

Geologica et Palæontologica

Sonderdruck

Die Gründungsverhältnisse der Elisabethkirche
in Marburg an der Lahn

WILHELM TROPP und HERMANN K. NEFF

Die Gründungsverhältnisse der Elisabethkirche in Marburg an der Lahn

WILHELM TROPP und HERMANN K. NEFF

TROPP, Wilhelm & NEFF, Hermann K.: Die Gründungsverhältnisse der Elisabeth-Kirche in Marburg an der Lahn. — *Geologica et Palaeontologica* 6: 203–206, Marburg, 15. 8. 1972.

Beschreibung der Bohrverfahren und der bodenmechanischen Untersuchungen zur Erkundung des Baugrundes eines kultur- und kunsthistorisch wertvollen Bauwerkes. Kernbohrungen, besonders aber Schrägbohrungen in Lockergesteinen können fehlgedeutet werden, wenn die durch die Bohrtechnik bedingten Fehlerquellen außer acht gelassen werden.

Description of drill techniques and rock mechanical investigations of the construction ground of the Early Gothic Cathedral, Elisabeth-Kirche, which is interesting in respect to cultural and art-historical viewpoints. Cores, particularly from oblique drillings in soft sediments can be misinterpreted if sources of errors caused by the drilling technique are not taken into consideration.

Anschrift der Verfasser: Dr. Wilhelm TROPP, Beratender Ingenieurgeologe und Dipl.-Ing. Hermann K. NEFF, Ber. Ingenieur für Erd- und Grundbau, D-6303 Hungen/Oberhessen.

Vorbemerkungen

In dem dieser Arbeit vorhergehenden Artikel von HUCK-RIEDE: „Der Untergrund des Deutschen Hauses und weitere geologische und urgeschichtliche Befunde in Marburg an der Lahn“, der im Kolloquium des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Universität Marburg am 19. 6. 1972 erstmals vorgetragen und in der anschließenden Diskussion u. a. von NEFF ausführlich behandelt wurde, wird im Abschnitt „Erkenntnisse über Fundierungsarbeiten an der Elisabeth-Kirche“ aus dem mitgeteilten Bohrgut-Untersuchungs-Ergebnis der schrägen Kernbohrungen KB 6 und KB 7 am Nordturm der Elisabeth-Kirche und mit Einschränkungen auch aus dem Ergebnis der Schrägbohrung KB 3 am Landgrafenchor der Schluß gezogen, daß es sich wegen der in KB 6 und KB 7 bis in 10,0 m bzw. 12,5 m Tiefe im Bohrgut vorhandenen, bis zu 7 mm großen Mörtel-Stückchen sowie auch entsprechend der von den senkrechten Kernbohrungen KB 1, 2, 4, 5 und 8 abweichenden Kornverteilung bei den durchteuften Schichten zumindest unter dem Nordturm um Bodenmaterial handelt, das „von Menschenhand“ als Gründungsunterlage für den um 1235 begonnenen Kirchen-Neubau eingebracht worden war. Da diese Schlußfolgerung jedoch im Gegensatz zu den Baugrund- und Standsicherheits-Gutachten unseres Erdbaulaboratoriums für den Nordturm und den Landgrafenchor der Elisabeth-Kirche (TROPP & NEFF, 1970) steht, wonach die Kirche relativ flach in 3 bis 4 m Tiefe auf gewachsenem Untergrund gegründet ist, sollen hier sowohl aus bohrtechnischer als auch aus bodenmechanischer Sicht die Gründungsverhältnisse der Elisabeth-Kirche beschrieben und dabei auch näher darauf eingegangen werden, wie es zu diesem gegensätzlichen Ergebnis kommen konnte.

Bohrtechnischer und bodenmechanischer Untersuchungsbefund

Nachdem von Marburger Bürgern gegen die ursprünglich geplante Trassierung der Ketzerbachverrohrung durch den Bereich der Firmanei des Deutschen Ordens schwerwiegende Bedenken vorgetragen worden waren, erteilte der Magistrat der Stadt Marburg unserem Erdbaulaboratorium den Auftrag, in Zusammenarbeit mit den beteiligten Dienststellen und Planungsbüros durch entsprechende Bodenuntersuchungen kurzfristig eine Trassen-Führung zu erkunden, die einerseits die im Untergrund ggf. vorhandenen bauhistorisch wertvollen Gewölbe und Fundamente weitgehend meidet und andererseits die Standsicherheit der Elisabeth-Kirche unter allen Umständen gewährleistet.

