem ‚aus mehreren Teilen zusammengesetzten Ganzen‘ übersetzt. Diese Formulierung ist sehr weit gefasst, sodass spezifische Systemdefinitionen als Grundlage der Bildung von Systemtheorien nötig sind. BERTALANFFY (1968) definierte im Zuge seiner Allgemeinen Systemtheorie ein System als Set von Elementen, die in Beziehung zueinander stehen. Dieses Beziehungsgeflecht folgt bestimmten Regeln und bildet eine funktionale Einheit. Vor allem die Physische Geographie mit ihrem Untersuchungsschwerpunkt der Natursysteme lehnt sich an diese Definition an und erweitert sie durch Aspekte der Kybernetik und Ökosystemforschung (vgl. WARDENGA & WEICHHART 2006; RATTER & TREILING 2008). Die Humangeographie nutzt zum Verständnis von Systemen eher die soziologische Systemtheorie nach LUHMANN (1984). Nach dieser Theorie wird als Ausgangspunkt die Differenz zwischen System und Umwelt festgelegt. Dabei definiert sich ein System als Abgrenzung durch eine bestimmte Operationsweise, z. B. der Kommunikation, und die Umwelt existiert lediglich aufgrund dieser Grenzziehung außerhalb des Systems. Eine Verbindung zwischen dem Sozialsystem und der umgebenden Umwelt findet über das Bewusstsein statt. Dies bedeutet, dass eine Gesellschaft Umwelteinflüsse bewusst wahrnehmen und darüber kommunizieren muss, um sie einzubeziehen (vgl. LIPPUNER 2008). Um die Theorie eines integrativen Verständnisses von Mensch-Umwelt-Systemen zu entwickeln, eignen sich die natur- bzw. sozialwissenschaftlichen Systemtheorien weniger, da sie kaum kompatibel erscheinen und unterschiedliche theoretische Grundlagen angenommen werden (vgl. REMPFLER & UPHUES 2010). Einen interdisziplinären Ansatzpunkt bietet das sozialökologische Systemverständnis (vgl. Kapitel 1.2).

Bei der Beschreibung und Analyse von Systemen spielt die Komplexität eine

entscheidende Rolle. In der Literatur findet man dazu viele Definitionen (vgl. Übersicht bei RATTER & TREILING 2008, S. 27f.). Eine vereinheitlichte Definition beschreibt HERGET (2003, S. 12): „Komplexe Systeme sind Realitätsausschnitte, die sich dadurch kennzeichnen, dass sie aus vielen verschiedenen Einzelteilen (Variablen) bestehen, die über viele verschiedene Verbindungen miteinander in Kontakt stehen.“ In einer Zusammenfassung verschiedener Komplexitätsdefinitionen in Bezug auf Systeme halten RATTER & TREILING (2008) fest, dass sich die Komplexität eines Systems einerseits auf die Anzahl der Elemente (Betrachtung der Systemkonstitution) und andererseits auf die Menge und Stärke der Beziehungen jener Systemelemente (Betrachtung des Systemverhaltens) beziehen kann. Für die Entwicklung eines angemessenen Umgangs mit komplexen Systemen ist das Verständnis beider Komplexitätsformen notwendig.

1.2 Das sozialökologische Verständnis von Systemen

Das Verständnis von Mensch-Umwelt-Systemen im geographischen Kontext muss vielfältigen Ansprüchen gerecht werden (vgl. REMPFLER & UPHUES 2010). Eine einseitige, eher traditionelle Betrachtung physiogeographischer Systeme steht einer soziologischen Betrachtung humangeographischer Systeme gegenüber. Eine Verknüpfung beider Ansätze ist strittig, weil beispielweise die Kommunikation als zentrales Element sozialer Systeme – nach dem Gesellschaftsbegriff von LUHMANN – schwer auf die Strukturen und Prozesse von Natursystemen zu übertragen ist (vgl. LIEHR et al. 2006; LUX et al. 2006). Auf einer anderen Ebene deklariert LIPPUNER (2008), dass ein integratives Natur- und Sozialsystem keine konsequenten Interaktionen zwischen Gesellschaft und Umwelt mehr abbilden kann. Dennoch ist es aus geographischer Sicht unumgänglich, in einem integrierten Systemverständnis vorzugehen, da die geographische Realität im Sinne Neefs

natur- und sozialwissenschaftlich geprägt ist (vgl. LESER 1991) und eine Analyse von Raumsachlagen stets integrativ abläuft (vgl. KÖCK 2008).

Ein Ansatz des Zusammenführens beider Systeme entstammt der Landschaftsökologie. Er interpretiert Gesellschaft und Natur als überwiegend autonome Systeme, bei denen soziale Einflüsse auf Natursysteme sowie natürliche Einflüsse auf Sozialsysteme als äußere Störungen wirken (vgl. LESER 1991). Dem Anspruch einer integrativen Betrachtung sozialer und natürlicher Systeme kann er jedoch nicht gerecht werden (vgl. REMPFLER & UPHUES 2011a).

Einen weiteren Versuch, den Differenzen des dichotomen Systemverständnisses zu begegnen und gleichzeitig das Zusammenwirken von Gesellschaft und Natur als enges Beziehungsgeflecht zu konstituieren, unternahm der interdisziplinäre Wissenschaftszweig der Sozialen Ökologie (vgl. BECKER & JAHN 2006). Dieser an der Komplexitätsforschung ausgerichtete Ansatz untersucht kontextorientierte Probleme aus sozial- und naturwissenschaftlicher Sicht mit Bezug zum Konzept der Nachhaltigkeit. Dabei werden die einzelnen Faktoren beider Sichtweisen nicht additiv gesehen, sondern als integratives Konstrukt beschrieben. Das Systemverständnis der Sozialen Ökologie zeichnet sich durch eine „Interiorisierung externer Beziehungen“ aus (vgl. LIEHR et al. 2006, S. 269). Das Beziehungsgeflecht wird als Gesamtsystem dargestellt, indem die im landschaftsökologischen Ansatz beschriebenen, äußeren Faktoren zwischen Gesellschaft und Natur zu inneren Beziehungen des neugebildeten Mensch-Umwelt-Systems determiniert werden. Daraus ergibt sich eine eigene funktionale und räumliche Struktur und eine eigene Dynamik des Gesamtsystems (vgl. LIEHR et al. 2006).

Der Zusammenhang zwischen diesem sozialökologischen Systemverständnis und der Geographie findet sich einerseits in der Betrachtung von Gesellschaft-Natur-Beziehungen als wesentliche Zielperspektive

und andererseits in der räumlichen Ausdifferenzierung des integrativen Systems (vgl. BECKER & JAHN 2006; Liehr et al. 2006). Aus dieser Vereinbarkeit heraus wird eine Eignung des sozialökologischen Systemverständnisses für die Geographie deklariert (vgl. REMPFLER & UPHUES 2010). Unter dieser Voraussetzung legen REMPFLER & UPHUES (2010) relevante Merkmale einer sozialökologischen Betrachtungsweise von Systemen dar: Offenheit, Autopoiesis, Modellhaftigkeit, Komplexität, Nicht-Linearität, Dynamik, Emergenz, Abgrenzung, selbstorganisierte Kritikalität, eingeschränkte Vorhersagbarkeit und Regulation (zur genaueren Beschreibung siehe REMPFLER & UPHUES 2010, 2011a). Aufbauend auf den determinierten Systemmerkmalen wurde von den genannten Autoren ein integratives Kompetenzmodell zur geographischen Systemkompetenz entwickelt (vgl. Kapitel 2.2).

1.3 Herausforderungen im Umgang mit komplexen Mensch-Umwelt-Systemen

Komplexe Mensch-Umwelt-Sachverhalte heutiger Zeit zu verstehen, stellt für den Menschen eine gewaltige Herausforderung dar. Sie übersteigen unsere bisherigen Erfahrungen dessen, was wir mit unserer intuitiven menschlichen Vernunft erfassen können (vgl. SCHEUNPFLUG 2001). Das vielfältige und vernetzte System der globalisierten Welt bietet ein hohes Maß an faktischen und ethischen Ungewissheiten, die ein adäquates Handeln erschweren. Die faktische Komplexität als hohe Anzahl an Sachinformationen und deren Relationen wird dabei oft verstärkt durch widersprüchliche wissenschaftliche Erkenntnisse und Expertenmeinungen. Zudem sind ethische Unsicherheiten geprägt durch widersprüchliche Auffassungen über moralisch richtiges Handeln (vgl. BÖGEHOLZ & BARKMANN 2005; OHL 2013). Die Notwendigkeit des angemessenen Umgangs mit dieser doppelten Komplexität entstand im Zuge einer zunehmenden Globalisierung, die „[...] eine Komplexitätssteigerung in verschiedensten gesellschaftlichen

Bereichen, mit unterschiedlicher Intensität und unterschiedlichen Auswirkungen“ mit sich brachte (vgl. SCHEUNPFLUG & SCHRÖCK 2000, S. 8).

Erklärbar wird dieses Phänomen bei einem Blick in die Evolutionsgeschichte des Menschen. In der längsten Periode ihrer Stammesgeschichte lebten die Menschen in nomadisch-umherziehenden Gesellschaften als Jäger und Sammler. In der Phase der vollständigen Ausreifung des menschlichen Gehirns, zu Zeiten des Pleistozäns, bestand die Hauptaufgabe der Menschen darin, Strategien zur Lösung von Problemen zu entwickeln, die sich auf ihren aktuellen natürlichen Lebensraum beziehen. Diese Entwicklung von Überlebensstrategien als Hauptziel menschlichen Handelns ist sogar noch heute erkennbar, bringt allerdings Schwierigkeiten mit sich (vgl. SCHEUNPFLUG 2001).

Über Jahrtausende hinweg waren spontane Problemlösungen auf Erfahrungen im Nahbereich zurück zu führen. Es werden vornehmlich jene Probleme gelöst, die direkt sinnlich erfahrbar sind. Gerade in Bezug auf globale Probleme heutiger Zeit sind die auf einen kleinen Lebensraum fokussierenden Tat-Folge-Zusammenhänge verloren gegangen: Die Abholzung des Regenwaldes in Südamerika bringt auf der einen Seite unmittelbare Profite für die Unternehmen vor Ort. Auf der anderen Seite entwickeln sich neben negativen Auswirkungen für die Region (z. B. Bodenerosion, Versteppung, Artensterben) auch negative Folgen im globalen Maßstab (z. B. Klimaveränderung). Der Mensch hat sich auf die Nebenwirkungen seines Handelns und die Auswirkungen dieser Nebenwirkungen aufgrund seiner lediglich intuitiven Problemlösefähigkeit noch nicht eingestellt (vgl. SCHEUNPFLUG & SCHRÖCK 2000).

Darüber hinaus besitzen Menschen die Vorstellung, dass Ursachen für bestimmte Effekte nur begrenzt auftreten. Es wird davon ausgegangen, dass es eine Ursache gibt, doch sie wird in ihrer Tragweite vernachlässigt. Für das eigene Verhalten reicht die

Begründung einer Ursache zumeist aus, um das alltägliche Handeln zu regulieren. Bei der Steuerung komplexer Systeme, z. B. in der Wirtschaft, Politik oder Ökologie ist diese Denkweise unzulänglich. Es werden anspruchsvollere Modelle benötigt, um komplexe Wandlungsprozesse zu verstehen (vgl. SCHEUNPFLUG 2001).

Die Herausforderungen zunehmender Globalisierung und evolutionär-bedingter Faktoren gilt es an das heute notwendige Verständnis komplexer Mensch-Umwelt-Systeme und dem folglich angemessenen Umgang mit diesen anzupassen. Der Entwicklung und Förderung einer geographischen Systemkompetenz im Schulunterricht kommt dabei eine entscheidende Rolle zu (vgl. REMPFLER & UPHUES 2011b).

2. Komplexe Mensch-Umwelt-Systeme aus geographiedidaktischer Perspektive

Die Wahl des passenden Komplexitätsniveaus sowie eines geeigneten Systemverständnisses und die Herausforderungen im Umgang mit Systemen werfen die Frage auf, wie damit auf didaktischer und unterrichtsmethodischer Ebene umzugehen ist. Die Soziale Ökologie schlägt vor, komplexe Sachverhalte an Alltagssituationen zu knüpfen, um eine Authentizität und Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus wird versucht, eine selektive Wahrnehmung von Komplexität zu schaffen, indem komplexe Sachverhalte auf eine deskriptive Ebene reduziert werden (vgl. LIEHR et al. 2006): Einerseits sollen Systeme in einfache, handhabbare Modelle gefasst werden, um ein qualitatives Systemverständnis zu erzeugen. Andererseits muss abgesichert sein, dass die entscheidenden Systemmerkmale auch in einer reduzierten Variante adäquat dargestellt werden – frei nach dem Motto Einsteins: „Mache Dinge so einfach wie möglich – aber nicht einfacher.“ In der Folge wird beschrieben, welche geographiedidaktischen Leitideen für das Verständnis komplexer Mensch-Umwelt-Beziehungen vorherrschen.

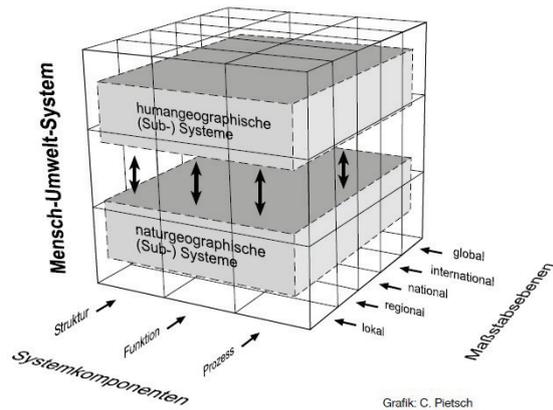


Abb. 1 : Basiskonzepte der Analyse von Räumen im Fach Geographie (Quelle: DGfG 2014, S. 11) | Main concepts of analysing spatial in geography education (Reference: DGfG 2014, p. 11)

Dazu wird zunächst das Systemkonzept als Basiskonzept des Faches Geographie aus den Bildungsstandards vorgestellt und ein Kompetenzmodell zur geographischen Systemkompetenz erläutert, welches auf dem sozialökologischen Systemverständnis fußt. Im Anschluss werden ausgewählte Ansätze zur Förderung systemischen Denkens erläutert.

