



Geologisch-geotechnische Kartierung und Vergleich gravitativer Massenbewegungen an den Hängen der Ehrenbürg und deren Einfluss auf ur- und frühgeschichtliche Denkmäler (Nordbayern)

JONAS LEHNERT¹



open access

Geologische Blätter, 2023,
71, 4

LEHNERT, J. 2023: Geologisch-geotechnische Kartierung und Vergleich gravitativer Massenbewegungen an den Hängen der Ehrenbürg und deren Einfluss auf ur- und frühgeschichtliche Denkmäler. — Geologische Blätter, 71, 65 S., 31 Abb.; Erlangen; doi:10.23689/figdeo-5814

Manuscript submitted:
21.07.2023, manuscript
accepted: 15.11.2023

Copyright: © 2023 by the
author(s). This article is
an open access article dis-
tributed under the terms
and conditions of the
Creative Commons

Attribution (CC BY) li-
cense (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



¹GZN, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Schlossgarten 5, 91054 Erlangen;
E-Mail: jonaslehnert@outlook.de

Zusammenfassung. In dieser Arbeit werden Massenbewegungen und deren Rutschempfindlichkeit an den Hängen des vor der Fränkischen Alb liegenden Zeugenbergs Ehrenbürg untersucht. Da Hangbewegungen oftmals in Bereichen auftreten, die schon einmal davon betroffen waren, ist es wichtig, die Ursachen zu untersuchen und zu verstehen, um Erkenntnisse über mögliche zukünftige Ereignisse zu gewinnen. Durch Digitale Geländemodelle und Geländearbeit wurden Geologische Karten und Karten der Massenbewegungen erstellt. Ferner wurden zwei Profile aufgenommen. Da sich auf der Ehrenbürg Siedlungen aus ur- und frühgeschichtlichen Epochen befanden, von denen hauptsächlich die Reste der ehemaligen Befestigungsanlagen noch heute ersichtlich sind und in der bayerischen Denkmalliste als Bodendenkmäler geführt werden, wird außerdem eine mögliche Gefährdung dieser, sowie der Einfluss der Hangbewegungen auf den Bau der einstigen Siedlungen untersucht.

An den Hängen der Ehrenbürg kann eine deutlich erhöhte Rutschempfindlichkeit erkannt werden, wobei hier zwischen dem sehr stark von Hangbewegungen betroffenen Osthang und dem etwas weniger stark betroffenen Westhang unterschieden werden muss. Die unterschiedliche Rutschempfindlichkeit ist dabei sowohl auf vorbereitende, als auch auf auslösende Faktoren zurückzuführen. Als vorbereitender Faktor ist die geologische Ausgangssituation zu nennen.

Die Ehrenbürg ist hauptsächlich aus Gesteinen der Braunjura-Gruppe und Weißjura-Gruppe aufgebaut, bei denen sich aufgrund von unterschiedlichen Gesteinsausprägungen nach dem Prinzip »Hart auf Weich« Gleithorizonte herausbilden, die Schwächezonen darstellen. Bei der Ehrenbürg stellt dabei der Übergang von der Braunjura-Gruppe zu Weißjura-Gruppe den anfälligsten Bereich für Hangbewegungen dar, wobei die intensiv geklüfteten und mächtigen Karbonatgesteine der Weißjura-Gruppe an der Ehrenbürg überwiegend aus Frankendolomit bestehen, was zu verstärkten Hangbewegungen führt.

Die intensiv ausgeprägten auslösenden Faktoren, wie eine Erosion am Hangfuß durch den Ehrenbach am Ehrenbürg-Osthang und die destabilisierende Wirkung von Wasser im Untergrund sind weitere Gründe für die erhöhte Rutschempfindlichkeit an der Ehrenbürg. Bei den Massenbewegungen handelt

es sich größtenteils um komplexe Bewegungstypen, die aus den Bewegungsmechanismen Rotations- und Translationsrutschung zusammengesetzt sind.

Durch den Abtragungsprozess der Massenbewegungen konnten sich die natürlichen Zeugenberg-Festungen herausbilden, die ein optimaler Siedlungspunkt für ur- und frühgeschichtlichen Kulturen darstellten. Jedoch resultiert hieraus auch eine Gefährdung der Reste der einstigen Siedlungen und insbesondere der ehemaligen Befestigungsanlagen. So können diese aufgrund der räumlichen Nähe zu den Hauptabbrisskanten mit meist steilen Hängen, hinabstürzen. Da die Hangbewegungen in dieser Arbeit als inaktiv ruhend eingestuft werden, ist außerdem eine Reaktivierung der vorliegenden Hangbewegungen und das Auftreten erneuter Hangbewegungen nicht auszuschließen, wodurch die Befestigungsanlagen direkt betroffen wären.

▪ **Schlüsselworte:** *Massenbewegungen, Ur- und Frühgeschichte, Nordbayern, Ehrenbürg (Walberla)*

Abstract. In this work, mass movements and their sensitivity to slipping on the slopes of the Ehrenbürg mountain located in front of the Franconian Alb are examined. Because slope movements often occur in areas that have already been affected, it is important to investigate and understand the causes in order to gain insights into possible future events. Geological maps and maps of mass movements were created using digital terrain models and field work. Two profiles were also recorded. Since there were settlements from prehistoric and protohistoric eras on the Ehrenbürg, of which mainly the remains of the former fortifications are still visible today and are listed as archaeological monuments in the Bavarian list of monuments, a possible threat to these, as well as the influence of the slope movements on the the construction of the former settlements is examined.

A significantly increased sensitivity to slipping can be seen on the slopes of the Ehrenbürg, although a distinction must be made between the eastern slope, which is very heavily affected by slope movements, and the western slope, which is slightly less affected. The different sensitivity to slipping can be attributed to both preparatory and triggering factors. The initial geological situation should be mentioned as a preparatory factor.

The Ehrenbürg is mainly made up of rocks from the Braunjura Group and Weißjura Group, in which sliding horizons are formed based on the »hard on soft« principle due to different rock characteristics and represent zones of weakness. In the Ehrenbürg, the transition from the Braunjura Group to the Weißjura Group represents the most susceptible area for slope movements, with the intensively fissured and thick carbonate rocks of the Weißjura Group on the Ehrenbürg consisting predominantly of dolomite, which leads to increased slope movements.

The intense triggering factors, such as erosion at the foot of the slope by the Ehrenbach on the eastern slope of Ehrenbürg and the destabilizing effect of water in the subsoil, are further reasons for the increased susceptibility to slipping on the Ehrenbürg. The mass movements are mostly complex movement types that are composed of the movement mechanisms of rotational and translational slip.

Through the removal process of the mass movements, the natural fortresses were able to emerge, which represented an optimal settlement point for prehistoric and protohistoric cultures. However, this also poses a threat to the remains of the former settlements and in particular the former fortifications. Due to the spatial proximity to the main demolition edges, which are usually steep slopes, they can fall down. Since the slope movements in this work are classified as inactive, a reactivation of the existing slope movements and the occurrence of new slope movements cannot be ruled out, which would directly affect the fortifications.

▪ **Keywords:** *Mass movements, prehistory and early history, northern Bavaria, Ehrenbürg (Walberla)*

1. Einleitung

Der Umgang mit Denkmälern in Bayern wird im Bayerischen Denkmalschutzgesetz geregelt. Dabei definiert der Art. 1 Abs. 1 BayDSchG ein Denkmal wie folgt:

»Denkmäler sind von Menschen geschaffene Sachen oder Teile davon aus vergangener Zeit, deren Erhaltung wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen, städtebaulichen, wissenschaftlichen oder volkskundlichen Bedeutung im Interesse der Allgemeinheit liegt.«

Denkmäler lassen sich dabei in zwei Gruppen unterteilen. Bei Baudenkmalern handelt es sich um bauliche Anlagen oder Teile größerer Anlagen aus vergangener Zeit (Art. 1 Abs. 2 BayDSchG).

Denkmäler, die sich entweder noch im Boden befinden oder einst dort befanden und dabei meist aus einer ur- oder frühgeschichtlichen Zeit stammen, werden als Bodendenkmäler bezeichnet (Art. 1 Abs. 4 BayDSchG).

Der in Oberfranken liegende Zeugenberg Ehrenbürg im Landkreis Forchheim besitzt eine Hochfläche, auf der sich nach der bayerischen Denkmalliste sowohl Bodendenkmäler, als auch Baudenkmalere befinden. Bei den Bodendenkmälern handelt es sich um eine ehemalige Höhensiedlung mit entsprechenden Befestigungsanlagen aus einer ur- und frühgeschichtlichen Epoche, von denen Reste noch heute teilweise zu erkennen sind. Außerdem wird mit der St. Walburgis-Kapelle auf der Ehrenbürg ein bedeutendes Baudenkmal vorgefunden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE 2020, 2021).

Geogefahren sind natürliche, geologisch bedingte Gefahren, die erhebliche Schäden an Personen und Sachgütern wie Denkmälern verursachen können. Bei den in Bayern am häufigsten auftretenden Geogefahren handelt es sich dabei um Hangbewegungen. Da diese häufig in Bereichen auftreten, die bereits früher schon einmal betroffen waren, ist es wichtig, bereits erfolgte Massenbewegungen zu untersuchen, um auf die Gefahr

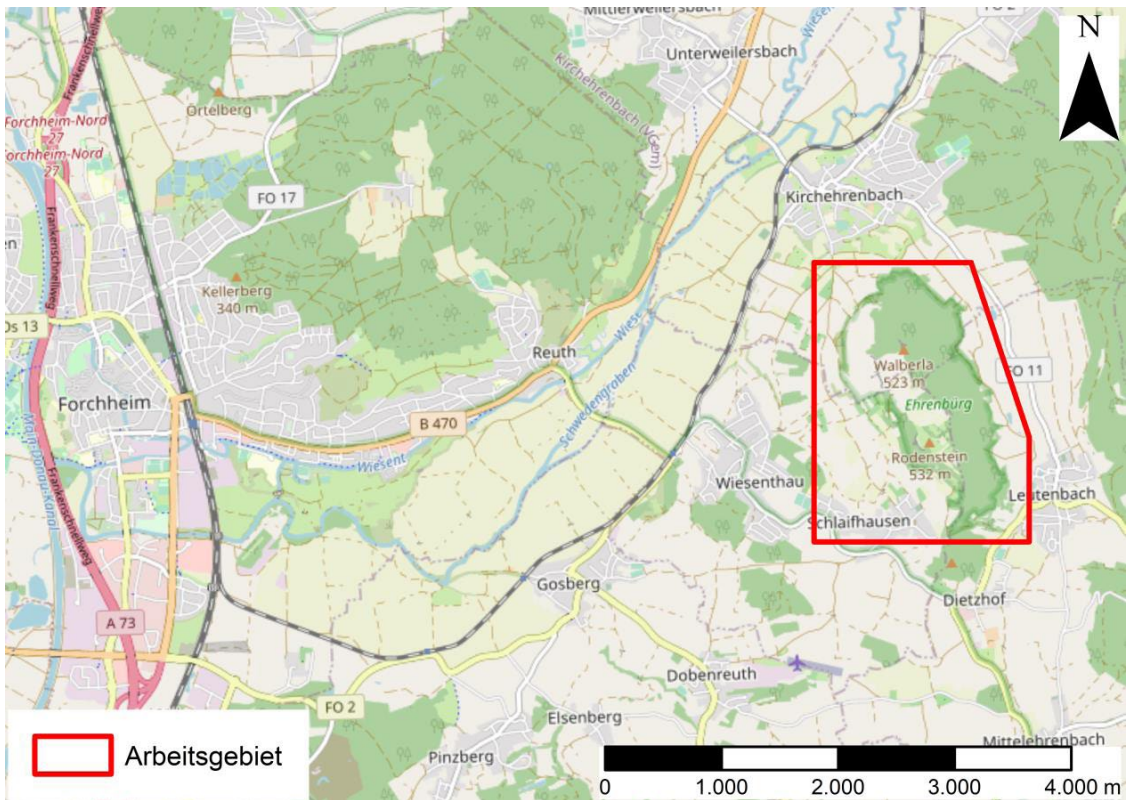


Abb. 1: Lage des Arbeitsgebiets um die Ehrenbürg. (Quelle: Basiskarte OpenStreetMap – www.openstreetmap.org).

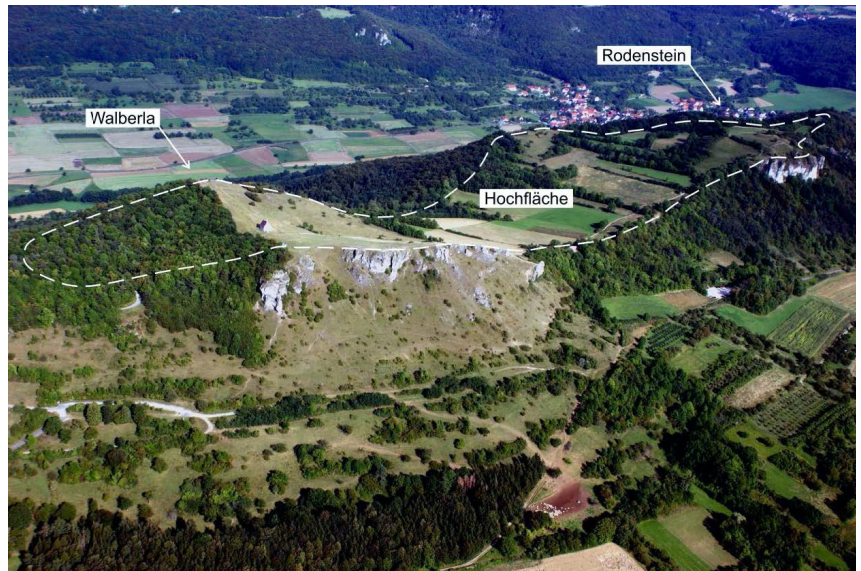
von erneuten Ereignissen zurückzuschließen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2017).

In dieser Arbeit werden Massenbewegungen an den Hängen der Ehrenbürg kartiert und deren Rutschempfindlichkeit aufgrund von auslösenden und vorbereitenden Faktoren miteinander verglichen. Außerdem wird der Einfluss der geologischen Bedingungen in Form von Massenbewegungen auf die ur- und frühgeschichtlichen Siedlungen sowie die heutige Gefährdungssituation, der noch heute teilweise ersichtlichen ehemaligen Befestigungsanlagen untersucht.

2. Geografischer Überblick

Die Ehrenbürg ist ein etwa 7 km östlich von Forchheim liegender markanter Zeugenberg, der sich deutlich vom tiefer gelegenen, flacheren Wiesental abhebt und dabei der östlich liegenden Fränkischen Alb vorgelagert ist (Abb. 1). Sie ist aus zwei Bergen aufgebaut, die über einen Sattel miteinander verbunden sind (Abb. 2). Das nördliche Walberla weist eine Höhe von 523 m ü. NN auf, während der Hauptgipfel der Ehrenbürg mit einer Höhe von 532 m ü. NN am südlichen Rodenstein liegt. Durch

Abb. 2: Blick auf die Westflanke der Ehrenbürg aus Nordwesten mit dem »Kleinen Walberla« in der Mitte unterhalb der Hochfläche. (Quelle: verändert nach Wikipedia: Pegasus2 at de.wikipedia (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Walberla_August_2009.JPG), »Walberla August 2009«, Beschriftung und Markierung, https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode).



den verbindenden Sattel bildet sich eine 1.500 m lange und 300 m breite Hochfläche, die etwa 36 ha groß ist (ABELS 2012). Am Fuß des Bergs, der im Osten bei 300 m ü. NN und im Westen bei 350 m ü. NN liegt, wird die Ehrenbürg von mehreren Ortschaften umgeben. Diese sind Kirchehrenbach im Norden, Leutenbach im Südosten, Dietzhof im Süden und Schlaifhausen sowie Wiesenthau im Südwesten. Parallel zum Osthang fließt der Ehrenbach zwischen Kirchehrenbach und Leutenbach im Ehrenbachtal. 1.500 m nordwestlich fließt die Wiesent, die in Forchheim in die Regnitz mündet.

2.1. Kulturhistorischer Überblick

Als Zeugenberg können an der Ehrenbürg viele Vorteile für eine Besiedlung erkannt werden. Neben dem frühen Erkennen möglicher Feinde besitzt der Berg stark geböschte Hänge mit teilweise senkrechten Felswänden, die einen natürlichen Schutz gewährleisteten und somit eine leichte Verteidigung ermöglichten (ABELS 2012). Ein weiterer Vorteil ist die Nähe zum Zusammenfluss der Flüsse Wiesent und Regnitz, die einen Zugang zu wichtigen Wasserwegen der damaligen Zeit schafften (ABELS 2009). Durch eine Vielzahl von Quellen am Osthang und eine gute Bodenqualität um die Ehrenbürg, war auch die Versorgung mit Wasser und Lebensmitteln gewährleistet (ABELS 2012). Aus diesen Gründen stellte die Ehrenbürg schon früh ein wichtiges Siedlungszentrum verschiedener Kulturen dar.

