

Arno SEMMEL, Hofheim am Taunus

Relief und Baugrund an der ICE-Neubaustrecke Köln-Rhein/Main in Hessen ¹

Summary

The geomorphological development of the areas crossed by the ICE railroad line between the cities of Frankfurt am Main and Limburg an der Lahn became apparent in a specific way at different locations during its construction. The young aggradational landscape of the lower Main area was characterised by frequent alternation between permeable gravel and sands, which had been deposited in the cold periods of the Pleistocene and the impermeable clays of the warm periods. These alternating conditions led to inrushes of water, impeded a possible consolidation of the railroad track by means of injections of concrete, and thus considerably prolonged the construction time and also raised the costs. In the Tertiary marls of the foreland of the Taunus Mountains, these obstacles appeared again along the slopes of the asymmetrical periglacial valleys, which are subject to landslides, or in the case of upthrust marls as a result of cryoturbational processes, often in the neighbourhood of tectonic fault lines. In the Taunus Mountains, the Pre-Quaternary climates led to a deep weathering of the shale, which was often encountered on the planation surfaces. Here, deeply weathered bedrock presented severe problems for the construction of tunnels. In addition, the frequent alternation between loose regolith and hard bedrock encountered at the weathering base-level turned out to be a hindrance.

1 Einleitung

Die im Bau befindliche ICE-Neubaustrecke Köln-Rhein/Main quert mit ihrem hessischen Teil (zwischen Limburg an der Lahn und Frankfurt am Main) drei geomorphologisch sehr verschieden aufgebaute Landschaften,

¹ Schriftliche Fassung eines Vortrags auf der 25. Jahrestagung des Deutschen Arbeitskreises für Geomorphologie e.V. in Hamburg am 07.10.1999.

nämlich einmal den vorwiegend aus paläozoischen Gesteinen bestehenden Taunus, in dem hohe Rumpfflächenreste und tiefe Täler vorherrschen, dann das südliche Taunusvorland, dessen tertiäre Gesteine gleichfalls kräftig im Quartär zertalt wurden, und schließlich die Untermainebene, deren flaches Relief die in jüngerer Zeit dominierende Absenkung und die damit verbundene Aufschüttung widerspiegelt.

Die unterschiedliche geomorphologische Entwicklung der drei Landschaften beeinflusst den Baugrund in jeweils spezifischer Weise und zog

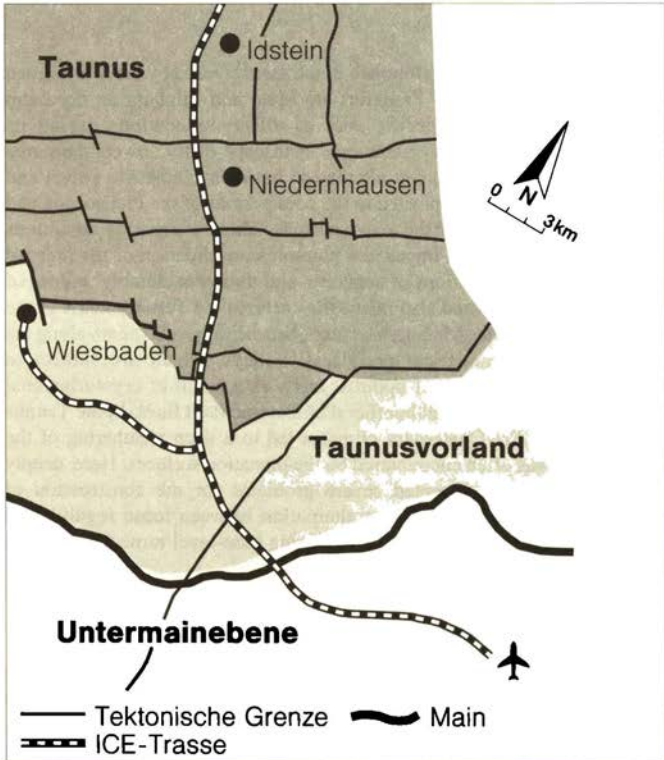


Abb. 1: Verlauf der ICE-Trasse in der Untermainebene, im Taunusvorland und im TAUNUS (unter Verwendung einer Vorlage von ANDERLE u. RADTKE 1999)

beim Bau der ICE-Strecke wiederholt Probleme nach sich, die zu beträchtlichen Bauverzögerungen und -verteuerungen führten. Im folgenden werden entsprechende Beispiele vorgestellt.

