

Ingenieurgeologische Untersuchung einer Rutschung in Essenheim/Rheinhessen

THOMAS KRAMER & ANSGAR WEHINGER

Kurzfassung: In verschiedenen Hanglagen der Ortsgemeinde Essenheim in Rheinhessen (Rheinland-Pfalz) ist der Untergrund rutschgefährdet oder es sind fossile Rutschungen vorhanden. In einer dieser Hanglagen wurde die Erweiterung des Baugebietes „Domherrngärten“ geplant. In der Folge dessen war zu klären, unter welchen Randbedingungen die Bebauung realisiert werden kann. Hierzu wurden in mehreren Kampagnen der geologische Untergrund mit Kernbohrungen untersucht und Inclinometermessstellen zur Beobachtung von Hangbewegungen eingerichtet. Die Untersuchungsergebnisse wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit zur Durchführung von Standsicherheitsberechnungen genutzt. Auf der Basis aller Untersuchungsergebnisse werden Vorsorgemaßnahmen für die Bebauung in einem rutschgefährdetem Hang aufgezeigt.

Abstract: Various slopes in the village Essenheim in Rhinehessen/Rhineland-Palatinate are prone to landslides. The planned extension of the building area „Domherrngärten II“ is part of such an area. In succession it had to be discussed under which circumstances construction is possible. To analyze the geological features core drillings with rock sampling were executed as well as inclinometers (measurements to detect motion of the slope). The taken data was used in a Bachelor thesis to evaluate the slope stability. On the base of all results references for building on instable slopes are given.

1. Einleitung und Situation

Die Ortsgemeinde Essenheim liegt etwa 10 km südwestlich von Mainz in Rheinhessen (Rheinland-Pfalz). Die Ortschaft befindet sich am Rande eines Plateaus an einem Nordwesthang des Selztals, wobei das Gelände nach Süden bis Südosten einfällt. Aufgrund der Nähe zum Rhein-Main-Gebiet und der attraktiven Lage sind Bauplätze sehr begehrt. Somit werden in Essenheim schon seit etwa 25 Jahren die Baugebiete „Domherrngärten“ erschlossen und bebaut. Das in der Talsohle gelegene Gebiet „Domherrngärten I“ ist schon seit Anfang der 2000er Jahre fertig gestellt. Das aktuelle Baugebiet „Domherrngärten II“ schließt sich nach Nordosten hin an. Dieser Hang ist in den Gefahrenhinweiskarten, wie der Hangstabilitätskarte des linksrheinischen Mainzer Beckens (ROGALL & SCHMITT 2005), als nachgewiesenes Rutschgebiet gekennzeichnet. Eine erste Baugrund- und Hangstabilitätserkundung erfolgte zwischen 1996 und 1998 durch die Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH (ICP 1998). Dazu wurden 14 Rammbohrungen und 5 Rammsondierungen durchgeführt sowie 6 Inclinometermessstellen eingerichtet. Diese wurden allerdings nur ein Jahr gemessen. Es wurde eine rezente Rutschung festgestellt und die Empfehlung von Drainagen zur Vermeidung flacher Rutschungen (< 5 m Tiefe) ausgesprochen. Eine Sanierung der „ortsüblichen“ tieferen Rutschungen (> 5 m Tiefe) wird hier nicht diskutiert. Nach 1998 wurde das Baugebiet „Domherrngärten II“ zunächst nicht weiter verfolgt. Erst seit etwa 2011 wurde die Bauleitplanung wieder aufgenommen. Im Zuge der Erschlie-

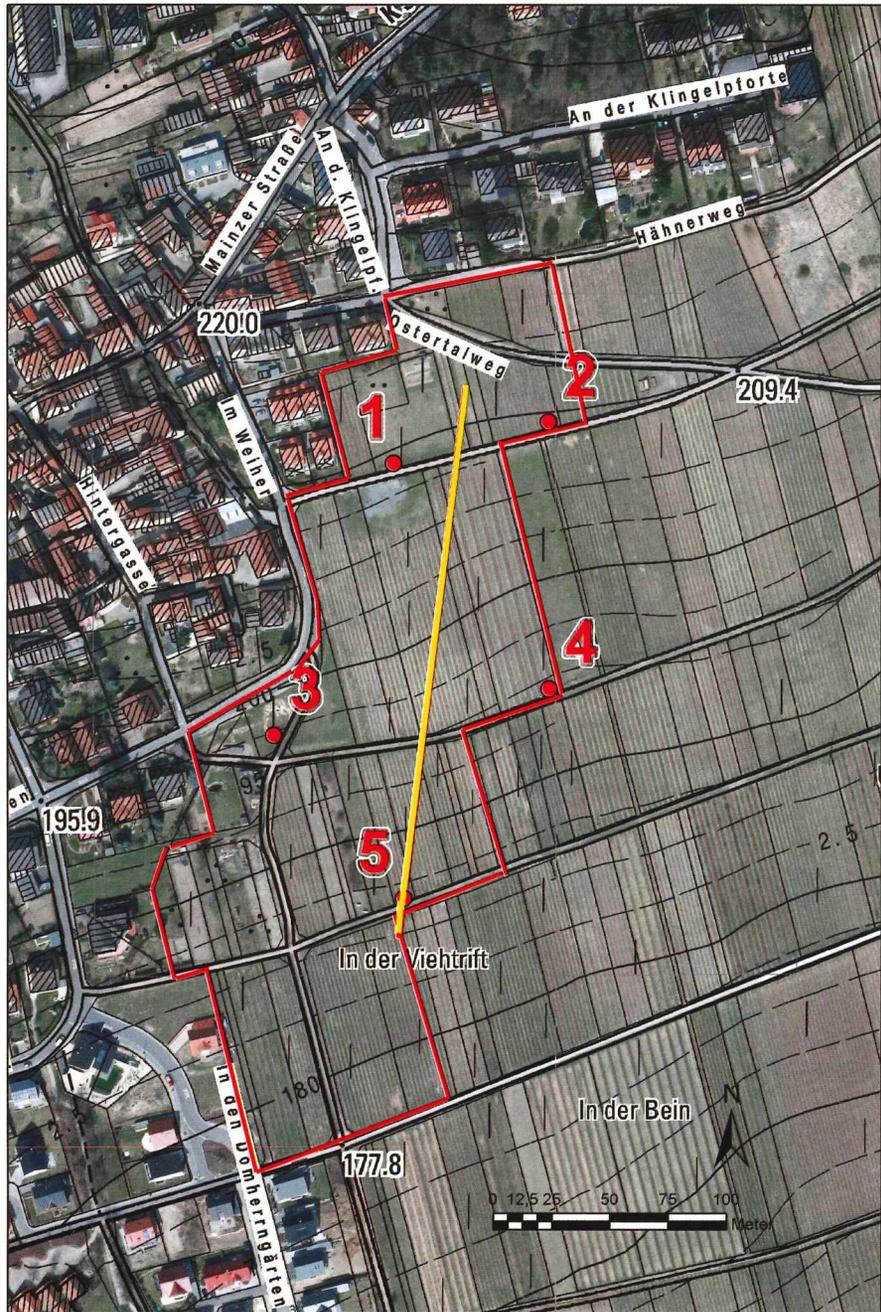


Abb. 1: Lageplan des Baugebiets (rote Linie) sowie der Kernbohrungen bzw. Inklinometer (rote Punkte 1 bis 5) und der Profillinie (gelbe Linie; siehe Abb. 12).

ßungsmaßnahmen wurde das Thema Hangstabilität erneut geprüft. Nachdem die alten Inclinometermessstellen nicht mehr zur Verfügung standen, wurden dann auf Empfehlung des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB) im Juli 2014 fünf Kernbohrungen abgeteufelt und zu Inclinometermessstellen ausgebaut (siehe Abb. 1). Hierbei wurden bereits wenige Monate nach Einrichtung an einzelnen Messstellen Bewegungen festgestellt, weshalb im Folgenden die Situation ausführlicher untersucht und verschiedene Maßnahmen veranlasst wurden.

Die Autoren danken Herrn Diplom-Geologen Michael Welling (Geotechnik Mainz) für die Zusammenarbeit bei der Aufnahme der Kernbohrungen sowie die konstruktiven Fachgespräche. Herrn Dr. Peter Schäfer sei für die über die Analyse der Mikrofossilpräparate vorgenommene stratigraphische Zuordnung der entnommenen Proben gedankt. Weiter gilt ein großer Dank den Herren Dr. Frieder Enzmann und Prof. Dr. Ing. Michael Kersten von der Universität Mainz als Gutachter für die Bachelorarbeit. Ein abschließender Dank gilt auch Herrn Ortsbürgermeister Hans-Erich Blodt, Herrn Ersten Beigeordneten Erwin Malkmus und Herrn Bernd Schumacher als Vertretern der Ortsgemeinde Essenheim bzw. der Verbandsgemeinde Nieder-Olm für die Erlaubnis die Daten im Rahmen einer Bachelorarbeit (KRAMER 2015) und des vorliegenden Artikels auswerten zu dürfen.

2. Geologie und Baugrundaufbau

Geologisch gesehen gehört Essenheim zum linksrheinischen Mainzer Becken – einem Teilablagerungsraum bei der Entwicklung des Oberrheingrabens im Tertiär. Im

Tab. 1: Zusammenfassung der Bohrergebnisse. Sämtliche Bohrungen wurden bis 20 m Tiefe unter GOF geteufelt. Unterhalb der fossilen Rutschmasse (siehe Zeile 5 der Tabelle) stehen die Einheiten des Oligozän (Tertiär) an. Zum Vergleich wurden neben den über die Bohrung festgestellten Tiefen der Unterkante der Rutschmasse die über die Inclinometermessstellen ermittelten Gleitflächen (rote Schrift) ergänzt.