Um Aufschluss über die Besiedlungshistorie zu erlangen, wurden mehrere Siedlungsgrabungen durchgeführt. Eine erste fand zwischen 1989-

1995 im Sattlbereich der Hochfläche statt (ABELS 2012). Seit 1990 werden außerdem Magnetometeruntersuchungen durchgeführt, bei denen versucht wird, über messbare Veränderungen im Erdmagnetfeld auf interessante Funde zurückzuschließen (FASSBINDER 2012). Des Weiteren fand von Juli bis Dezember 2005 eine Ausgrabung im Bereich des ehemaligen Tors an der Westseite der Ehrenbürg statt, um genauere Erkenntnisse über den Aufbau der einstigen Befestigungsanlagen zu gewinnen (ABELS 2009).

Die ältesten Fundstücke auf der Ehrenbürg stammen aus der frühen Jungsteinzeit, aus der Bandkeramischen Kultur um 5000 v. Chr. und weisen auf eine lange Siedlungshistorie hin (KAULICH 2004). Nach diesen noch spärlich auftretenden Funden finden sich viele Artefakte wie Bronzeschmuck, Bronzewaffen, Bronzegeräte und Keramiken, die auf eine Besiedlung der Ehrenbürg ab der mittleren Bronzezeit bis zum Ende der Urnenfelderzeit zwischen 1400-800 v. Chr. hindeuten (ABELS 2009). Weitere eindeutige Hinweise auf eine Besiedlung sind zwei Wehranlagen, die noch heute teilweise zu erkennen sind (ABELS 2012). Neben den bereits erwähnten Vorteilen, die die Ehrenbürg bot, war in dieser Epoche vermutlich die Nähe zu Kupfer- und Zinnvorkommen in den oberfränkischen Mittelgebirgen ein weiterer wichtiger Standortfaktor (Maus 1993). Somit entwickelte sich die Ehrenbürg zu einer Höhensiedlung, die einen der wichtigsten Siedlungspunkte dieser Epoche in Nordbayern darstellte. Dabei war sie Teil eines größeren Verbreitungsgebiets in Franken, bei denen Höhensiedlungen wichtige Machtzentren eines zwischen 40-60 km großen Einflussgebiets bildeten. Weil ein Hauptteil dieser Siedlungen unbefestigt waren und später oftmals durch moderne Festungen überbaut wurden, sind heute nur noch wenige erhalten (ABELS 2009, 2015).

Funde, wie Gusstiegel, Halbfabrikate und rohe Bronzeklumpen (KAULICH 2004), weisen auf ein metallverarbeitendes Handwerk hin, das zu dieser Zeit vermutlich auf Höhensiedlungen beschränkt war (JOCKENHÖVEL 1990). Für die Rolle als zentrales Machtzentrum sprechen außerdem die ökonomisch günstige Lage der Ehrenbürg und Funde kleinerer Siedlungen um den Berg (ABELS 2012). Ab 800 v. Chr. ging die Besiedlung in der gesamten Region zurück, wovon auch die Ehrenbürg betroffen war. Dies ist auf einen Übergang zur Eisenzeit zu erklären, in der sich die sozialen Verhältnisse veränderten. Neben dem Monopol für den Handel ging auch die Verarbeitung von Kupfer und Zinn als wichtige wirtschaftliche Grundlage zurück, wodurch die Siedlung an Bedeutung verlor. Dagegen nahm die Bedeutung von Eisen, das leichter auf der Fränkischen Alb zu finden ist, zu (ABELS 2009).

Eine erneute Zunahme der Siedlungsaktivität in der Region fand anschließend in der Hallstattzeit statt (ABELS 2009). Durch eine starke Befestigung formte sich ab der späten Hallstattzeit eine dicht bebaute

keltische Zentralsiedlung, die für mehr als ein Jahrhundert das beherrschende Machtzentrum in Nordbayern bildete (ABELS 2012). Neben den sichtbaren Resten der einstigen Befestigungsanlage handelt es sich bei den Funden aus dieser Periode um Eisengeräte, Bronzeschmuck und Keramiken (ABELS 2009).

Eine durchgehende Besiedlung reichte dabei von der späten Hallstattzeit bis zur Frühlatènezeit zwischen 520-380 v. Chr. Auch in dieser Periode war die Ehrenbürg Teil eines größeren Siedlungsnetzes, das sehr dem bereits bekannten Verbreitungsgebiet der vorhergehenden Perioden ähnelte (ABELS 2012). Da die anderen Siedlungen dieser Zeit meist kleiner ausfielen, handelte es sich bei der Ehrenbürg vermutlich um die wichtigste Siedlung in Franken (ABELS 2009). Für eine überregionale Bedeutung der Ehrenbürg sprechen dabei Funde von nichtkeltischen Tonschnabelkannen und der einzigartige Fund eines Fragments, das einem griechischen Glasgefäß zuzuordnen ist (ABELS 2009). Die Ausgrabungen 1989-1995 sowie Magnetometeruntersuchungen sprechen für eine sehr dichte Besiedlung. Da es somit wenig Raum für Landwirtschaft und Viehzucht auf der Hochfläche gab, wurde die Höhengiedlung vermutlich durch Siedlungen am Rande der Ehrenbürg versorgt (ABELS 2009). Um 380 v. Chr. ist ein Abbruch der Siedlung zu beobachten (ABELS 2009). Dies fällt mit der allgemeinen Keltenwanderung zusammen, die das gesamte Main-Regnitz Gebiet in Oberfranken entvölkerte (ABELS 1993).

Nach der Aufgabe der Befestigung zum Ende der Frühlatènezeit fand vermutlich nur eine geringe Besiedlung während der Spätlatènezeit statt. Eine erneute Nutzung ist erst wieder zur späten römischen Kaiserzeit im 4.-5. Jh. n. Chr. zu beobachten, bei der der Rodenstein vermutlich durch eine germanische Siedlung nochmals befestigt war (ABELS 1990).

Die noch heute vorhandene katholische St. Walburgis-Kapelle auf der Ehrenbürg, die die Funktion einer Wegkapelle hat, wurde um 1360 n. Chr. errichtet und im 16./17. Jahrhundert sowie 1901 umgebaut (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege 2020). Noch heute ist das Walberlafest, das am 1. Sonntag im Mai auf der Fläche vor der Kapelle gefeiert wird, ein Anziehungspunkt für viele Menschen (SCHMIDT-KALER 2004).

2.2. Befestigungsanlage

Als Ergebnis der Ausgrabung 2005 konnten Mauern aus drei unterschiedlichen Perioden unterschieden werden (ABELS 2009). Im Anschluss an die Ausgrabung wurde im Bereich der Ausgrabungsfläche ein Teilstück der einstigen Wallanlage rekonstruiert (Abb. 3).

Bei der ältesten Mauer der Periode I handelte es sich um eine spätbronzezeitliche Befestigung deren Alter durch dendrochronologische Bestimmung wahrscheinlich zwischen 1369-1269 v. Chr. liegt (ABELS



Abb. 3: Rekonstruiertes Teilstück der ehemaligen Wallanlage im Torbereich an der Westflanke der Ehrenbürg. (Blickrichtung: SE; Position: R: 655217 H: 5509451; 04.10.2021; J. Lehnert).

2009). Untersuchungen ergaben, dass die Mauer aus einer äußeren und einer inneren Mauerfront im Abstand von 3,6 m aufgebaut war. Das Füllmaterial zwischen diesen beiden Mauern bestand aus Kalksteinen und sandigem Material (SCHUSSMANN 2011).

Verkohlte Reste weisen außerdem auf ein Brustwehr an der Frontmauer hin (ABELS 2012). Stark geröteter Sand, stark hitzeverfärbte Steine, Schmauch und Holzkohlespuren sind Hinweise dafür, dass die Mauer einem Feuer zum Opfer gefallen ist (SCHUSSMANN 2011). Welche Bereiche von dieser Mauer umgeben waren und wo die Zugänge zu dieser Befestigungsanlage lagen, ist aufgrund von späterer Überbauung durch die Befestigungen der Periode II und Periode III nicht mehr zu erkennen, jedoch wird ein ähnlicher Aufbau wie bei der Periode III angenommen (ABELS 2012).

Auf den Resten der verbrannten Mauer der Periode I wurde eine Mauer der Periode II errichtet. Durch Datierung mithilfe der ^{14}C -Methode an Holzkohleproben, ergibt sich ein Alter zwischen 980-814 v. Chr. (ABELS 2009). Bei der Befestigung handelte es sich um eine zweischalige Pfostenschlitzmauer, bei der die Pfosten der Frontmauer im Abstand von 2,5 m in die Erde eingetieft wurden und im Abstand von 3,3 m die innere Mauer folgte (SCHUSSMANN 2011). Die Pfosten der Vorder- und Rückseite wurden mit schräg verlaufenden Ankern verbunden, wodurch die Konstruktion stabiler war (ABELS 2009). Auch diese Mauer der Periode II wurde durch einen Brand zerstört (ABELS 2009). Durch spätere Überbauung ist auch hier nicht klar welche Bereiche diese Mauer umschloss,

jedoch ist davon auszugehen, dass zumindest die Flanken des Bergsattels gesichert waren, da hier anders als an den steilen Felsklippen ein natürlicher Schutz vor Feinden nicht gegeben war. (ABELS 2012).

Bei der Mauer der Periode III handelte es sich um eine frühlatènezeitliche Befestigung, die die Mauern der Perioden I und II überlagerte und sich auf das 5. Jh. v. Chr. datieren lässt (ABELS 2009). Hier handelte es sich um eine an der Basis 6,6 m breite nach oben verjüngende Steinmauer ohne Holzverbauten (SCHUSSMANN 2011). Die vermutete Höhe des Bauwerks lag bei 3 m, wobei auf die Außenfront ein bis zu 1,5 m hohes Brustwehr aus Holz aufgebracht war (ABELS 2009). Vor dem Bau der dritten Mauer wurde vermutlich das noch verwendbare Baumaterial der vorhergehenden Befestigungen ausgelesen und wiederverwendet. Außerdem wurden der Baugrund und der Brandschutt begradigt, um einen gleichmäßigen Verlauf der Befestigung sicher zu stellen. Auf die begradigte Fläche wurde die Außenfront aufgesetzt. Für die nötige Stabilität sorgte eine zweite Linie aus kleineren Steinen hinter der Frontmauer (SCHUSSMANN 2011). Insgesamt war die Befestigung um die Hochfläche 3500 m lang (ABELS 2012).

2.3. Aufbau

Außer an den senkrechten Steilkanten, die einen natürlichen Schutz gewährleisten, umschloss die Befestigungsanlage der dritten Periode die gesamte Hochfläche der Ehrenbürg und ihre Reste können noch heute teilweise verfolgt werden (ABELS 1990). Die Anlage war aus einem Nordabschnitt, einem Südabschnitt und einem zwischenliegenden Sattelbereich aufgebaut (Abb. 4).

Der nördliche Teil lag am Walberla und kann nochmals in zwei Teile gegliedert werden. Der nördlichste Bereich war aufgrund starker Böschung nicht optimal als Siedlungsbereich geeignet. Da hier dennoch Reste der Befestigungsanlage vorliegen, handelte es sich vermutlich um eine Art Vorbürg. Hierfür spricht, dass keine Funde vorliegen, die auf ein Siedlungsgebiet hindeuten. Getrennt durch eine Geländeschwelle, auf die ein Wall aufgesetzt wurde, schließt der südliche Bereich an, der in den Sattelbereich der Ehrenbürg übergeht. Nicht eindeutig zu sagen ist, ob an der Westseite der Vorbürg ein Tor vorhanden war (ABELS 1990).

Der Topografie folgend finden sich an den flachsten Stellen des Sattelbereichs, an der West- und Ostseite, die Reste ehemaliger Tore, bei denen es sich um die Zugänge zu der Befestigungsanlage handeln muss.

Der einstige Hauptzugang befand sich dabei wahrscheinlich an der Westseite der Ehrenbürg. Der Weg, der zu dem sich zangenartig nach innen ziehenden Tor führte, wurde dabei so angelegt, dass mögliche Feinde die rechte ungeschützte Seite dem Wall präsentieren mussten.

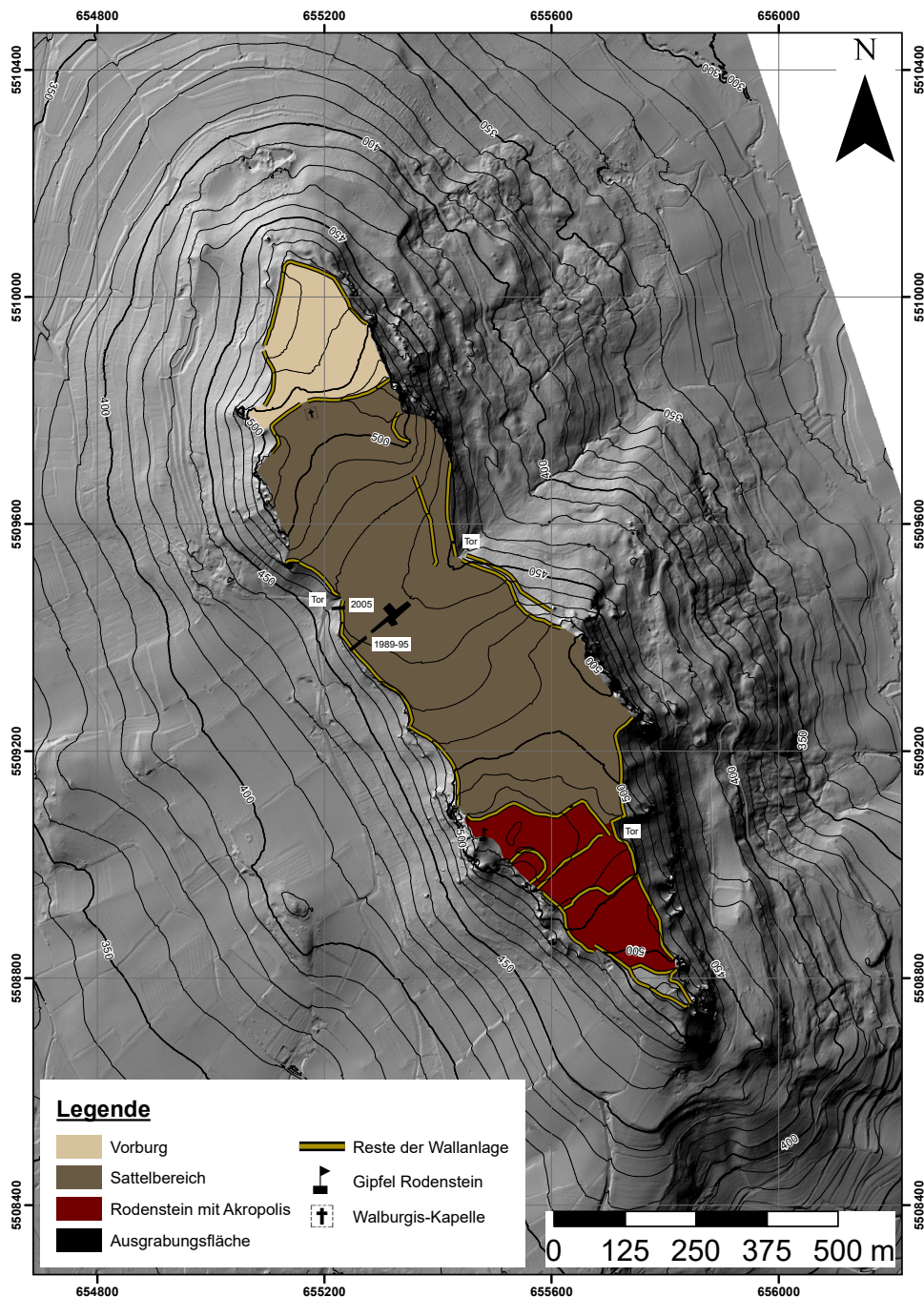


Abb. 4: Aufbau der einstigen späthallstattzeitlichen bis frühlatènezeitlichen Siedlungsanlage mit dem heute sichtbaren Verlauf der einstigen Wallanlage und den Ausgrabungsflächen. (Eigene Darstellung nach ABELS 2012).

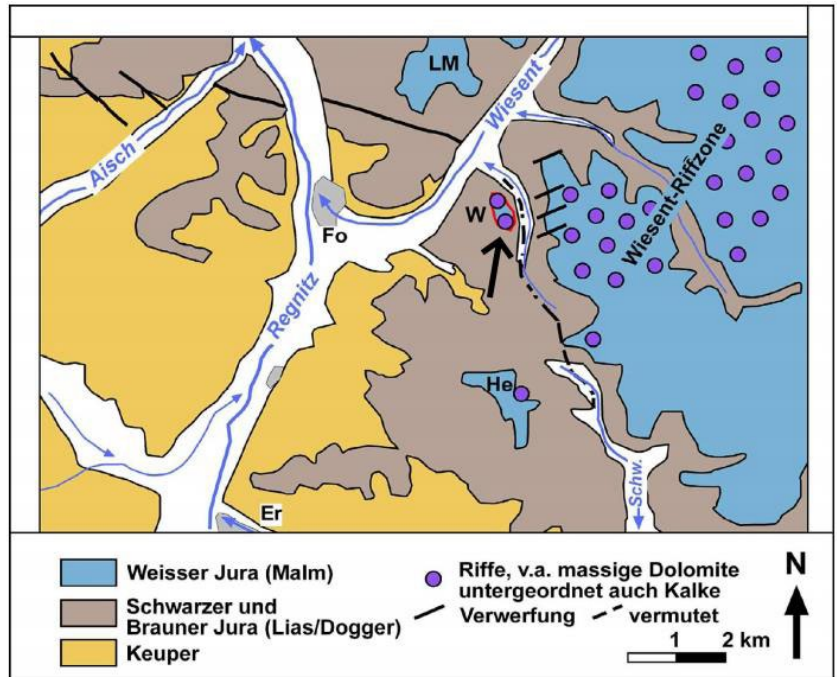


Abb.5: Lage der Ehrenbürg (Pfeil) in der so genannten Wiesent-Riffzone mit Störungssystemen im Norden und vermutetem Störungssystem im Osten. (verändert nach HOFBAUER et al. 2007).