Die Ausführungen gründen auf Beobachtungen, die ich als Freiwilliger Mitarbeiter des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, Wiesbaden, während der geologischen Vorerkundung und der eigentlichen Bauarbeiten machen konnte.

2 Untermainebene

Die ICE-Trasse durchzieht die Untermainebene vom Frankfurter Kreuz entlang der Autobahn A3 bis zum Westrand des Oberrheingrabens (Abb. 1).

Das Frankfurter Kreuz, der Flughafen Frankfurt a.M. und dessen ICE-Bahnhof liegen am Nordostrand der Oberrheinischen Tiefebene, die durch die Auffüllung des Oberrheingrabens entstand. Der obere Teil der Sedimente ist quartären Alters und dadurch gekennzeichnet, dass kaltzeitliche kiesige Sande häufig von Tonlinsen unterbrochen werden (Abb. 2), die in warmzeitlichen Altläufen entstanden, als der Main nur in schmalen Rinnen auf seinem breiten periglazialen Kiesbett mäandrierte. Die Lage und Umgrenzung dieser, kleinen, und stetig mächtigere, Altlaufreste, ist nur schwer zu ermitteln.



Abb. 2: Linsenförmige Tonlagen (dunkel) im Mainkies am Frankfurter Flughafen

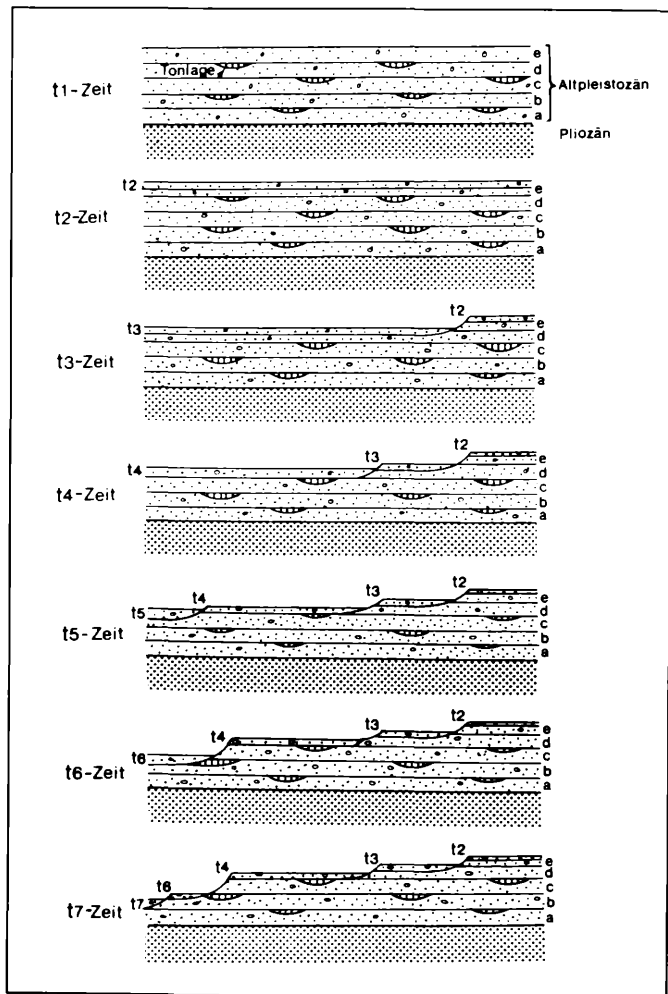


Abb. 3: Entwicklung des Reliefs am Frankfurter Flughafen

t1-Zeit: Im Altpleistozän wurden im überwiegend absinkenden Gelände in den Kaltzeiten