2.1 Das Systemkonzept aus den Bildungsstandards des Faches Geographie

Das schlechte Abschneiden deutscher Schülerinnen und Schüler bei den PISA-Studien (2000, 2003) und TIMSS (1995, 1999, 2003) entfachte in Deutschland einen bildungspolitischen Diskurs. Als maßgebliche Konsequenz sollte ein Wandel innerhalb der Bildungspläne stattfinden: von einer Inputorientierung (Aneignung von deklarativem Wissen) zu einer Outputorientierung (Entwicklung von Kompetenzen). Im Hinblick auf diese Qualitätssicherung sowie inhaltliche Weiterentwicklung der einzelnen Fächer wurden Bildungsstandards als zukünftige Lehrplangrundlage konzipiert und verabschiedet. Innerhalb dieser Bildungsstandards werden Kompetenzen festgelegt, welche die Schülerinnen und Schüler am Ende eines bestimmten Bildungsabschnittes erreicht haben sollen (vgl. DGfG 2014). Als Grundlage galt die Kompetenzdefinition nach WEINERT (2001): Kompetenzen sind „[...] die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten,

um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“ (WEINERT 2001, S. 27f.)

Ein zentraler Punkt bei der Neudiskussion von Bildungsstandards für das Fach Geographie war die Formulierung der „Philosophie des Faches“, welche mit der „Erde als System“ manifestiert wurde (RHODE-JÜCHTERN 2009, S. 126). Als Leitziel des Geographieunterrichts wurde das Erkennen der Zusammenhänge zwischen natürlichen Gegebenheiten und gesellschaftlicher Aktivitäten in verschiedenen Räumen der Erde und eine darauf aufbauende raumbezogene Handlungskompetenz deklariert (vgl. DGfG 2014). Die Fülle und Komplexität der Sachinhalte erfordern, wie eingangs beschrieben, eine Reduktion auf den Kern geographischen Wissens und ein Vorgehen anhand räumlicher Beispiele. Zur Strukturierung dieser Sachinhalte eignen sich Basiskonzepte, die als themenübergreifende Leitlinien eines Faches gelten. Im Fach Geographie wurde das Systemkonzept als Hauptbasiskonzept festgelegt (Abb. 1).

Es beinhaltet die Systemkomponenten Struktur, Funktion und Prozess als Basisteilkonzepte. Die Struktur eines Systems beschreibt die Elemente der Geofaktoren, z. B. Klima, Vegetation und Wirtschaft in ihrer jeweils räumlichen Ausdehnung. Die Beziehungen und Interaktionen zwischen diesen Elementen stellen die Funktion des

Systems dar (z. B. Einfluss des Klimas auf Vegetation, Einfluss des Reliefs auf den Städtebau). Bei der Betrachtung einer räumlichen oder zeitlichen Veränderung dieser Strukturen und Funktionen bilden sich Prozesse, die eine Systemdynamik hervorbringt (z. B. globaler Klimawandel, Strukturwandel in Mittelengland). Darüber hinaus wird in Abbildung 1 ersichtlich, dass das Systemkonzept sowohl für naturgeographische als auch für humangeographische (Sub-)Systeme gilt, die wiederum in einem Abhängigkeitsverhältnis stehen und komplexe Mensch-Umwelt-Systeme auf verschiedenen Maßstabsebenen (von lokal bis global) bilden (vgl. DGfG 2014). Aufbauend auf diesem Systemkonzept wurden Standards formuliert, welche die Schülerinnen und Schüler im Laufe ihrer Schulzeit entwickeln sollen (ausführlich in DGfG 2014, S. 15 ff.), z. B. „Die Schülerinnen und Schüler können [...] das funktionale und systemische Zusammenwirken der natürlichen und anthropogenen Faktoren bei der Nutzung und Gestaltung von Räumen beschreiben und analysieren [...]“ (DGfG 2014, S. 15). An diesem Beispiel erkennt man, dass die Entwicklung eines Verständnisses komplexer Mensch-Umwelt-Zusammenhänge Einhalt in curriculare Dokumente gefunden hat.

Mit der Festlegung des Systemkonzepts als Grundlage zur Analyse komplexer Mensch-Umwelt-Systeme in den Bildungsstandards greift die Geographiedidaktik einen Ansatz zur Lösung zukünftiger Problemfragen auf. Zur Erlangung eines tiefgründigen Verständnisses von komplexen, erdräumlichen Sachverhalten ist eine systemische Denkweise essenziell. Die zunehmenden Herausforderungen einer globalisierten Welt gilt es mit der Entwicklung eines mehrperspektivischen Verständnisses und erfolgreicherem Umgangs mit komplexen Sachlagen zu lösen. Schülerinnen und Schüler sollen durch Geographieunterricht über Jahre hinweg befähigt werden, kompetent mit faktischer und ethischer Komplexität umzugehen und darüber hinaus zweckvolle Handlungsmöglichkeiten zu entwickeln.

2.2 GeoSysKo – ein Kompetenzstruktur- und -stufenmodell zur geographischen Systemkompetenz

Mit der Festsetzung des Systemkonzepts in den Bildungsstandards als Basiskonzept wurden curriculare Implementationsvoraussetzungen geschaffen. Zur gezielten Entwicklung und Förderung eines angemessenen Systemverständnisses bedarf es allerdings einer theoretischen und empirischen Fundierung einer Systemkompetenz (vgl. MEHREN et al. 2015). Die Systemkompetenz wird hierbei als Fähigkeit beschrieben, „[...] einen komplexen Wirklichkeitsbereich in seiner Organisation und seinem Verhalten als System zu erkennen, zu beschreiben und zu modellieren und auf der Basis dieser Modellierung Prognosen und Maßnahmen zur Systemnutzung und –regulation zu treffen.“ (vgl. FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008, S. 20) Aus diesem Grund wurden in der geographiedidaktischen Forschung mehrere Projekte durchgeführt, die sich mit der Entwicklung und Validierung von Systemkompetenzmodellen beschäftigten (HEIGIS: 2009-2011, SysThema: 2011-2015, GeoSysKo: 2011-2014). In der Folge wird das Projekt GeoSysKo (vgl. REMPLER & UPHUES 2011b; MEHREN et al. 2014; MEHREN et al. 2015) genauer vorgestellt und dessen Wichtigkeit für die Kompetenzentwicklung der Schülerinnen und Schüler dargestellt.

Das in Kap. 1.2 beschriebene sozial-ökologische Systemverständnis bildet die Basis für die Entwicklung dieses Kompetenzmodells, da die Natur- und Gesellschaftssysteme integrativ als Mensch-Umwelt-Systeme betrachtet werden sollen. Aus empirischen und theoretisch-konzeptionellen Arbeiten wurde ein Theoriemodell entwickelt, das aus vier Kompetenzdimensionen (Systemorganisation, Systemverhalten, Systemadäquate Handlungsintention mental und Systemadäquate Handlungsintention aktional) und drei Kompetenzstufen (Stufe I, II, III) besteht. Um Lernprozesse gezielt fördern und diagnostizieren zu können, müssen Kompetenzmodelle bildungstheoretisch fundiert, empirisch

belastbar und praktisch handhabbar sein (vgl. HEMMER et al. 2008). Aus diesem Grund wurde das Theoriemodell komprimiert, ohne die Kernideen zu verändern. Nach den Kriterien Kompetenzdimensionen (Systemorganisation, Systemverhalten, systemadäquate Handlungsintention), Anzahl der Elemente und Relationen (niedrig, mittel, hoch) und der Vernetzungsart (monokausal, linear, komplex) wurde auf diese Weise ein empirisch zu überprüfendes Kompetenzstruktur- und -stufenmodell zur geographischen Systemkompetenz entwickelt. Um in der Folge dieses Kompetenzmodell validieren zu können und ein Instrument zur schulischen Diagnostik zu entwerfen, wurden zunächst Testaufgaben mittels eines iterativen Verfahrens konzipiert (Abbildung 2). Die Testaufgaben, welche zu 17 geographischen Themenbereichen zugeordnet werden können und jeweils 7-10 Items enthalten, wurden qualitativ und quantitativ kalibriert (N=954). Zu guter Letzt vervollständigte die Hauptstudie (N=1926) mit der Prüfung des Faktormodells sowie der Schätzung der Aufgabenschwierigkeiten und Item-

schwierigkeiten die Validierung des Kompetenzmodells. Anhand von Analysen zur Modellgüte wurde das Kompetenzmodell auf zwei Dimensionen mit drei Niveaustufen festgelegt (Tab. 1). Mithilfe des Modells können die Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler den verschiedenen Leistungsniveaus zugeordnet werden. Die validierten Testaufgaben ermöglichen es, die geographische Systemkompetenz zu erheben und darüber hinaus didaktisch-methodisch aufbereitete Unterrichtskonzeptionen zu gestalten, zu erproben und mittels Pra-Post-Testdesign zu untersuchen (vgl. MEHREN et al. 2015).

Mit der Entwicklung und Validierung dieses Kompetenzmodells wurde eine Brücke geschlagen zwischen einem fachwissenschaftlichen Systemverständnis, den zunehmenden Herausforderungen einer globalisierten Welt und dem Geographieunterricht. Die zu entwickelnden Fähigkeiten, Realitätsbereiche in ihrer Organisation als System zu identifizieren und Funktionen und Prozesse eines Systems zu analysieren, bilden grundlegende

Item 5

Ursprünglich lebende Völker im tropischen Regenwald nutzen die Brandrodung, um auf kleinen Flächen Nahrung anzubauen. Welche Folgen bringt das mit sich?

Geh von den vorgegebenen Begriffen aus und überlege dir, welche wie zusammenhängen. Verbinde sie entsprechend mit Pfeilen und vergiss nicht, jeden Pfeil zu beschriften (siehe Beispiel). Achte darauf, die Pfeilrichtung eindeutig anzugeben. Beachte als Hilfe Abb. 2 und den Begleittext im Aufgabenstamm.

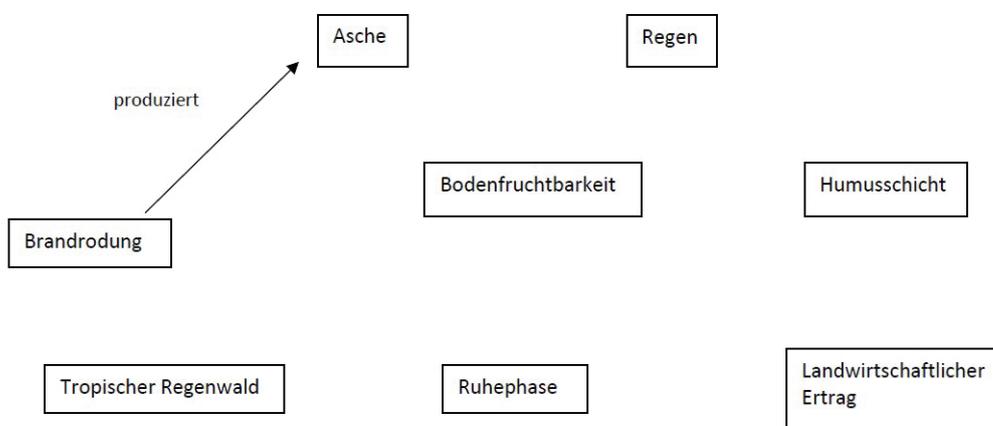


Abb. 2: Beispielitem einer Testaufgabe zum Themenbereich „Tropischer Regenwald“ als Mensch-Umwelt-System (Quelle: Mehren et al. 2015, Online-Ergänzung) | Item of a test to the topic „tropical rainforest“ as a human-environment system (Reference: Mehren et al. 2015, online attachment)

Tabelle 1. Empirisch überprüftes Kompetenzstruktur- und -stufenmodell zur geographischen Systemkompetenz (verändert, nach MEHREN et al. 2015)

Kompetenzstufen	Kompetenzdimensionen	
	Dimension 1: Systemorganisation und Systemverhalten Systemische Struktur, Grenze, Emergenz, Interaktion & Dynamik Komplexen Realitätsbereich in seiner Organisation als System identifizieren sowie dessen Funktion und Verhaltensweisen analysieren (Wissenserwerb)	Dimension 2: Systemadäquate Handlungsintention Systemische Prognose & Regulation im Mentalraum systemadäquat handeln (Wissensanwendung → mental)
Stufe 1	Schülerinnen und Schüler identifizieren eine niedrige Anzahl an Elementen und Relationen überwiegend isoliert oder monokausal und als vage abgrenzbaren Beziehungszusammenhang. Ihre Analyse monokausaler Entwicklungsverläufe basiert auf einem schwach entwickelten Funktions- und Prozessverständnis.	Schülerinnen und Schüler entwickeln bei einer niedrigen Anzahl an Elementen und Relationen Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund monokausaler Wirkungsanalyse, vager Antizipation der Wirkung und schwach ausgeprägter Komplexitätsreduktion.
Stufe 2	Schülerinnen und Schüler identifizieren eine mittlere Anzahl an Elementen und Relationen überwiegend linear und als mäßig abgrenzbaren Beziehungszusammenhang. Ihre Analyse linearer Entwicklungsverläufe basiert auf dem Verständnis von Wechselbeziehungen, Reihen- und Parallelkopplungen sowie einfachen Haushaltsbeziehungen.	Schülerinnen und Schüler entwickeln bei einer mittleren Anzahl an Elementen und Relationen Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund linearer Wirkungsanalyse, Antizipation der Wirkung und mäßig ausgeprägter Komplexitätsreduktion.
Stufe 3	Schülerinnen und Schüler identifizieren eine hohe Anzahl an Elementen und Relationen überwiegend komplex und als eindeutig abgrenzbaren Beziehungszusammenhang sowie als Teil verschachtelter Systeme. Ihre Analyse linearer und nicht-linearer Entwicklungsverläufe basiert auf dem Verständnis von Rückkopplungen und Kreisläufen sowie anspruchsvollen Haushaltsbeziehungen, Irreversibilität und Emergenz.	Schülerinnen und Schüler entwickeln bei einer hohen Anzahl an Elementen und Relationen Prognosen und regulative Maßnahmen aufgrund komplexer Wirkungsanalyse, Antizipation der Wirkung und stark ausgeprägter Komplexitätsreduktion sowie dem Bewusstsein eingeschränkter Vorhersagbarkeit.

Kompetenzen in der Betrachtung komplexer Mensch-Umwelt-Systeme. Die validierten Testaufgaben bieten hohes Potenzial zur Anwendung in der Schule. Sie dienen einerseits der Beurteilung und gezielten Förderung von Lernenden und andererseits der Evaluation unterrichtspraktischer Maßnahmen. Damit folgt die Geographiedidaktik dem zukunftsweisenden Paradigmenwechsel in der Bildungspolitik – einer Verschiebung der Unterrichtsziele von einer Input- zu einer Outputseite.