Das durch einen zusätzlichen Wall verstärkte Tor auf der Ostseite der Ehrenbürg ist weniger deutlich zu erkennen. Hier handelte es sich vermutlich um einen Zugang, der zu den auf der Ostseite der Ehrenbürg befindlichen Quellen führte (ABELS 1990). Der südlich des Sattels gelegene Rodenstein weist eine eigene zusätzliche Befestigung auf, die einen 3 ha großen Abschnitt umgibt. Hier könnte es sich um eine Akropolis, die von der eigentlichen Anlage abgeschnitten war, gehandelt haben (ABELS 2009).

Die Magnetometeruntersuchungen bestätigen den dreigliedrigen Aufbau der einstigen Befestigungsanlage während der Frühlatènezeit. Dabei weisen das nördliche Walberla und der südliche Rodenstein wenige Siedlungs- und Kellergruben auf. Der Sattlbereich zeigt dagegen eine höhere Funddichte, weswegen davon auszugehen ist, dass hier der Hauptsiedlungsbereich gelegen haben muss. Hohe Magnetfeldanomalien zeigen außerdem, dass es sich um eine sehr dichte Besiedlung mit einem intensiven Einsatz von Feuer zur Metallverarbeitung gehandelt haben muss (FASSBINDER 2012).

3. Paläogeografie

Die Region um Forchheim ist durch den Übergang von den Sedimentgesteinen des Keuper über die Tone und Tonsteine des Lias und die

Sandsteine und Tonmergelsteine des Doggers bis zu den Karbonatgesteinen des Malm charakterisiert. Aufgrund überregionaler tektonischer Ereignisse weist die gesamte Abfolge eine Neigung von etwa 4° nach Osten auf. Dies führte zur Ausbildung markanter Schichtstufen am W-Rand der Nördlichen Fränkischen Alb (Abb. 5).

Die verwitterungsresistenteren Karbonatgesteine treten ab dieser Zeit deutlich als Stufenbildner auf (SCHIRMER 2009). Somit beginnt ab hier die Herausbildung der für Mittel- und Südwestdeutschland charakteristischen Schichtstufenlandschaft mit ihren Zeugenbergen (Abb. 5).

3.1. Geologische Entwicklung der Ehrenbürg

Durch Erosionsprozesse wurde die Ehrenbürg von der Fränkischen Alb getrennt und konnte sich als Zeugenberg vor der Albhochfläche herausbilden. Dabei spielen Störungen in dem Gebiet um die Ehrenbürg eine wichtige Rolle. Ein wichtiges Störungssystem wurde bereits von KRUMBECK (1956) beschrieben. Hier handelt es sich um die westlich der Regnitz vorkommende Pautzfelder Hauptverwerfung, die nach Osten in die Unterweilersbacher Verwerfung übergeht und im Norden der Ehrenbürg verläuft. Ob sich dieses Störungssystem im Ehrenbachtal, das die Ehrenbürg von der im Osten liegenden Albhochfläche trennt, fortsetzt und hier eine durchgehende Störung verläuft, ist nicht gesichert. Jedoch ist davon auszugehen, dass sich durch eine Verlängerung der Störung eine tektonische Linie nach Süden ergibt. Diese hat vermutlich zur Anlage des Ehrenbachs geführt (Abb. 5). Die Abtragung durch diesen Flusslauf hat schließlich zu Trennung von der Albhochfläche und der Herausbildung als Zeugenberg geführt (HOFBAUER et al. 2007). Eine tektonische Tieflage der geologischen Einheiten an der Ehrenbürg, die die Bildung eines Zeugenbergs begünstigen würde, ist im Falle der Ehrenbürg nicht zu finden (HOFBAUER et al. 2007). Die markante Form, die die Ehrenbürg schon aus großer Entfernung deutlich ersichtlich macht, beruht auf den Felsen aus Massendolomit (sog. Riffkuppeln), die sich nach MEYER & SCHMIDT-KALER (1992) in der sogenannten Wiesent-Riffzone befinden (Abb. 5).

Inwieweit es sich dabei um sogenannte Schwamm-Algen-Riffe oder um massige Partikelkalke (KOCH et al. 1994), die später dolomitisiert wurden und die vereinzelt Schwammbruchstücke enthalten haben, handelt, ist bisher nur in einzelnen Beispielen untersucht worden und kann nicht generell auf alle Massendolomite übertragen werden.

Die kalkigen Bereiche, die bei der Ablagerung zwischen den einzelnen Bereichen von Massendolomit gelegen haben, bilden heute die Senken der Hochfläche (SCHIRMER 2009). Dass die »Riffkuppel« auf der Ehrenbürg dabei markante Steilklippen bilden, liegt an den vertikale Klüften, die vermehrt im Massendolomit auftreten und zu einer verstärkten seit-

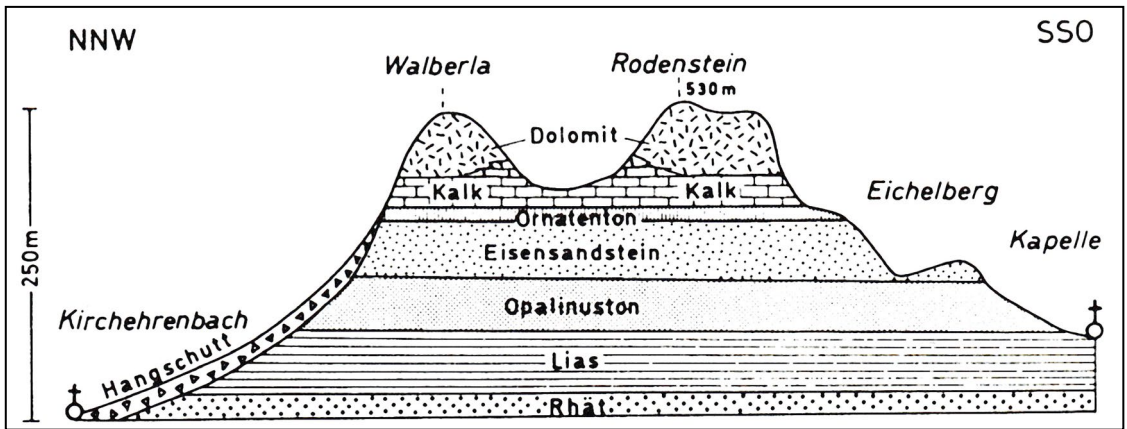


Abb. 6: Der geologische Aufbau der Ehrenbürg (Walberla-Rodenstein) nach MEYER & SCHMIDT-KALER (1992).

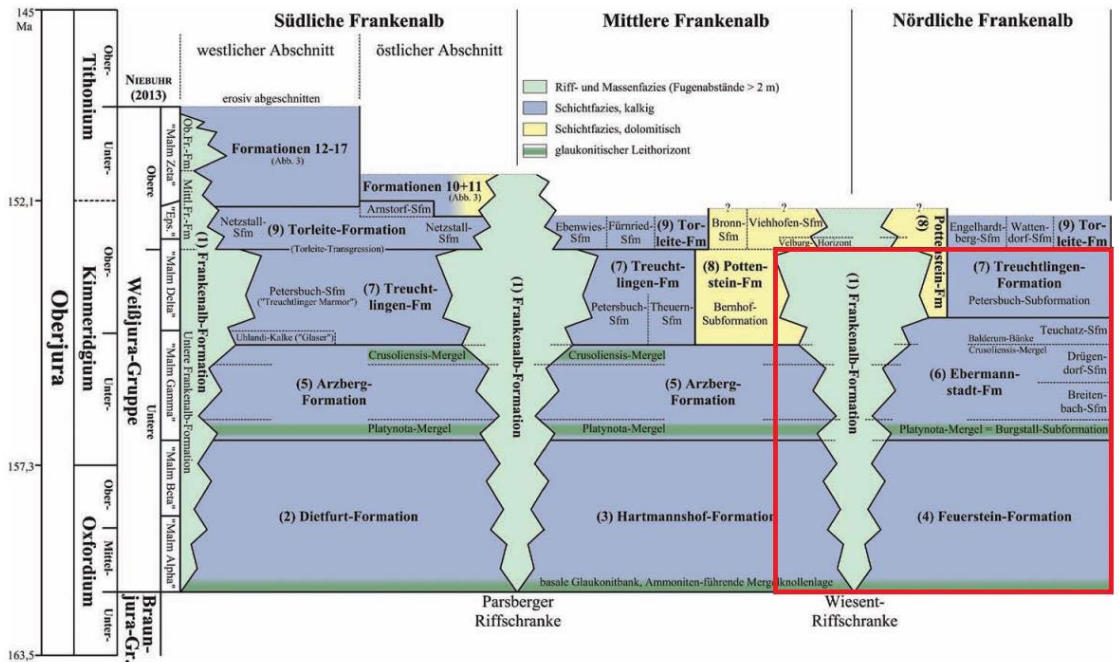


Abb. 7: Stratigraphische Tabelle für die Franconian Alb mit aktuellen stratigraphischen Formationen nach NIEBUHR & PÜRNER (2014). Die im Arbeitsgebiet anzutreffenden Einheiten sind rot markiert.

lichen Abtragung führen. Bei den zwischengelagerten Kalken kommt es dagegen zur Auflockerung und einer chemischen Lösung der Kalksteine (HOFBAUER et al. 2007). Durch die Alleinstellung als Zeugenberg wird dieser Effekt an der Ehrenbürg besonders deutlich.

3.2. Die stratigraphischen Einheiten im Untersuchungsgebiet

Nachfolgend werden die für die Ehrenbürg maßgebenden stratigraphischen Einheiten (Abb. 6 und Abb. 7) zusammenfassend vorgestellt.

Die **Amaltheenton-Formation** (»Lias δ «; Pliensbachium) bildet eine Einheit in der Schwarzjura-Gruppe. Sie besteht aus dunkel- bis schwarzgrauen, teilweise feingeschichteten Tonsteinen und Tonmergelsteinen. Daneben können Lagen mit Pyrit-Konkretionen und Siderit führenden Kalksteinknollen auftreten (MÖNNIG et al. 2015). Die Schicht bildet meist einen flachen Anstieg zu Fränkischen Alb (WIEDENMANN 2019) und kann Mächtigkeiten bis 55 m erreichen (BLOOS et al. 2005).

Die Einheit ist im Liegenden durch den Einsatz von dunkelgrauen Tonmergeln über den Kalksteinen und Mergeln der unterlagernden Numismalmisermergel-Formation (»Lias δ «) abgegrenzt.

Die **Posidonienschiefer-Formation** (»Lias ϵ «; Toarcium) wird ebenfalls der Schwarzjura-Gruppe zugeordnet. Sie besteht aus schwarzgrauen bis bräunlich schwarzen, feingeschichteten Mergeln- bis Kalkmergelsteinen sowie Ton- und Tonmergelsteinen. Die Einheit ist stark bituminös und weist einen hohen Kohlenstoffgehalt auf. In Franken können fossilreiche Leitbänke wie die Dactylocerasbank angetroffen werden. Die mittlere Mächtigkeit beträgt 10-15 m (MÖNNIG et al. 2015).

Die **Jurensismergel-Formation** (»Lias ζ «; Ober-Toarcium) ist der oberste Abschnitt der Schwarzjura-Gruppe. Sie besteht aus grauen Mergelsteinen mit eingeschalteten Kalksteinbänken (Nitsch et al. 2015). Im unteren Abschnitt ist die Einheit schwach bituminös. In Franken besitzt die Gesteinslage meist nur eine geringe Mächtigkeit von 0,5 m-3,0 m (BLOOS et al. 2005). Eine eindeutige Abgrenzung zur unterlagernden Posidonienschiefer-Formation und der überlagernden Opalinuston-Formation ist aufgrund der Fossilien, die in den beiden Einheiten zu finden sind, nicht eindeutig möglich (HEGENBERGER & SCHIRMER 1967).

Die **Opalinuston-Formation** (»Dogger α «; Ober-Toarcium bis Aalenium) bildet die unterste Einheit der Braunjura-Gruppe. Sie bildet eine deutliche Verflachung zwischen dem leichten Anstieg der Posidonienschiefer-Formation und dem deutlich steileren Anstieg der überlagernden Eisensandstein-Formation (HEGENBERGER & SCHIRMER 1967). Die Einheit setzt sich überwiegend aus blau- bis schwarzgrauen, schluffigen Tonsteinen oder Tonmergelsteinen zusammen. Im oberen und unteren Abschnitt können feinsandige Kalkbänke auftreten. Die Mächtigkeit kann in Franken zwischen 30-100 m betragen (FRANZ et al. 2013). Durch die Auflast der überlagernden Schichten erscheinen diese Gesteine oftmals stark geschiefert (KRUMBECK 1956).

Die **Eisensandstein-Formation** (»Dogger β «; Unter-Aalenium bis Unter-Bajocium) ist durch den ersten steilen Anstieg im Vergleich zum flacheren Vorland der Fränkischen Alb deutlich zu erkennen (HEGENBERGER & SCHIRMER 1967). Aufgebaut ist diese Einheit aus braunen, eisenreichen Sandsteinen mit einer Vielzahl an Kalksteinbänken und tonigen Zwischenlagen. Teilweise können auch mächtige Eisenerzflöze mit Eisenoolithen auftreten. Die mittlere Mächtigkeit liegt hier bei 60 m, kann jedoch bis auf 100 m anwachsen (FRANZ & ZEISS 2013).

Die **Sengenthal-Formation** (»Dogger γ - ζ «; Unter-Bajocium bis Unter-Oxfordium) bildet den obersten Abschnitt der Braunjura-Gruppe. Diese Einheit stellt eine deutliche Verflachung zwischen den Schichten der Eisensandstein-Formation und den überlagernden Gesteinen der Weißjura-Gruppe dar (HEGENBERGER & SCHIRMER 1967). Aufgebaut sind diese Einheiten aus Kalkareniten im unteren Abschnitt. Darüber folgen Wechsellagerungen von graubraunen, gelbbraunen und teilweise rotbraunen, oolithischen Tonmergelsteinen mit eisenoolithischen Kalkmergel- bis Kalksteinbänken. Im oberen Bereich finden sich feindsandige Tonmergelsteine und Tonsteine. In Franken kann die Sengenthal-Formation eine mittlere Mächtigkeit von 35 m erreichen (FRANZ et al. 2014).

Die **Feuerstein-Formation** (»Malm α - β «; Mittel-Oxfordium bis Unter-Kimmeridgium) bildet die unterste Einheit der Weißjura-Gruppe im Bereich der Nördlichen Frankenalb. Sie wurde zur gleichen Zeit wie die Dietfurt-Formation in der Südlichen Frankenalb und der Hartmannshof-Formation in der Mittleren Frankenalb abgelagert. Den unteren Abschnitt der Feuerstein-Formation bilden gebankte, stark tonig-mergelige Kalke (Malm Alpha). Nach oben schwierig abzugrenzen, folgt der ehemalige Malm β (Wohlgebankte Kalke, Werkkalk). Hier nimmt der Kalkanteil stetig zu und es treten vermehrt Kalkbänke mit nur dünnen Mergellagen auf (NIEBUHR & PÜRNER 2014).

Die **Ebermannstadt-Formation** (»Malm γ - δ «; Unter- bis Ober-Kimmeridgium) überlagert die Feuerstein-Formation. In der Südlichen und Mittleren Frankenalb wird die zeitgleich abgelagerte Einheit als Arzberg-Formation bezeichnet. Hier treten dunkle, weiche Kalkmergel und Mergelkalke auf. Überlagert wird die Ebermannstadt-Formation von der Treuchtlingen-Formation (NIEBUHR & PÜRNER 2014).

Bei der **Treuchtlingen-Formation** (»Malm δ «; Ober-Kimmeridgium) handelt es sich um weitestgehend dickbankige Kalke, die nur selten von dünnen Mergellagen unterbrochen werden. Dazwischen treten Massenkalk auf. Dabei handelt es sich um Peloid-Ooid-Lithoklast Partikelkalke, die zum Hangenden höhere Karbonatgehalte aufweisen (KOCH et al. 1994). Im Hangenden können großflächig ausgedehnte Dolomite (dolomitisierte Dickbankkalke) auftreten.

Die von NIEBUHR & PÜRNER (2014) definierte **Frankenalb-Formation** (Abb. 7) bezieht sich vor allem auf Massendolomite, die aus den lateral anstehenden Formationen durch Dolomitisierung hervorgegangen sind und daher auch unterschiedliche Reliktstrukturen enthalten können. Dies können kleine Dolomit-Bereiche (Zentimeter bis Dezimeter) sowie größere Bereiche, die mehrere Meter bis Zehnermeter oder gar mehrere 10er Meter bis hundert Meter mächtig sein können und mehrere Quadratkilometer Ausdehnung aufweisen. Diese in unterschiedlichen stratigraphischen Positionen auftretenden Massendolomite lassen oft noch viele Charakteristika der primärfaziellen Kalksteine erkennen, aus denen sie hervorgegangen sind.