In den letzten 500.000 Jahren wanderte der Senkungsbereich des Oberrheingrabens in diesem Gebiet grabeneinwärts. Das nunmehr zum (relativen) Hebungsgebiet gehörende heutige Flughafengelände wurde (unter schwacher Schrägstellung nach Südwesten) herausgehoben, so dass sich der Main einschneiden und die für pleistozäne Mittelgebirgstäler typische Talhangterrassierung ausbilden konnte (Abb. 3; vgl. auch SEMMEL 1986, 18f.). Auf einer dieser (mittelpleistozänen) Mainterrassen liegt der Frankfurter Flughafen und sein kürzlich in Betrieb genommener ICE-Bahnhof.

Der Ausbau der ICE-Strecke verzögerte und verteuerte sich in diesem Bereich unter anderem, weil auf den warmzeitlichen Tonlinsen schwebendes Grundwasser angetroffen wurde, das in die Baugruben einbrach. Solche schwebenden Grundwasservorkommen spielten bereits beim Bau der heiß umkämpften Startbahn West eine Rolle, da sie irrtümlich als Anzeichen allgemein hohen Grundwasserstandes gedeutet wurden und deshalb eine umfassende Grundwasserabsenkung erfolgen sollte (vgl. SEMMEL 1986, 20ff.).

Doch nicht nur die lokalen schwebenden Grundwasservorkommen erschwerten den ICE-Trassenbau in diesem Gebiet: Die ansonsten problemfrei zwecks Trassenkonsolidierung praktizierte Verpressung von „Zementmilch“ war in den dichten tonigen Sedimenten nicht möglich, so dass aufwendige Auskofferungen vorgenommen werden mußten.

3 Taunusvorland

Der Untergrund des Taunusvorlandes besteht im wesentlichen aus mittelaltertiären Mergeln des Mainzer Beckens, in die sich der Main mit seinen Nebenbächen während des Quartärs eingeschnitten hat. Dabei entstand nicht

Abb. 3, Forts.:

kiesige Sande akkumuliert. Während der dazwischen liegenden Warmzeiten setzten sich in schmalen Rinnen Tone und Torfe ab.

t2-Zeit: Die Zeit dominierender Absenkung war vorüber. Die „normale“ Talentwicklung begann. Nach fluvialer Ausräumung der oberen t1-Sedimente wurden t2-Kiese abgelagert. Die Tiefenerosion bekam Übergewicht, so dass allmählich eine Terrassentreppe entstehen konnte.

t3-Zeit: Nach Ausräumung großer Teile der t2-Kiese und liegender t1-Sande wurden die t3-Kiese akkumuliert.

t4-Zeit: Nach Ausräumung von t3-Kiesen lagerten sich die t4-Kiese ab. Stellenweise liegt direkt unter ihnen interglazialer Ton. Diese besonders breite t4-Terrasse ist Standort des Frankfurter Flughafens.

t5- bis t7-Zeit: Die weitere Entwicklung vollzog sich analog, mit der Ausnahme, dass durch die wiederum besonders breite t6-Terrasse südlich des Mains im Flughafengebiet die gesamte t5-Terrasse ausgeräumt wurde.

nur im Haupttal, sondern auch in den Nebentälern eine Terrassentreppe, wie sie schon unter 2. und auf Abb. 3 erörtert wurde. Die vorzugsweise tektonischen Richtungen folgenden Nebentäler zeichnen sich durch die typische periglaziale Asymmetrie aus: Den steilen westexponierten lößfreien liegen die flachen ostexponierten lößbedeckten Hänge gegenüber. Während auf letzteren intensiver Ackerbau betrieben wird, trifft man auf den westexponierten Hängen im Oberlauf Wald, im mittleren Talbereich Grünland und im Unterlauf Weinbau an. Unabhängig von der unterschiedlichen Nutzung ist den westexponierten Hängen gemeinsam, dass sie fast sämtlich Rutschungsbewegungen ausgesetzt sind (vgl. dazu SEMMEL 1972, 327f.; DERS. 1974, 538ff.). Im Kies der unterschiedlich alten pleistozänen Terrassen sammelt sich über den dichten tertiären Mergeln Grundwasser, das an den Hängen in Quellhorizonten austritt, den Mergel vernäßt und diesen fließ- und rutschungsfähig macht. Zahlreiche Gebäudeschäden auf den erst in den letzten Jahrzehnten bebauten Hängen weisen auf diese Vorgänge hin, ebenso wellige Oberflächen des Grünlandes (Abb. 4). Nur auf den (relativ seltenen) Ackerparzellen wird das Rutschungsrelief durch die „anthropogene Glättung“ ausgeglichen. Unter Wald nimmt die Zahl der Rutschungen deutlich ab, die hier überdies meist eindeutig mit früherer Beackerung verbunden werden können.