2.3 Ansätze zur Förderung systemischer Denkfähigkeiten

Nach der Verankerung des Systemkonzepts in den Bildungsstandards und der Entwicklung und Validierung von Kompetenzmodellen zur geographischen Systemkompetenz steht die Forderung, Unterrichtskonzeptionen und –methoden zu entwickeln, die das systemische Denken von Schülerinnen und Schülern fördern kann (vgl. REMPFLER UND UPHUES 2011b). In der empirischen Forschung konnten bereits erfolgsversprechende Unterrichtsmethoden und Ansätze zur Förderung belegt werden (vgl. RIESS et al. 2015; MEHREN et al. 2014).

Verfahren zur Veranschaulichung von Systemeigenschaften eignen sich innerhalb eines erfahrungsbasierten Zugangs, vor allem für jüngere Klassenstufen. Erlebnisorientierte Gruppenspiele schaffen ein Bewusstsein für den Aufbau, die Eigenschaften und das Verhalten von Systemen. Bollmann-Zuberbühler et al. (2010) konzipierten und erprobten einen großen Fundus an Spielen und Methoden zur Förderung systemischen Denkens, z. B. die Methode „Mittendrin“. Bei dieser Methode laufen 12-15 Schülerinnen und Schüler in einem abgegrenzten Feld umher. Zuvor hat sich jeder Teilnehmende zwei Personen in Gedanken ausgewählt. Nach dem Startschuss durch die Spielleitung bewegen sich die Teilnehmenden so, dass sie stets den gleichen Abstand zu ihren zwei Mitspielern haben. Jede Bewegung löst dabei weitere Bewegungen aus, sodass fast nie Stillstand entsteht. Falls sich dennoch

ein Gleichgewicht im „System“ eingestellt hat, kann sich durch eine „externe Störung“ (gezieltes Verschieben einer Person durch die Spielleitung) das System wieder verändern. Die Schülerinnen und Schüler lernen hierbei unter anderem, dass einfache Wechselwirkungen zwischen Systemelementen zu komplexen Systemverhaltensweisen führen können.

Als Verfahren zur Förderung der Systemorganisation haben sich der Einsatz des Syndromkonzepts und der Mystery-Methode bewiesen (vgl. RIESS et al. 2015). Das Syndromkonzept wurde vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) entwickelt, um aktuelle Krisen auf der Erde ganzheitlich zu analysieren. Dazu werden die Ursache- und Wirkungsmechanismen verschiedener Bereiche (Hydrosphäre, Atmosphäre, Pedosphäre, Bevölkerung, Biosphäre, Wirtschaft, Psychosoziale Sphäre, Gesellschaftliche Organisation und Technik/Wissenschaft) interdisziplinär betrachtet und daraus einzelne Syndrome abgeleitet. Beispiele dafür sind das Raubbau-Syndrom oder das Sahel-Syndrom. Spätestens seit SCHINDLER (2005) hat das Syndromkonzept Einhalt in der Geographiedidaktik gefunden (vgl. RHODE-JÜCHTERN 2009). Die Mystery-Methode entstammt dem moderat-konstruktivistischen Ansatz des Thinking Through Geography (vgl. LEAT 1999). Die Schülerinnen und Schüler erhalten mithilfe von Kärtchen ungeordnete Informationen zu einem Fallbeispiel. Die Aufgabe besteht darin, die gewonnenen Informationen zu strukturieren, zu gewichten und sinnvoll miteinander in Beziehung zu setzen. Eine anfangs gestellte rätselhafte Leitfrage soll durch das Verständnis und der Analyse der Zusammenhänge gelöst werden. Zur Lösung des Problems eignen sich grafische Repräsentationsformen wie Concept Maps. Die Potenziale der Mystery-Methode liegen in dem eigenständigen Prozess des Strukturierens, dem Entdecken komplexer Zusammenhänge sowie der Nutzung

authentischer Kontexte.

Als Verfahren zur Untersuchung des Systemverhaltens und der Prognosefähigkeit eignen sich Computersimulationen. Computersimulationen sind sinnvoll, wenn das Verhalten komplexer, dynamischer Systeme untersucht werden soll. Simulationsspiele wie LandYOUs (www.landyous.org) oder das Energiespiel Bayern (www.energiespiel.bayern.de) funktionieren nach dem System, dass über mehrere Runden die Parameter so eingestellt werden müssen, dass ein bestimmtes Systemverhalten bewirkt wird. Durch die schrittweise Entwicklung eines Systemverständnisses können erfolgreiche Systemveränderungen vorgenommen werden. Neben diesen Black-Box-Modellen, bei denen die innere Struktur unbekannt ist und sich Erkenntnisse aufgrund der Systemveränderungen von Runde zu Runde zeigen, gibt es Glas-Box-Modelle, welche die einzelnen Systemkomponenten und -zusammenhänge offen darlegen (z. B. VENSIM). Durch eine gezielte Veränderung bestimmter Systemparameter kann das Systemverhalten problemlösend verändert werden (vgl. RIESS et al. 2015)

3. Komplexe Systeme transparent gestalten - Eine Design-Based-Research-Studie zur Förderung geographischer Systemkompetenz

Die empirische Forschung zur Systemkompetenz im geographiedidaktischen Kontext hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Grund dafür sind nicht zuletzt die drei Projekte zur Entwicklung von Systemkompetenzmodellen (vgl. Kap. 2.2) und der anschließenden Forderung nach Unterrichtskonzeptionen auf der Grundlage dieser Modelle (REMPFLER & UPHUES 2011b). Eine Übersicht über Meilensteine geographiedidaktischer Forschung zur Systemkompetenz liefert REMPFLER (2009). Im Folgenden wird ein Forschungsprojekt skizziert, welches den Design-Based-Research-Ansatz nutzt, um der Forderung nach

Unterrichtskonzeptionen nachzukommen und theoretische Erkenntnisse mit praktischen Maßnahmen zu verbinden.

3.1 Problemstellung und Erkenntnisinteresse

Wie im Kap. 2.1 beschrieben, wurde die Entwicklung einer raumbezogenen Handlungskompetenz mit dem Erschließen komplexer Zusammenhänge zwischen natürlichen und gesellschaftlichen Aspekten verschiedener Räume der Erde als Leitziel des Geographieunterrichts festgelegt (vgl. DGfG 2014). Um diesem Ziel näher zu kommen, bedarf es der Förderung einer systemischen Betrachtungsweise bei den Lernenden, basierend auf dem Systemkonzept (vgl. FRISCHKNECHT-TOBLER et al. 2008). Nach der Entwicklung und Validierung theoretischer Kompetenzmodelle steht die Forderung nach der Konzeption und Evaluation geeigneter Unterrichtsarrangements zur Förderung systemischen Denkens (vgl. REMPFLER & UPHUES 2011b). Die Übertragung in die Praxis ist allerdings mit Herausforderungen verbunden. ROST (2005) stellt den kompetenten Umgang mit faktischer Komplexität als eine zentrale Schwierigkeit bei Lernenden heraus. Darüber hinaus stößt der Ansatz der didaktischen Reduktion an seine Grenzen. Auf der einen Seite darf die Komplexität der behandelten Systeme nicht zu gering gewählt werden, weil sonst die Begründungen monokausal oder linear ausfallen. Auf der anderen Seite darf das System nicht zu komplex sein, damit die Lernenden nicht überfordert sind (vgl. MEHREN et al. 2014). Diesen schmalen Grat zu finden, stellt eine große Herausforderung für Lehrende und Lernende dar. Auf der Basis dieser Problemstellung soll mithilfe des Design-Based-Research-Ansatzes eine Unterrichtskonzeption entwickelt und evaluiert werden, welche den Lernenden einen kompetenten Umgang mit komplexen Sachlagen ermöglicht. Für die Unterrichtskonzeption wird sich an der Mystery-Methode (vgl. Kap. 2.3) orientiert.

3.2 Forschungsansatz: Design-Based Research

Der Design-Based-Research-Ansatz (DBR) begegnet dem von vielen Pädagogen diskutierten Theorie-Praxis-Problem des geringen Transfers empirischer Forschungsergebnisse in die Praxis (vgl. MESSNER 2001; STARK & MANDL 2001). Viele Erkenntnisse der Grundlagenforschung gelangen nicht zur Anwendung, da es an einer Aufbereitung entsprechender Erkenntnisse für die Praxisakteure fehlt oder die experimentellen Laboruntersuchungen nicht in der Feldforschung nachgeprüft wurden. Ziel des DBR-Ansatzes ist es demnach, praktische und wissenschaftliche Maßnahmen miteinander zu verbinden, indem Lernszenarien entwickelt und simultan dazu Fortschritte in der Theoriebildung erzielt werden (vgl. REINMANN 2015).

Das Forschungsziel des DBR bildet die Verbesserung eines Unterrichtskonzepts in einem realen Setting. Nach der Problemanalyse wird der Design-Zyklus eingeleitet (Abbildung 3). Dieser enthält die chronologischen Phasen des Entwurfs, der Umsetzung, der Analyse und der Überarbeitung. Ist eine Überarbeitung sinnvoll, so wird der Zyklus wiederholt, bis

die Zielvorgaben erreicht wurden oder sich eine Stagnation eingestellt hat. Am Ende werden die Ergebnisse der iterativen Zyklen interpretiert. Damit liefert der DBR-Prozess zwei wichtige Resultate: Einerseits können verallgemeinerte Gestaltungsempfehlungen aus der Entwicklung des konkreten Designs abgeleitet werden. Andererseits können die Ergebnisse einer Lernprozessanalyse ausgewählte Fragestellungen zum jeweiligen Forschungsinteresse beantworten (vgl. REINMANN 2015).

3.3 Arbeitsstand und Ausblick

In einer Literaturrecherche wurden die möglichen Kompetenzmodelle zur geographischen Systemkompetenz gesichtet und verglichen. Darüber hinaus wurden Potenziale und Probleme bei der Förderung systemischen Denkens im Geographieunterricht analysiert. Außerdem wurden Testinstrumente zur Messung der systemischen Denkfähigkeit recherchiert und deren Eignung für das aufgeführte Vorhaben bewertet. Im Anschluss wurden Interviews mit Lehrenden (N=5) geführt. Aus diesen Interviews wurde extrahiert, wie Lehrende das systemische Denken ihrer Schülerinnen und Schüler fördern, wie sie den

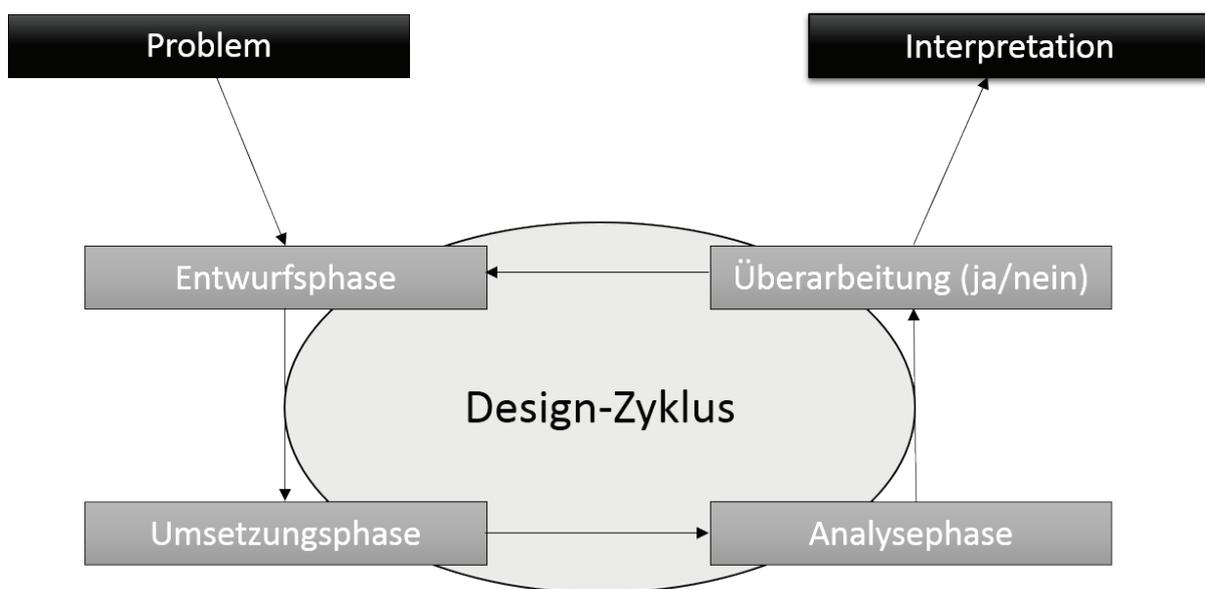


Abb. 3 : Zyklischer Ablauf des Design-Based Research (Quelle: eigene Darstellung) | Cyclic process of Design-based Research (Reference: Own representation)

Umgang ihrer Schülerinnen und Schüler im Umgang mit komplexen Fragestellungen bewerten und welche Potenziale und Probleme sie bei der Förderung systemischen Denkens sehen.

Auf der Grundlage dieser empirischen und praktischen Erkenntnisse zu Lehr-Lernprozessen im Kontext systemischen Denkens wird in der Folge ein Unterrichtskonzept für die Klassenstufe 9 in Anlehnung an die Mystery-Methode konzipiert. Das entwickelte Design wird mehrere Umsetzungs-Analyse-Zyklen im schulischen Kontext durchlaufen. Zur Analyse und Bewertung des Forschungsprozesses werden in Anlehnung an EULER (2014) Design-Prinzipien festgelegt. Nach jedem Zyklus werden diese kontrolliert und ausdifferenziert, sodass am Ende allgemeine Gestaltungsempfehlungen abgeleitet werden können.

4. Fazit

Der Artikel zeigt, dass sich die Geographiedidaktik der Entwicklung und Förderung zukünftig entscheidender Kompetenzen angenommen hat. Mit der Implementierung des Systemkonzepts in den Bildungsstandards und der Zielfestlegung einer zu entwickelnden raumbezogenen Handlungskompetenz wurde die curriculare Grundlage geschaffen, komplexe Mensch-Umwelt-Fragestellungen in den Schulunterricht zu integrieren. Auch in der geographiedidaktischen Forschung wird der Förderung einer Systemkompetenz ein hoher Stellenwert beigemessen. Theoretisch-fundierte und validierte Kompetenzmodelle wurden in Großprojekten entwickelt, welche die Grundlagen für nachfolgende, praxisnahe Forschungsprojekte bieten. Der Design-Based-Research-Ansatz stellt eine geeignete Methode für anschließende Forschungsvorhaben dar, weil er theoretisch-fundierte Unterrichtskonzeptionen in einem praxisnahen Setting iterativ überprüft und sowohl für die Praxis als auch für die Theoriebildung Fortschritte erzielen kann.