Bohrung	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5
Koordinaten (UTM 32)	E 439881 N 5531428	E 439956 N 5531451	E 439827 N 5531307	E 439944 N 5531333	E 439884 N 5531244
GOF [+ m NN]	ca. 209,0	ca. 209,2	ca. 196,1	ca. 194,5	ca. 187,1
Unterkante Auffüllung [m u GOF]	3,5	2,8	2,4	1,35	0,5
Unterkante Rutschmasse [m u GOF]	11,1 (10)	9,9 (10)	7,4 (-)	3,85 (5)	4,25 (4)
Wasserzutritt [m unter GOF]	6,8	9,3	3,8 14,5	3,6	3,2 6,7
Auffälligkeiten [m u GOF]	weich: 9,85-9,9; 110,6-10,8; 13,0-13,4; 14,0-14,3; 16,3-16,7; 17,0-17,15; 17,6-17,7 Gleitfläche? ca. 10,2	nass: 3,8-4,0 9,25-9,4 teils weich: 9,25-9,4	weich: 11,1-11,2; 12,0-12,3; 13,6-13,8; 17,45-17,55	nass: 16,8-17,0 17,78-17,8 teils weich: 2,65-2,8; 3,65-3,8; 9,0-9,1; 10,0-10,15; 12,0-12,2; 17,78-17,8	nass: 6,55-6,8 7,0-7,9 19,15-19,2 weich: 6,55-6,8; 19,15-19,2

Tiefe [m]	Beschreibung	Stratigraphie, Interpretation, Profil	Bohrkernaufnahme
0,0-3,5	A: G, s, u' – U, s', g', Beton-St., Ziegel-St., z.T. h, graubraun, steif	Auffüllung, Holozän, Quartär	
3,5-3,7	Mu: T, u, fs', einz. G (Kst-St.), h, dunkelbraun, steif	Alter Mutterboden, Holozän, Quartär	
3,7-11,1	L: TMe+SMe im Wechsel: T, u, fs' mit fs,u-Bändern, ockergrau, rostfleckig, halbfest, teils weich-steif; fs,u-Bänder: 5,45-5,5 m; 5,75-5,8 m; 6,85- 6,90 m; 7,3-7,6 m; 8,7-8,8 m; 9,32-9,4 m (Rutschmasse); Wasserzutritt bei 6,8 m; ▼ Gleitfläche? ca. 10,2 m —	Rutschmasse: Quartär / umgelagertes Tertiär	
11,1- 20,0	TMe: T, u, grau, teils ocker, halbfest, teils weich-steif; Kohle-Lagen: 14,8-14,85 m; 15,6- 15,8 m; 17,65-17,75 m; Mudden: 14,85-15,0; 15,8-15,95 m; 17,75- 18,0 m	Tonmergel mit organischen Zwischenschich- ten, Oligozän, Tertiär	

Abb. 2: Schichtenverzeichnis und Fotodokumentation der Kernbohrung B 1: Ausführung 02.07. bis 03.07.2014. Grundwasser angebohrt bei 6,8 m unter Ansatzpunkt, Wasserstand nach Bohrende bei 14,50 m unter Ansatzpunkt (kein Beharrungszustand) (Abb 2. bis Abb. 6: Fotos und Schichtenverzeichnisse WEHINGER, Graphik HEINRICHS).

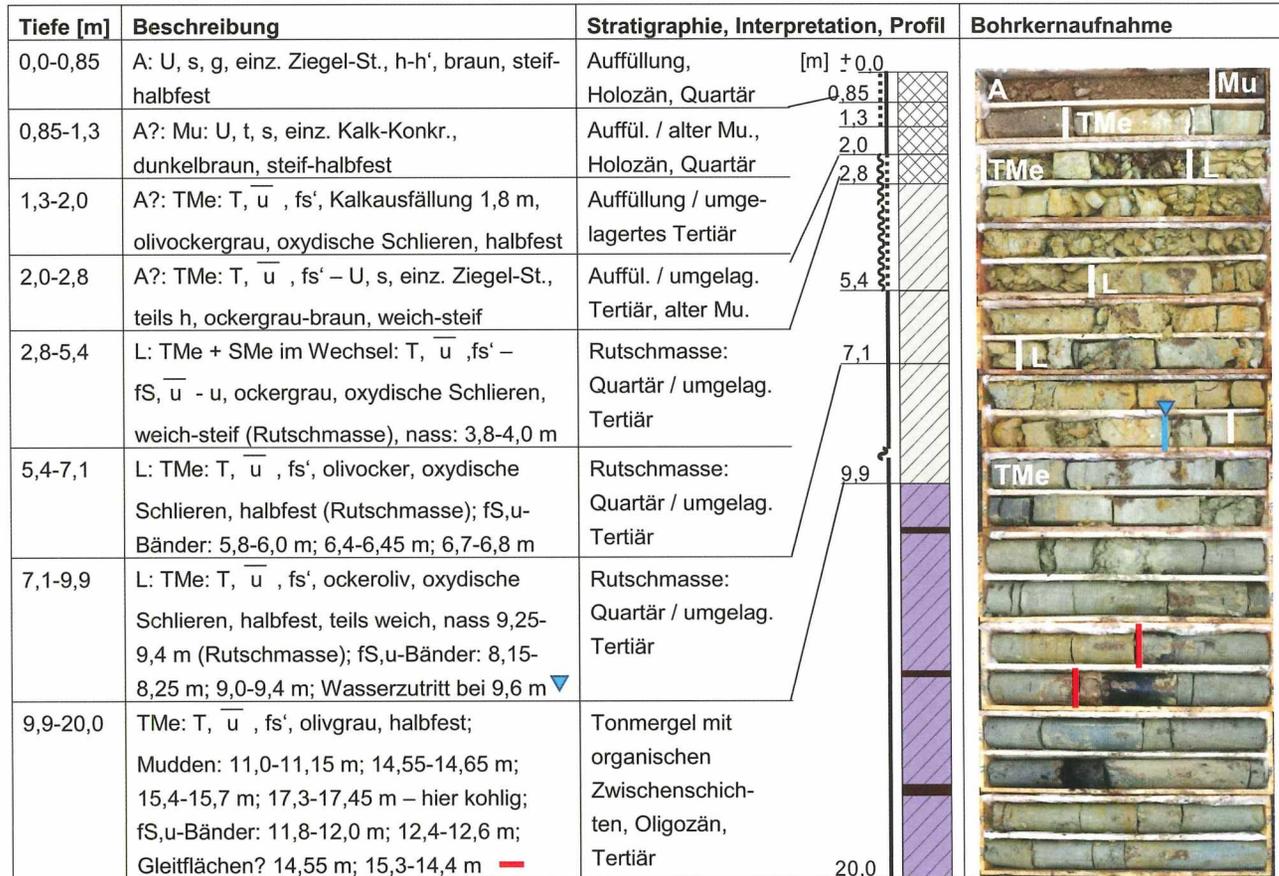


Abb. 3: Schichtenverzeichnis und Fotodokumentation der Kernbohrung B 2: Ausführung 04.07. bis 07.07.2014. Grundwasser angebohrt bei 9,6 m unter Ansatzpunkt, Wasserstand nach Bohrende bei 15,80 m unter Ansatzpunkt (kein Beharrungszustand).

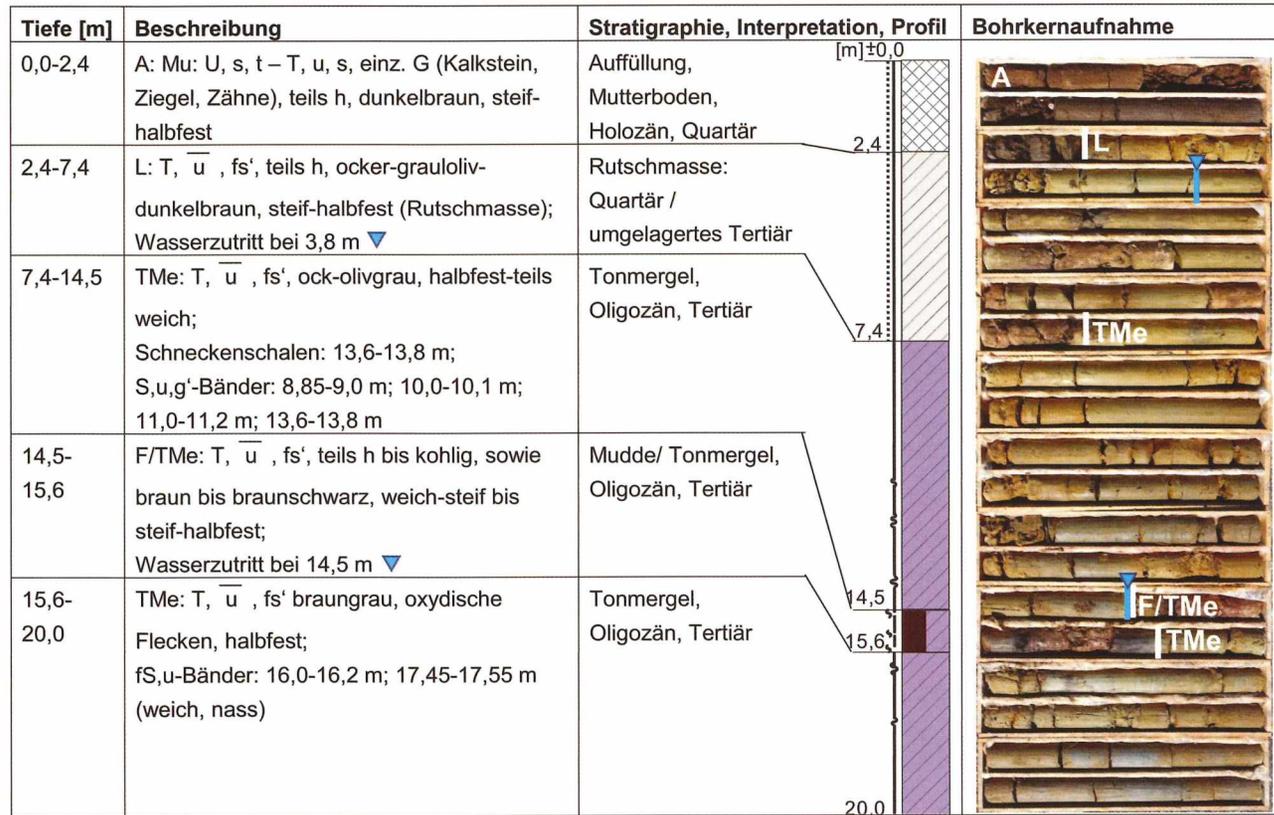


Abb. 4: Schichtenverzeichnis und Fotodokumentation der Kernbohrung B 3: Ausführung 15.07. bis 16.07.2014. Erstes Grundwasser angebohrt bei 3,8 m unter Ansatzpunkt, zweites Grundwasser angebohrt bei 14,5 m unter Ansatzpunkt. Wasserstand nach Bohrende bei 8,75 m unter Ansatzpunkt (kein Beharrungszustand).