Abb. 4: Rutschungshang über den Tunnelportalen am Wiesbadener Kreuz
Die Grenze des gemähten Grünlandes spiegelt sehr gut die welligen Hangkonturen wider, die durch Rutschungen im Untergrund und Verfließungen von Mergel an der Oberfläche entstehen.

Der Einfluß der Rodung ist auch auf den waldfreien Hängen zu erkennen, lässt sich doch den Profilen entnehmen, dass die Hänge im Altholozän weitgehend stabil waren. Bereits mit dem neolithischen Ackerbau setzten dann jedoch erhebliche Rutschungen ein (SEMMELE 1986, 51). Zu dieser Zeit waren noch Schwarzerden auf dem Löß der östlich anschließenden Main-Terrassenfläche ausgebildet (14C-Daten um 7.000 B.P., unkalibriert, vgl. GIESSÜBEL 1977, 102ff.; SEMMELE 1986, 51). Die Schollen glitten teilweise bis in die heutige Talaua ab (Abb. 5).

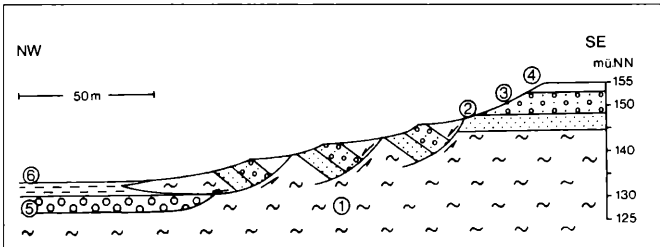


Abb. 5: Rutschungshang südwestlich des Wiesbadener Kreuzes

Schollen der alten Main-Terrasse bei 155 m NN (kalkfreie t2-Kiese (3) über kalkhaltigen t1-Sanden (2)) sind am Osthang bis in die Talaua des Wickerbaches abgerutscht. Untergrund: tertiärer Mergel (1); Deckschichten: Löß (4). In der Aue liegen Kiese der Niederterrasse (5) unter Auenlehm (6).

An anderen Stellen setzten die Rutschungen im Bereich der heutigen ICE-Trasse erst ein, als die Schwarzerden bereits zu Parabraunerden degradiert und durch Bodenerosion stark abgetragen waren (Abb. 6).

Der Abb. 6 kann außerdem entnommen werden, dass manche Rutschungen seit dem Mittelalter inaktiv sind. Möglicherweise wurde das durch den im Mittelalter betriebenen Weinbau verursacht, der mit tiefer Durchwurzelung verbunden ist und hangstabilisierend wirken kann (vgl. auch SEMMELE 1999). Die nachfolgende Überschüttung der Rigolhorizonte mit Kolluvium glättete und stabilisierte den Hang zusätzlich ebenso wie jüngere künstliche Drainagen, die hangoberhalb angelegt wurden.

Unglücklicherweise liegen die Tunnelportale der ICE-Abzweigung nach Wiesbaden am Wiesbadener Kreuz in dem Hang mit den größten Rutschungsschollen. Beim Bau wurden die Schollengrenzen freigelegt (Abb. 7). Die starke Zergliederung des Hanges war wahrscheinlich auch die Ursache dafür, dass die Tunneldecke im Eingangsbereich einbrach und vor dem Weiterbau der Mergel künstlich verfestigt (vereist) werden mußte.