Daher täuscht der Begriff der Frankenalb-Formation und deren vertikale Erstreckung durch die Stratigraphie eine Homogenität vor, die nicht gegeben ist. Ein genauer Blick auf die Faziesverzahnungen und deren dolomitische Umwandlungsprodukte wie z. B. an der ca. 40 m hohen Wand bei der »Römerbrücke« im Trubachtal (BRAM & KOCH 2008) lässt diese Zusammenhänge gut erkennen:

»... bei den massig und ungeschichtet erscheinenden Gesteinen der Frankenalb-Formation handelt es sich im Wesentlichen um die dolomitierten Faziestypen der Massenkalke (Riffkalke, Frankenalb-Formation). Diese Frankenalb-Formation wurde in Anlehnung an den 1868 von Carl Wilhelm Gümbel beschriebenen »Frankendolomit« benannt und fasst massigen Kalk- und Dolomitstein ohne Bezug auf seine stratigrafische Zugehörigkeit innerhalb der bayerischen Weißjura-Gruppe zusammen (NIEBUHR & PÜRNER 2014). Der Dolomitstein der Frankenalb wurde sekundär (früh-diagenetisch) gebildet. ...«

4. Methoden

4.1. Geologische Kartierung

Die Kartierung im Arbeitsgebiet erfolgte vom 01.04.2021 bis 28.01.2022. Für die Kartierung der geologischen Formationen stand die Geologische Karte (GK25) des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) im Maßstab 1:25.000 mit den entsprechenden Erläuterungen zur Verfügung. Im Bereich der Ehrenbürg handelte es sich um das Kartenblatt Nummer 6232 Forchheim mit den zugehörigen Erläuterungen von KRUMBECK (1956). Daneben wurde die digitale Geologische Karte (dGK25) von Bayern im Maßstab 1:25.000 als Grundlage in die Software ArcGIS 10.6.1, mit der die Geologische Karte in dieser Arbeit erstellt wurden, eingebunden. Bei der dGK25 handelt es sich um die digitale Version der vom LfU veröffentlichten Geologischen Karte inklusive der aktuell gültigen Formationsbezeichnungen, die auch in dieser Arbeit Verwendung finden.

Eine weitere wichtige Informationsquelle war ein von KRUMBECK (1953) am Südwesthang der Ehrenbürg aufgenommenes Profil, das entlang eines Wegs von Schlaifhausen auf den Rodenstein verläuft und dabei hauptsächlich die Eisensandstein-Formation beschreibt. Außerdem fanden 2013 durch die Studenten Fridolin Sturm und Markus Müller im Rahmen ihrer Bachelorarbeit geologische und ingenieurgeologische Kartierungen von Massenbewegungen am Osthang der Ehrenbürg statt, von denen die Ergebnisse zur Verfügung standen. All diese Arbeiten wurden am Lehrstuhl für Angewandte Geologie im Geozentrum Nordbayern durchgeführt. Mit diesen zugrundeliegenden Informationsquellen wurden bei der Geländeaufnahme Aufschlüsse für die einzelnen geologischen Einheiten gesucht und die Lage dieser anschließend in der erstellten Geologischen Karte vermerkt.

In Bereichen, die keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Geologie zulassen, da hier die ursprüngliche geologische Situation durch die Überdeckung von Rutschmassen nicht mehr zu bestimmen war, wurde versucht aufgrund von vorhandenen Daten die Grenzen der geologischen Formationen abzuschätzen.

4.2. Geotechnische Kartierung

Als wichtige Informationsquellen für die geotechnische Kartierung sind hier die Bachelorarbeiten von Sturm (2013) und Müller (2013) zu nennen. Des Weiteren ist die Gefahrenhinweiskarte für den Raum Bayern zu nennen. Im Rahmen des GEORISK-Programms werden hierfür seit 1987 Informationen über Massenbewegungen gesammelt und standardisiert. Über die interaktive Onlinekarte des UmweltAtlas Bayerns kann dabei im Bereich Angewandte Geologie/Geogefahren auf diese Informationen zugegriffen werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2020). WIEDENMANN (2019) befasst sich mit der ingenieurgeologischen Untersuchung von Hangbewegungen am Nordwestrand der Frankenalb und stellt eine weitere, wichtige Informationsgrundlage für die vorliegende Arbeit dar. Für die Geländeaufnahme wurden verschiedene Karten verwendet, die mit der Software ArcGIS 10.6.1 erstellt wurden. Hierfür wurde beim Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Daten für ein Digitales Geländemodell (DGM) bestellt. Es handelt sich um Punktdaten, die aufgrund von Rechts- und Hochwerten sowie der zugehörigen Höhe die Erdoberfläche beschreiben, wobei Bebauung und Vegetation nicht berücksichtigt werden. Um die Genauigkeit zu erhöhen, lagen für das Arbeitsgebiet um die Ehrenbürg DGM-Daten mit der Gitterweite 1 m vor. Aus dem DGM konnte anschließend mithilfe der Software ArcGIS 10.6.1 eine Hillshade-Karte (Abb. 8) berechnet werden,

was durch die Funktion der Schummerung erfolgte. Hierbei wurde durch eine künstliche Beleuchtungsquelle eine Karte der Erdoberfläche erstellt.

Type of Movement		Type of Material		
		Bedrock	Engineering Soils	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
Falls		Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topples		Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slides	Rotational	Rock slump	Debris slump	Earth slump
	Translational	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Lateral Spreads		Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flows		Rock flow	Debris flow	Earth flow
		(deep creep)		(soil creep)
Complex		Combination of two or more principal types of movement		

Tabelle 1: Klassifikation von Massenbewegungen (verändert nach VARNES 1978.)

Abhängig von der gewählten Richtung und der Einfallshöhe der Beleuchtung konnten somit wichtige Strukturen im Gelände erkannt werden.

Aufgrund dieser Hillshade-Karten konnten erste Informationen über Lage und Ausdehnung der einzelnen Rutschmassen gesammelt werden. Außerdem konnten wichtige Strukturen und Merkmale, die aufgrund starker Vegetation nicht ersichtlich waren, besser erkannt werden. Diese Strukturen wurden anschließend im Gelände detaillierter aufgenommen, vermessen und die gewonnenen Ergebnisse in eine Leerkarte, die nur Höhenlinien und Wege darstellt, eingetragen. Auch die Leerkarten mit Höhenlinien wurden vorher mithilfe der Software ArcGIS 10.6.1 aus den DGM-Daten errechnet, wobei für die Höhenlinien ein Abstand von 10 m gewählt wurde. Für eine bessere Orientierung wurden zusätzlich die wichtigsten Wege mithilfe des Kartendienst OpenStreetMap in die Leerkarten eingetragen. Aus der so erstellten Karte der Massenbewegungen wurde später eine digitale Karte mit allen gewonnenen Daten erstellt.

4.3. Profilaufnahme

Nach der geotechnischen Kartierung konnten die Profillinien für die Profilaufnahme an der Ehrenbürg festgelegt werden. Hierbei wurde versucht, möglichst viele der vorher kartierten Strukturen aufzunehmen.



Abb. 8: Aus den DGM-Daten berechnete Hillshade-Karte der Ehrenbürg mit einer Beleuchtungsquelle aus 315° NW und einem Einfallswinkel von 30° .

Für die Profilaufnahme wurden der Gipfel des Rodensteins und die Walburgis-Kapelle als markante Punkte gewählt, an denen die Profillinien abknicken.

4.4. Digitalisierung und Flächenberechnung

Für die Digitalisierung und Darstellung der im Gelände gewonnenen Daten wurden verschiedene Programme verwendet. Alle Karten, die geologische und geotechnische Informationen enthalten, wurden mit der Software ArcGIS 10.6.1. der Firma ESRI erstellt. Hierbei handelt es sich um ein Geoinformationssystem-Softwareprodukt, mit dem durch Punkte-, Linien- und Flächensignaturen kartierte Strukturen symbolisiert werden können. Außerdem ermöglicht es mithilfe unterschiedlicher Werkzeuge die Modellierung und Analyse verschiedener Geoinformationen. Den so digitalisierten Strukturen, wie auch den Basiskarten, wird dabei ein Koordinatensystem zugewiesen, für das hier das ETRS 1989 UTM Zone 32N verwendet wurde. Durch das zugewiesene Koordinatensystem können mithilfe des Programms anschließend Längen- und Flächenberechnungen durchgeführt werden, wodurch die Längen, Breiten und Flächen der Massenbewegungen und größeren abgeglittenen Festgesteinsschollen in den Arbeitsgebieten bestimmt wurden. Das Volumen der Rutschmassen und abgeglittenen Festgesteinsschollen wurden aus der Fläche und der geschätzten durchschnittlichen Mächtigkeit berechnet. Die Mächtigkeiten konnten dabei nur mithilfe der geotechnischen Profile, die mit verschiedenen Grafikdesignprogrammen der Firma CorelDRAW digitalisiert wurden, abgeschätzt werden. Die Darstellung der eingemessenen Kluftflächen erfolgte mithilfe des Programms Stereonet 11.

5. Klassifikation von Massenbewegungen

Nach der Definition von CRUDEN (1991) ist eine Massenbewegung: »*The Movement of a mass of rock, earth or debris down a slope.*« Dabei existieren jedoch unterschiedliche Klassifikationen, um die Art der Massenbewegungen zu charakterisieren. Die in dieser Arbeit verwendete Klassifikation beruht auf der Arbeit von VARNES (1978), die durch CRUDEN & VARNES (1996) aktualisiert wurde und in Tab. 1 zusammengefasst ist.

Nach VARNES (1978) findet eine Einteilung der Massenbewegung nach den Bewegungsmechanismen und dem bewegten Material statt. Bei den Bewegungsmechanismen (Abb. 9) wird dabei zwischen Fallen (=Falls), Kippen (=Topples), Gleiten (=Slides), Driften (=Lateral Spreads) und Fließen (=Flows) unterschieden. Wenn eine Kombination aus verschiedenen Mechanismen vorliegt, wird diese als komplexer Prozess klassi-

fiziert. Bei dem Material kann zwischen Festgestein (=rock) und Lockergestein unterschieden werden. Das Lockergestein wird dabei nochmals in gröbere Trümmer (=debris) und feineres Material (=earth), das bis zu Korngröße von Sand reicht, unterschieden (Highland & Bobrowsky 2008).

5.1. Bewegungsmechanismen von Massenbewegungen

5.1.1. Fallen

Beim Fallen löst sich Boden oder Fels von einem Steilhang, an dessen Oberflächen nur geringe Scherverschiebungen auftreten. Das Material bewegt sich danach meist sehr schnell hauptsächlich fallend, springend oder rollend den Hang abwärts (CRUDEN & VARNES 1996).

5.1.2. Kippen

Beim Kippen findet eine Vorwärtsrotation von Boden oder Fels statt, bei dem die Rotationsachse unterhalb des Schwerpunkts der bewegten Masse liegt. Der Prozess des Kippens kann dabei sehr langsam bis sehr schnell ablaufen und im späteren Bewegungsverlauf in Fallen oder Gleiten übergehen (CRUDEN & VARNES 1996).

5.1.3. Gleiten

Beim Gleiten, das auch als Rutschen bezeichnet werden kann, handelt es sich um eine hangabwärts gerichtete Bewegung, die entlang einer Scherfläche verläuft. Dabei muss die Bewegung anfangs nicht gleichförmig über die spätere Scherfläche verlaufen, vielmehr findet eine Erhöhung des Volumens aus einem Abbruchbereich statt. Erste Anzeichen für eine Rutschung sind Brüche in der noch unbewegten Oberfläche, aus denen sich Abrisskanten entwickeln können. Diese Brüche sind oftmals an Inhomogenitäten und Diskontinuitäten gebunden (CRUDEN & VARNES 1996). Die Bewegung kann mit wenigen Zentimetern pro Jahr sehr langsam sein. Jedoch sind auch schnellere Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde möglich (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2017). VARNES (1978) unterscheidet bei den Rutschungen zwischen einer Rotationsrutschung (=Rotational Slide), die unterteilt nach Material auch als Slumps und einer Translationsrutschung (=Translational Slide) bezeichnet werden. Bei einer Rotationsrutschung findet der Gleitprozess an einer konkaven Scherfläche statt.

Die Rotationsachse des Rutschkörpers liegt dabei parallel zur Hangneigung. Die Bewegung im Kopfbereich erfolgt weitestgehend vertikal nach unten gerichtet, wobei hier oft eine Rückwärtsneigung des oberen Bereichs stattfindet. Im unteren Teil bewegt sich die Rutschmasse meist über das Ende der Scherfläche hinweg und bedeckt die darunter liegende ursprüngliche Geländeoberfläche. Intern weist die Rutschmasse eher geringe Deformationen auf. Außerdem kann es bei der fast vertikalen Abrissfläche zu rückschreitenden, nachträglichen Abrissen kommen (CRUDEN & VARNES 1996). Bei einer Translationsrutschung findet die Bewegung hangabwärts an einer mehr oder weniger planaren Scherbahn statt, wobei hier nur geringe Rotations- und Rückwärtsbewegungen im Kopfbereich auftreten (VARNES 1978).

5.1.4. Driften

Beim Driften handelt es sich um die Ausdehnung von kohäsivem Boden oder Fels, das verbunden ist mit einem Einsinken in das weichere, unterlagernde Material. An der Gleitfläche tritt dabei keine intensive Scherung auf. Auslöser kann hier die Verflüssigung oder Fließbewegungen in der unterlagernden, duktileren Schicht sein (CRUDEN & VARNES 1996).

5.1.5. Fließen

Bei der Fließbewegung handelt es sich um eine räumlich durchgehende Massenbewegung, bei der die Scherfläche nur sehr kurz existiert, eng begrenzt ist und nicht erhalten bleibt. Aufgrund von Wassergehalt, Mobilität und Entwicklung der Bewegung ist der Übergang von einer gleitenden Bewegung zu einer fließenden Bewegung nicht immer exakt abzugrenzen (CRUDEN & VARNES 1996).

5.2. Ursachen für Massenbewegungen

Für die meisten Massenbewegungen ist ein Zusammenspiel von verschiedenen Faktoren die Ursache. Dabei können grundsätzlich vorbereitende Faktoren und auslösende Faktoren unterschieden werden (WIEDENMANN 2019).

Als ein wichtiger vorbereitender Faktor ist die geologische Ausgangssituation zu nennen. Durch unterschiedliche Schichtabfolgen spielt das PRINZIP »Hart auf Weich« eine entscheidende Rolle. Aufgrund von Unterschieden in den mechanischen Eigenschaften und der Permeabilität der einzelnen geologischen Formation bilden sich dabei Zonen aus, die besonders anfällig für Hangbewegungen sind (WIEDENMANN 2019). Im

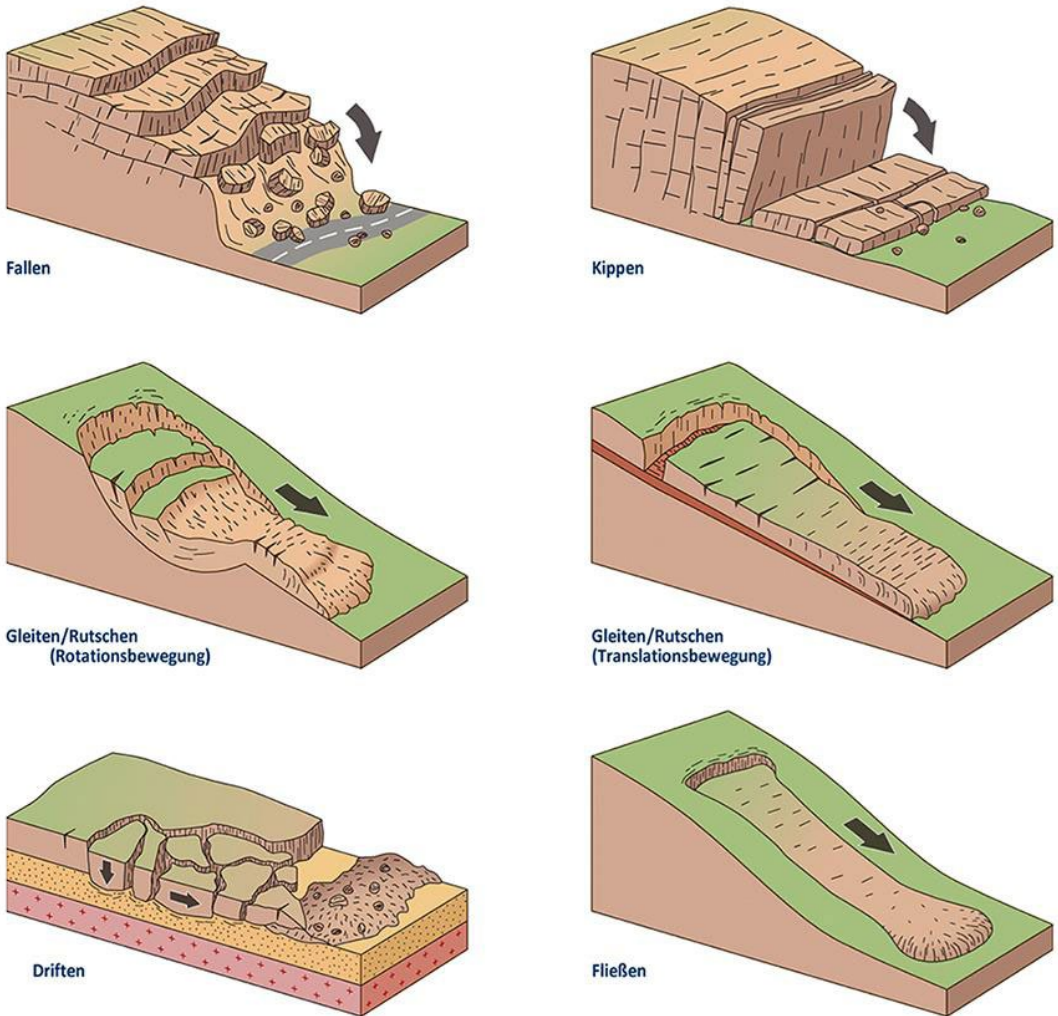


Abb. 9: Schematische Darstellung der verschiedenen Bewegungsmechanismen (DZIGGEL, in JORZIK 2020).