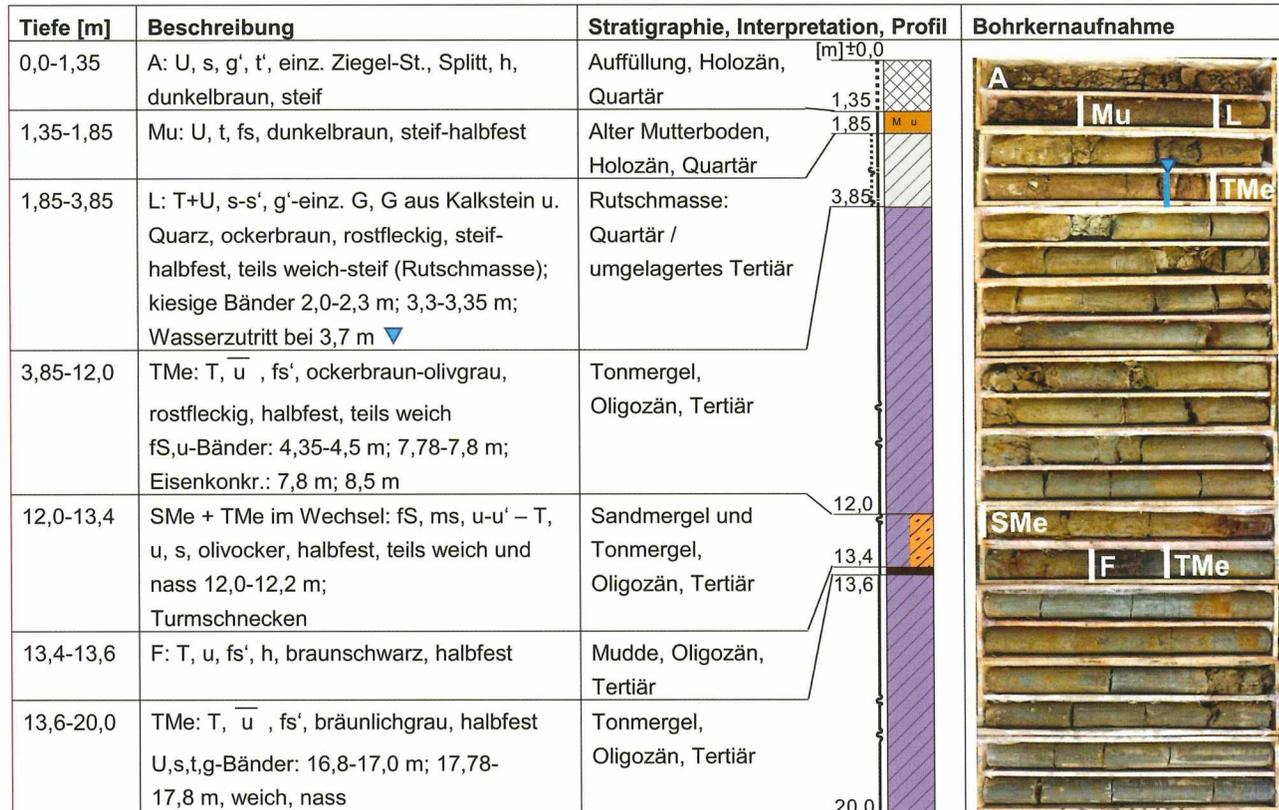


Abb. 5: Schichtenverzeichnis und Fotodokumentation der Kernbohrung B 4: Ausführung 08.07. bis 10.07.2014. Grundwasser angebohrt bei 3,7 m unter Ansatzpunkt, Wasserstand nach Bohrende bei 13,55 m unter Ansatzpunkt (kein Beharrungszustand).

Tiefe [m]	Beschreibung	Stratigraphie, Interpretation, Profil	Bohrkernaufnahme
0,0-0,5	A: Mu: U, t, s, g, einz. Ziegel-Stücke, h, dunkelbraun, steif-halbfest	Auffüllung, Mutterboden; Holozän, Quartär	
0,5-4,25	L: T, u, fs' – S, \bar{u} , t, einz. G, G aus Kalkstein, Kalk-Ausfällungen, ockerbraun, rostfleckig, weiße Kalk-Flecken; (Rutschmasse); Wasserzutritt bei 3,7 m ▼	Rutschmasse: Quartär / umgelagertes Tertiär	
4,25-6,55	TMe: T, u, fs, graubraun, halbfest; fs,u-Bänder: 4,5-4,7 m; 6,1-6,12 m; Eisenkonkr.: 6,1-6,12 m	Tonmergel, Oligozän, Tertiär	
6,55-6,8	SMe: S, u-u' t', g', G aus Schnecken, ockerbraun, weich bis steif	Sandmergel, Oligozän, Tertiär	
6,8-7,0	SMe: fS, u, t-t', braunocker, steif bis halbfest	Sandmergel, Oligozän, Tertiär	
7,0-7,3	TMe: U+T, s, g, zum Teil h, braungrau, steif, nass; (Rutschmasse?)	Tonmergel (umgelagert?), Tertiär	
7,3-7,9	F/TMe/SMe: T, \bar{u} , fs' – fS, \bar{u} , h, ockerbraun bis braungrau, steif, nass	Mudde /Tonmergel / Sandmergel, Oligozän, Tertiär	
7,9-20,0	TMe: T, \bar{u} , fs', braungrau, halbfest, teils weich bis steif: 19,15-19,2 m (mit Schalen); fs,u-Bänder: 12,6-12,62 m; 13,65-13,68 m; 14,9-14,95 m; 19,6-19,62 m	Tonmergel, Oligozän, Tertiär	

Abb. 6: Schichtenverzeichnis und Fotodokumentation der Kernbohrung B 5: Ausführung 10.07. bis 14.07.2014. Erstes Grundwasser angebohrt bei 3,7 m unter Ansatzpunkt, zweites Grundwasser angebohrt bei 6,7 m unter Ansatzpunkt.

Becken bzw. im Graben kam es mehrfach zu Meeresvorstößen, so dass eine Wechselfolge von Süßwasser- und Meeressedimenten sowie Brackwasserablagerungen entstand.

Im Juli 2014 wurden fünf Kernbohrungen bis in eine Tiefe von je 20 m abgeteuft. Die Lage der Bohrungen ist in Abb. 1 dargestellt. Die Bohrkerne wurden seitens des LGB und des Büros Geotechnik Büdinger Fein Welling GmbH, Mainz-Hechtsheim, aufgenommen. Über die Bohrkernaufnahme und die Analyse von Mikrofossilien konnten die angetroffenen Schichten bestimmten geologischen Formationen zugeordnet werden. Die Bohrergergebnisse werden in der Tab. 1 zusammengefasst und im Folgenden erläutert: Die Schichtenverzeichnisse sowie Fotos der Kernbohrungen sind in den Abb. 2 bis 6 dokumentiert.

Tertiär

Das unbewegte Anstehende steht ab etwa 3,85 bis 11,1 m Tiefe unter GOF an. Die Tertiär-Einheiten setzen sich überwiegend aus Tonmergeln zusammen, in die einzelne Horizonte von Sandmergel sowie organische Schichten aus Braunkohlen bis Mudden eingeschaltet sind. In den Tertiär-Schichten wurden wechselnde Festigkeiten festgestellt, wobei meist eine halbfeste Zustandsform überwiegt. Allerdings werden die halbfesten Horizonte wiederholt von weich bis steif ausgebildeten Schichten unterbrochen. Die Sandmergel bzw. eingelagerte Schalenhorizonte sind in der Regel wasserführend.

Anhand von Mikrofossilien, die aus Proben der Kernbohrungen entnommen wurden, konnten für das Untersuchungsgebiet in Essenheim folgende dem Oligozän zugehörige Formationen identifiziert und beschrieben werden:

- Sulzheim-Formation: Die Einheiten der Sulzheim-Formation streichen im unteren Hangabschnitt des Baugebietes aus und bestehen aus Tonmergeln mit eingeschalteten Feinsand-Lagen. Zusätzlich ist hier die sogenannte Kirchbergbank eingeschaltet, die als wichtiger Leithorizont gilt. Die Kirchbergbank wird durch organische Tonmergel und Braunkohlelagen aufgebaut. In der älteren Fachliteratur entsprechen die Einheiten der Sulzheim-Formation dem Cyrenenmergel.
- Jakobsberg-Formation: Über der Sulzheim-Formation schließt sich die Jakobsberg-Formation, vormals auch Süßwasserformation genannt, an. Diese besteht größtenteils aus Tonmergeln, welche durch sandige, kalkreiche, organische bzw. kohlehaltige Lagen unterbrochen werden.

Die Schichtgrenze zwischen der Sulzheim- und der Jakobsberg-Formation liegt nach den mikropaläontologischen Untersuchungen der Bohrungen B 1 und B 2 bei etwa + 192 m NN \pm 1 m (Auswertung durch Dr. P. SCHÄFER, LGB).

Quartär

Die genannten Tertiär-Einheiten werden von quartären Auffüllungen und Rutschmassen überlagert.

- Auffüllung (Quartär): Bei allen Bohrungen wurden direkt unter der Geländeoberfläche bis in etwa 0,5 bis 3,5 m Tiefe zunächst angeschüttete oder künstlich umgelagerte Böden angetroffen.
- Hanglehm/Rutschmasse (Quartär bzw. umgelagertes Tertiär): Bis etwa 3,85 bis 11,1 m Tiefe unter GOF steht eine inhomogene Folge von Ton- und Sandmergeln an, die infolge fossiler Massenbewegungen umgelagert sind. Des Weiteren sind fossile Mutterböden und stark anthropogen beeinflusste Bereiche erkennbar. Typisch für

die Rutschmassen sind die starke Heterogenität sowie die wechselnden Zustandsformen (weich bis halbfest). Bereits in den Bohrkernen konnten zum Teil Gleitflächen identifiziert werden, wie in B 1 in etwa 10,2 m Tiefe.