Abb. 6: Anthropogene Glättung über einer inaktiven Rutschungsscholle (Neubaugebiet Hofheim-Wallau, unterhalb der ICE-Trasse)

In einer Baugrube ist rechts grauer tertiärer Mergel angeschnitten, an dem (von der Bildmitte nach links) auf einer Rutschungsscholle Kies, Löß und der darauf entwickelte (dunkle) Bt-Horizont einer Parabraunerde abgesunken sind. Die Scholle rotierte hangeinwärts, so dass nunmehr der früher parallel zur heutigen Oberfläche verlaufende Boden nach rechts eingesunken ist. Durch die nachfolgende Beackerung wurde ein Gemisch von Mergel, Kies und Löß über die Schollengrenze hinweggezogen, weshalb die Rutschung heute nicht mehr an der Oberfläche zu erkennen ist.

Dem Aufschluss kann außerdem entnommen werden, dass die Rutschung inaktiv ist, denn die Mergelfähne, die über die Schollengrenze hinwegzieht, ist nicht mehr gestört. Wahrscheinlich führte mittelalterlicher Weinbau und die damit verbundene tiefe Durchwurzelung zur Hangstabilisierung. Dunkle Verfärbungen über dem Bt-Horizont sind Reste von Rigol-Horizonten.

Die Schollenbewegung begann offensichtlich erst nach längerer Zeit der Beackerung, denn die ursprünglich vorhandene Parabraunerde ist stark erodiert. Bis vor ca. 3.000 Jahren waren hier noch Schwarzerden ausgebildet.

Da das Taunusvorland von vielen tektonischen Störungen durchzogen wird (SEMMEL 1978), ist damit zu rechnen, dass sich auch solche Bewegungen in Rutschungen oberflächennah auswirken. Die Unterscheidung zwischen einfachen Hangrutschungen und tektonisch verursachten kann beispielsweise bei juristischen Beurteilungen von Gewährleistungsansprüchen bedeutsam sein, indem die tektonischen Bewegungen als „höhere Gewalt“



Abb. 7: Gleitfläche einer Rutschungsscholle am Tunnelportal Wandersmann Süd (Wiesbadener Kreuz)

gewertet werden. Indessen ist eine sichere Unterscheidung oft kaum möglich. In der Regel zeichnen sich nicht tektonisch bedingte Rutschungen durch die Bildung von hangaufwärtigen konkaven Einbuchtungen und geringem Tiefgang. Tektonische Schollen haben mehr geradlinige Grenzen und – natürlich – große Tiefe.

Im rutschungsanfälligen Gestein sind allerdings die tektonischen Formen durch Nachrutschungen verändert, die manchmal erst deutlich später, etwa durch Änderungen im Wasserhaushalt, ausgelöst wurden. Geradlinig verlaufende Formen können hingegen durch Ackerraine entstehen, die sich an nichttektonische Schollen anlehnen und tektonische Formen nur vortäuschen. Derartige Fehleinschätzungen sind mir bei der geologischen Landesaufnahme im Taunusvorland unterlaufen (SEMMELE 1980, 70). Schließlich muß damit gerechnet werden, dass Erschütterungen durch Erdbeben mit weit entfernten Epizentren nichttektonische Rutschungsschollen aktivieren.

Junge Erdbeben, allerdings ohne gravierende Schäden, gab es am Nordrand des Oberrheingrabens in jüngster Zeit wiederholt (BERCKHEMER 1967; JAKOBS u. HEINTKE 1969). Ebenso zeigen natürliche Verstellungen, die selbst noch den heutigen Oberflächenboden erfassen, jüngere Tektonik

dann zweifelsfrei an, wenn sie nicht auf Hangrutschungen oder Erdfälle zurückgeführt werden können. Auf Abb. 8 ist ein kleiner Graben zu sehen, der über mehrere 100 m parallel zum westlichen Oberrheingrabenrand verläuft. Da dieser kleine Einbruch bereits im hauptsächlich mit kalkfreiem Pliozän gefüllten Hauptgraben liegt, sollte er nicht auf Verkarstung beruhen.