Raum der Fränkischen Alb können verschiedene rutschempfindliche Systeme unterschieden werden. Für das bearbeitete Gebiet an der Ehrenbürg sind die Systeme Opalinuston und Sengenthal besonders hervorzuheben (Abb. 10). Beim System Opalinuston rutschen Gesteine der Eisen-sandstein-Formation auf den Tonsteinen der Opalinuston-Formation und Jurensismergel-Formation ab. Beim System Sengenthal fungieren die Tonsteine der Sengenthal-Formation als Gleithorizont für die über-lagernden Formationen der Weißjura-Gruppe wie die Feuerstein-Formation oder die so genannte Frankenalb-Formation (WIEDENMANN 2019).

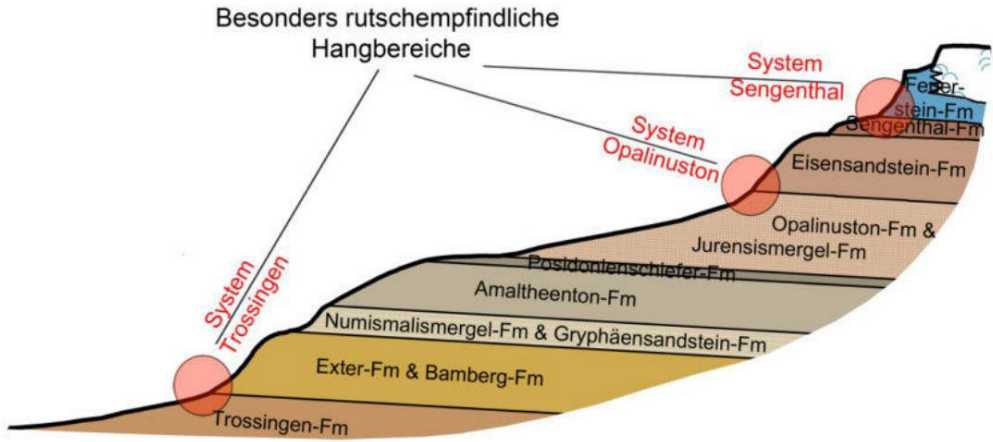


Abb. 10: Rutschempfindliche Hangbereiche an der Ehrenbürg. (WIEDENMANN 2019, verändert nach MOSER & RENTSCHLER 1999).

Bei isolierten Zeugenbergen wie der Ehrenbürg können diese Rutschungen besonders deutlich ausgeprägt sein. Weitere Faktoren können außerdem Schwächezonen wie Schichtflächen, Klüfte und Störungen im Gestein sein, die im weiteren Verlauf zu Abrissen führen können (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2017).

Bei den auslösenden Faktoren handelt es sich vor allem um Änderungen in der Hangmorphologie und den Einfluss von Wasser (WIEDENMANN 2019). Bei der Änderung in der Hangmorphologie ist vor allem die Erosion von Bachläufen am Hangfuß zu nennen. Hierdurch kommt es zur einer Übersteilung des Hangs, die sich ungünstig auf das Hanggleichgewicht auswirkt. Menschliche Eingriffe am Hangfuß können dabei ebenfalls zu einer Destabilisierung führen (PRINZ & STRAUSS 2017). Auch bei auftretenden Niederschlägen und der Häufung von Massenbewegungen kann ein Zusammenhang erkannt werden. Dieser Effekt ist dabei meist besonders stark in vegetationsarmen Jahresabschnitten in Verbindung mit raschen Schneeschmelzen zu beobachten. Aber auch sonst zeigt sich durch einsickerndes Wasser und den dadurch ansteigenden Grundwasserspiegel ein deutlicher Einfluss auf die Stabilität. Dies wird besonders deutlich, wenn wasserwegsame Gesteine mit ausgeprägten Trennflächen von wasserstauenden Gesteinen unterlagert werden (PRINZ & STRAUSS 2017). Durch die Wasserzunahme wird der Boden weicher und die Scherfestigkeit und Kohäsion werden herabgesetzt. In Verbindung mit der Auftriebswirkung des eindringenden Wassers kann es dabei zu einer Verringerung der rückhaltenden Kräfte kommen. Gleichzeitig werden hangabtreibende Kräfte durch die zusätzliche Last des Wassers größer (PRINZ & STRAUSS 2017). Hinweise auf diese stark wassergesät-

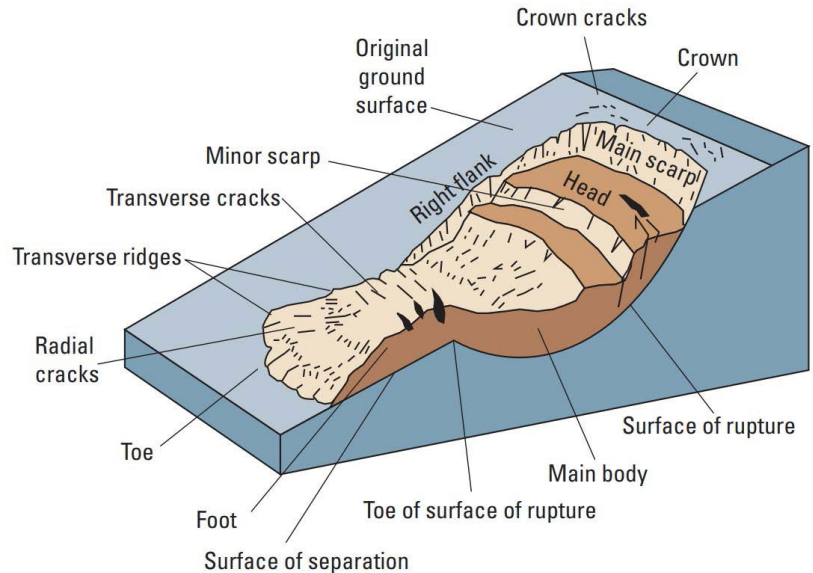


Abb. 11: Schematische Darstellung mit Bezeichnungen einer Rotationsbewegung, die im unteren Abschnitt in eine fließende Bewegungsform übergeht (HIGHLAND & BOBROWSKY 2008 nach VARNES 1978).

tigen Bereiche können dabei Vernässungszonen, Quellschüttungen und Bodenaufweichung sein. Weitere auslösende Faktoren sind Erdbeben und Erschütterungen (PRINZ & STRAUSS 2017). Auch das Auftauen von Permafrostböden in verschiedenen Epochen der Erdgeschichte kann zu Massenbewegungen beigetragen haben (JORZIK 2020).

5.3. Aufbau von Massenbewegungen

Um eine einheitliche Beschreibung von Massenbewegungen vornehmen zu können, entwickelte die IAEG COMMISSION ON LANDSLIDES (1990) eine einheitliche Nomenklatur, die auf die Arbeit von VARNES (1978) beruht. Im Folgenden wird der Aufbau einer typischen Massenbewegung, wie sie im Arbeitsgebiet auftritt und in Abb. 11 dargestellt ist, mit den ins Deutsche übersetzten Begriffen beschrieben. Bei der Bewegungsform handelt es sich hierbei um einen überwiegend gleitenden Prozess mit eindeutiger Scherbahn im oberen Bereich. Im unteren Abschnitt kann die Bewegung nach dem Austritt aus der Scherfläche in eine fließende Bewegungsform übergehen. Im oberen Abschnitt der Rutschung befindet sich die Hauptabbrisskante (=Crown), die den höchsten Teil des Hauptabbrisses (=Main scarp) bildet. Hinter der Hauptabbrisskante können sich Risse und Zerrspalten (=Crown cracks) bilden, die ein Indiz für die beginnende Rückverlagerung der Abrisskante sind. Auf den Hauptabbriss folgt der Kopf der Rutschmasse (=Head). Hier kommt es meist zu Verflachungen in der Geländemorphologie.

In Abgrenzung zur unveränderten Oberfläche kann es an den Seiten zu Abrissen an den Flanken der Rutschmasse kommen. Außerdem kann der Rutschkörper (=Main body) durch untergeordnete Abrisskanten (=Minor scarp) innerhalb der Rutschmasse unterteilt werden. Oftmals bilden untergeordnete Abrisskanten auch eigene kleine sekundäre Rutschungen innerhalb des bewegten Hauptkörpers. Die Rutschung erfolgt dabei im oberen Teil an einer Hauptscherfläche (=Surface of rupture). Am unteren Ende der Rutschmasse befindet sich der Gleitfuß (=Foot), der sich über das Ende der Hauptscherfläche (=Toe of surface of rupture) auf der ehemaligen Geländeoberfläche (=Surface of separation) hinausbewegt. Die am Gleitfuß befindliche Spitze (=Toe) der Rutschmasse ist der am weitesten entfernte Bereich der Rutschmasse vom Hauptabriss. Dieser Bereich kann im Gelände oft als Rutschungswulst erkannt werden. Der Gleitfuß stellt oftmals einen sehr unruhigen Bereich dar, in dem viele Rutschbuckel und Vernässungszonen auftreten können. Im oberen Bereich der Massenbewegung befindet sich die Abrissnische (=Zone of depletion), die einem eher gleitenden Bewegungsprozess unterliegt. Hier liegt durch die Verringerung des Volumens die Oberfläche unterhalb der ehemaligen Geländeoberfläche. Im unteren Abschnitt im Bereich des Gleitfußes liegt die neue Oberfläche aufgrund der Volumenerhöhung oberhalb der ehemaligen Geländeoberfläche, weshalb hier die Akkumulationszone (=Zone of accumulation) vorliegt.

5.4. Aktivität von Massenbewegungen

Für die Abschätzung der Aktivität der Massenbewegungen wird in dieser Arbeit die Klassifikation von WIEDENMANN (2019) verwendet. Diese beruht auf visuell erkennbaren Merkmalen im Gelände. Dabei werden Massenbewegungen als aktiv klassifiziert, wenn erkennbare Merkmale auf eine Bewegung in den letzten Jahrzehnten hindeuten. Hinweise darauf können Säbelwuchs an Bäumen, Wurzeln über Zerrspalten und Risse oder Depressionen in Straßen oder Gebäuden sein. Wenn solche Anzeichen nicht vorzufinden sind, werden die Bewegungen als inaktiv klassifiziert. Dabei kann bei inaktiven Bewegungen nochmals der Zustand ruhend und historisch unterschieden werden. Bei ruhenden Massenbewegungen ist die Entstehungsursache weiterhin vorhanden, was zu einer Reaktivierung führen kann. Wenn die inaktive Hangbewegung als historisch angesehen wird bedeutet das, dass zwar keine aktuellen Anzeichen für eine Bewegung vorliegen, jedoch eine Aktivität in den letzten Jahrhunderten vorlag, da ein Einfluss auf alte Strukturen wie beispielsweise Forstwege zu erkennen ist. Bei dieser Klassifikation ist zu beachten, dass, wenn keine sensiblen Strukturen innerhalb der Rutschmasse vorliegen, die schon bei geringer Bewegung Risse zeigen, die Aktivität

einer Bewegung beruhend auf rein visuellen Merkmalen oftmals nicht erkannt wird. Hierfür wären Präzisionsmessungen nötig, die schon geringe Kriechbewegungen des Hanges deutlich machen würden.

6. Diskussion der Massenbewegungen

6.1. Geologische Karte

Da an der Ehrenbürg fast der gesamte Hangbereich stark von Massenbewegungen betroffen ist und Rutschmassen hier fast alles überlagern, ist es schwierig die genauen Schichtgrenzen der einzelnen geologischen Formationen zu bestimmen. Der einzige Bereich, aus dem gute Informationen über die Mächtigkeiten und Grenzen der geologischen Formationen abgeleitet werden können, befindet sich an einem nicht von Rutschmassen überdeckten Abschnitt im Südwesten. Da die Gesteine der Weißjura-Gruppe über der Sengenthal-Formation einen signifikanten Anstieg zeigen, kann die Untergrenze der Weißjura-Gruppe im Südwesten auf 465 m ü. NN festgelegt werden. Durch Aufschlüsse an der Ostseite der Ehrenbürg wird ersichtlich, dass die Basis der Weißjura-Gruppe an der ganzen Flanke größtenteils schon in einer Höhe von 445 m ü. NN vorliegt. Hieraus wird ein Einfallen der Schichten von 12° nach Osten bestimmt. Die Amaltheenton-Formation und die Posidonien-schiefer-Formation bilden die untersten Einheiten, die im Arbeitsgebiet anzutreffen sind. Da die Untergrenze der Amaltheenton-Formation außerhalb des Arbeitsgebiets liegt, kann die Mächtigkeit hier nicht eindeutig bestimmt werden. Für die Posidonien-schiefer-Formation wird eine Mächtigkeit von 5 m angenommen. Für beide Formationen lassen sich keine Aufschlüsse im Arbeitsgebiet finden. Darüber folgt die Opalinuston-Formation, die aufgrund der schlechten Unterscheidbarkeit mit der sehr geringmächtigen Jurensismergel-Formation zusammengefasst ist, jedoch dabei aufgrund der größeren Mächtigkeit den Hauptteil der Formation einnimmt. Sie besitzt im Bereich der Ehrenbürg eine vermutete Mächtigkeit von 45 m und bildet morphologisch eine Verflachung im Hangbereich. Auch für diese Formation finden sich keine Aufschlüsse. Die Untergrenze wird an der Westflanke bei 355 m ü. NN vermutet, während sie an der Ostseite wahrscheinlich bis auf 335 m ü. NN herabreicht. Die nachfolgende Eisensandstein-Formation zeigt an der Südwestseite einen deutlichen Anstieg des Hanges und ist hier an einem Wanderweg häufiger aufgeschlossen (Abb. 12). Die Untergrenze befindet sich in einer Höhe von 400 m ü. NN und kann im untersten Abschnitt durch eine Sandsteinbank erkannt werden. Wegen der hohen Standfestigkeit ist hier ein ehemaliger Bierkeller zu finden. Ein weiterer Keller befindet sich etwa



Abb. 12: A – Sandsteinbank im oberen Abschnitt der Eisensandstein-Formation. (Blickrichtung: NE; Position: R: 655696 H: 5508579; Maßstab: Hammer 32 cm). B – Sandsteinbank aufgeschlossen am Weg. (Blickrichtung: E; Position: R: 655681 H: 5508357; Maßstab: Hammer 32 cm).

100 m nordöstlich in einer Höhe von 395 m ü. NN. Die Eisensandstein-Formation ist im Bereich der Ehrenbürg hauptsächlich aus Sandsteinschichten aufgebaut, neben denen außerdem Kalkbänke erkannt werden können.

Im oberen Abschnitt ist eine sehr gut aufgeschlossene rote Sandsteinbank anzutreffen, die von einer im Weg aufgeschlossenen Kalksteinbank, der so genannten Austernbank, überlagert wird. Diese bildet die Obergrenze der Eisensandstein-Formation in einer Höhe von 452 m ü. NN.

Für den Südwestbereich ergibt sich dadurch eine Mächtigkeit von 52 m. Generell wird die Mächtigkeit der Eisensandstein-Formation auf 50 m für dieses Arbeitsgebiet geschätzt. Die Untergrenze wird an der Westseite bei 400 m ü. NN vermutet, während sie an der Ostseite etwas unterhalb bei 380 m ü. NN liegt.