Ergänzend ist auf vermutete Störungen hinzuweisen, die parallel und senkrecht zum Hang streichen sollen, sowie die Nähe zur Plateaunische zwischen Essenheim und Ober-Olm, an deren Flanke eine erhöhte Rutschgefahr besteht (STEINGÖTTER 1984).

3. Ingenieurgeologie

Die dem sogenannten Mergeltertiär angehörenden Ablagerungen der Sulzheim- und Jakobsberg-Formation gelten prinzipiell als rutschgefährdet, wie dies an zahlreichen Hängen im Mainzer Becken zu beobachten ist. Tatsächlich belegt auch der Nachweis fossiler Rutschmassen im Baugebiet die grundsätzliche Rutschungsgefährdung. In der vom LGB herausgegebenen Hangstabilitätskarte ist dieser Bereich ebenfalls als nachgewiesenes Rutschgebiet eingetragen (ROGALL & SCHMITT 2005). In der vom LGB und der Forschungsstelle Rutschungen erstellten Rutschungsdatenbank Rheinland-Pfalz ist in einer Entfernung von 100 m südöstlich des Baugebietes ein Rutschereignis aus dem Jahr 1968 dokumentiert.

Die fossilen Rutschungen können prinzipiell bei im Vergleich zu heute ungünstigeren klimatischen Bedingungen aufgetreten sein. Insofern kann aus dem Vorhandensein fossiler Rutschmassen keine unmittelbare Aussage zur aktuellen Rutschungsaktivität abgeleitet werden. Um hierzu abgesicherte Erkenntnisse zu erhalten, wurden außer den aktuellen Felduntersuchungen auch Analysen von Luftbildern und des im Laserscan-Verfahren ermittelten digitalen Geländemodells vorgenommen.

- Luftbilder: Auf den seit dem Jahr 1961 vorhandenen Luftbildern sind für den Bereich des Baugebietes keine morphologischen Auffälligkeiten erkennbar, so dass hieraus keine Hinweise auf aktuelle Rutschbewegungen abzuleiten sind.
- Laserscandaten: Genauere Erkenntnisse liefern aktuelle hochauflösende Laserscandaten des Landesamtes für Vermessung und Geobasisinformation (LVerGeo RLP) von Anfang 2014, die vom EDV-Referat des LGB aufbereitet wurden. Mit einer Auflösung von 25 cm pro Pixel werden im digitalen Geländemodell (DGM) morphologische Erscheinungen sehr gut erkannt. Wie die Abb. 7 zeigt, ist die Oberfläche des DGM für den Bereich des Baugebiets (rot) glatt und damit unauffällig ausgebildet. Im Unterschied hierzu befindet sich unmittelbar östlich davon ein größerer Bereich (orange) mit morphologischen Auffälligkeiten, wie Wülsten und Senken (gelb), einer flachen Rutschung (blau) und der in der Datenbank hinterlegten Rutschung von 1968 (grün). Diese Erkenntnis in Verbindung mit den bekannten Rutschungen in der Nachbargemeinde Ober-Olm lassen auf eine unterschiedliche Betroffenheit und Aktivität von Massenbewegungen im Hanggelände zwischen Essenheim und Ober-Olm schließen.

4. Wasser

Innerhalb der quartären Deckschichten bzw. Rutschmassen wurden bei allen Bohrungen Wasserzutritte in jeweils etwa zwischen 3,7 m bis 9,6 m Tiefe unter GOF angetroffen. Ebenso wurden bei allen Bohrungen in verschiedenen Tiefen nass ausgebildete Schichten festgestellt. Die vernässten Horizonte wurden im Teufenbereich von etwa 3,8 m bis 19,2 m unter GOF bei Mächtigkeiten von meist wenigen Dezimetern erbohrt. Im Zuge des Aushubs verschiedener Baugruben wurden ebenfalls Wasserzutritte bzw. vernässte Schichten vorgefunden. Die Abb. 8 zeigt ein Beispiel.

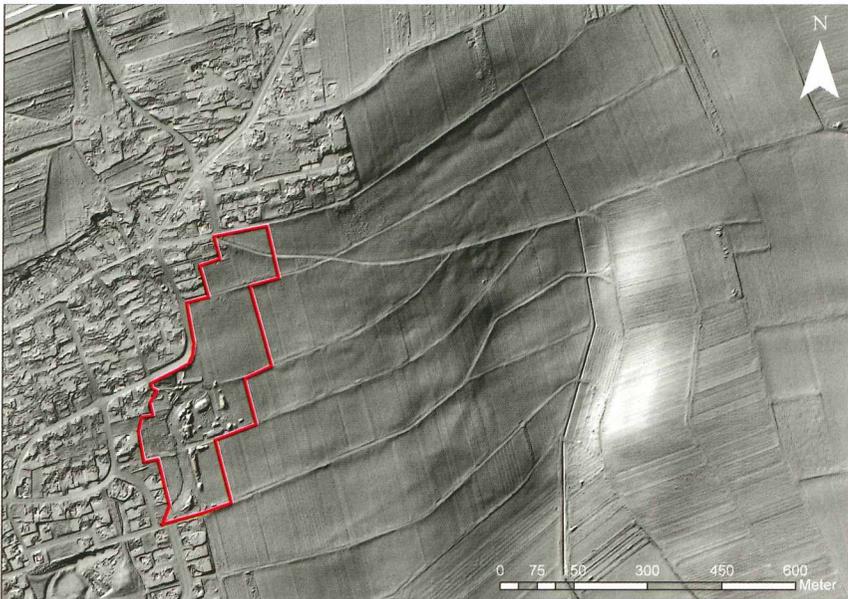
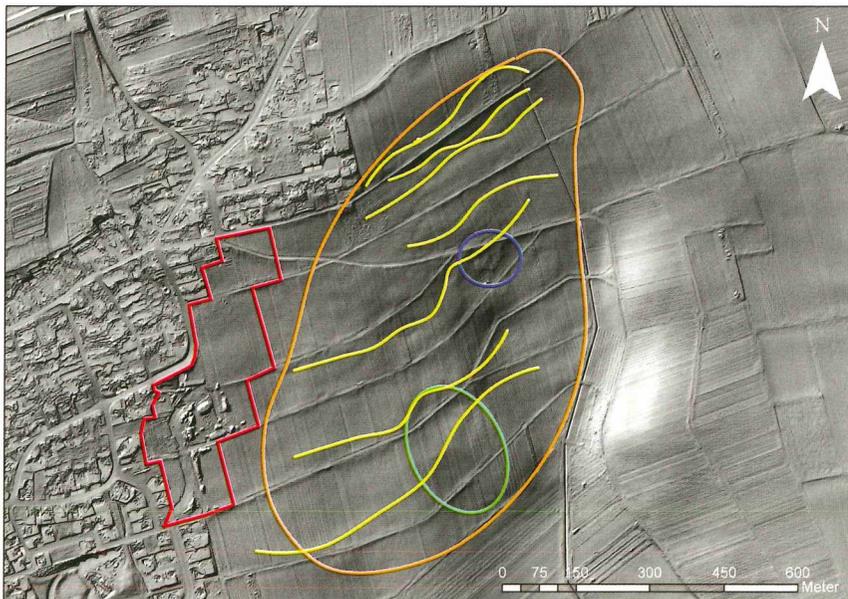


Abb. 7: Bild oben: Ausschnitt aus dem Digitalen Geländemodell (DGM) mit Kennzeichnung des Baugebietes (rot umrandet).

Bild unten: Hier sind zusätzliche Merkmale farblich gekennzeichnet. Der Bereich mit morphologischen Auffälligkeiten ist orange umrandet. Wülste und Senken sind mit gelben Linien markiert. Eine flache Rutschung ist blau und die in der Rutschungsdatenbank dokumentierte Rutschung ist grün umrandet (Graphik: KRAMER, auf Basis des DGM des LVermGeo RLP).



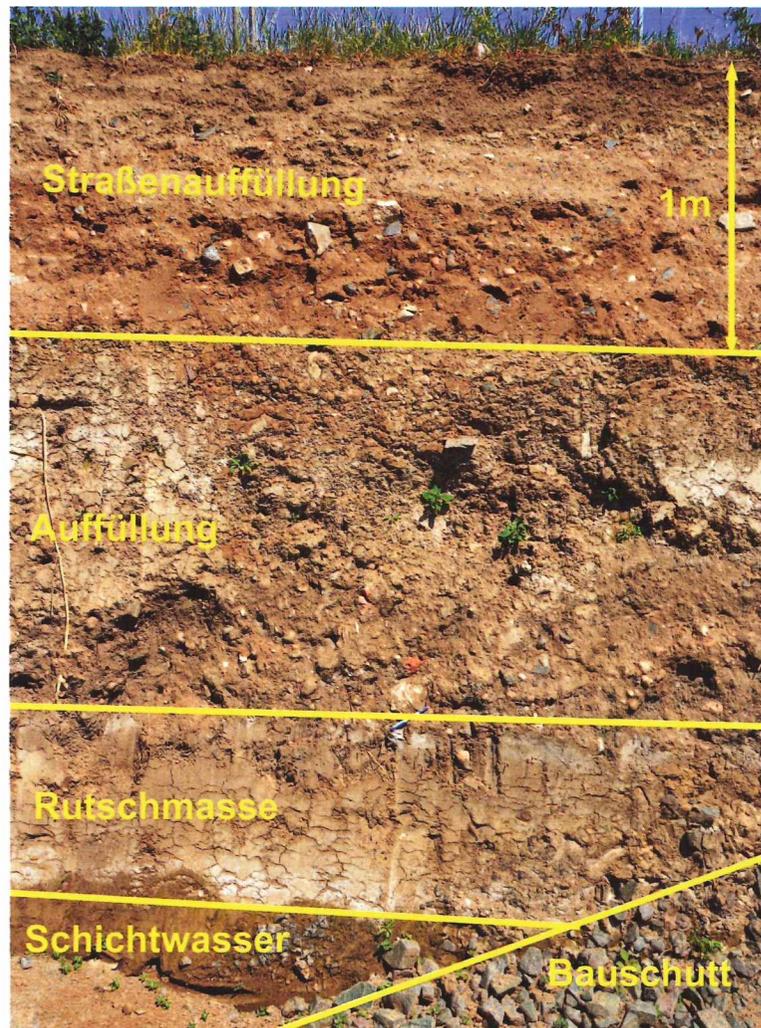


Abb. 8: Baugrubenböschung im Neubaugebiet „Domherrngärten II“. Unterhalb einer im Rahmen der Erschließung aufgebrachtten jungen Auffüllung folgt eine ältere Auffüllung. Diese wird von Rutschmassen unterlagert. Im Aufschluss ist an der dunklen Färbung das Vorhandensein von Schichtwasser ab etwa 3 m Tiefe unter GOF zu erkennen (Aufnahme und Foto: Kramer, 30.6.2015).