Verkarstungsvorgänge sind dagegen entlang der ICE-Trasse zwischen dem Wiesbadener Kreuz und Wiesbaden von größerer Bedeutung für die Baugrundstabilität. Hier fallen in den Einschnitten immer wieder Erdfälle mit unterschiedlichstem Alter auf. Einige entstanden erst im jüngeren Holozän. Entsprechende und leicht zugängliche Beispiele findet man an der Westwand des neuen Dyckerhoff-Steinbruchs südlich des Wiesbadener Südfriedhofs.

In der ICE-Trasse im Taunusvorland war, obwohl sie mehrfach tektonische Verwerfungen quert, nirgendwo eine solche einwandfrei aufgeschlossen. Vielmehr sind an den entsprechenden Stellen immer



Abb. 8: Tektonischer Graben in einer Kiesgrube nördlich der Raststätte Weilbach (A 66)

Der grabenartige Einbruch im mittelpleistozänen t2-Kies des Mains setzt sich durch den hellen Löß bis in den dunklen holozänen (jünger als 3.000 Jahre) Bt-Horizont fort.

kryoturbate Aufpressungen des liegenden tertiären Mergels in die hangenden pleistozänen Kiese zu beobachten. Ein besonders schönes Beispiel war in der Baugrube für die Straßenbrücke zwischen Weilbach und Bad Weil-

bach freigelegt. Dieses Bauwerk liegt genau über der westlichen Randverwerfung des Oberrheingrabens. Der graue Mergel hat dort (Abb. 9) den hangenden Kies und den Löß durchspießt.



Abb. 9: Kryoturbate Mergelaufpressung an der Straßenbrücke zwischen Weilbach und Bad Weilbach

Über dem hellen Mergel liegt eine dünne Schicht dunklen Mergels, darüber folgen Mainkiese und Löß. Rechts im Bild ist der Mergel infolge Wasserübersättigung in die Deckschichten aufgestiegen und hat dabei randlich den dunklen Mergel mitgezogen. Diese Aufpressung liegt direkt über der westlichen Randverwerfung des Oberrheingrabens.

In der gleichen Grube wurde auch die Abb. 10 aufgenommen, die zeigt, wie von der Aufpressung die altwürmzeitlichen „Mosbacher Humuszonen“ mitverschleppt worden sind. Leider fanden sich im Würmlöß keine jüngeren Leithorizonte, die eine genauere Datierung des Vorgangs ermöglichen hätten.

Einige 100 m nördlich dieser Baugrube wurde durch eine Pipeline eine ähnliche Form geschnitten, die noch Löß mit dem ca. 20.000 Jahre alten „Eltviller Tuff“ aufgebogen hat (SEMMELE 1980, 69). An keiner Stelle ließ sich indessen eine Störung des holozänen Bodens durch solche Aufpressungen beobachten, sie dürfen deshalb als zweifellos pleistozäne Bildungen angesehen werden.



Abb. 10: Verschleppung fossiler Böden an einer Aufpressung

In der gleichen Baugrube wie auf Abb. 9 sind an anderer Stelle zwischen Mergel (links) und Löß die Reste zweier Schwarzerden von der Aufpressung miterfaßt worden. Es handelt sich um die beiden ältesten „Mosbacher Humuszonen“ (etwa 80.000 bis 100.000 Jahre alt), in denen helle Krotowinen zu erkennen sind.

Die oft nachweisbare Verbindung der Aufpressungen mit tektonischen Störungen legt die Folgerung nahe, hierin eine Auswirkung der guten Wasserwegsamkeit im Störungsbereich zu sehen. Ähnlich wie bei rezenten Pingos im Permafrostgebiet der Arktis, die ansonsten einen anderen Aufbau haben, setzte wahrscheinlich die Dauergefrorennis aus oder trat später als in der Umgebung ein, weil ständig (wärmeres) Grundwasser zufließt. Wegen der damit verbundenen Erhöhung des Wassergehaltes im den betroffenen Mergelpartien verringerte sich das spezifische Gewicht derselben, so dass der nötige Auftrieb entstanden sein dürfte, der zum Verdrängen und Durchstoßen der hangenden Schichten nötig war.