Bei der „Trasse Süd“ der Ketzerbachverrohrung war dabei vor allem eine Gefährdung des Landgrafenchors an der Südseite der Elisabeth-Kirche nicht auszuschließen, zumal der neue Kanal mit 2 m Durchmesser in nur 5 m Abstand mit einer Sohlentiefe von 3 bis 4 m vorgesehen war.

Über die Gründung der Elisabeth-Kirche war hier zu Beginn der Untersuchungen nur die Vermutung bekanntgeworden, daß diese etwa 6 m unter Gel.-OK gegründet sei. Im Hinblick auf einen möglicherweise kritischen baulichen Zustand des Fundamentmauerwerkes und ggf. auch eine wesentlich flachere Gründung, bei der es nach vorliegenden Erfahrungen bereits bei Bohrschütterungen, insbesondere durch Schrägbohrungen, zu Risseschäden kommen kann, wurde kein Risiko eingegangen und als erste Erkundungs-Bohrung die Kernbohrung KB 1 in rd. 5 m Abstand vom Landgrafenchor, d. h. im weiteren Druckausbreitungsbereich der Fundamente, durch die Fa. J. KELLER GmbH, Ffm., unter unserer bohrtechnischen Oberaufsicht durchgeführt. Als Bohrmittel

wurden dabei bis in 11,60 m Tiefe Einfachkernrohre mit Hartstiftkrone (EKH) von 175, 146 und 116 mm Durchmesser bei einem Bohrdruck von 300 bis 400 kp eingesetzt. In 11,60 m Tiefe wurde dann auf Doppelkernrohr mit Diamantkrone (DKD) bei gleichzeitiger Wasserspülung mit 4 Atü umgestellt. Eine Verrohrung wurde abschnittsweise mit 171 mm, 143 mm und 113 mm Durchmesser im Bereich des Einfachkernrohr-Bohrverfahrens vorgenommen. Bei der Wasserspülung im Felsuntergrund war kein Spülverlust festzustellen. Das Grundwasser wurde in 6 m Tiefe angetroffen und spiegelte 5,70 m unter Gel.-OK aus (15. 10. 1970). Aus den Tagesarbeits-Berichten des Bohrmeisters ist weiterhin zu entnehmen, daß bei der Bohrdurchführung mehrfach Nachfall vorkam und auch unter dem Grundwasserspiegel das Bohrloch durch „Sand-Kies zufiel“, d. h. daß bei der Verrohrung entsprechende Schwierigkeiten zu überwinden waren.

Ähnliche Verhältnisse zeigten sich auch bei KB 2, die in 2,50 m Abstand von der Kirche als Senkrecht-Bohrung durchgeführt wurde. Hier gelang es jedoch dem Bohrmeister, durch rechtzeitige Verrohrung den Nachfall auf ein Minimum zu beschränken.

Das Grundwasser spiegelte in KB 2 in 6,70 m Tiefe aus (19. 10. 1970). Im Hinblick auf die teilweise vorhandene Fließneigung der gewachsenen Sandschichten im Grundwasserbereich und die dadurch nicht auszuschließenden Auflockerungs-Erscheinungen in der weiteren Umgebung der Bohrung mit einer möglichen Gefährdung der Kirchen-Fundamente wurde dann zusätzlich zum ursprünglichen Bohrauftrag eine Zementierung der Kernbohrung KB 1 und KB 2 angeordnet und noch vor Beginn der Kernbohrung KB 3 durchgeführt.