Hydrogeologisch interessant ist eine gefasste Quelle im Baugebiet, welche etwa 50 m oberhalb wahrscheinlich als Schichtquelle entspringt und von dort über ein Rohr abgeleitet wird. Solche Schichtquellen sind für die Grenze Kalktertiär (gut wasser-durchlässig) zu Mergeltertiär (gering wasser-durchlässig) typisch. Der am Hangfuß verlaufende Essenheimbach führt nur periodisch Wasser. Oberflächlich sind keine weiteren Hinweise auf Wasser gegeben.

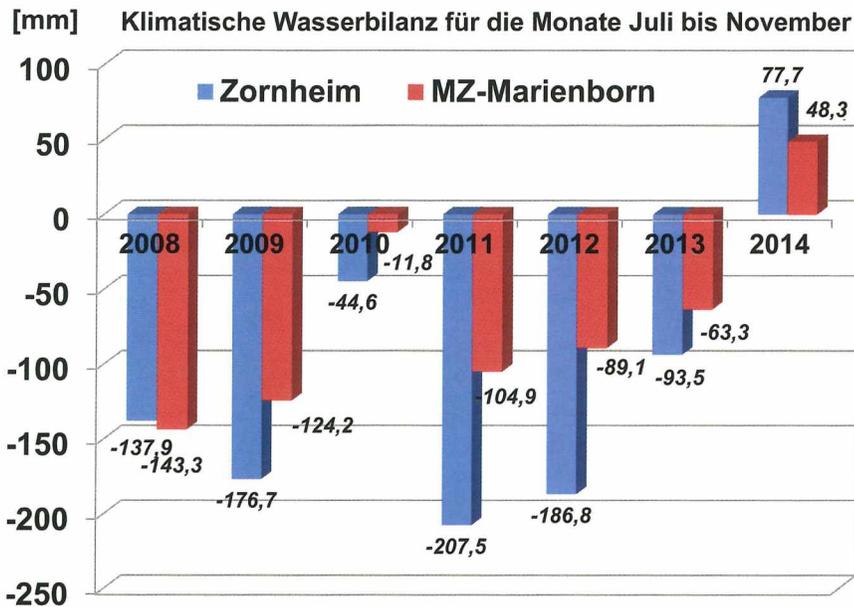


Abb. 9: Klimatische Wasserbilanz für die Monate Juli bis November im Zeitraum 2008 bis 2014. Auffällig ist die positive Bilanz für das zweite Halbjahr 2014, wo auch die Hangbewegungen ermittelt wurden (vergleiche Abb. 10).

Im Hinblick auf das Wasser im Untergrund sowie die Hangbewegungen wurde mithilfe der nahegelegenen Klimamessstationen der Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz (www.am.rlp.de; Stand 27.11.2014) in Zornheim (+ 238 m NN) und Marienborn (+ 153 m NN) eine Wasserbilanz der Jahre 2008 bis 2014 erstellt (Abb. 9). Die Wasserbilanz ergab, dass im Zeitraum Juli bis November 2014 eine positive Wasserbilanz ermittelt wurde. In den Jahren 2008 bis 2013 bestand im gleichen Zeitraum stets eine negative Wasserbilanz. Dieser Umstand war mit großer Wahrscheinlichkeit für eine Reaktivierung fossiler Rutschmassen im zweiten Halbjahr 2014 verantwortlich.

5. Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Aus den Bohrkernen wurden insgesamt 36 Proben entnommen und deren bodenmechanische Parameter im Geotechnischen Labor des LGB bestimmt. Im Folgenden werden die bodenmechanischen Laborergebnisse für die einzelnen geologischen Formationen zusammengefasst. Hierbei enthält die Tab. 2 differenziert für die Formationen die Bandbreite und die Mittelwerte aller Laborergebnisse. In der Tab. 3 werden die Ergebnisse für bodenmechanisch vergleichbare Schichten in Form von Mittelwerten zusammengefasst. Folgende Ergebnisse sind hervorzuheben:

Glühverlust: Besonders auffällig ist die Kirchberg-Bank, deren Bodenproben sich aufgrund des höheren organischen Anteils (Glühverlust) in allen Werten von den anderen Schichten unterscheiden. Dabei weisen die bestimmten Werte auf ungünstigere bodenmechanische Kennwerte hin und somit auf eine größere Anfälligkeit für Massenbewegungen. Die anderen zusammengefassten Schichten unterschieden sich hier nicht so drastisch.

Tab. 2: Zusammenfassung der Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche für die verschiedenen Baugrundsichten. Die nicht markierten Werte stellen die Bandbreite und die gelb markierten den Mittelwert dar. Singuläre Proben, wie ein Sandmergel aus dem organischen Teil der Jakobsberg-Formation (Amtsnummer 68298), werden hierbei nicht berücksichtigt.

Schicht	Anzahl	Bodenart	Trockendichte [g/cm ³]	Korndichte [g/cm ³]	natürlicher Wassergehalt [%]	Glühverlust [%]	Wasser-aufnahme-vermögen [%]
Auffüllung	1	T,U,s'	1,639	2,654	20,5	-	108,3
Rutschmasse	9	U,t,g,s - T,u	1,570-1,753 1,636	2,625-2,679 2,652	19,3-30,3 24,9	3,54-10,82 7,18	68-134 88,5
Jakobsberg-Formation	2	U,t - T,U	1,603	2,649	22,0 - 33,0 27,5	3,7	71,5-90,0 80,8
Jakobsberg-Formation (Organisch)	9	T,u,s - T,U	1,149-1,826 1,521	2,575-2,678 2,372	20,8-50,7 36,2	6,7-38,31 21,1	67,8-142,5 118,2
Sulzheim-Formation	9	U,t,g,s - T,U	1,678-1,754 1,711	2,654-2,688 2,662	18,3-31,7 23,4	4,5-6,39 5,4	82,8-117,5 97,5
Sulzheim-Formation (Kirchberg-Bank)	3	U,s,t - T,u	1,325-1,423 1,374	2,585	34,3-59,5 42,9	8,56-11,38 9,75	105,5-132,5 119,2
Sulzheim-Formation (Schillagen)	3	G+S,u,t	-	-	22,4-46,9 31,4	3,41	86,5-93,5 90,0

Schicht	Boden-gruppe	Plastizitäts-zahl [%]	Fließ-grenze [%]	Ausroll-grenze [%]	Schrumpf-grenze [%]	Schrumpf-maß [Vol.-%]
Auffüllung	TA, halbfest	47,2	71,5	24,3	17,4	55,1
Rutschmasse	TL,breiig - TA,steif	11,2-38,2 25,8	31,4-57,8 48,2	18,5-22,9 20,7	14-19,3 15,7	22,1-48,7 40,5
Jakobsberg-Formation	TM,weich - TA,halbfest	28,2-38,5 33,4	48,4-60,2 54,3	20,2-21,7 21,0	14-17 15,4	41,5-48,8 45,2
Jakobsberg-Formation (Organisch)	ST,breiig - TA,halbfest	8,1-62,9 54,6	26,7-96,5 84,6	18,6-33,6 30,0	12,8-15,4 13,9	55,1-61,3 58,9
Sulzheim-Formation	TM,weich - TA, halbfest	24,3-44,5 33,3	41,9-68,6 54,2	17,6-24,1 20,9	14,5-15,2 14,7	41,6-50,6 44,3
Sulzheim-Formation (Kirchberg-Bank)	TA, steif	55,5-56,1 55,8	82,6-88,4 85,5	26,5-32,9 29,7	12,1	65,4
Sulzheim-Formation (Schillagen)	UM,flüssig	8,8	36,9	28,1	-	-

Tab. 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche von Schichten mit vergleichbaren bodenmechanischen Eigenschaften.

Schicht	Anzahl	Trockendichte [g/cm ³]	Korndichte [g/cm ³]	natürlicher Wassergehalt [%]	Glühverlust [%]	Wasseraufnahmevermögen [%]
Auffüllung und Rutschmasse	10	1,636	2,652	24,5	5,4	90,5
Jakobsberg- und Sulzheim-Formation	11	1,691	2,659	24,2	5,1	94,5
Organische Schichten (Jakobsberg-Form. und Kirchberg-Bank)	12	1,472	2,407	38,4	18,0	118,6

Schicht	Boden-gruppe	Plastizitätszahl [%]	Fließgrenze [%]	Ausrollgrenze [%]	Schrumpfgrenze [%]	Schrumpfmaß [Vol.-%]
Auffüllung und Rutschmasse	TA	27,9	50,5	21,1	15,9	42,0
Jakobsberg- und Sulzheim-Formation	TA	33,3	54,2	20,9	14,8	44,5
Organische Schichten (Jakobsberg-Form. und Kirchberg-Bank)	TA	56,1	84,9	29,9	13,6	60,6

Fließ- und Ausrollgrenze: Über die Ermittlung der Fließ- und Ausrollgrenze wurde die Zugehörigkeit eines Großteils der untersuchten Proben zur Bodengruppe TA (ausgeprägt plastische Tone) nach DIN 18.196 ermittelt. Böden der Bodengruppe TA weisen in der Regel nur eine geringe Scherfestigkeit auf. So wird beispielsweise in der DIN 1055-2 ein Reibungswinkel $\varphi' = 15^\circ$ als Erfahrungswert genannt. Je nach Zustandsform bzw. Wassergehalt weisen diese Böden zum Teil nur eine sehr geringe Kohäsion auf. Aufgrund eingelagerter Feinsandbänder kann bei entsprechendem Wasserangebot die Kohäsion in bestimmten Schichten auch völlig verloren gehen, was die besondere Rutschempfindlichkeit des Mergeltertiärs im Mainzer Becken begründet.