5. Literaturverzeichnis

- BECKER, E. & JAHN, T. (Hrsg.) (2006): Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen. Campus, Frankfurt am Main, New York.
- BERTALANFFY, L. (1968): General System Theory. New York.
- BÖGEHOLZ, S. & BARKMANN, J. (2005): Rational Choice and beyond: Handlungsorientierende Kompetenzen für den Umgang mit faktischer und ethischer Komplexität. In: KLEE, R. & SANDMANN, A. (eds.): Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik: 211–224, Innsbruck.
- BOLLMANN-ZUBERBÜHLER, B., FRISCHKNECHT-TOBLER, U., KUNZ, P., NAGEL, U. & WILHELM HAMITI, S. (2010): Systemisches Denken fördern - Systemtraining und Unterrichtsreihen zum vernetzten Denken. Bern.
- DGfG - Deutsche Gesellschaft für Geographie (2014): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss - mit Aufgabenbeispielen. Selbstverlag Deutsche Gesellschaft für Geographie, Bonn.
- EGNER, H. & RATTER, B. (2008): Einführung: Wozu Systemtheorie(n). In: H. EGNER, H., RATTER, B. & DIKAU, R. (Hrsg.): Umwelt als System - System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand: 9–19, Oekom, München.
- EGNER, H. (2008): Gesellschaft, Mensch, Umwelt - beobachtet. Ein Beitrag zur Theorie der Geographie. F. Steiner, Stuttgart.
- EULER, D. (2014): Design-Research – a paradigm under development. In: D. Euler, D. & PSloane, P. F. E. (eds.): Design-Based Research: 15–44, Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- FRISCHKNECHT-TOBLER, U.; KUNZ, P.; NAGEL, U. (2008): Systemdenken - Begriffe, Konzepte und Definitionen. In: FRISCHKNECHT-TOBLER, U. (Hrsg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendlichen komplexe Systeme verstehen

- lernen: 11-31, Pestalozzianum, Zürich.
- HEMMER, I., HEMMER, M., OBERMAIER, G. & UPHUES, R. (2008): Räumliche Orientierung. Eine empirische Untersuchung zur Relevanz des Kompetenzbereichs aus der Perspektive von Gesellschaft und Experten. In: *Geographie und ihre Didaktik* 36 (1), 17–32.
- HERGET, M. (2003): Bildung für nachhaltige Entwicklung und die Herausforderung Komplexität. Institut für Umweltkommunikation. Lüneburg. Online verfügbar unter http://www.leuphana.de/fileadmin/user_upload/Forschungseinrichtungen/infu/files/infu-reihe/18_03.pdf, zuletzt geprüft am 09.10.2015.
- KÖCK, H. (2008): Thesen zur innergeographischen Integration von natur- und sozialwissenschaftlicher Dimension als Voraussetzung für eine mögliche Brückenfunktion. In: *geographische revue* 10 (1), 31–39.
- LEAT, D. (1999): *Thinking through geography*. Kington, London.
- LESER, H. (1991): *Landschaftsökologie. Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung : mit einem Beitrag zum Prozeß-Korrelations-Systemmodell*. Ulmer, Stuttgart.
- LIEHR, S., BECKER, E., & KEIL, F. (2006): Systemdynamiken. In: BECKER, E. & JAHN, T. (eds.): *Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen*: 267–283, Campus, Frankfurt am Main, New York.
- LIPPUNER, R. (2008): Die Abhängigkeit unabhängiger Systeme. Zur strukturellen Kopplung von Gesellschaft und Umwelt. In: EGNER, H., RATTER, B. & DIKAU, R. (Hrsg.): *Umwelt als System - System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*: 103–117, Oekom, München.
- LUHMANN, N. (1984): *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp.
- LUX, A., JANOWICZ, C. & HUMMEL, D. (2006): Versorgungssysteme. In: BECKER, E. & JAHN, T. (eds.): *Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen*: 423–433, Campus, Frankfurt am Main, New York.
- MEHREN, R., REMPFLER, A. & ULRICH-RIEDHAMMER, E.-M. (2014): Denken in komplexen Zusammenhängen. In: *Praxis Geographie* (4), 4–8.
- MEHREN, R., REMPFLER, A., ULRICH-RIEDHAMMER, E.-M., BUCHOLZ, J. & HARTIG, J. (2015): Wie lässt sich Systemdenken messen? Darstellung eines empirisch validierten Kompetenzmodells zur Erfassung geographischer Systemkompetenz. In: *Geographie aktuell & Schule* 37 (215), 4–16.
- MESSNER, R. (2001): Szenarien zur Bearbeitung des Theorie-Praxis-Problems in der Lehrerbildung. In: *Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung* (2), 10–19.
- OHL, U. (2013): Komplexität und Kontroversität. In: *Praxis Geographie* (3), 4–8.
- RATTER, B. & TREILING, T. (2008): Komplexität - oder was bedeuten die Pfeile zwischen den Kästchen? In: EGNER, H., B. RATTER, B. & DIKAU, R. (eds.): *Umwelt als System - System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*: 23–38, Oekom, München.
- REINMANN, G. (2015): *Design-based Research*. In: SCHEMA, D. & NOVAK, H. (eds.): *Gestaltungsorientierte Forschung in Innovations- und Entwicklungsprogrammen – Potenzial für Praxisgestaltung und Theoriebildung*. Bonn.
- REMPFLER, A. (2009): Systemkompetenz: Forschungsstand und Forschungsfragen. In: *Geographie und ihre Didaktik* 37 (2), 58–79.
- REMPFLER, A. & UPHUES, R. (2010): Sozialökologisches Systemverständnis: Grundlage für die Modellierung von geographischer Systemkompetenz. In: *Geographie und ihre Didaktik* (4), 205–217.
- REMPFLER, A. & UPHUES, R. (2011a): Für ein adäquates Verständnis von Geosystemen.

- In: *Geographie und Schule* 33 (189), 4–10.
- REMPFLER, A. & UPHUES, R. (2011b): Systemkompetenz im Geographieunterricht - Die Entwicklung eines Kompetenzmodells. In: Meyer, C. (eds.): *Geographische Bildung. Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis*: 36–48, Westermann, Braunschweig.
- RHODE-JÜCHTERN, T. (2009): *Eckpunkte einer modernen Geographiedidaktik*. Kallmeyer, Seelze.
- RIESS, W., SCHULER, S. & HÖRSCH, C. (2015): Wie lässt sich systemisches Denken vermitteln und fördern? Theoretische Grundlagen und praktische Umsetzung am Beispiel eines Seminars für Lehramtsstudierende. In: *Geographie aktuell & Schule* 37 (215), 16–29.
- ROST, J. (2005): Messung von Kompetenzen Globalen Lernens. In: *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik* 28 (2), 14–18.
- SCHEUNPFLUG, A. & SCHRÖCK, N. (2000): *Globales Lernen. Einführung in eine pädagogische Konzeption zur entwicklungsbezogenen Bildung*. Stuttgart.
- SCHEUNPFLUG, A. (2001): *Biologische Grundlagen des Lernens*. Cornelsen Scriptor, Berlin.
- SCHINDLER, J. (2005): *Syndromansatz. Ein praktisches Instrument für die Geographiedidaktik*. LIT, Münster.
- STARK, R. & MANDL, H. (2001): *Die Kluft zwischen Theorie und Praxis - ein unlösbares Problem für die pädagogisch-psychologische Forschung?* Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- WARDENGA, U. & WEICHHART, P. (2006): *Sozialökologische Interaktionsmodelle und Systemtheorien - Ansätze einer theoretischen Begründung integrativer Projekte in der Geographie?* In: *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft* (148), 9–31.
- WEINERT, F. E. (2001): *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit*. In: WEINERT, F.E. (ed.): *Leistungsmessungen in Schulen*: 17–31, Beltz, Weinheim.

PREVENTION OF GROUNDWATER WELLS FROM SALINIZATION BY SUBSURFACE DAMS: A 2D NUMERICAL MODELLING APPROACH

GABRIEL KNORR¹, REINER STOLLBERG², NANDIMANDALAM JANARDHANA RAJU³, PETER WYCISK¹, WOLFGANG GOSSSEL¹

¹Martin-Luther-Universität Halle, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Von-Seckendorff Platz 3, 06120 Halle, Tel. 03455526136, FAX 03455527220, email wolfgang.gossel@geo.uni-halle.de

²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Permoser Str. 15, 04318 Leipzig

³School of Environmental Sciences, Jawaharlal Nehru University, 110067 New Delhi

Schlüsselwörter: Unterirdische Dämme, Salzwasserintrusion, Grundwassermanagement, Trinkwasserversorgung

Keywords: Subsurface dam, hydraulic barrier, saltwater intrusion, groundwater management, drinking water supply

Zusammenfassung

Eine anhaltende Salzwasserintrusion bei Sullurpeta (Andhra Pradesh, Indien) führte zur Versalzung der Haupttrinkwasserfassungen der Region und beeinträchtigte die regionale Wasserversorgung. Die installierten Versorgungsbrunnen sind überwiegend im Flussbett des Kalangi verfiltert. Im Jahr 2005 wurden entsprechende Abwehrmaßnahmen implementiert, welche zu einer nachhaltigen Reduzierung der Salzgehalte in den Fassungsanlagen führte. Mit Hilfe eines numerischen, dichtegekoppelten 2-D Grundwassermodells wurde die Implementierung einer hydraulischen Barriere (unterirdischer Damm) zur Abwehr einströmender salzhaltiger Wassermassen reproduziert und entsprechende Maßnahmen hinsichtlich ihrer Langfristwirkung auf das hydrogeologische System simuliert. Dafür wurde ein für die Zielregion typisches hydrogeologisches Profil in ein Finite-Elemente Modell überführt.

Die Simulation der ergriffenen hydraulischen Maßnahmen bestätigt eine erfolgreiche und nachhaltige Funktionsweise des unterirdischen Damms zur Unterbindung der Salzwasserintrusion. Weitere numerische Untersuchungen wurden hinsichtlich der hydraulischen Durchlässigkeit von möglichen und für die Dammkonstruktion geeigneten Sedimenten unternommen. Auch wurden verschiedene Brunnenförderszenarien hinsichtlich ihres Einfluss auf die Qualität von den geförderten Wassermassen simuliert und dienen damit der Optimierung der hydraulischen Maßnahme.

Abstract

Onward saltwater intrusion into the freshwater re-

sources in the area of Sullurpeta (Andhra Pradesh, India) led to a major salinization problem of local ground water wells and impaired the quality of extracted freshwater water volumes regionally. The installed production wells are mainly tapping the riverbed sediments of the Kalangi River. In the year 2005, technical measures for the reduction and long-term prevention of high salinization levels were installed successfully. The implementation of a subsurface dam was simulated regarding its hydraulic effectiveness based on a 2-D density-driven groundwater flow model. Additionally, further supporting technical measures were modelled for optimization reasons. Here, the numerical 2-D model reflects a characteristic riverbed/aquifer sequence of the study area.

The numerical reproduction of installed hydraulic measures states a successful and sustainable implementation of the subsurface dam with respect to various production scenarios. In addition, further simulations were carried out to evaluate the influence of variable permeabilities of available natural construction materials (sediments) on the effectiveness of the hydraulic barrier.

1. Introduction

According to SHERBIN (2007), about 40% of the world's population live in a coastal zone of 100 km to the sea which are depending on freshwater resources. The phenomenon of saltwater intrusion constitutes a research objective already since the late 19th century. GHYBEN (1888) and HERZBERG (1901) worked on the estimation of spatial dimensions of freshwater lenses ("Ghyben-Herz-

berg Lens”) by using analytical models. Oftentimes, the overexploitation of groundwater in coastal aquifers initiates marine saltwater influxes which result in a salinization of the near shoreline freshwater resources.

Generally, estuaries and related surface waters are mainly carrying freshwater resources but frequently also tend to classify brackish inland water reserves due to temporal hydraulic impacts such as high tides or droughts. Such a phenomenon and the accompanying salinization of freshwater resources are observed in the river basin of the Kalangi River, near the Pulicat Lake in India. In Sullurpeta, nearby the Pulicat Lake, saltwater intrusion and the salinization of water production wells became a major problem due to the overexploitation of groundwater resources and reduced rainfalls in recent years. In particular the so called “SHAR well”, the main water production well for domestic water supply at the area of the Sriharikota Space Center (SHAR) was effected. This well is located near the Holy Cross School and produces water from the Kalangi river bed sediments. To overcome the salinization problem, a clayey subsurface dam (SSD) and an overlaid cement mortar check dam (20 m in both directions) were constructed in the river bed, 45 m downstream of the “SHAR well” in 2005. A

rapid and substantial improvement of the regional groundwater quality was proven from groundwater monitoring and other indications such as Simpson ratio classification as a result. This paper addresses the long-term effectiveness and efficiency of the realized building measures for salinization prevention of the “SHAR well” by density driven fluid flow and transport modelling. Similar incidents were recently reported e.g. from the Kolleru Lake, India (HARIKRISHNA et al. 2012) or study sites from Egypt (SHERIF et al. 2012) and Tunisia (GAALOUL et al. 2012) etc. A detailed overview about ongoing research and related perspectives on saltwater intrusion is given by WERNER et al. (2013).

2. Study area

According to fig. 1, the study region is located in direct vicinity of the city Sullurpeta and the Kalangi River, a hundred kilometres north of Chennai, State Andhra Pradesh, south-east of India. Sullurpeta is a major town of the study area and is having a population of about 50,000 inhabitants.