Die Schrägbohrung KB 3 wurde mit 70° Neigung am Süd Pfeiler des Landgrafenchors so angesetzt, daß das Fundamentmauerwerk erst in rd. 1 m Tiefe unter Gel.-OK angebohrt und damit eine sichtbare Beschädigung des Mauerwerks vermieden wurde. Im Gegensatz zu den Senkrechtbohrungen KB 1 und KB 2, die durchgehend im Trockenbohrverfahren bis zum Felsuntergrund durchgeführt worden waren, mußte bei KB 3 zur Durchörterung des Fundamentmauerwerkes der Kirche bereits in 1,60 m Tiefe auf Spülbohrung mit Doppelkernrohr und Diamantkrone (Durchmesser 143 mm, Bohrdruck 450 kp) umgestellt werden. Dabei stellte es sich dann heraus, daß der unter dem Fundament-Mauerwerk anstehende Buntsandstein-Hangschutt – in der Veröffentlichung HUCKRIEDE als Ketzertbach-Periglazialschutt klassifiziert (s. S. 182) – einen derart mürben Zustand des Steinanteiles aufwies, daß dieser durch den Spül- und Bohrvorgang völlig zu Sand zerfiel (TROPF & NEFF 1970).

In diesem Zusammenhang muß hier deshalb auf die als selbstverständlich erscheinende, bei der Bohrkernansprache jedoch vielfach vernachlässigte Tatsache hingewiesen werden, daß an Hand des Bohrgutes allein, zunächst nur eine Beurteilung des Bodens im gelösten Zustand möglich ist, während die natürliche Lagerfestigkeit nur unter Berücksichtigung des Bohrvorganges, insbesondere der Bohrarbeit und der eingesetzten Bohrmittel beurteilt werden kann.

Danach ist das aus dem Untergrund unter dem Landgrafenchor geförderte Bohrgut nach Bodenkl. 2.23 und 2.24 entsprechend DIN 18 300 einzustufen, während in seiner natürlichen Lagerung tatsächlich eine Lösefestigkeit vorhanden ist, die der Bodenkl. 2.26 (schwerer Boden) bis 2.27 (leichter Fels) entspricht.

Zur weitergehenden Überprüfung dieser Lagerungs-Verhältnisse wurde deshalb unmittelbar neben der Kernbohrung KB 2 eine Ramm-Sondierbohrung mit einer 22 mm Schlitz-

sonde im kombinierten Verfahren eigener Entwicklung zwecks gleichlaufender Feststellung von Schichtenfolge und Lagerungsdichte bis 10,75 m Tiefe, d. h. bis zur Fels-OK, durchgeführt. Dabei wurden je 25 cm Eindringung der Sonde bereits ab rd. 3 m Tiefe Rammschlag-Zahlen über 100 (5 kg-Hammer bei 1 m Fallhöhe) festgestellt und im Hangschuttbereich bis zu 450 Rammschläge je 25 cm Eindringtiefe gezählt. Da weiterhin aus der Baugrube des westlich benachbarten HA-WE-GE-Kaufhaus-Neubaues im Ketzertbach – in der der Buntsandstein an der Hangseite bis zu 12 m aufgeschlossen war (TROPF & NEFF 1967) – bekannt war, daß die dort anstehenden Sandsteinschichten in natürlicher Lagerung zwar der Bodenkl. 2.27 bis 2.28 (leichter bis schwerer Fels) zuzuordnen sind, im gelösten Zustand und, insbesondere auch unter Druck, rasch zu gleichkörnigem Sand zerfallen, war aus der wesentlich feinkörnigeren Ausbildung des Bohrgutes der KB 3 zweifelsfrei der Schluß zu ziehen, daß der sandige Zerfall neben der Beanspruchung durch das Spülbohr-Verfahren auch auf die vorhandene Druckbeanspruchung aus dem Chorpfeiler-Fundament zurückzuführen ist. Um diesen Spannungszustand jedoch in keiner Weise mit schädlichen Folgen für das aufgehende Mauerwerk zu verändern, wurde sofort nach Bohrab-schluß zur Verfestigung der Bohrlochumgebung eine Bentonit-Zement-Injektion mit chemischer Nachinjektion angeordnet. Dabei wurde zunächst eine Bentonit-Zement-Mantelmischung mit insgesamt 300 l eingebracht und anschließend eine Chemikal-Suspension nach dem Joosten-Verfahren mit 2 Atü in 5 Packerstellungen von unten nach oben verpreßt. Die Aufnahme betrug dabei von unten nach oben:

15,60 bis 13,40 m	10 l/m
13,40 bis 7,20 m	25 l/m
7,20 bis 4,50 m	40 l/m
4,50 bis 3,00 m	25 l/m
3,00 bis 0 m	15 l/m

Im Standsicherheits-Gutachten vom 11. 11. 1970 wurde dann für die Süd-Trasse der Ketzertbach-Verrohrung festgestellt, daß die Elisabeth-Kirche im Bereich des Landgrafenchors mit ihrem Fundamentmauerwerk rd. 3,0 m unter Gel.-OK auf gewachsenem, dicht gelagertem Buntsandstein-Hangschutt bzw. rd. 1,0 m unter der benachbarten Sohle des in rd. 9 m Abstand verlaufenden alten Ketzertbach-Gewölbes gegründet ist.

Der Landgrafenchor ist somit flach auf dem bereits in geringer Tiefe anstehenden „sehr guten“ Baugrund gegründet worden, dessen Tragfähigkeit auch durch die Risse-Freiheit des aufgehenden Bauwerkes unter Beweis gestellt wird.

Die von HUCKRIEDE aus der Literatur zitierten Vermutungen über eine Pfahlgründung der Elisabeth-Kirche entbehren somit jeder Grundlage, da bei dem tiefen Grundwasserstand die Pfahlköpfe längst verrottet und entsprechende Setzungserscheinungen eingetreten wären. Andererseits mußte jedoch entsprechend der relativ verformungsempfindlichen aufgehenden Pfeilerkonstruktion der Außenwand des Kirchenschiffes und insbesondere der Konstruktion des Landgrafenchors im Hinblick auf eine mögliche Veränderung der horizontalen Einspannverhältnisse im Untergrund dringend von einer Neuverlegung des Ketzertbaches in der geplanten Südtrasse abgeraten werden (TROPF & NEFF 1970).

Am Nordturm der Elisabeth-Kirche wurde dann die Erkundung der Turmgründung ebenfalls schrittweise in Richtung Turm vorgenommen und zunächst die Kernbohrung KB 4 in rd. 6,50 m Abstand, die Ramm-Sondierbohrung RSB 21 in 5,50 m Abstand, die Kernbohrung KB 5 in 3,50 m Abstand und schließlich die Schrägbohrung KB 6 unmittelbar am Turm durchgeführt. Ebenso wie am Landgrafenchor,

waren dabei die senkrechten Bohrungen KB 4 und KB 5 sofort nach der Bohrdurchführung zu zementieren und die Schrägbohrung KB 6 mit Zementsuspension und Chemikalien zu verfestigen.

Die 13,70 m tiefe Kernbohrung KB 4 wurde dabei bis 11,60 m Tiefe im Trockenbohrverfahren mittels Einfachkernrohr und Hartstiftkronen (EKH) sowie 146 mm Durchmesser bei 350 bzw. 300 kp Bohrdruck durchgeführt und abschnittsweise bis zur Fels-OK verrohrt. Der Felsuntergrund wurde mit Doppelkernrohr von 76 mm Durchmesser bei 200 kp Bohrdruck im Spülbohrverfahren erschlossen. Ein Nachfall war bei Bohrung KB 4 nicht festzustellen, jedoch ab 13 m Tiefe totaler Spülverlust im Felsbereich. Das Grundwasser spiegelte 5,40 m unter Gelände aus (27. 10. 1970). Ähnlich wie in KB 1 und KB 2 war auch in KB 4 ein stark sandiger Zerfall der mürben Steine des Buntsandstein-Hangschuttes festzustellen. Die Zementierung von KB 4 erfolgte am 27. 10. 1970 mit 250 kg Zement unter Beimischung von 700 kg Kies.