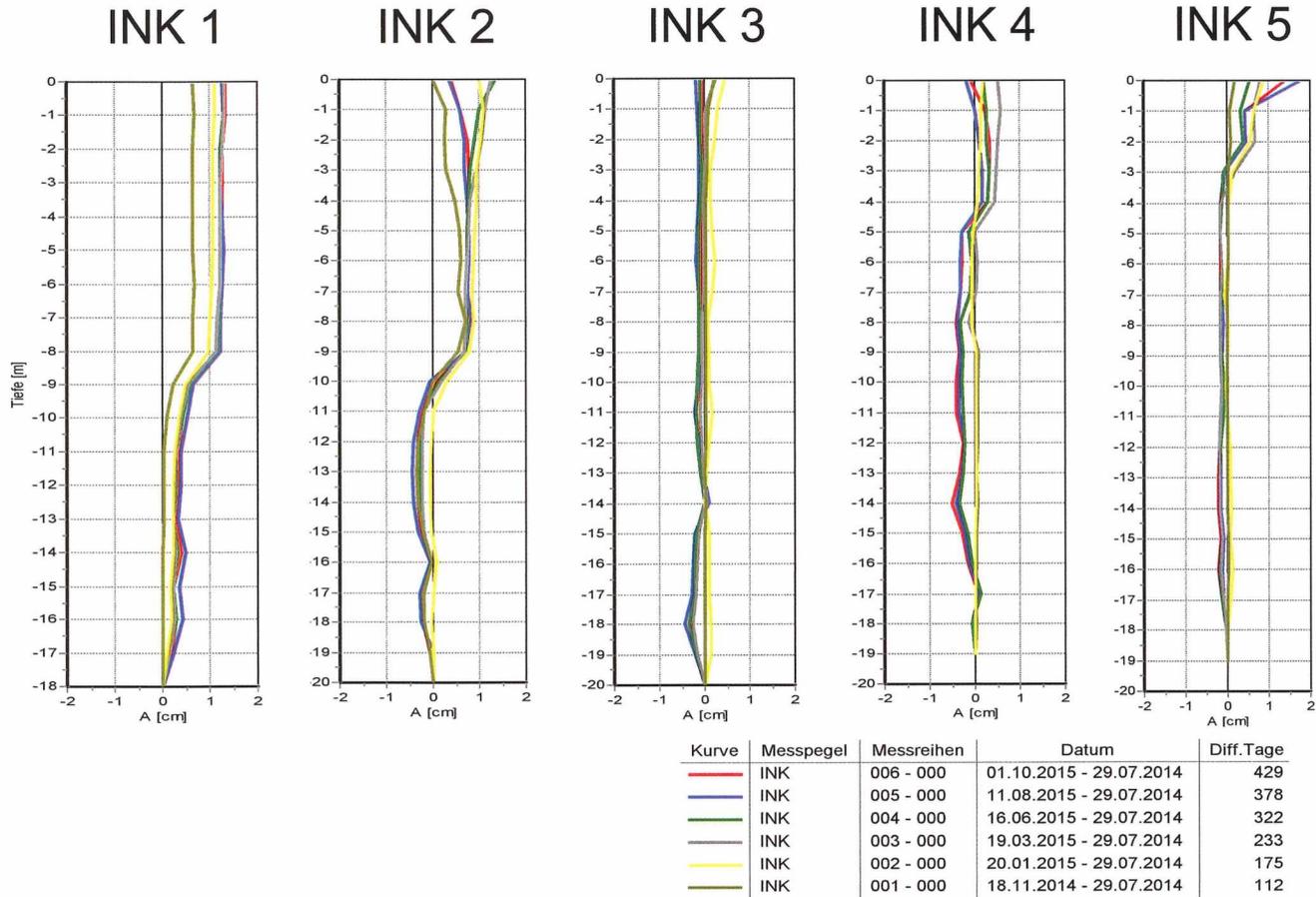


Abb. 10: Darstellung der Inklinometermessungen im Zeitraum zwischen Juli 2014 (Null-Messung) und Oktober 2015 (Messungen und Graphik LGB).

Wasseraufnahme und Schrumpfmaß: Mittlere Wasseraufnahmen von etwa 90 bis 120 M.-% sowie mittlere Schrumpfmaße von etwa 40 bis 60 Vol.-% belegen die sehr große Schrumpf-/Queltempfindlichkeit des Baugrundes in untersuchten Baugebiet. Das heißt, dass bereits durch natürliche Wassergehaltsänderungen infolge sich ändernder Witterungsverhältnisse mit Bodenhebungen/-senkungen zu rechnen ist. Aus diesem Grund wird unabhängig von der Rutschungsproblematik für sämtliche Neubauten von einer konventionellen Flachgründung mit Streifen- und Einzelfundamenten abgeraten (siehe auch Kapitel 8).

6. Bewegungsmessungen und aktuelle Beobachtungen

Zur Überwachung des Hangs wurden schon 1997 im Auftrag der Verbandsgemeinde Nieder-Olm sechs Kernbohrungen geteuft, welche anschließend zu Inklinometermessstellen ausgebaut wurden. Diese wurden über den Messzeitraum von einem Jahr gemessen, wobei keine Bewegungen zu erkennen waren. Allerdings war der Messzeitraum ungünstig und zu kurz bemessen. Weil die Messstellen bei der Wiederaufnahme der Planungen für das Baugebiet nicht mehr vorhanden waren, wurden auf Empfehlung des LGB im Jahr 2014 die im Kapitel 2 beschriebenen Kernbohrungen abgeteuft und zu Inklinometermessstellen ausgebaut. Die neuen Messstellen wurden nach der Null-Messung im Juli 2014 zunächst im Zweimonatsrhythmus gemessen. Dabei wurden bis Januar 2015 an vier Messstellen Gleitbewegungen festgestellt (Abb. 10). Weitere Folgemessungen nach Januar 2015 ergaben keine weiteren Bewegungen. Bei den im oberen Hangbereich gelegenen Inklinometermessstellen 1 und 2 liegt die Gleitfläche in jeweils etwa 10 m Tiefe und bei den im unteren Hangbereich gelegenen Inklinometermessstellen 4 und 5 bei etwa 5 m bzw. etwa 4 m Tiefe. Einzig die Inklinometermessstelle 3 zeigte keine signifikante Veränderung. Somit bestätigen die Messergebnisse die bereits im Zuge der Bohrungen ermittelten Grenzflächen des Rutschkörpers zum unbewegten Untergrund. Bei einer maximalen Mächtigkeit des Rutschkörpers von etwa 10 m keilt dieser in Richtung Süden bis Südosten hin langsam aus.



Abb. 11: Kollabierte Baugrubenböschung im Baugebiet im März 2015 (Foto: WEHINGER, 12.03.2015)

Aufgrund der festgestellten Bewegungen wurde außerdem die Einrichtung eines geodätischen Messnetzes beschlossen. Hier wurde bei den Folgemessungen eine geringe Bewegung von 5 mm bei den am südöstlichsten gelegenen Inklinometermessstellen 4 und 5 und einem nahegelegenen Messpunkt festgestellt. Dies lässt sich durch die vermeintlich höhere Aktivität des Hanges Richtung Osten erklären. Neben der messtechnischen Überwachung wurden während der Baumaßnahmen im Jahr 2015 verschiedene Beobachtungen im Baugebiet getätigt, die auf baubedingte Instabilitäten hinweisen. So waren bei Erdarbeiten, wie Kanal- oder Baugrubenaushub, Wasserzutritte zu beobachten. Dies führte dazu, dass die Baugrubenböschungen von mindestens zwei Baugruben brachen und in diese hineinrutschten. Dies bestätigt die Problematik von flachen Rutschungen im Baugebiet (Abb. 11).

7. Standsicherheitsberechnungen

Den Standsicherheitsberechnungen liegt ein Profil zugrunde (Schnittlinie siehe Abb. 1), welches aus den Bohrungen erstellt wurde. Die Berechnungen wurden im LGB mit dem Programm GGU-Stability gemäß Eurocode 7 (DIN EN 1997-1 und -2) für sechs verschiedene Fälle durchgeführt. Hierbei wurden für Baugrubenböschungen kreisförmige Gleitflächen nach dem Verfahren von BISHOP (1955) untersucht (Fälle 1 und 2 – lokale Rutschungen). Für einen größeren Hangabschnitt wurde für eine zusammengesetzte Bruchfigur mit meist ebener Gleitfläche das Verfahren von JANBU (1955) in Ansatz gebracht (Fälle 3 bis 6 – globale Rutschung). Die Ergebnisse der untersuchten Fälle sind in der Tab. 4 und Abb. 12 zusammengestellt:

Baugrubenböschung

Fall 1: Zunächst werden die Bedingungen einer kollabierten Baugrubenböschung geprüft. Hier wird ein hoher Wasserstand im Gelände sowie Scherparameter $\varphi' = 17,5^\circ$ und $c' = 0$ für die Rutschmasse angenommen. Hierbei wurde ein Ausnutzungsgrad $\mu = 1,63$ ermittelt. Das heißt, die Baugrubenböschung ist nicht standsicher.

Tab. 4: Fälle der Standsicherheitsberechnungen. Die Berechnungen erfolgten für Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma = 1,0$. Somit stellen Ausnutzungsgrade $\mu = 1,0$ das Grenzgleichgewicht dar (labiler Zustand). Bei Zahlenwerten $\mu < 1,0$ ist die untersuchte Böschung / der untersuchte Hang rechnerisch standsicher (stabil) und bei Zahlenwerten $\mu > 1,0$ nicht standsicher (instabil).