Die darüberliegende Sengenthal-Formation wird im Südwesten durch eine deutliche Verflachung in der Morphologie ersichtlich. Aufgrund der Obergrenze der Eisensandstein-Formation und der Untergrenze der Gesteine der Weißjura-Gruppe, besitzt die Sengenthal-Formation im Südwestabschnitt eine geschätzte Mächtigkeit von 15 m (Abb.13). Die Grenze zur unterlagernden Schicht wird an der Westseite in einer Höhe von etwa 450 m ü. NN und an der Ostseite bei 430 m ü. NN vermutet. An der Ehrenbürg können hauptsächlich massige Dolomite und Kalke erkannt werden, die der Frankenalb-Formation zugeordnet werden. Der Massendolomit bildet dabei die Berggipfel des Walberlas und des Rodensteins, wobei oft herausgewitterte Felstürme vor den markanten senkrechten Steilkanten anzutreffen sind. Die zwischen den Gipfeln liegende Senke des Hochplateaus wird überwiegend aus kalkigen Abschnitten der Frankenalb-Formation gebildet. Neben den Gesteinen der massigen Fazies sind vereinzelt auch dünn- bis mittelbankige Kalke zu finden. Aufschlüsse hierfür liegen in einem ehemaligen Steinbruch an der

Abb. 13: Obergrenze Eisensandstein-Formation mit anschließender Verflachung der Sengenthal-Formation und steilerem Anstieg der Frankenalb-Formation im nicht von Rutschmassen überdeckten Bereich im Südwesten. (Blickrichtung: NE; Position: R: 655717 H: 5508596; Maßstab: Hammer 32 cm).

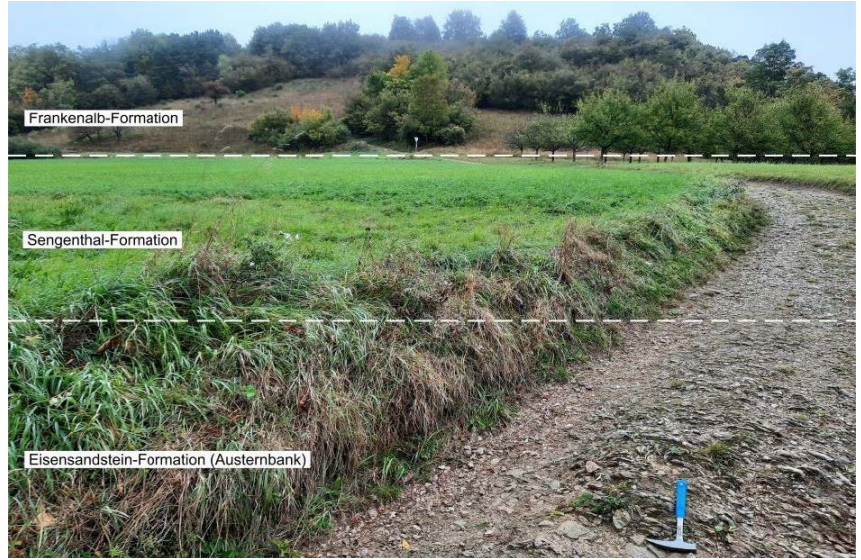


Abb. 14: A – Dünn- bis middlebankige Kalke der Frankenalb-Formation aufgeschlossen in einem ehemaligen Steinbruch an der Südwestseite des Rodensteins. (Blickrichtung: NE; Position: R: 655697 H: 5508821; Maßstab: Meterstab 2 m). B – Massiger Riffdolomit der Frankenalb-Formation wie er in den meisten Bereichen auf der Hochfläche anzutreffen ist. (Blickrichtung: N; Position: R: 655593 H: 5508919; Maßstab: Hammer 32 cm).

Südwestseite in einer Höhe von 495 m ü. NN und bei 445 m ü. NN an der Nordostseite des Walberla.

6.2. Karte der Massenbewegungen

Die Karte der Massenbewegungen (Abb. 15) zeigt die kartierten Hangbewegungen an der Ehrenbürg. Ferner sind die wichtigsten Daten wie Länge, Breite, Höhenversatz, geschätzte maximale und durchschnittliche Mächtigkeit, Fläche, Volumen, Rutschsystem und Rutschmechanismus beschrieben. Aus der Karten wird ersichtlich, dass fast der gesamte Hangbereich der Ehrenbürg von Massenbewegungen betroffen ist. Der Osthang ist dabei wesentlich rutschempfindlicher, weshalb sich hier viele Massenbewegungen überlagern. Für eine bessere Übersicht wird in der folgenden Beschreibung die Ehrenbürg in die Bereiche Nordwes-

Anlage 4.1: Karte der Massenbewegungen an der Ehrenbürg

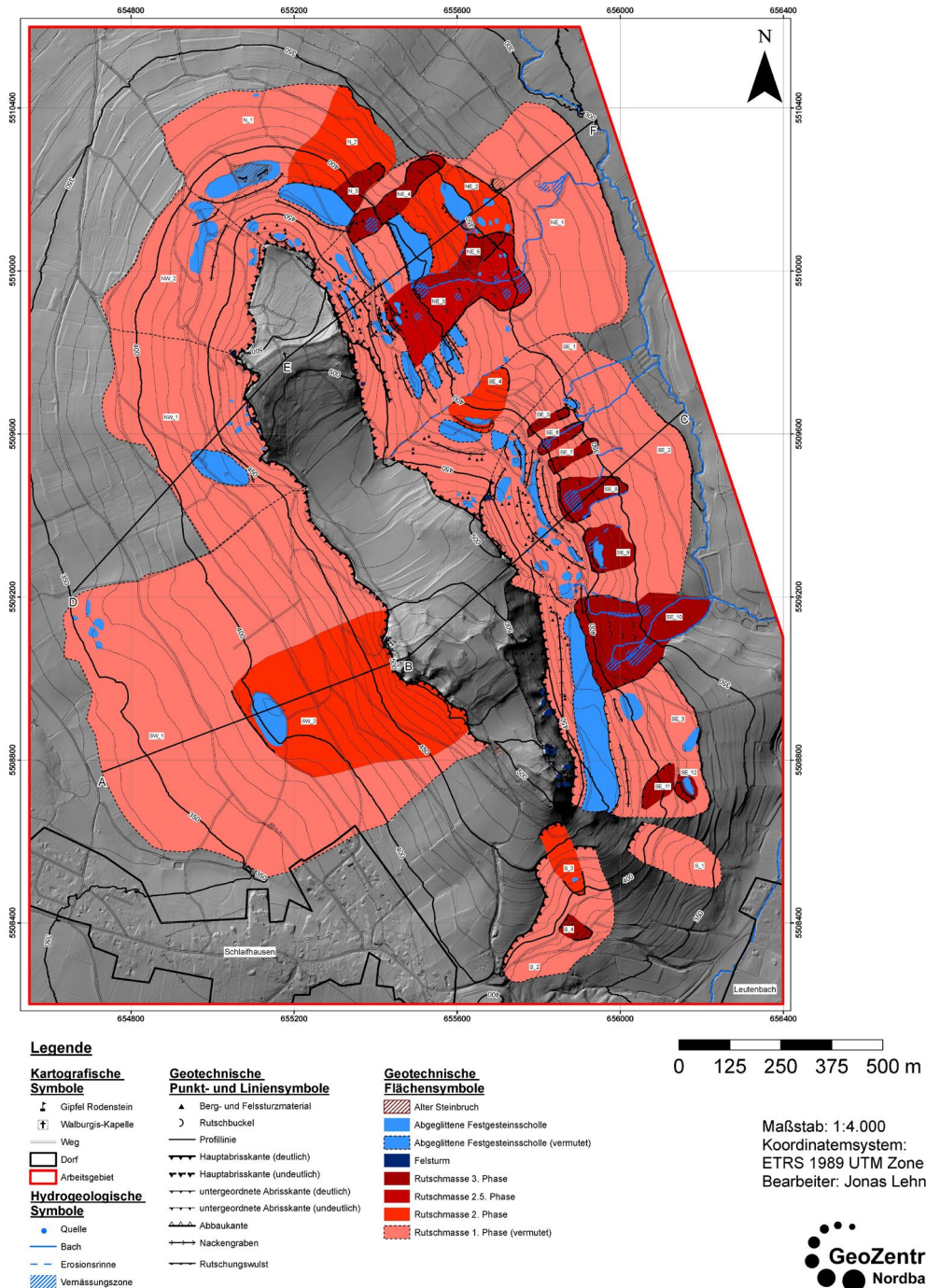


Abb. 15: Ausschnitt aus Anlage 4.1: Kartierte Hangbewegungen an der Ehrenbürg.

ten (=NW), Norden (=N), Nordosten (=NE), Südosten (=SE), Süden (=S) und Südwesten (=SW) gegliedert und die jeweiligen Massenbewegungen in den Bereichen nummeriert. Der einzige Hangbereich, der nicht von Rutschungen betroffen ist, liegt zwischen den Abschnitten Süden und Südwesten.

Um die sich überlagernden Rutschungen besser unterscheiden zu können, wird aufgrund von vorhandenen Merkmalen und der Überlagerung der einzelnen Massenbewegungen eine Einteilung in verschiedene Phasen vorgenommen. Phase 1 sind Massenbewegungen, die bereits sehr alt sind und somit Merkmale aufgrund von Abtragungsprozessen, überlagernden jüngeren Massenbewegungen und dem späteren anthropogenen Einfluss oft schwierig im Gelände zu erkennen sind. Massenbewegungen der Phase 2 ereigneten sich meist sekundär innerhalb der Rutschmassen aus Phase 1 und sind somit jünger einzuordnen. Die Phase 3 stellt die jüngsten Massenbewegungen dar, die wegen der geringen Abtragung noch am deutlichsten zu erkennen sind. Weil die Massenbewegung NE_3 nicht eindeutig der Phase 2 oder Phase 3 zugeordnet werden kann, wird für diese die Phase 2.5 eingeführt. Es ist zu beachten, dass eine exakte Datierung nicht möglich ist und das Alter nur durch die relative Abfolge und Merkmale im Gelände abgeschätzt werden kann. Somit können Massenbewegungen in verschiedenen Bereichen, die der gleichen Phase zugeordnet sind, dennoch zu unterschiedlichen Zeiten stattgefunden haben. Die Hangneigung wurde am Osthang vom Ehrenbach, der den tiefsten Punkt im Ehrenbachtal darstellt, im Bezug zu den höchsten Punkten der Hauptabbrisskanten im Nord- und Südbereich bestimmt. Da am Westhang kein Vorfluter vorliegt, der sich hier in die Geländemorphologie einschneidet, wurden hier dieselben Entfernungen zur Hauptabbrisskante wie an der Ostseite gewählt. Hieraus ergeben sich Neigungen von 17° für den Nordosthang und 20° für den Südosthang sowie 14° für den Nordwesthang und 15° für den Südwesthang.

6.2.1. Nordwesten

Die Massenbewegung NW_1 ereignete sich am Nordwesthang der Ehrenbürg, wobei der Hauptabbriss hier deutlich ausgeprägt ist und im anstehenden massiger Rifffolomit eine etwa 15 m hohe senkrechte Steilkante bildet. Im Norden noch in einer Höhe von 510 m ü. NN zieht sie nach Süden in den Sattelbereich der Ehrenbürg bis in eine Höhe von 470 m ü. NN. Unterhalb der Abrisskante im Kopfbereich der Rutschung befinden sich viele kleine nach hinten rückwärts rotierte Festgesteinsschollen, die von der Abrisskante bis in eine Höhe von 470 m ü. NN abgeglitten sind. Vermutlich liegt im südlichen Bereich eine große abgeglittene Gesteinsscholle

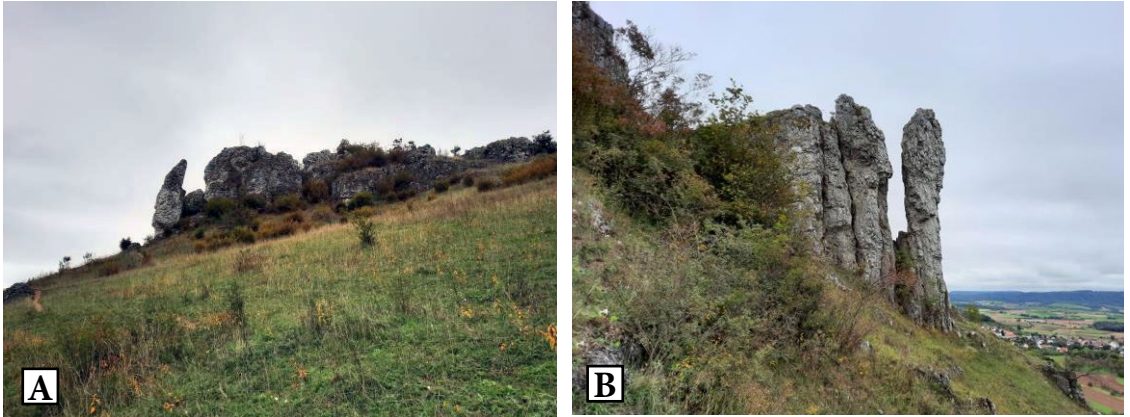


Abb. 16: A – Blick auf den Felsturm »Steinerne Frau«. (Blickrichtung: N; Position: R: 655056 H: 5509652). B – Blick auf den Felsturm »Wiesenthauer Nadel«. (Blickrichtung: S; Position: R: 655083 H: 5509657).

vor, die jedoch nur aufgrund einer starken Verflachung mit dahinterliegendem Nackengraben angenommen werden kann. Zur Abrisskante nimmt die Menge an Hangschutt deutlich zu. Wegen starker anthropogener Überprägung und Abtragungsprozessen im Bereich des Gleitfußes kann die Reichweite nur mithilfe der Hillshade-Karten abgeschätzt werden. Zwischen den Abrisskanten von NW_1 und NW_2 befindet sich ein Felsturm aus massivem Rifffolomit, der durch Erosion herausgewittert ist und als »Steinerne Frau« bezeichnet wird (Abb. 16A). Etwas südlicher kann mit der »Wiesenthauer Nadel« ein weiterer Felsturm vor der Abrisskante erkannt werden (Abb. 16B). Bei der Massenbewegung NW_2 ist die von Norden nach Süden von 470 m ü. NN bis 500 m ü. NN verlaufende Hauptabbrisskante weniger deutlich ersichtlich. Im Kopfbereich findet sich dabei eine leicht rückwärts rotierte Festgesteinsscholle. Zwei weitere große abgeglittene Festgesteinsschollen, hinter denen sich deutliche Nackengraben ausbilden und deren Volumen auf 19.000 m³ und 40.000 m³ geschätzt werden, liegen im nördlichen Teil der Rutschmasse vor.

6.2.2. Norden

Im Norden der Ehrenbürg können drei Rutschungen unterschieden werden, bei denen die Hauptrutschung als N_1 bezeichnet wird. Die zugehörige Hauptabbrisskante verläuft dabei von Westen nach Osten und befindet sich in einer Höhe von 480 m ü. NN. Im Westen noch weniger deutlich ausgeprägt, bildet sie nach Osten eine deutlich erkennbare Steilkante. Im Kopfbereich der Rutschung befinden sich mehrere rückwärts rotierte abgeglittene Festgesteinsschollen mit dahinterliegenden Nackengraben. Außerdem ist hier viel Hang- und Felssturzmaterial mit Volumen bis 25 m³ vorzufinden. Im mittleren Bereich befinden sich zwei große abgeglittene Festgesteinsschollen mit geschätzten Volumen von 88.000 m³

für die westlichere und 110.000 m³ für die östlichere. Die westliche der beiden ist dabei in einem ehemaligen Steinbruch aufgeschlossen. Die östlichere Festgesteinsscholle lässt sich nur durch einen plötzlich steilen Anstieg des Hangs, einem dahinterliegenden Nackengraben und den HillshadeKarten vermuten. Eine kleinere Festgesteinsscholle konnte bis 370 m ü. NN abgleiten und ist hier aufgeschlossen, weshalb davon auszugehen ist, dass die Rutschmasse mindestens bis hier reicht. Auch hier kann die Spitze der Rutschung aufgrund von anthropogener Überprägung nicht mehr erkannt werden.

Die Abrisskanten der sekundären Massenbewegungen N_2 und N_3 liegen in einer Höhe von 425 m ü. NN. Im Westen noch undeutlich, wird sie im Bereich der Rutschung N_3 nach Osten deutlicher. N_2 zeigt allgemein wenige Merkmale, jedoch lässt sich die Spitze der Rutschmasse in manchen Abschnitten in einer Höhe von 355 m ü. NN durch eine Rutschungswulst deutlich abgrenzen. Bei der Massenbewegung N_3 kann gut der Akkumulationsbereich am Gleitfuß erkannt werden, wobei auf der Rutschmasse noch deutliche Rutschkübel ersichtlich sind. Die Spitze dieser Massenbewegung lässt sich durch eine Rutschungswulst bei 370 m ü. NN deutlich abgrenzen.

6.2.3. Nordosten

Der Nordosthang der Ehrenbürg ist deutlich rutschempfindlicher, wobei sich mehrere Massenbewegungen unterscheiden lassen. Dabei liegt mit NE_1 eine Haupttrutschung vor, innerhalb der sich weitere sekundäre Massenbewegungen ereignet haben. Die Hauptabbrisskante verläuft dabei von Nordwesten nach Südosten entlang der 500 m Höhenlinie und bildet eine bis zu 25 m hohe senkrechte Steilkante im Riffdolomit (Römerwand). Im südlichen Abschnitt teilt sich die Hauptabbrisskante auf, wobei der obere Abschnitt noch etwas weiter im Riffdolomit verläuft.