Die 14 m tiefe Bohrung KB 5 wurde bis 11,30 m Tiefe im Trockenbohrverfahren mit Einfachkernrohr und Hartstiftkronen (EKH) von 146 bzw. 143 mm Durchmesser bei 350 kp Bohrdruck durchgeführt. Bis 14 m Tiefe wurde dann im Spülbohrverfahren mit Doppelkernrohr von 86 mm Durchmesser bei 350 kp Bohrdruck gearbeitet. Ein Spül- oder Kernverlust war nicht vorhanden. Der Grundwasserstand wurde in 5,30 m Tiefe festgestellt (29. 10. 1970). Die Zementierung der Bohrung KB 5 erfolgte am 29. 10. 1970 mit 250 kg Zement nebst Sand- und Kies-Zusatz. Auch hier war der wieder teilweise sandige Zerfall der mürben Sandsteine im Hangschutt festzustellen. Andererseits kam man nun zur Auffassung, daß eine Durchörterung des Buntsandstein-Hangschuttes im Spülbohrverfahren nach den Erfahrungen bei KB 3 einen wesentlich stärkeren Zerfall zur Folge haben mußte, als dies im Einfachkernrohr-Trockenbohrverfahren der Fall war. Für die weiteren Schrägbohrungen wurde deshalb festgelegt, daß diese im Lockergesteinsbereich soweit als möglich im Trockenbohrverfahren mit Einfachkernrohr durchzuführen waren.

Die Schrägbohrung KB 6 erfolgte deshalb von 0,20 bis 3,50 m Tiefe mit Einfachkernrohr und Diamantkronen sowie Kernfang-Muffe von 128 mm Durchmesser bei gleichzeitiger Spülung mit 4 Atü. Dabei wurde ein 20%iger Spülverlust festgestellt. Weiterhin wurde vom Bohrmeister angegeben, daß in 2,55 bis 3,50 m Tiefe das Sandsteinmauerwerk aus nicht kernfähigem Material besteht mit entsprechend sandigem Zerfall. Anschließend wurde mit dem gleichen Kernrohr-Durchmesser trocken weitergebohrt. Für die Tiefe 3,50 bis 5 m wird vom Bohrmeister angegeben, daß der Sandboden ab 4,50 m Tiefe zusammenläuft, was wohl auf eine Wassersättigung durch die vorangegangene Spülung mit 4 Atü Druck im Mauerwerksbereich zurückzuführen ist. Das Grundwasser stellte sich rd. 5,50 m unter OK-Gelände ein (30. 10. 1970). Die Verrohrung erfolgte nach dem Durchörtern des Mauerwerkes durchgehend mit 143 mm Durchmesser bis in 13 m Tiefe. Da die Verrohrung nicht wie bei KB 3 stufenweise mit abgesetztem Durchmesser erfolgte, ist dies auch nach Angabe der Bohrfirma gleichbedeutend damit, daß es auch unter Berücksichtigung der Schräglage der Bohrung nicht vermieden werden konnte, daß Mörtelstückchen aus dem Fundamentbereich in das Bohrgut aus dem tieferen Untergrund gelangten. Sie waren deshalb ohne weitere Bedeutung für die Standsicherheitsbeurteilung. Schließlich war im Felsuntergrund ab 13,80 m Tiefe 50%iger Spülverlust festzustellen. Zur Untergrundverfestigung wurden dann am 2. 11. 1970 310 l Zement-Bentonit-Mantelmischung eingebracht und am 4. 11. 1970 mit 2 Atü Druck die folgenden

Chemikal-Mengen in 4 Packerstellungen bei einem Gesamtverbrauch von 480 l verpreßt:

15 bis 13 m	10 l/m
13 bis 3,60 m	35 l/m
3,60 bis 1,10 m	25 l/m
1,10 bis 0 m	15 l/m

Gegenüber der Injektionsaufnahme bei KB 3 mit insgesamt 320 l ist somit hier eine etwas größere Aufnahmefähigkeit des Mauerwerkes sowie des Untergrundes festzustellen.