Fall	Beschreibung	Wasserstand	Scherparameter in der Gleitfläche		Verfahren	Ausnutzungsgrad (μ)	Stand-sicher
			Reibungswinkel φ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]			
1	Kollabierete Baugrubenböschung	hoch	17,5	0	BISHOP	1,63	Nein
2	Stand-sichere Baugrubenböschung	niedrig	17,5	5	BISHOP	0,90	Ja
3	Normalzustand des Hanges (Erste Jahreshälfte 2015)	niedrig	17,5	5	JANBU	0,42	Ja
4	Extremzustand des Hanges (Zweite Jahreshälfte 2014)	hoch	17,5	0	JANBU	0,68	Ja
5	Extremzustand mit reaktivierter Gleitfläche	hoch	10,0	0	JANBU	1,08	Nein
6	Normalzustand mit reaktivierter Gleitfläche	niedrig	10,0	5	JANBU	0,77	Ja

Fall 2: Aufbauend auf dem Fall 1 werden die Scherparameter ermittelt, bei denen die Baugrubenböschungen stabil sind. Dies ist bei einem niedrigen Wasserstand sowie Scherparametern $\varphi' = 17,5^\circ$ und $c' = 5 \text{ kN/m}^2$ für die Rutschmasse der Fall ($\mu = 0,90$).

Gesamthang

Fall 3: Anschließend werden die für den Fall 2 ermittelten Kennwerte auf ein Modell des gesamten Hanges übertragen, welcher den Normalzustand darstellt. Dabei wird die Gleitfläche so gewählt, wie sie in den Bohrkernen und den zugehörigen Inclinometermessstellen zu erkennen ist und der Wasserstand aufgrund trockenen Wetters und bereits bestehender Drainagen gering gehalten. Das Ergebnis hiervon zeigt eine rechnerisch ausreichende Standsicherheit mit einem Ausnutzungsgrad $\mu = 0,42$ (mit $\varphi' = 17,5^\circ$ und $c' = 5 \text{ kN/m}^2$ für die Rutschmasse).

Fall 4: Bei diesem Fall wird im Unterschied zum Fall 3 die Sicherheit zu den ungünstigen Bedingungen berechnet, wie sie wahrscheinlich im zweiten Halbjahr 2014 vorherrschten, das heißt abgeminderte Bodenkennwerte (mit $\varphi' = 17,5^\circ$ und $c' = 0$ für die Rutschmasse) und hoher Wasserstand. Auch hierbei ist bei einem Ausnutzungsgrad $\mu = 0,69$ eine rechnerisch ausreichende Standsicherheit gegeben. Somit kann dieser Fall die tatsächlich im zweiten Halbjahr 2014 festgestellte Hangbewegung nicht erklären.

Fall 5: Aus den Untersuchungen der Fälle 3 und 4 lässt sich schließen, dass besondere Bedingungen an der bereits existierenden Gleitfläche herrschen müssen. Die Gleitfläche wird deshalb gleich der Hangneigung mit einem Reibungswinkel $\varphi' = 10^\circ$ (Restscherfestigkeit) und einer Kohäsion $c' = 0$ gerechnet und ansonsten die Kennwerte des ungünstigen Falls 4 übernommen. Hierbei ist keine rechnerische Standsicherheit gegeben, da hier ein Ausnutzungsgrad $\mu = 1,10$ ermittelt wurde. Dies wird durch die im Jahr 2014 gemessenen Bewegungen bestätigt.

Fall 6: Im Vergleich zum Fall 5 werden für die Gleitfläche ein Reibungswinkel $\varphi' = 10^\circ$ (Restscherfestigkeit) und eine Kohäsion $c' = 0$ und sonst zum Fall 3 identischen Bodenkennwerte und Wasserbedingungen geprüft („Normalzustand“). Hierfür wurde eine rechnerisch ausreichende Standsicherheit mit einem Ausnutzungsgrad $\mu = 0,77$ ermittelt.

Die letzten beiden Fälle 5 und 6 sind realistisch für die Situation im Baugebiet Domherrngärten. Mit erhöhtem Niederschlag und folglich mehr Wasser im Hang wird die Gleitfläche wie im zweiten Halbjahr 2014 reaktiviert und es kommt zur Hangbewegung. Ist die Witterung hingegen trocken, stoppt die Bewegung, wie ab Januar 2015 zu beobachten war. Durch die mit der Bebauung einhergehende Versiegelung sowie die empfohlenen Entwässerungsmaßnahmen soll jedoch zukünftig keine für eine Reaktivierung der fossilen Gleitflächen mehr ausreichende Wassermenge im Untergrund vorhanden sein (siehe auch Kapitel 8).

8. Beurteilung und Vorsorgemaßnahmen

Die durchgeführten Untersuchungen und Standsicherheitsberechnungen zeigen, dass im Areal des Baugebietes „Domherrngärten II“ eine fossile Großrutschung vorhanden ist. Diese Rutschung ist unter normalen Bedingungen nicht aktiv, so dass der Hang unter bestimmten Bedingungen grundsätzlich bebaubar ist. Um der prinzipiellen Gefahr einer Reaktivierung der Rutschung vorzubeugen, wurden daher für die Bebauung folgende planerische und bauliche Vorsorgemaßnahmen an die Bebauung empfohlen (WEHINGER 2014, KRAMER 2015). Diese Maßnahmen wurden parallel zu den Erschließungsarbeiten zwischen der Verbandsgemeinde, der Ortsgemeinde, dem LGB und den Planungsbüros sowie der Baufirma abgestimmt:

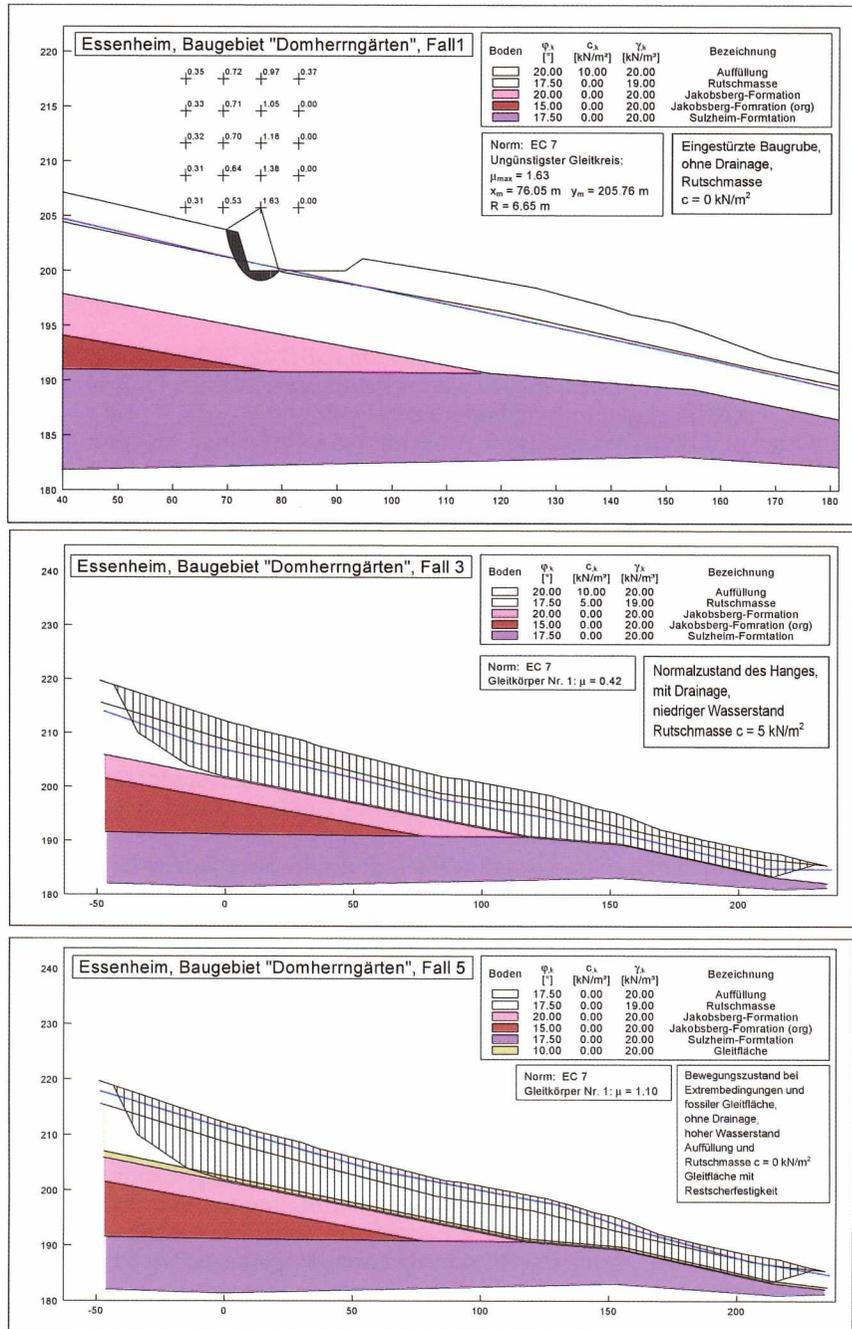
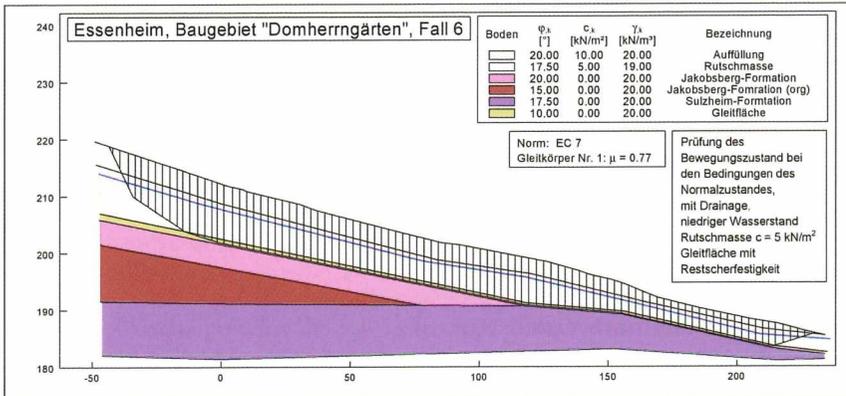
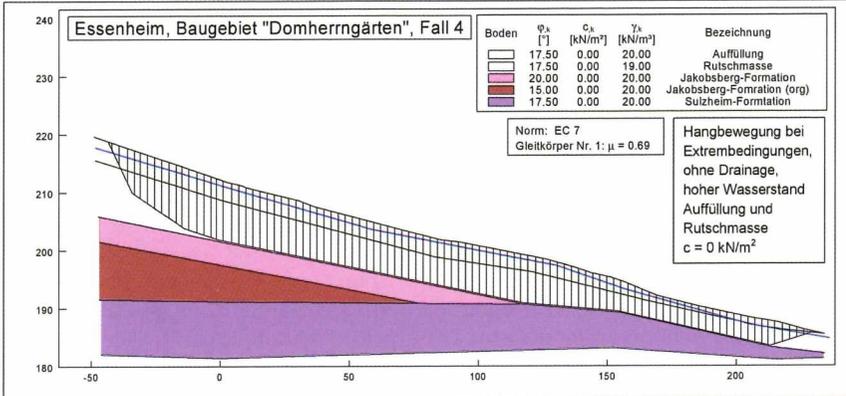
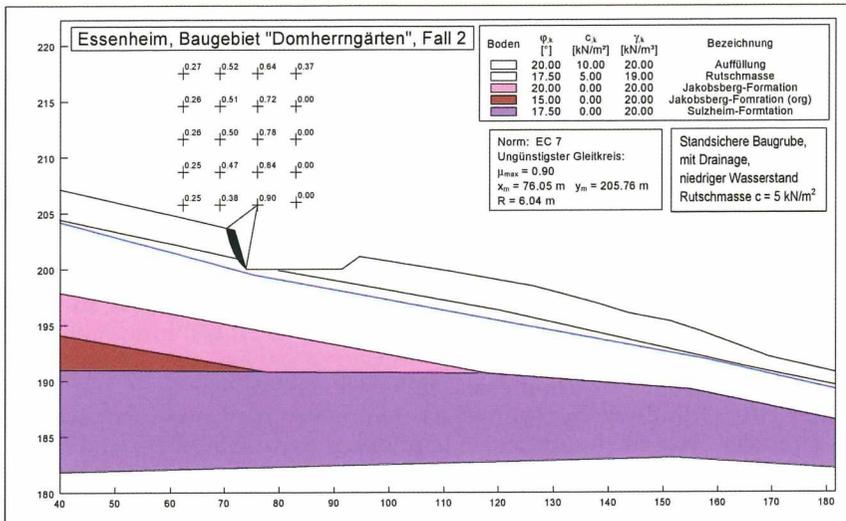