Der untere Abschnitt zieht bis zur 445 m Höhenlinie nach unten und liegt hier im Kalkstein der Frankenalb-Formation. Auch hier können markante, vor der Hauptabbrisskante gelöste Felstürme (Abb. 17B) wie die Zwillingsfelsen erkannt werden (Abb. 17A). Die Rutschmasse lässt sich durch untergeordnete Abrisskanten, die parallel zur Hauptabbrisskante verlaufen, in mehrere Abschnitte gliedern. Parallel zur Hauptabbrisskante verläuft eine untergeordnete Abrisskante leicht oberhalb von 430 m ü. NN und zieht dabei fast durch die gesamte Rutschmasse (Abb. 18B). In ihrem Verlauf von Norden nach Süden wird diese dabei undeutlicher. Zwischen dieser untergeordneten Abrisskante und der Hauptabbrisskante befindet sich der Kopf der Rutschmasse, der den unruhigsten Bereich des Rutschgebiets darstellt (Abb. 18A). Hier sind sehr viele abgeglittene Festgesteinsschollen, die teilweise eigene Abrisskanten besitzen, anzutreffen.

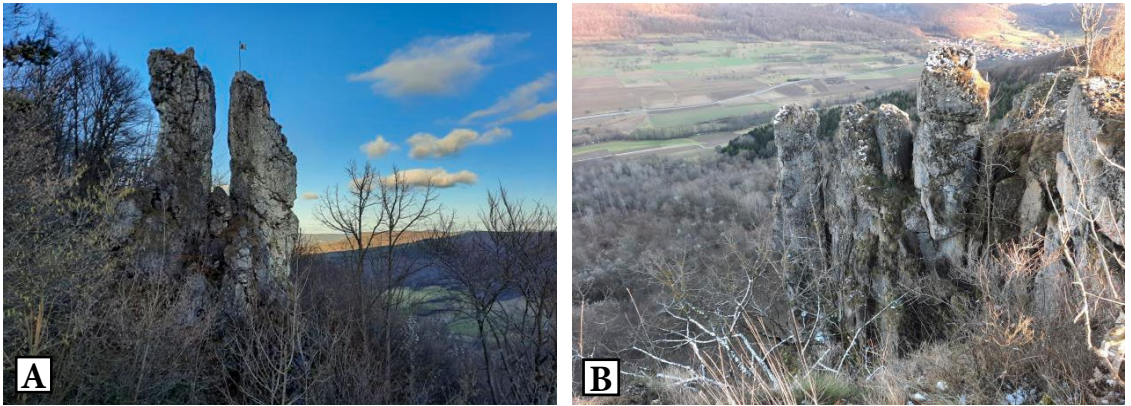


Abb. 17: A – Zwillingsfelsen vor der Hauptabbrisskante der Massenbewegung NE_1. (Blickrichtung: N; Position: R: 655364 H: 5509730). B – Ablösung von Felstürmen an vertikalen Klüften im Riffdolomit vor der Hauptabbrisskante. (Blickrichtung: SE; Position: R: 655310 H: 5509847).

Durch Rotation bilden sich Nackengräben hinter den Schollen aus, die mit viel Hang- und Felssturzmaterial mit Volumen bis 25 m^3 verfüllt sind. Direkt an die Hauptabbrisskante anschließend findet sich viel Hangschutt mit Bruchstücken von 1 cm bis 20 cm. Bei einer Höhe von 400 m ü. NN wird im mittleren Teil der Rutschmasse eine große abgeglittene Gesteinscholle mit einem geschätzten Volumen von 93.000 m^3 vermutet, da sich dieser Bereich durch eine Verflachung in der Hangmorphologie und einem dahinterliegenden Nackengraben deutlich abgrenzt. Im südlichen Bereich der Rutschung werden ebenfalls größere abgeglittene Festgesteinsschollen angenommen, die jedoch nur aufgrund einer treppenförmigen Struktur im Gelände zu erkennen sind. In manchen Abschnitten lässt sich trotz starker anthropogener Überprägung am Gleitfuß in einer Höhe von 305 m ü. NN eine deutliche Rutschungswulst erkennen.

Die sekundäre Massenbewegung NE_2 ereignete sich an der mittig in der Rutschmasse NE_1 liegenden abgeglittenen Festgesteinsscholle. Die Abrisskante verläuft hier von Nordwesten nach Südosten parallel zu Hauptabbrisskante in einer Höhe von knapp über 390 m ü. NN und ist dabei im Nordwesten deutlicher ausgeprägt. Im unteren Bereich der Rutschmasse kann eine Verflachung im Bereich des Gleitfußes erkannt werden. Hier befindet sich eine etwa 40.000 m^3 große abgeglittene Gesteinscholle mit Nackengraben. Daneben treten hier viele kleinere abgeglittene Schollen im unteren Abschnitt auf. Das Ende der Rutschmassen kann durch eine Rutschungswulst bei 335 m ü. NN angenommen werden. Die Länge der Massenbewegung beträgt somit 205 m. Im Nordwesten und Südosten wird die Rutschmasse von jüngeren Massenbewegungen überlagert, wodurch die ursprüngliche Breite nicht mehr ersichtlich ist, aber mindestens 189 m beträgt. Die Höhendifferenz von der Abrisskante bis zu Spitze der Rutschmasse liegt bei 55 m.

Bei der Massenbewegung NE_3 handelt es sich ebenfalls um eine sekundäre Rutschung innerhalb der Rutschmasse NE_1, die Teile der Rutschmassen NE_2 überlagert. Da sie ebenfalls von der Rutschmasse NE_5

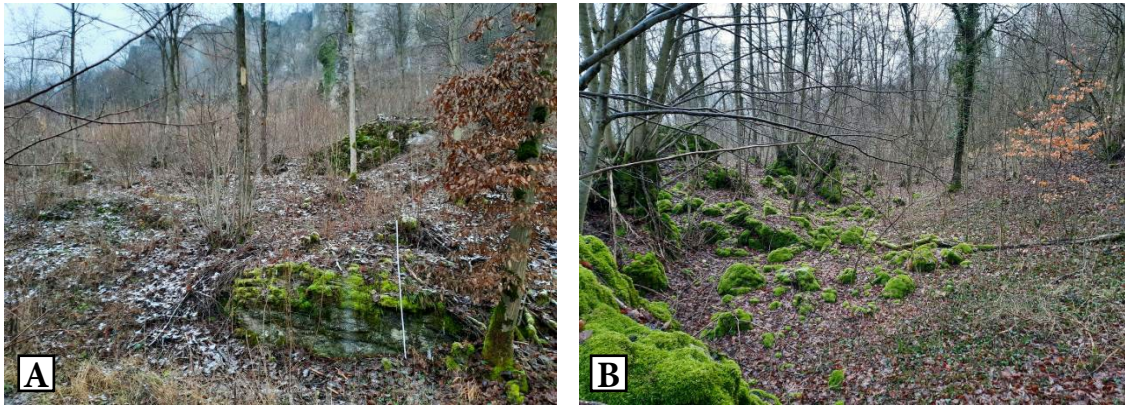


Abb. 18: A – Abgeglittene Festgesteinsschollen im Bereich zwischen Hauptabrisskante und erster untergeordneter Abrisskante der Massenbewegung NE_1. (Blickrichtung: SW; Position: R: 655362 H: 5509998; Maßstab: Meterstab 2 m). B – Nackengraben hinter einer abgeglittenen Festgesteinsscholle verfüllt mit Hang- und Felssturzmaterial (<25 m²) unterhalb der ersten untergeordneten Abrisskante der Massenbewegung NE_1. (Blickrichtung: S; Position: R: 655419 H: 5509972).

überlagert wird, wird die Massenbewegung der Phase 2.5 zugeordnet. Die zugehörige Abrisskante verläuft hier parallel zur Hauptabrisskante undeutlich zwischen 430 m ü. NN im Nordwesten und 420 m ü. NN im Südosten. Im Kopfbereich sind wenige Merkmale zu erkennen. Im mittleren Abschnitt lässt sich die Rutschmasse im südlichen Bereich durch eine deutliche Rutschungswulst abgrenzen. Der Akkumulationsbereich am Gleitfuß ist hier gut ersichtlich und weist eine Verbreiterung sowie mehrere deutliche Rutschbuckel auf. Durch eine Rutschungswulst kann die Spitze der Rutschmasse bei 340 m ü. NN erkannt werden. Die Massenbewegung ist dabei 368 m lang und 162 m breit. Die Höhendifferenz beträgt 90 m. Bei der Massenbewegung NE_4 handelt es sich um eine jüngere sekundäre Rutschung, die sehr deutlich zu erkennen ist. Hier kann der theoretische Aufbau gut nachvollzogen werden. Nach der Hauptabrisskante, die in einer Höhe von 435 m ü. NN liegt, kann im Kopfbereich eine leichte Rotationsbewegung erkannt werden. Bei 370 m ü. NN liegt der Austritt aus der Scherfläche und der Übergang zum Gleitfuß. Bis zu diesem Punkt tritt die Abrissnische mit zugehörigen Nebenabrissen deutlich auf. Der Gleitfuß mit vielen Rutschbuckeln liegt über der ehemaligen Geländeoberfläche und ist sehr gut durch eine Rutschungswulst abzugrenzen. Die Spitze der Rutschmasse liegt bei 345 m ü. NN. Die Massenbewegung verläuft dabei mit einer Länge von 300 m und einer Breite von 64 m kanalartig. Der Höhenunterschied beträgt 85 m.

Auch die jüngere sekundäre Massenbewegung NE_5 lässt sich deutlich abgrenzen. Jedoch ist hier die untergeordnete Abrisskante nicht sehr deutlich ausgeprägt und liegt vermutlich in einer Höhe von 400 m ü. NN. Auch diese verläuft anfangs kanalartig im oberen Abschnitt. Der Austritt aus der Scherfläche kann bei 370 m ü. NN erkannt werden. Am Gleitfuß lässt sich auch hier der Akkumulationsbereich mit vielen Rutschbuckeln durch eine Rutschungswulst deutlich abgrenzen, wobei die Spitze bei 340 m ü. NN liegt. Die Massenbewegung ist hier 270 m lang und 76 m breit. Der Höhenversatz beträgt 60 m.

6.2.4. Südosten

Durch eine deutliche Erosionsrinne kann der Südostbereich vom Nordosten abgegrenzt werden. Auch hier sind viele überlagernde Rutschmassen vorzufinden, wobei drei größere Hauptrutschungen, bei denen Gesteine der Frankenalb-Formation abgeglitten sind, unterschieden werden können. Innerhalb dieser Rutschmassen fanden anschließende sekundäre Hangbewegungen statt. Die Massenbewegung SE_1 ereignete sich im nördlichen Teil der Südostseite. Die Hauptabbrisskante beginnt dabei in einer Höhe von 450 m ü. NN in der Senke der Hochfläche und ist Anfangs weniger deutlich ausgeprägt. Von Nordwesten zieht sie leicht nach Südosten bis in eine Höhe von 500 m ü. NN. Im Kopfbereich finden sich kleinere, leicht rückwärts rotierte Festgesteinsschollen. Im mittleren Abschnitt wird eine größere abgeglittene Festgesteinsscholle vermutet, hinter der ein Nackengraben erkannt werden kann. Allgemein weist diese Massenbewegung wenige Merkmale auf. Die Länge wird auf 503 m geschätzt, wobei allerdings keine eindeutige Rutschungswulst zu erkennen ist, die das Ende der Rutschmasse eingrenzt. Die erkennbare Breite liegt bei 177 m, jedoch wird die ursprüngliche Rutschmasse vermutlich von der Rutschmasse SE_2 im Südosten überlagert. Der Höhenunterschied zwischen Abrisskante und Ende der Rutschmasse wird auf 160 m geschätzt.

Die Massenbewegung SE_2 stellt den unruhigsten Bereich im Südosten dar. Die Hauptabbrisskante verläuft hier leicht bogenförmig im massigen Riffdolomit und bildet eine etwa 25 m hohe Steilkante. Im Norden zieht die Abrisskante dabei an der Flanke von 440 m ü. NN bis in eine Höhe von 500 m ü. NN von Nordosten nach Südwesten. Anschließend knickt sie ab und verläuft in dieser Höhe weiter nach Südosten. Im Kopfbereich der Rutschmasse befinden sich viele abgeglittene und rückwärts rotierte Festgesteinsschollen, die einen breiten Verflachungsbereich mit Nackengraben bilden, in dem sich viel Hang- und Felssturzmaterial, das Volumen bis 25 m³ erreicht, sammelt (Abb. 19A). Direkt vor der Abrisskante kann viel Hangschutt aus Bruchstücken von 1 cm bis 20 cm Größe vorgefunden werden. An den Abschnitt der Verflachung schließt eine deutliche untergeordnete Abrisskante an, die weitestgehend parallel zur Hauptabbrisskante in einer Höhe von 420 m ü. NN verläuft und die Rutschmasse unterteilt. Der mittlere Bereich der Rutschmasse ist von vielen kleinen sekundären Massenbewegungen geprägt, die sich innerhalb der Hauptrutschmasse SE_2 ereignet haben. Die Spitze des Gleitfußes kann bei 315 m ü. NN in manchen Abschnitten deutlich durch eine Rutschungswulst erkannt werden. Somit ist die Rutschmasse 523 m lang

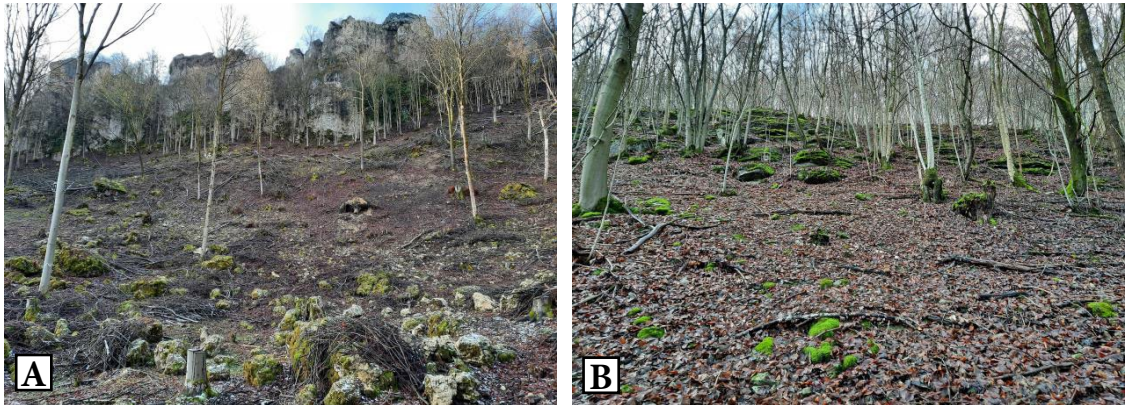


Abb. 19: A – Hang- und Felssturzmaterial (<25 m²) vor der Hauptabrisskante der Massenbewegung SE_2. (Blickrichtung: SW; Position: R: 655776 H: 5509427). B – Deutlich zu erkennende, aber wesentlich weniger markant ausgeprägte Abrisskante der Massenbewegung SE_3 im massigen bis teilweise grob gebankten Kalkstein der Frankenalb-Formation. (Blickrichtung: W; Position: R: 655835 H: 5509065).

und 584 m breit. Der Höhenunterschied von Hauptabrisskante zur Spitze des Gleitfußes beträgt 185 m.

Bei der Massenbewegung SE_3 verläuft die Hauptabrisskante von Norden nach Süden. Im Norden beginnt sie dabei in einer Höhe von 450 m ü. NN und verläuft hier im meist massigen, teilweise sehr grob gebankten Kalkstein der Frankenalb-Formation und ist dabei wesentlich weniger markant ausgeprägt als in den Bereichen SE_2 und NE_1 (Abb. 19B). Im weiteren Verlauf nach Süden befinden sich große Felsstürme aus Rifffolomit, die hier durch Abtragungsprozesse freigelegt wurden. Danach wird die Abrisskante kurzzeitig undeutlich, um sich anschließend in einer Höhe von 460 m ü. NN wieder im Kalkstein fortzusetzen. Oberhalb der Hauptabrisskante verläuft am Übergang zur Hochfläche eine weitere Abrisskante fortlaufend zur Hauptabrisskante der Massenbewegung SE_2, jedoch ist diese hier weniger deutlich ausgeprägt. Im südlichsten Bereich der Abrisskante befinden sich wieder mehrere markante Felstürme. Im Kopfbereich der Massenbewegung kann eine deutliche Verflachung erkannt werden. Durch Aufschlüsse wird hier eine große rückwärts verkippte Festgesteinsscholle vermutet, die den Kopf der Rutschmasse bildet und ein geschätztes Volumen von 310.000 m³ besitzt. Im dahinterliegenden Nackengraben sammelt sich viel Hang- und Felssturzmaterial mit Volumen bis 25 m³ sowie Hangschutt mit Kantenlängen von 1 cm bis 20 cm. An die Verflachung anschließend folgt auch hier eine untergeordnete Abrisskante, die die Rutschmasse unterteilt. Innerhalb der Hauptrutschmassen konnten sich ebenfalls sekundäre Massenbewegungen ereignen. Die Spitze der Rutschmasse kann durch eine Rutschungswulst bei 370 m ü. NN erkannt werden, wodurch sich eine Gesamtlänge des Rutschkörpers von 330 m und eine Breite von 540 m ergibt. Der Höhenunterschied der Massenbewegung beträgt 90 m.

Die Massenbewegung SE_4 ist eine sekundäre Massenbewegung innerhalb der Rutschmasse SE_1. Die Abrisskante liegt dabei in einer Höhe von 420 m ü. NN und verläuft parallel zur Hauptabrisskante.