The alluvial sequence of the south-eastern Coromandel Coastline is about 700 kilometres long and reaches between 5 to 25 kilometres into the inland. The Kalangi River drains a basin of about 475 km² and is joining the

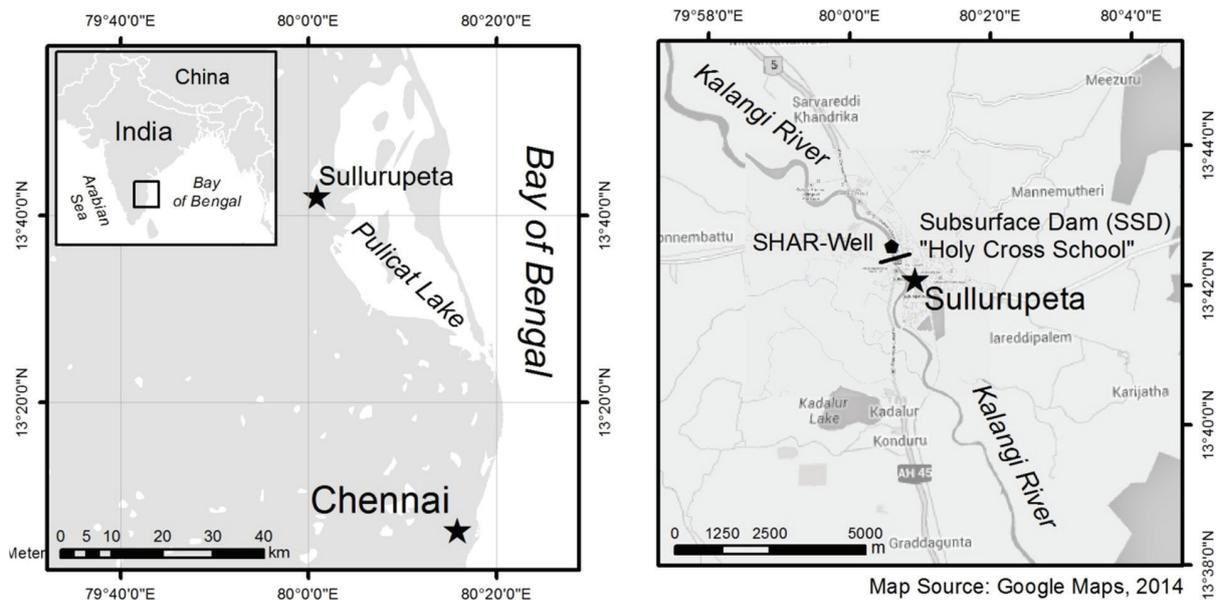


Fig. 1: Location of the study area of Sullurpeta

salty Pulicat Lake and the Bay of Bengal, respectively. A constant water flow is only observed for about three months within a year. This period represents the main rainy season from October to December. During the rest of the year the water flows and the stream gauges are noticeably reduced. The river course is predominantly meandered nearby the study area of Sullurpeta.

3. Geology and Hydrogeology

The subsurface settings of the study domain are described in detail by REDDY et al. (2006) and RAJU et al. (2013) and are presented here only as an overview. The region is widely covered by Cenozoic sediments consisting of clays, sands, pebbles and smaller boulders. The alluvial sediments (Holocene) are mainly present along the Kalangi river course. Locally, laterites are cropping out at the surface and attest an intensive and long-lasting weathering of the underlying parent rocks under wet tropical conditions. The bedrock unit is formed by archaic granitic gneisses and is related to the Peninsular Gneissic Complex (Geological Survey of India, 2005). The overlying laterites can still contain matrix features of their source rocks.

At the study location (Holy Cross School,

Sullurpeta; fig. 2) the bedrock was encountered at a depth of 12 meters below ground surface. The hardrock unit is overlaid by 1 to 6 meters thick clay and is followed by a sandy sequence of about 6.5 meters in average. Fluvial riverbed sediments of the Kalangi are present in the top of this sandy sequence. These horizons are partially overlaid by lateritic clays and/or pedogenesis of up to 4 meters in thickness.

The riverbed underlying sandy horizon carries significant quantities of groundwater, especially during the rainy season. The aquifer's yield enables pumping rates of up to 70 m³ per hour in maximum. During the dry season, in the beginning of April, the groundwater table was found to be 0.5 m below the surface water table of the Kalangi and gradually dropped to about 6.0 m by the end of June (MUNIRATNAM, 2004). Many wells in the region of Sullurpeta produce water from the high conductive riverbed sediments like the "SHAR well". The water production in the region of Sullurpeta reached up to 1500 m³ per day during the rainy season and to about 800 m³ per day during the dry season. Higher pumping rates have not been possible as rapidly increasing salinity levels (app.1000 – 1100 mg/L) in the aquifer were observed.

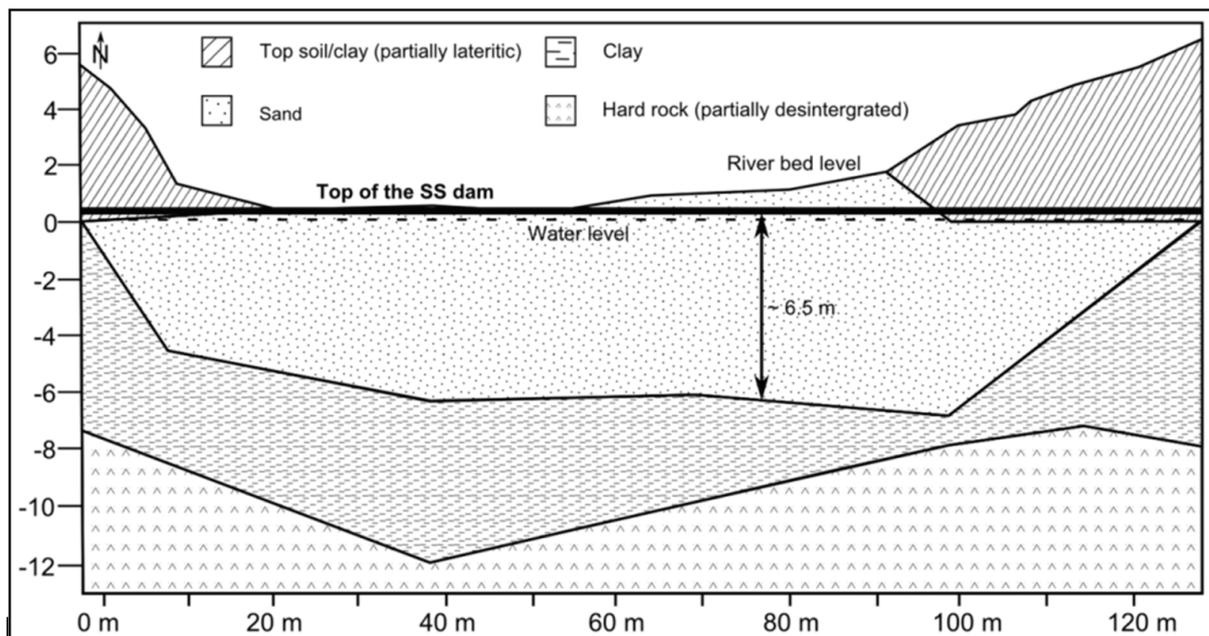


Fig. 2: Lithological profile through (perpendicular) the Kalangi river bed at the Holy Cross School.

The salinization of groundwater is not caused by intruding seawater through the aquifer as initially assumed, but rather by the infiltration of high saline stream water through the Kalangi riverbed. The groyne built at the Kalangi River estuary in 1984 was damaged and turned out to be insufficient against the intrusion of brackish saltwater originating from the Pulicat Lake. The distance between the groyne and Sullurpeta is about 10 kilometres. Surface water sampling revealed high salinization levels in river water. Furthermore, contaminated surface waters infiltrated into adjacent aquifers and anthropogenic activities intensified these effects.

After the successful implementation of the subsurface dam in July 2005 the onward saltwater intrusion was averted and the groundwater quality could be improved. Salt concentration levels in groundwater decreased from app. 1000 mg/L to 300 mg/L within one month. Furthermore, the groundwater production could be increased to about 2500 m³ per day during the rainy season and 1700 m³ per day during the dry season, respectively.

4. Methods and modelling approach

The numerical study was conducted by using a density-coupled finite element groundwater flow and transport model setup. The simulation code used was FEFLOW 6.0. The cross-sectional 2-D model is parallel to the Kalangi River course and represents the superficial aquifer sequence below the riverbed. The spatial dimensions are 150.0 m x 16.0 m. The riverbed slope nearby the “SHAR well” is approximately 0.33% (RAJU et al. 2013). Four lithological units were assigned to the numerical model to incorporate the structural and hydraulic settings of the study

region. According to Tab. 1, the sandy units of the superficial aquifer are of major interest in relation to the salinization problem and the current model study. In addition, the underlying clay horizon and basement are mainly impermeable and therefore predominantly act as aquitard layers.

Due to upwinding the methods “No upwinding” and “Full upwinding” considered as not suitable for the modelling. Firstly for reasons of stability and secondly, according FROLOVIC & SHEPPER (2000), the “Full upwinding”-method is less appropriate for density-coupled transport processes because of a lot of unnecessary smoothing effects/are caused by the large amount of artificial dispersion. That affects the result in its representativeness. The basic idea of the “Shock capturing”-method is a nonlinear, anisotropic damping factor which removes numerical oscillations only at the discontinuities and in the direct neighbourhood. The consequence is a severely limited amount of artificial dispersion (DIERSCH 2009). For this reason the method considered is the most appropriate. Moreover, it corresponds to the nonlinear problem issue and it represents a compromise between representativeness (“No upwinding”) and stability (“Full upwinding”). The 2400 m² wide model domain was discretized into 44,077 triangular mesh elements and contains 22,461 computational nodes. The simulation time of the following invariant model scenarios was defined to 3650 days.

Three model scenarios were simulated and analysed concerning their hydraulic characteristics and mass fluxes (see also fig. 3 below):

Table 1: Lithological units and related parameters for hydraulic model characterization

Lithological units	Thickness [m]	k _F [m/s]	S _s [1/m]	ε [l]
Sand	6.5	10 ⁻³	10 ⁻⁴	0.2
Clay	5	10 ⁻⁹	10 ⁻³	0.05
Weathered bedrock	1.5	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	0.1
Bedrock (gneiss)	3.5	10 ⁻¹²	10 ⁻⁴	0.025

1. Density-coupled flow and transport modelling without any anthropogenic activities such as groundwater extraction (“SHAR well”) or subsurface dams; (= saltwater intrusion through brackish water influxes under natural conditions)
2. Density-coupled flow and transport modelling and the implementation of an active groundwater production through an extraction well in a depth of 4.3 m below river bed (“SHAR well”) (= saltwater intrusion and spatial distribution of saline waters in freshwater aquifers in consideration of anthropogenic interferences)
3. Density-coupled flow and transport modelling which incorporates active groundwater production (“SHAR well”) in combination with active hydraulic measures (subsurface dam) (= saltwater intrusion and spatial distribution of saline waters in freshwater aquifers in consideration of anthropogenic interferences)

For respective transport modelling, the hydrodynamic dispersion was assigned iteratively to: longitudinal dispersion: 2.5 m;

transversal dispersion: 0.25 m. The molecular diffusion was left at the default FEFLOW setting: 10^{-9} m²/s.

According to fig. 3, the following boundary conditions (BC) were assigned to the numerical model:

A constant saltwater head (1st kind flow BC - SWH) and a constant mass concentration of 5000 mg/L (1st kind mass BC - C_s) were assigned to the right border of the aquifer domain for representing the saltwater front. For density-driven problems, the freshwater head h_{fw} is handled as follows:

$$h_{fw} = h_{sw} + \alpha \cdot (h_{sw} - y)$$

Where h_{sw} represents the assigned saltwater head, $\bar{\alpha}$ the predefined density ratio and y the spatial coordinate of the model domain. The density ratio was set globally to 0.0035 and describes the ration between the occurring maximum and minimum densities of the density-dependent transport problem. In addition, a constraint was added to the mass BC to make sure that only inflows will be affected by the mass flux and outflows remain unaffected.

Moreover, a groundwater influx (2nd kind flow BC – influx) paired with a constant mass

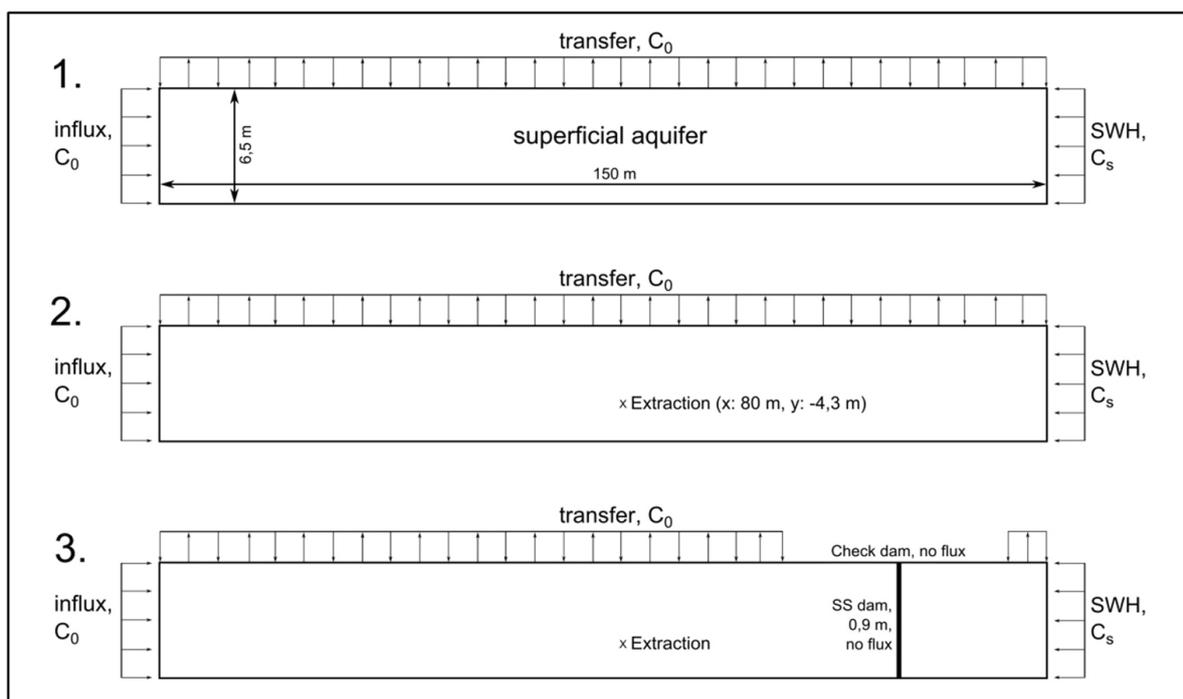


Fig. 3: Realized, consecutive, three-step modelling approach and BC of the numerical model.

boundary condition of 0 mg/L (1st kind mass BC – C_0) was defined along the left border of the model domain for representing freshwater inflow. The groundwater influx BC was set to be time-variant in order to characterize annual seasonality due to e.g. climatic variability.