Abb. 12: Standsicherheitsberechnungen für die untersuchten Fälle 1 bis 6.



Geotechnische Beratung: Für jedes Bauvorhaben werden vorlaufende projektbezogene Baugrunduntersuchungen bzw. die Einschaltung eines Baugrundgutachters (geotechnischer Sachverständiger) empfohlen. Die Baugrunduntersuchungen müssen das Thema Hangstabilität einschließen. Die einschlägigen DIN-Normen, wie DIN 1054, DIN 1997-1 und -2 und DIN 4020, sind zu beachten.

Wahrung des Hanggleichgewichts: Alle Baumaßnahmen sind so zu planen, dass sofern irgend möglich das Hanggleichgewicht gewahrt bleibt. Das heißt, dass die Last im Hang vor und nach dem Eingriff in das Gelände in etwa gleich hoch sein sollte. Hierzu ist in der Regel der Erdaushub abzutransportieren.

Beschränkung der Eingriffstiefen: Des Weiteren sollten die Eingriffstiefen in den Hang möglichst gering gehalten werden. Hier gilt die Empfehlung bei kurzfristigen Eingriffen nicht höher oder tiefer als 2 m bzw. bei langfristigen Eingriffen maximal etwa 1 m von der ursprünglichen GOF abzuweichen. Das heißt, dass keine großflächigen Terrassierungen oder Einschnitte ausgeführt werden sollten.

Ausgesteifte Gründung: Für sämtliche Bauvorhaben wird eine ausgesteifte Gründung empfohlen. Von einer aufgelösten Gründung, wie mit Streifen- und Einzelfundamenten, wird abgeraten. In der Regel wird hierzu eine massive bewehrte Bodenplatte oder die Ausführung des Kellergeschosses als steifer Kasten vorgenommen. Grundsätzlich wird auch eine setzungsunempfindliche Konstruktion empfohlen. Dies kann u.a. durch den Verzicht auf lange Glasfassaden sowie vorspringende Anbauten erreicht werden.

Begrenzung des Böschungswinkels: Sowohl beim Herstellen von Baugruben als auch von dauerhaften Böschungen sind die Böschungswinkel auf die angetroffenen Verhältnisse anzupassen. Besonders bei Bauvorhaben zwischen bereits bestehender Nachbarbebauung werden voraussichtlich zusätzliche Maßnahmen, wie ein Verbau, zur Baugrubensicherung nötig.

Fassung anfallenden Untergrundwassers: Das Baugebiet wurde ohnehin mit einem Trennsystem zur getrennten Fassung und Ableitung von Oberflächenwasser und Abwasser geplant. Da im Untergrund vorhandenes Wasser ein Hauptfaktor für eine mögliche Reaktivierung von Gleitbewegungen darstellt, empfiehlt es sich, gesammeltes Oberflächenwasser und im Untergrund anfallendes Wasser aufzufangen und mittels des Trennsystems in den Vorfluter zu leiten. Hierzu sind die Arbeitsräume unterkellerten Gebäude mit einer Ringdränage auszustatten. Bei Erdarbeiten angetroffene Wasserzutritte sollten ebenfalls entsprechend gefasst und abgeleitet werden. Es ist das Ziel, in Summe das im Hang vorhandene Untergrundwasser soweit zu fassen, dass auch bei sehr ungünstigen Witterungsbedingungen keine standsicherheitskritische Wassermenge mehr vorhanden ist.

Verzicht auf Versickerungsanlagen: In Entsprechung zu der vorgenannten Empfehlung, sollte auf die Herstellung von Anlagen zur Versickerung anfallenden Niederschlagswasser verzichtet werden. Dies gilt prinzipiell auch für Flächen bzw. Bauvorhaben oberhalb des aktuellen Baugebiets.

Verzicht auf Erdwärmesonden: Da ein Abscheren von Erdwärmesonden infolge Gleit- bzw. Kriechbewegungen nicht ausgeschlossen werden kann, sollte im Baugebiet auf die Herstellung solcher Sonden verzichtet werden.

Keine Erweiterung nach Osten: Aufgrund der morphologischen Auffälligkeiten östlich des Baugebiets ist hier von einer im Vergleich zum aktuellen Baugebiet geringeren Hangstabilität bzw. von zeitweise aktiven Gleitbewegungen im Hang auszugehen. Deshalb ist von einer Bebauung dieses Bereichs dringend abzuraten.

Schriften

- BISHOP, A.W. (1955): The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. – Géotechnique, 5, S. 7-17, (ICE) London.
- BOCK, B. & WEHINGER, A. & KRAUTER, E. (2013): Hangstabilitäten in Rheinland-Pfalz – Auswertung der Rutschungsdatenbank Rheinland-Pfalz für die Testgebiete Wißberg, Lauterecken und Mittelmosel. – Mainzer geowiss. Mitt. 41, S. 103-122, 17 Abb., 1 Tab., Mainz.
- DIN 1054 (2010-12):Baugrund- Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. 100 S., (Beuth) Berlin.
- DIN 1055-2 (2010-11):Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngrößen. 12 S., (Beuth) Berlin.
- DIN 4020 (2010-12): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke. 30 S., (Beuth) Berlin.
- DIN 18196 (2011-05): Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. 13 S., (Beuth) Berlin.
- DIN EN 1997-1 (2014-03): Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln. 168 S., (Beuth) Berlin.
- DIN EN 1997-2 (2010-10): Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. 199 S., (Beuth) Berlin.
- ICP (1998): Bebauungsplan „Domherrngärten“ 55270 Essenheim, Untersuchung der Hangstabilität, Abschlußbericht vom Juni 1998. Gutachten der Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH im Auftrag der Verbandsgemeindeverwaltung Nieder-Olm, 13 S., 3. Anl., Rodenbach. – [unveröff.].
- JANBU, N. (1955): Application of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis. – Proc. Europ. Conf. of Soil Mechanics Stockholm, 3, S. 43, Stockholm.
- KRAMER, T. (2015): Dynamik einer Rutschung im Raum Essenheim. Bachelorarbeit Univ. Mainz, 39 S., 9 Anl., Mainz. – [unveröff.].
- LGB (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz) (Hrsg.,(2003): Geologische Übersichtskarte von Rheinland-Pfalz 1:300 000. Mainz.
- ROGALL, M. & SCHMITT, S.-O. (2005): Hangstabilitätskarte des linksrheinischen Mainzer Beckens. 1: 50 000. 2.Aufl., (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz) Mainz.
- STEINGOTTER, K. (1984): Hangstabilitäten im linksrheinischen Mainzer Becken – Ingenieurgeologische Untersuchung und kartenmäßige Darstellung. Diss. Univ. Mainz, 208 S., Mainz.
- WEHINGER, A. (2014): Inklinometermessungen und ingenieurgeologische Stellungnahme zum Bebauungsplan „Domherrngärten“ der Ortsgemeinde Essenheim. Stellungnahme vom 28.11.2014, 7 S., 1 Abb., 5 Anl., (Landesamt für Geologie und Bergbau) Mainz. – [unveröff.].

Anschriften der Autoren:

B.Sc. THOMAS KRAMER,

Bodenheimer Straße 38, D-55129 Mainz.

Diplom-Geologe ANSGAR WEHINGER,

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz,

Emy-Roeder-Str. 5, D-55129 Mainz.

Manuskript eingegangen am 5.4.2016