Die allem Anschein nach auf diese oder eine ähnliche Weise entstanden „Mergelwälle“ wirken sich beim Bau der ICE-Trasse unterschiedlich aus. Einmal untergliedern sie die Schotterkörper über dem Mergel in verschieden große „Kammern“, die unterschiedliche Mengen an Grundwasser speichern. Je nach Größe dieser „Kammern“ laufen auch unterschiedlich große Wassermassen in die Baugruben, wenn diese die Aufpressungen durchschneiden (Abb. 11).



Abb. 11: Wassereintritt in die Baugrube der Straßenbrücke Weilbach/Bad Weilbach

Nachdem der Bagger den aufgepreßten Mergel durchgeschnitten hatte, lief die Baugrube voll Grundwasser, das hinter der Aufpressung gestaut war. Die Grenze zwischen Mergelaufpressung (rechts) und Kies (links) verläuft vom Abschöpfbrunnen (Bildmitte) zur untersten Ecke der hellen Plastikplane.

Zum anderen machen sich die durchgeschnittenen Aufpressungen in den Böschungen der ICE-Trasse alsbald als die Stellen bemerkbar, an denen es zu Rutschungen und Ausfließungen von Mergel kommt (Abb. 12), Vorgänge, die durch die vom zukünftigen Bahnverkehr ausgehenden Erschütterungen sicher noch verstärkt werden (Thixotropie).

4 Taunus

Das Relief des Taunus ist durch hochliegende präquartäre Abtragungsflächen geprägt, in die die vorwiegend quartären Täler eingetieft sind. Beim ICE-Bau erwiesen sich die großenteils an die Hochflächen gebundenen tiefgründigen Verwitterungsdecken der devonischen Schiefer („Meso-zoisch-tertiäre Verwitterungsdecke“ im Sinne von FELIX-HENNINGSSEN 1990) als besonders problematisch. Deren „aufgeweichte“ Gesteine erlaub-



Abb. 12: Ausfließender Mergel über einer Mergelaufpressung westlich der Straßenbrücke Weilbach/Bad Weilbach

Von den Verfließungen ist auch der aufgeschüttete Lärmschutzwall (bewachsener Teil) betroffen.

ten meist nicht das bei Festgesteinen angewandte Tunnel-Bauverfahren, sondern erforderten den Einsatz wesentlich differenzierterer und aufwendigerer Methoden. Zudem erschwerte nicht nur der oftmalige Wechsel zwischen unterschiedlich stark verwittertem Gestein im „Grundhöckerbereich“ (BÜDEL 1977, 96) die Arbeiten, sondern auch die häufige Einschaltung von harten Quarziten in weiche Tonschiefer. Der Quarzit ist meist nur randlich durch Verwitterung gelockert und nur dort mit dem Bagger bearbeitbar. Selbst kleinere Vorkommen, die unter den Hochflächen angetroffen wurden, bedeuteten deshalb Bauverzögerung.

Am häufigen Gesteinswechsel ist außerdem hydrothermaler Zersetz beteiligt, der vor allem an den Talhängen zutage tritt, die tektonischen Störungen folgen. Große Ausdehnung, sowohl in der Breite als auch in der Tiefe, erreicht dieser endogene Zersetz an den Rändern des Limburger Beckens und am Südrand des Taunus, wo er zusammen im Wechsel mit der präquartären exogenen Verwitterung, mit Rotliegend-Konglomeraten und -Tonsteinen sowie oligozänen Mergeln und Kiesen zu einem besonders schwierigen Baugrund führt, dessen Struktur noch dazu durch junge Tektonik und periglaziale Massenverlagerungen zusätzlich verkompliziert wurde und bisher nicht eindeutig entwirrt werden konnte. Typisch für solche

Lagerungsverhältnisse sind der ICE-Einschnitt nordnordwestlich Wiesbaden-Breckenheim und der nördlich anschließende Schulwald-Tunnel.