Entsprechend dem nur bis in rd. 2,5 m Tiefe reichenden Fundamentmauerwerk der westlichen Pfeilervorlage des Nordturmes mußte auch die östliche Pfeilervorlage des Nordturmes mit der Schrägbohrung KB 7 bis 13,50 m Tiefe untersucht werden. Die Bohrdurchführung erfolgte dabei von 0,30 bis 3,30 m Tiefe mit Einfachkernrohr und Diamantkronen von 131 mm Durchmesser bei 300 kp Bohrdruck und gleichzeitiger Wasserspülung mit 4 Atü. Es wurde hierbei ab 2,70 m totaler Spülverlust festgestellt. Nach dem Durchfahren des Fundamentmauerwerkes wurde mit 143 mm Durchmesser verrohrt und dann ab 3,30 m Tiefe mit Einfachkernrohr und Hartstiftkronen (116 mm ϕ) ohne Spülung bei 350 kp Bohrdruck weitergearbeitet und schließlich bei Erreichen des Fels-Untergrundes ohne weitere Verrohrung ab 13,20 m Tiefe mit Doppelkernrohr und Diamantkronen mit 86 mm Durchmesser bei 250 kp Bohrdruck gebohrt. Dabei war ab 14,30 m Tiefe totaler Spülverlust im Buntsandstein festzustellen. Das Grundwasser wurde in Bohrung KB 7 rd. 5,30 m unter Gel.-OK angetroffen (5. 11. 1970). Zur Untergrundverfestigung in KB 7 waren 400 l Mantelmischung (Bentonit-Zement) sowie bei 3 Packerstellungen insgesamt 550 l Chemikal-Suspension erforderlich. Im einzelnen wurden bei 2 Atü Druck verbraucht:

von 15,30 bis 13,20 m	10 l/m
von 13,20 bis 2,40 m	45 l/m
von 2,40 bis 0 m	15 l/m

Die Bohrung KB 8 wurde dann weiter entfernt von der Elisabeth-Kirche in dem Bereich der Trasse Nord zunächst bis 12,50 m Tiefe im Trockenbohrverfahren mit Einfachkernrohr und Hartstiftkronen (ϕ 146 mm bis 8,00 m und 116 mm bis 12,50 m Tiefe) und anschließend bis 15 m Tiefe mit Doppelkernrohr und Diamantkronen mit 86 mm Durchmesser (bei gleichzeitiger Spülung mit 4 Atü Wasserdruck) durchgeführt. Die Verrohrung erfolgte bis 12,50 m Tiefe durchgehend mit 143 mm Durchmesser. Das Grundwasser stellte sich in rd. 5 m Tiefe ein (12. 11. 1970).

Als wesentliches Untersuchungs-Ergebnis der Schrägbohrungen war festzustellen, daß die UK des intakten Fundamentmauerwerkes am Nordturm im inneren Fundamentbereich in KB 6 mit NN + 182,90 m um 0,80 m höher liegt als am Fundamentrand mit NN + 182,10 m in KB 7 und daß im inneren Fundamentbereich – soweit bei KB 6 feststellbar – eine mind. 0,50 m dicke Mörtel-Bett-Schicht vorhanden ist, die entsprechend der bis 3,30 m Tiefe durchgeführten Spülbohrung durchaus bis zur äußeren Fundament-UK gehen kann.

Mit Sicherheit ergibt sich somit aus den Schräg-Bohrungen, daß die in den benachbarten Senkrecht-Bohrungen bis i. M. NN + 182,0 m reichenden Schluff-Deckschichten – von HUCKRIEDE als „Hochflutbildungen“ eingestuft (s. 184) – unter der Turmgründung nicht vorhanden, d. h. vollständig entfernt worden sind. Andererseits ist es aber sicher, daß es sich entsprechend dem angewandten Bohrverfahren bei den zwischen rd. 4 und 12,5 m Tiefe in den Kernproben von KB 6 und KB 7 vorhandenen Mörtel-Stückchen bis zu 7 mm Durchmesser nur um Nachfall aus dem durchbohrten Fundament-Mörtel bzw. dem Mörtel-Bett des Fundamentes handeln kann.