A transfer flow boundary condition (3rd kind flow BC – transfer) was assigned to the model's top for representing the exchange between the Kalangi River and the underlying sediments based on surface water level variations. Time-variant water levels were derived from available stream gauge data. According to RAJU et al. (2013), the Kalangi is entirely carrying freshwater and therefore a constant mass boundary (1st kind mass BC – C_0) of 0 mg/L was defined.

For the second and third simulation scenario an extraction well was implemented in the model domain by using a Well BC (in FEFLOW 4th kind). This extraction measure represents the “SHAR well” that exploits water from the sandy alluvium in a depth of 4.3 m below river bed. Time-variant extraction rates differ seasonally and are in the proportion of 1:1.8 (dry/rainy season).

A subsurface dam was simulated in the third modelling scenario. Therefore, a 0.9 m wide dam was realized in the model which stretches across the whole vertical sandy sequence and intrudes 0.5 m in the underlying clay horizon. The hydraulic conductivity of the dam material was assigned to 10-10 m/s. For this scenario, the extraction rates of the implemented “SHAR well” were doubled.

The model characterization and parameterization is mainly based on available information from previous studies given in MUNIRATNAM (2004), RAJU et al. (2006), RAMAKRISHNAN & VAIDYANADHAN (2008) and RAJU et al. (2013). Due to a lack of groundwater monitoring data, the model calibration mainly focuses the reproduction of observed aquifer dynamics such as the seasonal salinization of the freshwater aquifer during the dry season paired with measured salinities in the range of 1000-1100 mg/L.

5. Results

According to the simulation results obtained from the 1st modelling scenario, a distinctive intrusion of saline waters is observed predominantly during the dry season from February to April. In consequence of low net recharge and low groundwater levels during this period, saline waters can enter the aquifer continuously due to reduced hydrostatic counterpressures and increased density contrasts. Several spatially limited mixing zones were outlined from the simulation results along the intrusion front. These zones then form a joint mixing cell and even accelerate the whole intrusion process due to given density contrasts. According to DIERSCH (2014), this phenomenon is described as “fingering”.

With respect to the cross-section through the superficial aquifer in fig. 4 (on top), the intrusion front reaches its maximum at the end of the dry season in July and is of about 34 meters in length. The saltwater intrudes in a form of a wedge into the freshwater body. High precipitation rates from August to December go along with increased freshwater inflows which then initiate a complete push back of the salinization front within 2.5 months. Then, inflows continue loading the aquifer for more than 6 weeks until the annual intrusion dynamic restarts again.

Active groundwater extraction of the “SHAR well” (2nd modelling scenario) leads to extensive impacts on the natural groundwater flow dynamics and saltwater distribution pattern. According to fig. 4 (in the middle), the saltwater front is reaching the well location unhindered and high salinities are spread over wide areas of the aquifer and no “classic” intrusion wedge is distinguishable anymore. Salinities of about 1000-1100 mg/L are reproduced by the model at the well location which correlates with available monitoring data of the “SHAR well” reported in RAJU et al. (2013). Upcoming effects as described by BEAR & CHENG (2010) could not be identified.

Observed salinity concentrations rapidly decrease in close vicinity of the extraction well.

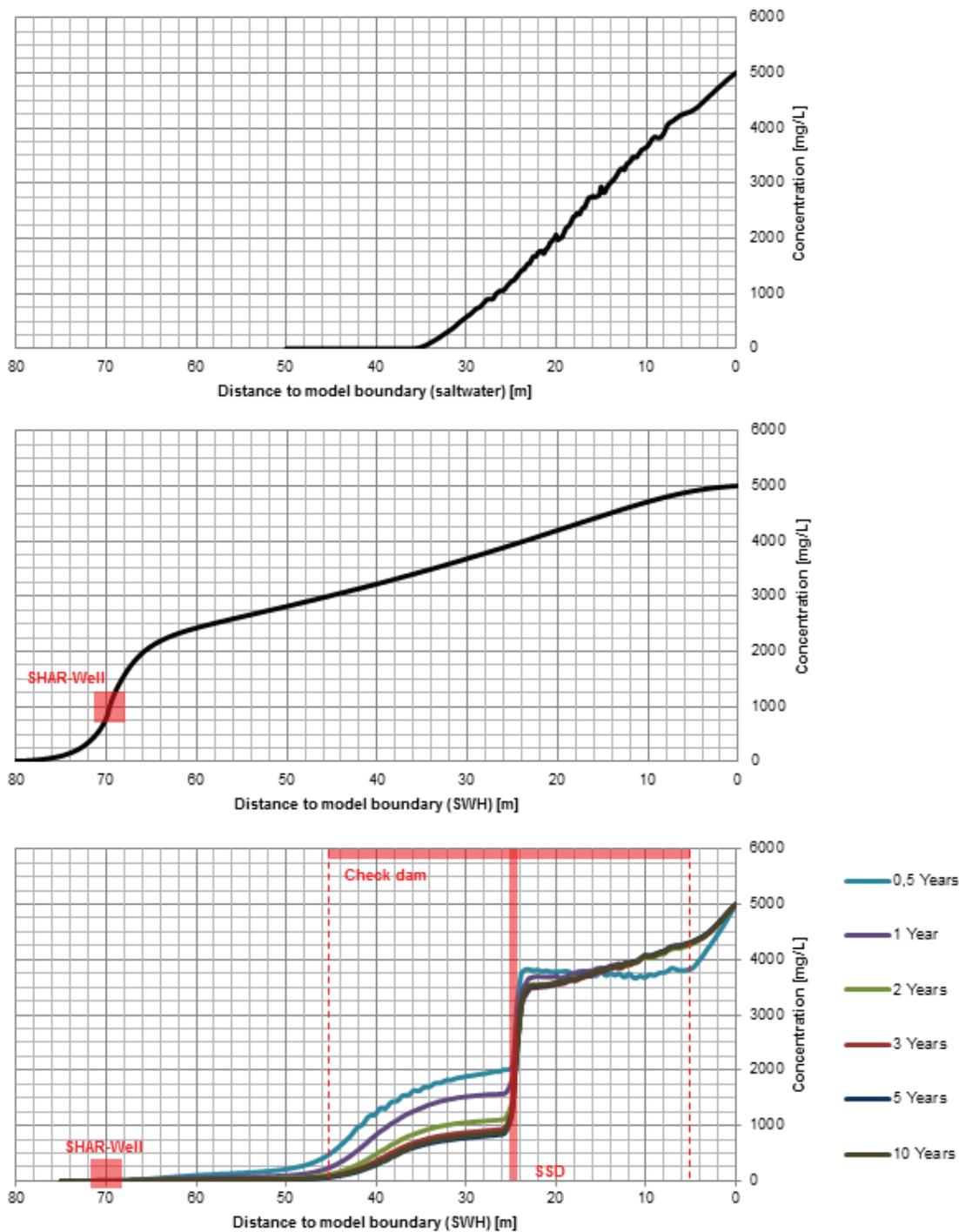


Fig. 4: All cross-sections through the superficial aquifer are orientated at a depth of 4.3 m. 1st modelling scenario (on top): A distinctive salinization front is present in the aquifer at the end of the dry season: the high salinities (5000 mg/L) at the right model boundary (mass BC - CS) are decreasing towards the aquifer’s centre along a length of approximately 34 meters. 2nd modelling scenario (in the middle): Spatial dimension of the saline intrusion front in consideration of active groundwater production at the “SHAR well” location (red mark): salinity levels from groundwater monitoring of about 1050 mg/L could be reproduced by the calibrated model. 3rd modelling scenario (below): The hydraulic barrier effect of the installed subsurface dam (red line – SSD) successfully impedes an intrusion of saline waters and reduces the salinity levels at the “SHAR well”. Model results indicate that steady-state conditions will be reached after app. 3 years of active groundwater withdrawal after dam construction.

While under natural conditions (1st modelling scenario) the maximum of saltwater intrusion is reached after seven months of the monsoon, the salinization front in consideration of active water extraction (2nd modelling scenario) already forms its maximum after two months in February/March. During the dry season the production well is predominantly extracting saline downstream waters while during the rainy season mainly upstream freshwater is withdrawn.

A subsurface dam was implemented as a hydraulic measure for the prevention of aquifer salinization in 2005. With respect to the simulation results of the 3rd modelling scenario, it can be concluded that this construction widely influences the hydraulic regime and led to a significant reduction of monitored salinities within the aquifer (fig. 4 below). Based on the findings, the subsurface dam successfully blocks an upstream salinization front in regards to an active groundwater production of the “SHAR well”. A sustainable hydraulic effectiveness can be stated in the long-term. Salinities of about 1000 mg/L are expected to be present in the downstream next to the subsurface dam and then decline in direction to the extraction well location.

The observed salinity levels at the “SHAR well” could be reduced significantly from app. 1050 mg/L to less than 100 mg/L within a few weeks and could be proven to be stable in the long-term (fig. 5). The well primarily extracts non-saline freshwater (app. 80% during the dry season and app. 90% during the rainy season) and only secondarily surface water (app. 20% during the dry season and 10% during the rainy season) which infiltrates through the riverbed.

This surface water influx is estimated to range between 0.06 (rainy season) and 0.09 m³/m²/d (dry season). According to fig. 6 (on top), the model indicates that active pumping is essential for ensuring the effectiveness of the dam for salinization prevention. Moreover, lower pumping rates would result in higher salinization levels and a large saltwa-

ter intrusion front, respectively.

Different hydraulic conductivities of the construction material for the dam were tested regarding their hydraulic effectiveness. With respect to the results shown in fig. 6 (below), it can be stated that materials or sediments with hydraulic conductivities of higher than 10⁻⁶ m/s, such as fine sands, are not suitable for providing an effective hydraulic barrier effect. Hydraulic conductivities of 10⁻⁷ m/s (silty/clayey sands) reduce observed salinities and increase the hydraulic effectiveness, but increased water fluctuations are still indicated by the model. Material hydraulic conductivities (clayey silt or clay) of 10⁻⁸ m/s or lower ensure a sufficient hydraulic barrier effect and avoid any water fluctuations. A higher hydraulic effectiveness of even lower permeable materials than 10⁻⁸ m/s could not be identified through model simulations.

6. Discussion and conclusions

The presented study focused on the evaluation of effectiveness and efficiency of a subsurface dam for preventing groundwater production wells from salinization. Therefore, three different modelling scenarios were analysed for the characterisation of groundwater flow dynamics and the dimensioning of saltwater intrusions.

Results of the 1st modelling scenario do not show a sharp freshwater/saltwater front as expected and rather indicate a smooth transition zone. Therefore, the analytical so-called sharp-interface methods of GHYBEN-HERZBERG (1888, 1901), GLOVER (1959) or STACK (1976) should only find limited methodological application when addressing nonlinear saltwater intrusion problems. Similar findings are presented in KOPSIAFTIS et al. (2009).

With respect to the hydraulic effectiveness of the subsurface dam it can be stated that an appropriate functionality could be proven based on model simulations made. At this stage, further active hydraulic improvements are not needed. Established drinking water standards in relation to expected salt

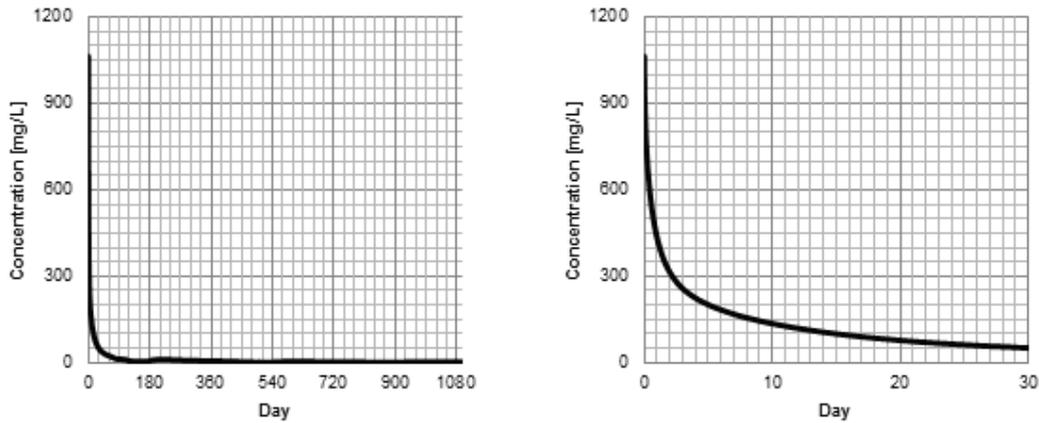


Fig. 5: Left: Significant reduction of high salt concentrations at the “SHAR well” location (extraction) after about 30 days of the implementation of the subsurface dam with respect to active water extraction. Right: Long-term hydraulic effectiveness can be stated based on model simulations.