In den Einschnitten zwischen Wörsbachtal und Emsbachtal nördlich Bad Camberg wird die Böschungsstabilität problematisch, da hier, ähnlich wie im Taunusvorland, wasserführende durchlässige Kiese über undurchlässigem Untergrund liegen. Allerdings handelt es sich hier nicht um pleistozäne Kiese, sondern um oligozäne, und deren Untergrund besteht nicht aus quellfähigen tertiären Mergeln, sondern aus kaolinitischem Schieferzersatz, der geringere Quellfähigkeit besitzt, wodurch die Mobilität eingeschränkt wird.

5 Zusammenfassung

Die spezifische Reliefentwicklung im Bereich der ICE-Trasse zwischen Frankfurt am Main und Limburg an der Lahn machte sich in verschiedener Hinsicht bei den Bauarbeiten bemerkbar. In der jungen Aufschüttungslandschaft der Untermainebene war es vor allem der häufige Wechsel zwischen durchlässigen kaltzeitlichen Kiesen und undurchlässigen warmzeitlichen Tonen, der die Arbeiten durch Wassereinbruch und Erschwerung der Trassenkonsolidierung behinderte und verteuerte. In den tertiären Mergeln des Taunusvorlandes bereiteten die Rutschungshänge der periglazial asymmetrischen Täler und die vorzugsweise an tektonischen Störungen zu findenden kryoturbaton Mergelaufpressungen vergleichbare Probleme. Im Taunus erwiesen sich der unter den Hochflächen verbreitete präquartäre Zersatz der Schiefer und der häufige Wechsel von weichen Schiefen mit harten Quarziten insbesondere bei den Tunnelbauten als großes Hindernis.

Literatur

- ANDERLE, H.-J. u. G. RADTKE 1999: Die ICE-Neubaustrecke Köln-Rhein/Main in Hessen: Neue Erkenntnisse zur Geologie. Wiesbaden. (= Vortrag. 151. Hauptversammlung deutschen geologischen Gesellschaft).
- BERCKHEMER, H. 1967: Die Erdstöße in Wiesbaden am 4. Januar 1967. In: Notizblatt des hessischen Landes-Amtes für Bodenforschung 95/1967, S. 213–216.
- BUDEL, J. 1977: Klima-Geomorphologie. Berlin/Stuttgart.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. 1990: Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge. Berlin/Stuttgart (= Relief, Boden, Paläoklima, 6).
- GIESSÜBEL, J. 1977: Nutzungsbedingte Änderungen im Naturraum. Frankfurt a.M. (= Rhein-Mainische Forschungen, 85).
- JAKOB, K. H. u. H. HEINTKE 1969: Das Lorsbacher Erdbeben vom 21. Juli 1968. In: Notizblatt des hessischen Landes-Amtes für Bodenforschung 97/1969, S. 379–385.
- SEMMELE, A. 1972: Junge Reliefformung im Rhein-Main-Gebiet. In: SCHULTZE, H. (Hrsg.): Umweltreport. Frankfurt a.M.: Umschau-Verlag, S. 327–329.

- SEMMEL, A. 1974: Geomorphologische Untersuchungen zur Umweltforschung im Rhein-Main-Gebiet. In: Verhandlungen des deutschen Geographentages, 39. Wiesbaden, S. 538–549.
- SEMMEL, A. 1978: Untersuchungen zur quartären Tektonik am Taunus-Südrand. In: Geologisches Jahrbuch Hessen 106/1978, S. 291–302.
- SEMMEL, A. 1980: Die geomorphologische Karte als Hilfe bei der geologischen Landesaufnahme. In: Berliner geographische Abhandlungen 31, S. 67–73.
- SEMMEL, A. 1986: Angewandte konventionelle Geomorphologie. Frankfurt (= Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten, D 6).
- SEMMEL, A. 1999: Spezielle Formen quasinatürlicher Massenverlagerungen in Odenwald und Taunus. In: BIBUS, E. u. B. TERHORST (Hrsg.): Angewandte Studien zu Massenbewegungen. Tübingen, S. 213–229. (= Tübinger geowissenschaftliche Arbeiten, D 5).