Wie weit dabei der in KB 6 unterhalb 4,0 m und in KB 7 unterhalb 4,35 m Tiefe festgestellte Kalkgehalt des Probenmaterials aus dem aufgehenden Mauerwerk stammt und durch Infiltration in den Untergrund gelangt ist oder bei KB 6 auch durch die vorangegangenen Zementierungsarbeiten in den talaufwärts liegenden Bohrungen KB 5 und 4 und bei KB 7 auch aus den vorangegangenen Injektionsarbeiten in KB 6 bewirkt wurde, in dem durch die talabwärts gerichtete Grundwasserbildung CaCO_3 aus dem Injektions- bzw. Zementierungsmaterial in die fraglichen Bohrungen gelangte, bleibt dabei noch offen, ist aber auch für die Beurteilung der Standsicherheit der Gründungsunterlage ohne weitergehende Bedeutung.

Hinsichtlich des angewandten Trockenbohrverfahrens bei KB 6 und KB 7 ist weiter festzustellen, daß es nicht wie erwartet im Vergleich zum Spülbohrverfahren bei KB 3 möglich war, ungestörtere Bohrkerne aus dem Periglazialschutt zu fördern. Ursachen hierfür sind neben dem mürben Ausgangszustand des Schuttes die sehr hohe Druckbeanspruchung aus dem Nordturm sowie auch die bohrtechnische Problematik einer Einfachkernrohr-Schrägbohrung mit durchgehender Verrohrung in einer Verrohrungs-Tour. Hinzu kommt nun als weiterer Nachteil, daß man ohne nähere Kenntnis dieser bohrtechnischen Gegebenheiten angesichts des Mörtel-Nachfalls und der Feinkörnigkeit des Bohrgutes von KB 6 und KB 7 auch zu Schlußfolgerungen kommen kann, die den tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprechen.

Ketzerbachverrohrung neben dem Nordturm der Elisabeth-Kirche

Die Bauausführung der Ketzerbachverrohrung erfolgte schließlich nach den Empfehlungen des Standsicherheits-Gutachtens vom 30. 11. 1970 in der Nord-Trasse mit 6,20 m Achsabstand von der Nord-West-Ecke des Nordturmes. Die Kanalsole liegt dort mit NN + 181,70 m rd. 0,40 m unter der festgestellten äußeren Fundamentmauerwerkssole des Nordturmes. Für die Kanalverlegung wurde abgeböschte Bauweise mit Ort beton-Böschungverbau unterhalb NN + 182,50 m vorgesehen. Der Kanalgraben war dabei in 2,5-m-Abschnitten auszuheben bei gleichzeitigem Einbringen des konstruktiv bewehrten, 0,50 m dicken Ortbetons sowie Wiederverfüllung des Grabens mit Grubensandmaterial bei lagenweiser Verdichtung. Gleichzeitig waren Feinnivelllements zur Überprüfung des Turm-Setzungsverhaltens durchzuführen. Bei der Bauausführung im Juli 1971 wurde dann im Kanalgraben gute Übereinstimmung mit dem erdbau-technischen Längsschnitt des Gutachtens festgestellt. Insbesondere wurde in der turmseitigen Kanalgrabenböschung, deren OK nur rd. 2,5 m von dem aufgehenden Turmmauerwerk entfernt war, bereits in geringer Tiefe unter Gelände, der gewachsene Untergrund (Hochflutlehm) angetroffen und in dem bis rd. 4,5 m unter Gelände reichenden Kanalgraben der gewachsene, dicht gelagerte Ketzerbach-Periglazialschutt ab i. M. 3,50 m Tiefe festgestellt.

Die Kanalverlegungsarbeiten konnten deshalb planmäßig ohne jede Setzungsbeeinflussung des Nordturmes erfolgen. Ergänzend ist zu bemerken, daß auch nach den im Kanalgraben festgestellten Lagerungsverhältnissen die in der Standsicherheitsbeurteilung mitgeteilten bodenphysikalischen Kennwerte des Periglazialschuttes wie folgt anzusetzen sind:

Raumgewicht	$\gamma = 2,2 \text{ Mp/m}^3$
Kohäsion	$c = 0,1 \text{ kp/cm}^2$
Reibungswinkel	$\rho = 37,5^\circ$
Steifemodul	$S \geq 1500 \text{ kp/cm}^2$

Die zulässige Bodenpressung im Pfeiler-Vorlagebereich der Turm Gründung liegt danach bei einer Gründungstiefe von

mind. 1,0 m und mehr als 3facher Grundbruchsicherheit bei $\sigma = 9 \text{ kp/cm}^2$.