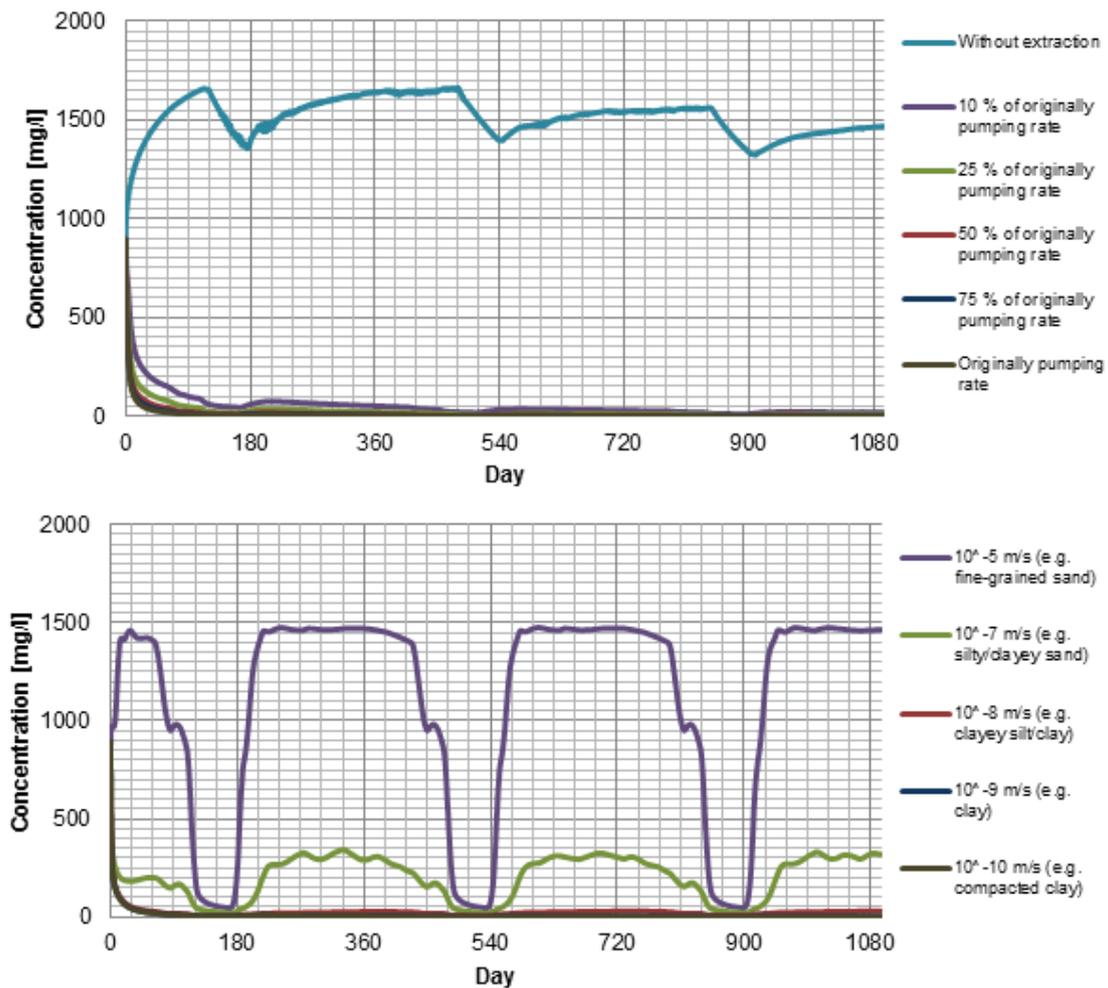


Fig. 6: Influence of variable pumping rates on salinity levels at the “SHAR well” (on top). Influence of different materials and hydraulic conductivities on the hydraulic barrier effect of the subsurface dam (below).

concentrations are fulfilled, but should be monitored permanently in appropriate intervals. Numerical investigations on acceptable hydraulic conductivities for construction materials of subsurface dams indicate to be at least in the magnitude of 10-8 m/s for an effective implementation. Moreover, an ongoing and permanent groundwater withdrawal is essential for the effectiveness of the subsurface dam.

The current modelling study should be seen as supporting information about the general hydrogeological scenery of the study region. Due to a lack of available field data, the verification of the obtained model results is limited. Therefore, an entirely accurate representation of the study area cannot be assured and spatial deviations in terms of groundwater quality/salinities are expected. In consequence, at this stage, exact mixing patterns and mass concentrations are difficult to indicate. Further simulation should be carried out as soon as additional field data is available.

According to the Central Groundwater Board of India (CGWB) and RAO (2007), an overexploitation of freshwater resources in the Nellore District is evidently and is in the dimension of some decimetres per year. Before the construction of the subsurface dam, groundwater depletion was also observed in the area of Sullurpeta (RAJU et al. 2013). Today, due to its successful implementation and hydraulic effectiveness, the groundwater extraction rates of freshwater resources for water supply could even be increased.

The current model will be used to study further dynamics in the Sullurpeta region such as groundwater residence times with respect to hydro-geochemical objectives in consequence of the naturally occurring high contents of arsenic and fluoride in sediments. In addition, a more comprehensive 3-D model study at a river basin scale and in consideration of all anthropogenic impacts on the hydrogeological system will provide more reliable information about the study region and would actively support a sustainable management of the freshwater resource.

7. Literature

Anonymous: Census 2011, Ministry of Home Affairs (2011a). <http://censusindia.gov.in>. (03.05.2014).

BEAR, J. & CHENG, A.-D. (2010): Modeling groundwater flow and contaminant transport, 1st ed. Theory and applications of transport in porous media. 23. XXI, 834 S., Springer, Dordrecht, London (UK).

DE SHERBIN, A. (2007): Percentage of total population living in coastal areas. 7 pp., UN, New York City (USA).

DIERSCH, H.-J. (2009): FEFLOW - White Papers Vol. I: Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System. 386 S., DHI-WASY GmbH, Berlin (Germany).

DIERSCH, H.-J. (2014): FEFLOW: Finite element modeling of flow, mass and heat transport in porous and fractured media, 1st ed. XXXV, 996 S., Springer, Heidelberg (Germany).

FROLOVIC, P. & SHEPPER, H. DE (2000): Numerical modelling of convection dominated transport coupled with density driven flow in porous media. *Advanced in Water Resources*, 24 (1), 63–72.

GAALOU N., PLIAKIS F., KALLIORAS A., SCHUTH C. & MARINOS P.: Simulation of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Forty Five Years Exploitation in an Eastern Coast Aquifer in North East Tunisia. *The Open Hydrology Journal* (6), 31–44 (2012)

GHYBEN, B.W. (1888): Nota in Verband met de Voorgenomen Putboring Nabij Amsterdam. *Tijdschr. Kon. Inst. Ing.* (9), 8–22.

GLOVER, R.E. (1959): The pattern of freshwater flow in a coastal aquifer. *Journal of Geophysical Research.*, 64 (4), 457–459.

HERZBERG, A. (1901): Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder. *J. Gasbeleucht. Wasserversorg.*, 44, 815–819, 842–844.

HARIKRISHNA, K., NAIK, D., RAO, T., JAI SAN, G. & RAO, V. (2012): A Study on Saltwater Intrusion Around Kolleru Lake, Andhra Pradesh, India. *International Journal of Engineering and Technology*, 4 (3), 133–139.

- KOPSIAFTIS, G., MANTOGLOU, A. & GIANNOULOPOULOS, P. (2009): Variable density coastal aquifer models with application to an aquifer on Thira Island. *Desalination*, 237 (1-3), 65–80.
- RAJU, N.J., DEY, S., GOSSEL, W. & WYCISK, P. (2012): Fluoride hazard and assessment of groundwater quality in the semi-arid Upper Randa River basin, Sonbhadra district, Uttar Pradesh, India. *-Hydrol. Sc. J., Vol. 57, No. 7*, 1433-1452.
- RAJU, N.J., REDDY, T.V.K. & Muniratnam, P. (2006): Subsurface dams to harvest rainwater - a case study of the Swarnamukhi River basin, Southern India. *Hydrogeology Journal*, 14 (4), 526–531.
- RAJU, N.J., REDDY, T.V.K., MUNIRATNAM, P., GOSSEL, W. & WYCISK, P. (2013): Managed Aquifer Recharge (MAR) by the construction of subsurface dams in the semiarid. *Journal of the Geological Society of India*, 82 (2), 657–665.
- RAMAKRISHNAN, M. & VAIDYANADHAN, R. (2008): *Geology of India: Volume 1, 1st ed. XXX, 556 S.*, Geological Society of India, Bangalore (India).
- RAO, D. (2007): *Ground Water information Nellore District, Andhra Pradesh. 37 pp.*, Ministry of Water Resources, Hyderabad (India).
- MUNIRATNAM, P. (2004): *Construction of subsurface dams at three locations across kangli river near Sullurpet town to augment drinking water supply. 65 pp.*, APERP, Government of Andhra Pradesh, Hyderabad (India).
- REDDY, T., SINGH, H. & GUPTA, M. (2006): *Site investigations for the identification of a groundwater source for Sullurpeta, Andhra Pradesh, India in: IAEG2006 - Engineering geology for tomorrow's cities - The 10th IAEG International Congress. Nottingham (UK), 06.09.2006 - 10.09.2006.*
- SHERIF, M., SINGH, V. & AMER, A. (1988): *A two-dimensional finite element model for dispersion (2D-FEM) in coastal aquifers. Journal of Hydrology*, 103 (1), 11–36.
- STRACK, O.D.L. (1976): *A single-potential solution for regional interface problems in coastal aquifers. Water Resources Research*, 12 (6), 1165–1174.

DR. RER. NAT. GÜNTER KRUMBIEGEL (1926-2014), KUSTOS DES GEISELTALMUSEUMS I. R., NESTOR DER GEISELTALFORSCHUNG.

MEINOLF HELLMUND

Kustos Geiseltalmuseum / Geiseltalsammlung, Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Domplatz 4, 06108 Halle (Saale).

E-mail: meinolf.hellmund@zns.uni-halle.de

Schlüsselwörter: Günter Krumbiegel, verstorben, Kustos im Ruhestand, Curriculum Vitae, Publikationsliste.

Keywords: Günter Krumbiegel, late retired curator, curriculum vitae, publication list.

Zusammenfassung

In herzlicher Verbundenheit wird an den im Ruhestand verstorbenen, ehemaligen Kustos des Geiseltalmuseums, Dr. rer. nat. Günter Krumbiegel mit einem kurzen Lebenslauf erinnert.

Er starb am 22.12.2014 in seinem 89. Lebensjahr, er war der letzte aus der Generation der Geiseltalforscher, der Zeitzeuge des Auf und Ab der Braunkohlenförderung und der zahlreichen Grabungskampagnen auf Fossilien der Nachkriegszeit war. Er überblickte und begleitete mehr als fünf Jahrzehnte die wissenschaftliche Entwicklung und Erforschung des eozänen Geiseltales und der später sogenannten Fossilagerstätte Geiseltal. Dr. Krumbiegel's wissenschaftliches Werk wurde in mannigfaltiger Weise durch Ehrungen honoriert. Es wurden auch drei fossile Säugetiertaxa nach ihm benannt. Sein beeindruckendes Publikationsverzeichnis umfasst mehrere hundert Titel, die sich auf die unterschiedlichsten geowissenschaftlichen Disziplinen beziehen. In den letzten 20 Jahren hat er seinen Fokus auf die Bernsteinforschung gerichtet, speziell auf das Bernsteinvorkommen Bitterfeld in Mitteldeutschland.

Abstract

In cordial commemoration a short curriculum vitae of Dr. rer. nat. Günter Krumbiegel, retired curator of the Geiseltalmuseum, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, is recorded. He passed away at 22.12.2014 in his 89th year of life. G. Krumbiegel was the very last nestor of the Geiseltal research, being witness of ups and downs in the history of the mining area and numerous excavation campaigns. He overlooked more than five decades of the development of the middle Eocene Geiseltal site, later entitled Geiseltal-Fossilagerstätte, because of its outstanding scientific meaning in various aspects. His scientific work was already honored in many ways, e. g. by naming fossil mammalian taxa after him. His impressive publication list spans several hundreds of references on diverse disciplines within geosciences. In the last 20 years he had a focus

on fossil amber, especially from Bitterfeld in Central Germany.

1. Curriculum Vitae – kurze Übersicht

Günter Krumbiegel wurde am 25.02.1926 in Leipzig geboren und verlebte dort auch seine Kindheit und seine frühe Jugend. Er starb am 22.12.2014 in seinem 89. Lebensjahr.

Von 1940–1943 besuchte er das Helmholtz-Gymnasium in Leipzig, das er jedoch bedingt durch den Krieg nur mit einem sogenannten Notabitur verließ. Mitte Februar 1943 wurde er zu den Luftwaffenhelfern eingezogen, war anschließend bis Ende April 1944 beim Reichsarbeitsdienst im Kreis Insterburg/Ostpreußen tätig und wurde dann zum Militärdienst bei Warschau und Prag eingesetzt. Einen Tag nach Kriegsende, am 09.05.1945, geriet er in russische Gefangenschaft, die für ihn bis zum Juni 1948 andauerte und die er in einem Lager in Wolsk an der Wolga im Bezirk Saratow verbringen musste. Von September 1948 bis Juli 1949 besuchte Günter Krumbiegel erneut das Helmholtz-Gymnasium in Leipzig, um die Hochschulreife zu erlangen, da ihm sein Notabitur den Zugang zur Universität nicht ermöglichte.

Zum Wintersemester 1949/50 schrieb er sich an der Universität Halle-Wittenberg für die Fächer Geologie/Paläontologie ein und belegte als Nebenfach Biologie. Das Studium beendete er 1953 mit einer Arbeit zu „Feinstratigraphischen Untersuchungen der Braunkohle im Tagebau Mueheln/Geiseltal“

und dem akademischen Grad eines Diplom-Geologen. Mit Jahresbeginn 1954 konnte er dann eine Stelle als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Mitteldeutsche Erdgeschichte antreten. Im Sommer 1954 heiratete Günter Krumbiegel die Diplom-Biologin Brigitte Richter, der Sohn Anselm wurde im Jahre 1963 geboren.

Dem Geiseltal bei Merseburg blieb Günter Krumbiegel in vielfältiger Form zeitlebens treu. So wurde er 1957 über „Die Kalkvorkommen der Braunkohle Mitteldeutschlands“ promoviert. Die Verbundenheit zum Geiseltal war vor allem dem Umstand zu verdanken, dass er ab Januar 1958 Museumsleiter, später Kustos, amtierender Leiter und ab 1990 bis zum regulären Ende seines Berufslebens im März 1992 Leiter des Geiseltalmuseums war. Während dieser Zeit entstanden zahlreiche Publikationen über die weltweit bedeutende „Fossilagerstätte Geiseltal“, zu stratigraphischen Problemen, aber auch zur Paläoökologie, zur Paläontologie von Invertebraten, zur Mineralogie, zur Allgemeinen Geologie und zum Bergbau, sowie zu deren beider geschichtlicher Entwicklung (s. Publikationsliste: in HELLMUND, M. & KRUMBIEGEL, A. 2015).

Neben dem Geiseltal beschäftigte sich Günter Krumbiegel u. a. auch mit der Regionalen Geologie. In diesem Zusammenhang veröffentlichte er z. B. zusammen mit Prof. Dr. Max Schwab einen „Geologischen Führer über die Stadt Halle und ihre Umgebung“. Auch die Montanwachsgewinnung und ihre Geschichte im Revier Amsdorf interessierten ihn und so entstand 1972 zu diesem Thema die sog. Romonta-Festschrift anlässlich des 75jährigen Jubiläums der Herstellung von Montanwachs. Verschiedene wissenschaftliche und populärwissenschaftliche Bücher über Fossilien sowie zahlreiche Fachbeiträge u. a. zu geologischen, paläontologischen und bergbauhistorischen Themen entstanden vor allem in den 1970er und 1980er Jahren, teilweise zusammen mit seiner Ehefrau Brigitte Krumbiegel.

Mitte der 1980er Jahre wendete sich Günter

Krumbiegel zunehmend den fossilen Harzen zu, wobei er den Fokus auf die Vorkommen im Tagebau Goitzsche bei Bitterfeld, Sachsen-Anhalt, richtete. Somit bestand einerseits weiter der Bezug zur Braunkohle, andererseits hat er damit bis zu seinem Lebensende ein Forschungsgebiet für sich und andere nationale wie internationale Kolleginnen und Kollegen erschlossen. Hierbei entwickelten sich sehr intensive und dauerhafte Kontakte vor allem nach Polen, nach Kaliningrad und ins Baltikum. Einen sehr engen Kontakt knüpfte er zum Kreismuseum in Bitterfeld und zum „Verein der Freunde und Förderer des Kreismuseums Bitterfeld“. Diese beriet er beim Aufbau und der Weiterentwicklung der Bernsteinsammlung bzw. stand dort auch im Hinblick auf das geplante Bernsteinzentrum in Bitterfeld in vielfältiger Weise zur Verfügung.

Hervorzuheben ist seine ständige Bereitschaft zur Weitergabe seines Wissens, wofür sich bei Exkursionen mit Studierenden, Fachkollegen und interessierten Laien viele Gelegenheiten ergaben. Dabei stellte er sich auf den jeweiligen Zuhörerkreis individuell ein und weckte dadurch Begeisterung für geowissenschaftliche Themen und Fragestellungen. Dem Geiseltalmuseum bzw. den Mitarbeitern an der Geiseltalsammlung, Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen (ZNS) der Martin-Luther-Universität, stand Dr. Günter Krumbiegel als Ehrenamtlicher Mitarbeiter bis zuletzt gerne mit seiner reichen Kenntnis der Geiseltalgeologie und –paläontologie beratend zur Seite.

Die wissenschaftliche Arbeit von Dr. Günter Krumbiegel wurde u. a. mit den unten genannten Ehrenmitgliedschaften, Auszeichnungen und Ernennungen honoriert. Dabei hat es ihn besonders gefreut, dass drei fossile Säugetiere (ein Urhuftier, ein Insektenfresser und ein Paarhufer) aus zwei der berühmtesten Fundlokalitäten des Paläozäns und des Mitteleozäns in Deutschland, Walbeck und Geiseltal, ihm zu Ehren jeweils den Artnamen „*krumbiegeli*“ erhalten haben (z. B. Abb. 1-3).

Die vollständige Publikationsliste von Dr. Günter Krumbiegel (ca. 400 Titel) aus den Jahren 1953 bis 2014 (ohne Rezensionen, Zeitungsbeiträge und Poster) findet sich in HELLMUND, M. & KRUMBIEGEL, A. (2015).

2. Auswahl an Ehrenmitgliedschaften, Auszeichnungen und Ernennungen durch wissenschaftliche Gesellschaften

- J. J. Winckelmann-Medaille der Winckelmann Gesellschaft der DDR, 1974.
- Ehrennadel für heimatkundliche Leistungen in Gold, 1975 und 1977.
- Abraham-Gottlob-Werner-Nadel (Silberne Ehrennadel) der GGW, 1980.
 - Johannes R. Becher Medaille in Bronze (1977) und in Silber (1983).
- Ernennung zum „Museumsrat“, 1987.
- Auszeichnung des Muzeum Ziemi (Museum der Erde) der Polnischen Akademie der Wissenschaften, Warszawa (Warschau), 2001.
- Honorary Member of the International Amber Association, Gdańsk (Danzig), 2004.
- Ehrenmitgliedschaft und goldenes Ehrenabzeichen des Internationalen Bernsteinhandwerkerverbandes, Gdańsk (Danzig), 2004

3. Widmungen an Dr. Günter Krumbiegel

HELLMUND, M. & WILDE, V. (2001) (Hrsg.): Das Geiseltal-Projekt 2000 – erste wissenschaftliche Ergebnisse. – Vorwort S. 1. – in: Hallesches Jahrb. Geowiss., B, Beih. 13: 1-99, zahlr. Abb.; Halle (Saale). Widmung an Dr. G. Krumbiegel, 75 Jahre.

HELLMUND, M. & HELLMUND, W. (2002): Eigelege fossiler Kleinlibellen auf Dikotylenblättern aus dem Mittelmiozän von Salzhäusen (Vogelsberg, Hessen, Deutschland). – *Odonatologica*, 3 (3): 253-272, zahlr. Abb.; Bilthoven (Niederlande). Widmung an Dr. G. Krumbiegel, 75 Jahre.

4. Benennungen fossiler Säugetiertaxa zu Ehren von Dr. Günter Krumbiegel

- *Paratricuspiodon krumbiegeli* RUSSELL 1964, Condylarthra („Urhuftier“) aus dem Paläozän von Walbeck (MP 5).
- *Walbeckodon krumbiegeli* HOOKER & RUSSELL 2012, Macroselidea (kleine, insectivore Säugetiere („Rüsselspringer“) aus dem Paläozän von Walbeck (MP 5).
- *Hallebune krumbiegeli* ERFURT & SUDRE 1995, Artiodactyla (kleiner Paarhufer) aus dem oberen Mitteleozän des Geiseltales (MP 13), (Abb. 1-3).

5. Bildergalerie („Schlaglichter“)

Dr. Günter Krumbiegel in den letzten ca. 25 Jahren, nach seinem Eintritt in den offiziellen Ruhestand. Diese Bilder bezeugen seine tiefe und intensive Verbundenheit zu seinem ehemaligen Arbeitsplatz im Geiseltalmuseum als Kustos und als dessen zeitweiliger Leiter. Feierlichkeiten anlässlich von Museumsgeburtsstagen oder Eröffnungen von Sonderausstellungen waren ihm willkommene Anlässe, wieder zu Besuch und zu Gesprächen ins Geiseltalmuseum zu kommen. Von den bilateralen wissenschaftlichen und von Freundschaft geprägten Gesprächen sowie den zahlreichen Gedankenaustauschen durfte der Autor dieses Beitrages zu jeder, wann auch immer gewünschten Zeit, Gebrauch machen und profitieren. Eine liebgewonnene Gepflogenheit, die jetzt schmerzlich vermisst wird.

6. Danksagung

Der Verfasser dankt Herrn Dr. A. Krumbiegel und Herrn Dipl. Geol. (FH) R. Wimmer für freundliche Auskünfte zum Lebenslauf von Dr. G. Krumbiegel und Frau Prof. Dr. D. Mertmann für die redaktionelle Begleitung des Beitrages.

7. Literatur

ERFURT, J. & SUDRE, J. (1995): Un Haplobunodontidae nouveau *Hallebune krumbiegeli* nov. gen. nov. sp. (Artiodactyla, Mammalia) dans l'Eocène moyen du Geiseltal près

- Halle (Sachsen-Anhalt). *Palaeovertebrata*, 24 (1-2), 85–99, 2 Abb., 1 Taf., Montpellier.
- HELLMUND, M. (2001): Ehrung für den ehemaligen Kustos Dr. Günter Krumbiegel. *Hallesches Jahrb. Geowiss., B*, 23: 155; Halle (Saale).
- HELLMUND, M. & HELLMUND, W. (2002): Eigelege fossiler Kleinlibellen auf Dikotylenblättern aus dem Mittelmiozän von Salzhausen (Vogelsberg, Hessen, Deutschland). *Odonatologica*, 3 (3): 253-272, zahlr. Abb.; Bilthoven (Niederlande).
- HELLMUND, M. & KRUMBIEGEL, A. (2015): Nachruf auf Dr. rer. nat. Diplom-Geologe Günter Krumbiegel (1926 – 2014). *Zentralmagazin Naturwissenschaftlicher Sammlungen der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (ZNS), Jahresbericht 2014*, 12-21, Halle (Saale), Druckerei Druck-Zuck GmbH; Halle (Saale).
- HELLMUND, M. & SCHWAB, M. (2006): Dr. Günter Krumbiegel vollendete sein 80. Lebensjahr. *Hercynia N. F.*, 39, 153-154; Halle (Saale).
- HELLMUND, M. & WILDE, V. (2001) (Hrsg.): *Das Geiseltal-Projekt 2000 – erste wissenschaftliche Ergebnisse. – Vorwort S. 1. Hallesches Jahrb. Geowiss., B, Beiheft 13: 1-99, zahlr. Abb.; Halle (Saale).*
- HOOKE, J. J. & RUSSELL, D. E. (2012): Early Palaeogene *Louisinidae* (Macroscelidea, Mammalia), their relationships and north European diversity. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 164: 856-936; London.
- ROSE, K. D., STORCH, G. & KROHMANN, K. (2015): Small-mammal postcrania from the middle Paleocene of Walbeck, Germany. *Paläontol. Z.* 89, 95-124, Stuttgart.
- RUSSELL, D. E. (1964): Les mammifères Paléocènes d'Europe. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle Série C, Sciences de la Terre, tome XIII: 1-324; Paris.*
- WIMMER, R. & HELLMUND, M. (2015): Günter Krumbiegel (1926-2014). *Geowissenschaftliche Mitteilungen GMit*, 61, 90-91; Bonn.

***Hallebune krumbiegeli* (kleiner Paarhufer)**
***Hallebune krumbiegeli* (small ungulate, artiodactyl)**

Abb. 1: Gaumenfragment mit beiden Maxillarzahnreihen (okklusal): sin. P3-M2, M3 fragmentarisch; dext. P3-M2, M3 fragmentarisch.

Fig. 1: Palate with both maxillary tooth rows (occlusal view): sin. P3-M2, M3 fragmentary; dext. P3-M2, M3 fragmentary.

Holotypus/Holotype: ERFURT & SUDRE (1995, pl.1 fig.1).

Inv. Nr. GMH Ce IV-3925-1933, Obere Mittelkohle (MP 13), Geiseltal.

Maßstab/scale bar: 3 cm

Abb. 2 oben: Maxillarzahnreihe sin. (okklusal)

Abb. 2 unten: Maxillarzahnreihe dext. (okklusal)

Fig. 2 above: Maxillary tooth row sin. (occlusal view)

Fig. 2 below: Maxillary tooth row dext. (occlusal view)

Inv. Nr. GMH Ce IV-3925-1933, Obere Mittelkohle (MP 13), Geiseltal.

Maßstab/scale bar: 3 cm

Abb. 3: Mandibel sin. mit P2 (fragmentarisch), P3-M3 (okklusal), s. Erfurt & Sudre (1995, pl.1 fig.4, nicht als zum Typusmaterial gehörig designiert).

Fig. 3: Mandibel sin. with P2 (fragmentary), P3-M3 (occlusal view), s. Erfurt & Sudre (1995, pl.1 fig.4, not labelled belonging to the type material).

Inv. Nr. GMH Leo III-8045-1933, Lackfilmpräparat, Obere Mittelkohle (MP 13), Geiseltal.

Maßstab/scale bar: 5 cm

Fotos: M. Stache, ZNS, Archiv Geiseltalsammlung.

Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3



Anlässlich des 60. Jahrestages der Eröffnung des Geiseltalmuseums am 23.11.1994 wurde die Sonderausstellung vom „Subtropischen Urwald zur Bergbaufolgelandschaft“ eröffnet.



v.l.n.r.: Dr. Dr. Manfred Teichert, Kustos Museum f. Haustierkunde, Dr. Günter Krumbiegel, Kustos i.R. des Geiseltalmuseums, Dr. Andreas Clausing, Magnifizenz Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg und Dr. Joachim Wussow. Foto: C. Nuglisch 1994, Archiv Geiseltalsammlung.



v.l.n.r.: Dr. Joachim Wussow, Dr. Dr. Manfred Teichert, Dr. Günter Krumbiegel, Magnifizenz Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg und Dr. Andreas Clausing.
Foto: C. Nuglisch 1994, Archiv Geiseltalsammlung.



Dr. Günter Krumbiegel zusammen mit seinem Nachfolger im Amt des Kustos des Geiseltal-museums, Dr. Meinolf Hellmund, im vergnüglichen Gespräch.
Foto: C. Nuglisch 1994, Archiv Geiseltalsammlung.



Kolloquium zum 60. Jahrestag des Bestehens des Geiseltalmuseums am 23.11.1994, im Hör-saal des Institutes für Geologische Wissenschaften, Domstr. 5.
v.r.n.l.: Prof. Dr. Hartmut Haubold, Dr. Meinolf Hellmund, Dr. Reinhard Kunert, Hildebrand Weigelt mit dunkler Brille, Sohn von Prof. Dr. Johannes Weigelt (+), PD Dr. Volker Wilde, Dr. Günther Krumbiegel, Brigitte Krumbiegel, ganz hinten Dr. Gerhard Storch.
Foto: C. Nuglisch 1994, Archiv Geiseltalsammlung.

**Erinnerungen an den 70. Jahrestag der Gründung des Geiseltalmuseums am
23.11.2004. Thema der Sonderausstellung „Rekonstruierte Lebensbilder
aus dem Eozän des Geiseltales“.**



Dr. Günter Krumbiegel im Gespräch mit Christoph Koehn, Präparator am Geiseltalmuseum.
Foto: Dr. Monika Hellmund.



Dr. Günter Krumbiegel im Gespräch mit Dr. Silke Clasen, Landesamt für Denkmalpflege
und Archäologie, Sachsen-Anhalt.
Foto: Dr. Monika Hellmund.

**Der 75. Jahrestag der Gründung des Geiseltalmuseums am 23.11.2009.
Thema der Sonderausstellung „Ida und die Geisetalprimaten“.**



Dr. Günther Krumbiegel mit seinem Amtsnachfolger Dr. Meinolf Hellmund im Gespräch.
Foto: Dr. Monika Hellmund.

Das Geiseltalmuseum lädt Ende Dezember Jahres 2011 wegen des Umzuges der Geiseltalsammlung an den Domplatz 4 zu einer Abschiedsveranstaltung ein.



Ein „Triumvirat“ aus Kustoden, zusammen über 200 Jahre alt.
v.l.n.r.: Dr. Dr. Manfred Teichert, Dr. Meinolf Hellmund und Dr. Günter Krumbiegel.
Foto: Dr. Monika Hellmund.



v.l.n.r.: PD Dr. Wolf-Rüdiger Große, Dr. Günter Krumbiegel, dahinter Prof. Dr. Dr. Gunnar Berg, heutzutage Vizepräsident der Leopoldina, und Prof. em. Dr. Max Schwab.
Foto: Dr. Monika Hellmund.