Schlußfolgerungen

Sowohl der bohrtechnische wie bodenmechanische Untersuchungsbefund als auch der Befund bei der Bauausführung der Ketzerbach-Verrohrung zeigt, daß die von HUCKRIEDE 1972 angenommene, bis zu 11 m tiefe Ausschachtung unter der Turm Gründung in keiner Weise zutrifft. Zumindest unter dem Grundwasserspiegel und bei der dort vorhandenen Fließneigung der sandigen Schichtbereiche hätte sich dabei nach den bodenmechanischen Gegebenheiten eine Ausschachtungs-Böschungsneigung von mind. 50° bis 60° eingestellt. Dementsprechend hätten dann im Kanalgraben am Turm aufgefüllte oder durch Menschenhand veränderte Schichten angetroffen werden müssen, was jedoch nicht der Fall war. Bei den von HUCKRIEDE im Bohrgut der Schrägbohrungen KB 6 und KB 7 beschriebenen Mörtelstückchen handelt es sich also mit Sicherheit ausschließlich um Nachfall-Material aus dem Turmfundament. Außerdem ist auch die feinkörnigere Beschaffenheit des Bohrgutes von KB 3, KB 6 und KB 7 aus dem Ketzerbach-Periglazialschutt auf das angewandte Bohrverfahren zurückzuführen. Bei der von HUCKRIEDE getroffenen Annahme, daß bereits im frühen Mittelalter bis weit unter den Grundwasserspiegel sozusagen im Bodenaustauschverfahren eine Untergrundverbesserung erfolgt sein soll, handelt es sich somit um eine nicht zutreffende Vermutung.

Abgesehen davon, stand in dem dicht gelagerten Buntsandstein-Hangschutt bzw. Ketzerbach-Periglazialschutt eine denkbar gute Gründungsunterlage zur Verfügung, deren Tragfähigkeit auch seinerzeit durch die vorangegangenen unmittelbar benachbarten Mauerwerksbauten des Deutschen Ordens bereits erprobt war.

Zusammenfassend ist zu bemerken, daß bei der Auswertung von Kernbohrungen, insbesondere von Schrägbohrungen in Lockergestein, die bohrtechnischen Randbedingungen nicht außer acht gelassen werden dürfen. Erforderlichenfalls sind durch zusätzliche Untersuchungen wie benachbarte Senkrechtbohrungen und Ramm-Sondierbohrungen oder ggf. auch Aufschürfungen die Lagerungsverhältnisse zweifelsfrei festzustellen, wenn die Standsicherheit von Bauwerken nach bodenmechanischen Gesichtspunkten entsprechend DIN 1054 zutreffend erfaßt werden soll. Der Baugrund unter hoch belasteten Fundamenten kulturhistorisch wertvoller alter Bauwerke mit zunächst unbekannter Gründungsart und Gründungstiefe sollte dabei im möglichen Druckausbreitungsreich nur mit schrittweiser Annäherung an die Fundamente erkundet werden bei gleichzeitiger Bohrlochzementierung sowie Injektionsverfestigung im engeren Druckausbreitungsbereich der Gründung.

Literatur

- DIN 1054: Zulässige Belastung des Baugrundes. Richtlinien. Ausgabe Mai 1969.
- HUCKRIEDE, Reinhold: Der Untergrund des Deutschen Hauses und weitere geologische und urgeschichtliche Befunde in Marburg an der Lahn. — Geologica et Palaeontologica 6: 000—000, 00 Abb., 00 Taf., Marburg, 1972.
- TROPF, Wilhelm & NEFF, H. K.: Felsbautechnische Beurteilung des Kaufhausneubaues HA-WE-GE in Marburg/Lahn, Ketzerbach 25–28. — Unveröff. Gutachten 12. 9. 1967.
- : Baugrund- und Standsicherheitsbeurteilung zur Ketzerbach-Verrohrung in Marburg/Lahn. — Unveröff. Gutachten, Gutachten Südtrasse 11. 11. 1970, Gutachten Nordtrasse 30. 11. 1970.