Unterhalb der Abrisskante kann im Kopfbereich eine nach hinten rotierte Festgesteinsscholle mit Nackengraben erkannt werden. Auch kann deutlich die Abrissnische im oberen Bereich sowie der Akkumulationsbereich am Gleitfuß unterschieden werden. Das Ende der Rutschmasse kann durch eine hier ersichtliche Wulst bei 365 m ü. NN erkannt werden. Die Massenbewegung ist somit 175 m lang und 102 m breit. Die Höhe zwischen Abrisskante und vermuteter Spitze beträgt 55 m. Bei den Rutschungen SE_5 bis SE_9 handelt es sich um kleinere sekundäre Massenbewegungen innerhalb der Rutschmasse SE_2. Die Abrisskanten befinden sich dabei in einer Höhe von 400 m ü. NN bis 410 m ü. NN und verlaufen parallel zur Hauptabbrisskante. Da es sich hier um sehr unruhige Bereiche mit vielen Rutschkuckeln handelt, sind die einzelnen Massenbewegungen im Gelände sehr deutlich zu erkennen und vermutlich als relativ jung einzustufen. Im Kopfbereich kann die Abrissnische mit zugehörigen Nebenabbrissen an den Flanken meist gut erkannt werden. Bei den Rutschungen SE_5 bis SE_8 ist die Spitze sehr gut durch Rutschungswülste ersichtlich. Dabei erfolgte die Bewegung bis in eine Höhe von 345 m ü. NN. Bei SE_9 liegt im oberen Bereich eine rückwärts rotierte Festgesteinsscholle mit Nackengraben vor. SE_5, SE_6 und SE_7 haben mit Längen von 116 m, 131 m und 134 m und Breiten von 27 m, 35 m und 35 m ähnliche Ausdehnungen. SE_8 weist mit einer Länge von 175 m und einer Breite von 108 m eine etwas größere Fläche auf. SE_9 besitzt eine Länge von 120 m und eine Breite von 114 m. Alle diese kleineren Massenbewegungen haben dabei eine Höhendifferenz zwischen 5060 m. Die sekundäre Massenbewegung SE_10 schließt an die vermutete Festgesteinsscholle im südlichen Bereich an. Dabei liegt die Abrisskante in einer Höhe von 410 m ü. NN und verläuft parallel zur Hauptabbrisskante. Sie überlagert die Rutschmasse SE_3 und kann gut durch Nebenabbrisse an den Flanken abgegrenzt werden. Auf der Rutschmasse befinden sich dabei deutliche Rutschkuckel. Aufgrund der Hillshade-Karten kann man davon ausgehen, dass die Rutschung bis in eine Höhe von 320 m ü. NN erfolgte, jedoch ist hier keine eindeutige Rutschungswulst zu erkennen.

Die Massenbewegung ist dabei 323 m lang und 239 m breit. Die Höhendifferenz von Abrisskante bis zur vermuteten Spitze der Rutschmassen beträgt 90 m.

SE_11 und SE_12 sind kleinere sekundäre Rutschungen, die sich ebenfalls innerhalb der Rutschmasse SE_3 ereignet haben. Die Abrisskante der Massenbewegung SE_11 liegt dabei in einer Höhe von 405 m ü. NN und zieht einseitig an der Flanke bis auf 385 m ü. NN herab. Das Ende der Rutschmasse weist hier keine eindeutige Rutschungswulst auf, endet aber vor der Abrisskante von SE_12.

Die Massenbewegung ist dabei 134 m lang und 62 m breit. Der Höhenunterschied beträgt 30 m. Die Abrisskante von SE_12 befindet sich in

einer Höhe von 380 m ü. NN. Unterhalb der Abrisskante befindet sich eine kleine, nach hinten rotierte Festgesteinsscholle mit dahinterliegendem Nackengraben. Auch hier kann keine eindeutige Rutschungswulst erkannt werden. Die Länge beträgt 52 m, die Breite 74 m und der Höhenunterschied ist mit 15 m eher gering.

6.2.5. Süden

Am Südhang der Ehrenbürg können vier Massenbewegungen unterschieden werden. Dabei sind hier im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Rutschungen hauptsächlich Gesteine der Eisensandstein-Formation abgeglitten. Die Hauptabbrisskante der Massenbewegung S_1 liegt in einer Höhe von 415 m ü. NN und verläuft von Südwesten nach Nordosten. Hier handelt es sich um eine Hohlform, bei der die eigentliche Rutschmasse nicht mehr vorhanden ist, weshalb nur wenige Merkmale erkannt werden können. Während die Abrisskante noch deutlich ersichtlich ist, lässt sich die Reichweite nur aufgrund der Hillshade-Karten abschätzen und reicht vermutlich bis in eine Höhe von 345 m ü. NN. Die Massenbewegung weist eine geschätzte Länge von 241 m und eine Breite von 111 m auf. Die Höhendifferenz beträgt 70 m. Der Hauptabriss der Massenbewegung S_2 reicht von 400 m ü. NN im Südwesten bis zu einer Höhe von 450 m ü. NN im Nordosten und zieht anschließend nach Osten weiter. Hier handelt es sich um eine Massenbewegung, die sich in den Gesteinen der Eisensandstein-Formation ereignet hat. Die Reichweite lässt sich nur durch die Hillshade-Karten bis auf in eine Höhe von etwa 370 m ü. NN abschätzen. Die Massenbewegung ist dabei 262 m lang und 352 m breit. Die Höhe zwischen Abrisskante und vermuteter Spitze der Rutschmasse beträgt 80 m. Die Hauptabbrisskante der Massenbewegung S_3 liegt in einer Höhe von 460 m ü. NN bis 465 m ü. NN und verläuft von Südwesten nach Nordosten. Anders als bei den übrigen südlichen Rutschungen ist hier wieder Riffdolomit abgerutscht und überlagert die Massenbewegung S_2. Anhand der Gesteinszusammensetzung und mitgeführter kleinerer karbonatischer Festgesteinsschollen kann die Massenbewegung gut zur Rutschmasse S_2 abgegrenzt werden. Die Spitze kann in einer Höhe von 400 m ü. NN durch eine Rutschungswulst erkannt werden. Die Länge beträgt dabei 187 m und die Breite 68 m. Die Höhendifferenz liegt bei 70 m. Die Massenbewegung S_4 ist eine kleine sekundäre Massenbewegung innerhalb der Rutschmasse S_2 bei der die Geländeoberfläche aufgrund von deutlich ausgeprägten Rutschkuckeln sehr unruhig erscheint. Die untergeordnete Abrisskante verläuft hier bei 395 m ü. NN parallel zur Hauptabbrisskante. Die Spitze der Rutschmasse liegt ersichtlich durch eine

Wulst bei 375 m ü. NN, woraus sich eine Länge von 77 m und eine Breite von 48 m ergibt. Die Höhendifferenz ist mit 20 m eher gering.

6.2.6. Südwesten

Der Südwesten ist ähnlich zum Nordwesten weniger stark von Massenbewegungen betroffen. Auch hier sind durch Abtragungsprozesse und intensive landwirtschaftliche Nutzung die Rutschmassen schwierig einzugrenzen und nur wenige Merkmale ersichtlich. Die Hauptabbrisskante der Massenbewegung SW_1 verläuft dabei in einer Höhe von 470 m ü. NN im Bereich der Senke der Hochfläche bis in eine Höhe von 520 m ü. NN am Gipfel des Rodensteins von Nordwesten nach Südosten. Auch hier sind Riffdolomite und Kalke der Frankenalb-Formation abgeglitten.

Im Bereich des Rodensteins bildet sich dabei eine deutliche 25 m hohe Steilkante im Riffdolomit mit vielen vertikale Klüften aus (Abb. 20A). Direkt vor der Abrisskante befindet sich Hangschutt mit bis zu 20 cm großen Bruchstücken. Hang- und Felssturzmaterial ist hier allerdings wenig anzutreffen.

Die Spitze der Rutschmasse ist durch landwirtschaftliche Überprägung nicht zu erkennen, jedoch findet sich im Nordwesten bis in eine Höhe von 350 m ü. NN ein sehr unruhiger Bereich mit vielen bis hier abgeglittenen Festgesteinsschollen, weshalb von einer Reichweite bis hier auszugehen ist (Abb. 20B). Die Massenbewegung ist dabei vermutlich 812 m lang und 794 m breit. Der Höhenunterschied beträgt 165 m. Die Massenbewegung SW_2 zeigt ebenfalls wenig Merkmale. Jedoch kann sie aufgrund einer deutlichen Rutschungswulst in einer Höhe von 390 m ü. NN als eigene Rutschmasse angesehen werden. Die Abrisskante verläuft dabei rückschreitend im Riffdolomit des Rodensteins.

Im Bereich des Gleitfußes liegt eine große Scholle, die eine deutliche Erhebung im Gelände darstellt und als »Kleines Walberla« bezeichnet wird, vor. Das Volumen dieser Scholle wird hier auf 77.000 m³ geschätzt.

Abb. 20: A – Blick auf die Abrisskante der Massenbewegung SW_2 im Riffdolomit der Frankenalb-Formation mit ausgeprägten vertikalen Klüften. (Blickrichtung: SE; Position: R: 655414 H: 5509103). B – Abgeglittene Festgesteinsscholle im unteren Bereich der Massenbewegung SW_1. (Position: R: 654718 H: 5509122.; Maßstab: Meterstab 2 m).



Die Länge der Massenbewegung beträgt dabei 372 m. Die Breite wird auf 388 m geschätzt, jedoch sind hier keine eindeutigen Merkmale ersichtlich, die die Rutschungsmasse seitlich begrenzen. Der Höhenversatz beträgt 110 m.

6.3. Lithologie

Die Gesteinszusammensetzung der Rutschmassen ist bei den meisten Massenbewegungen gleich. Hier handelt es sich um weiße bis graue Riffdolomite der Frankenalb-Formation und Kalksteinbruchstücke von bis zu 40 cm Größe in einer tonig, schluffige Grundmatrix im oberen Bereich. Im unteren Teil der Rutschmassen nimmt der sandige Anteil in der Grundmatrix zu (Abb. 21A). In den Abschnitten, in denen Gesteine der Frankenalb-Formation abgeglitten sind, führen die Rutschmassen außerdem zusammenhängende Festgesteinsschollen, die Ausdehnungen von mehreren Metern besitzen und bis in die untersten Abschnitte der Massenbewegungen abgeglitten sind. In den stark von Massenbewegungen betroffenen Bereichen des Osthangs können nur vereinzelt Sandsteinbruchstücke der Eisensandstein-Formation in den Rutschmassen gefunden werden. Am Nordhang treten rötliche Sandsteinbruchstücke der Eisensandstein-Formation häufiger am Gleitfuß der Massenbewegung N_2 auf und liegen hier neben Bruchstücken aus der Frankenalb-Formation vor. Im südlichen Abschnitt des Rodensteins nimmt der karbonatische Anteil ab. Ab der Massenbewegung S_1 und südlich dominieren rötliche Sandsteinbruchstücke von bis 10 cm Größe in einer überwiegend sandigen Grundmatrix in den Rutschmassen (Abb. 21B). Während bei der Massenbewegung S_1 noch vereinzelt karbonatische Gesteinsbruchstücke zu finden sind, handelt es sich bei den Rutschungen S_2 und S_4 um Massenbewegungen, bei denen nur Gesteine der Eisensandstein-Formation abgeglitten sind. Die Massenbewegung S_3 stellt eine Ausnahme dar. Hier sind wieder deutlich sichtbare karbonatische Gesteinsbruchstücke

Abb. 21: A – Dominierende Rutschmassenzusammensetzung mit sandiger Grundmasse und Brocken von Riffdolomite am Beispiel der Rutschmasse NE_4. (Position: R: 655559 H: 5510274; Maßstab: Hammer 32 cm). B – Rutschmassenzusammensetzung aus der Eisensandstein-Formation am Beispiel der Rutschmasse S_2. (Position: R: 655886 H: 5508359; Maßstab: Hammer 32 cm).



in tonig, schluffiger Matrix anzutreffen. Aufgrund der starken Überprägung und Abtragung am Westhang ist hier die genaue Zusammensetzung der Massenbewegungen weniger deutlich ersichtlich. Jedoch ist aufgrund des Bereichs um das »Kleine Walberla« davon auszugehen, dass diese ähnlich zu den Rutschungen der Ostseite ist.

6.4. Hydrogeologie

Alle Quellen und Vernässungszonen, die im Arbeitsgebiet kartiert werden konnten, liegen am Osthang der Ehrenbürg. Im Nordosten finden sich dabei mehrere Vernässungszonen im Bereich zwischen 380 m ü. NN bis 410 m ü. NN. Bei 400 m ü. NN liegen zwei Quellaustritte, die hier zu einem größeren Vernässungsbereich führen. Ausgehend von diesen Quellen entspringt ein dauerhafter und ein intermittierender Bachlauf. Vernässungszonen und Quellen treten im Nordosten oftmals im Kopfbereich der jüngeren sekundären Massenbewegungen NE_3, NE_4 und NE_5 auf (Abb. 22A). Weitere Vernässungszonen sind außerdem vermehrt in einer Höhe von 345 m ü. NN bis 360 m ü. NN am Gleitfuß der Rutschmassen zu erkennen. Im Südosten finden sich deutlich mehr Bachläufe, die aus Quellen oder Vernässungszonen entspringen. Diese liegen hier zwischen 380 m ü. NN bis 400 m ü. NN. Auch hier treten diese oft im Kopfbereich der kleineren sekundären Rutschungen wie SE_6, SE_8 und SE_9 auf. Im Bereich der Rutschmasse SE_10 zeigen sich die meisten Vernässungen und Bachläufe (Abb. 22B). Hier reichen Quellen und Bäche von 340 m ü. NN bis 410 m ü. NN und weichen dabei den Boden sehr stark auf. Alle Bäche, die am Osthang entspringen, fließen in den Ehrenbach.

7. Geotechnische Profile

7.1. Profil 1

Profil 1 beginnt im Südwesten bei einer Höhe von 335 m ü. NN und läuft mit einer Peilung von 069° NE auf den Gipfel des Rodensteins zu (Abb. 23). Dort knickt die Profillinie leicht nach Norden ab und verläuft anschließend mit einer Peilung von 048° NE weiter. Der Endpunkt liegt im Nordosten des Rodensteins in einer Höhe von 310 m ü. NN neben dem Ehrenbach. Die Gesamtlänge des Profils beträgt etwa 1.700 m. Der höchste Punkt befindet sich am Gipfel des Rodensteins mit einer Höhe von 532 m ü. NN. Im Folgenden wird das Profil vom Startpunkt A über den Gipfelpunkt B bis zum Endpunkt C beschrieben. Der Startpunkt A befindet sich am vermuteten Ende der Rutschmasse SW_1. Da aufgrund von starker landwirtschaftlicher Überprägung kei-

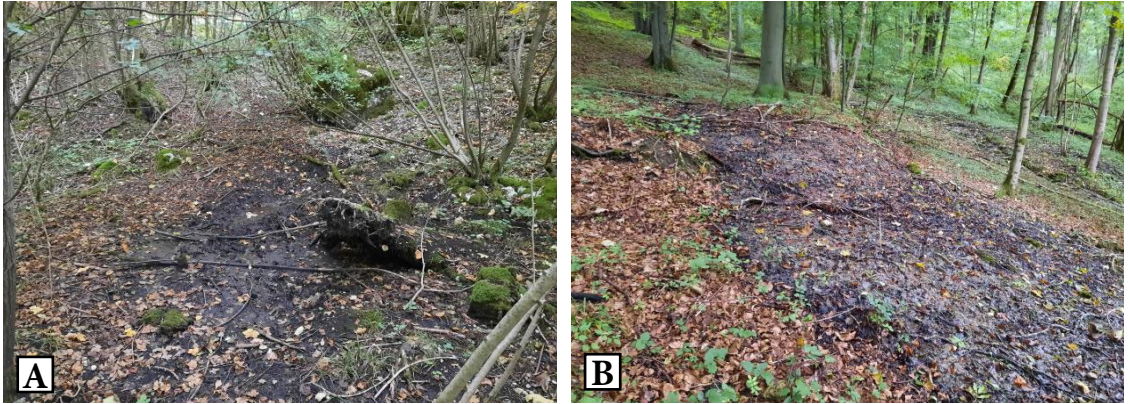


Abb. 22: A – Vernässung im Kopfbereich der Massenbewegung NE_4. (Blickrichtung: SW; Position: R: 655391 H: 5510134). B – Vernässung im Bereich der Massenbewegung SE_10. (Blickrichtung: SW; Position: R: 656048 H: 5509031).

ne eindeutigen Hinweise hierfür zu erkennen sind, kann dies nur abgeschätzt werden. Im weiteren Verlauf des Profils kann in einer Höhe von 390 m ü. NN der Rutschungswulst der Rutschmasse SW_2 erkannt werden. Ab hier sind erstmals deutlich Riffdolomit- und Kalksteinbruchstücke in der Rutschmasse zu beobachten. Anschließend kann aufgrund einer hier deutlich erkennbaren abgeglittenen Festgesteinsscholle ein Anstieg in der Geländemorphologie beobachtet werden. Hierbei handelt es sich um das sogenannte »Kleine Walberla«, dessen Top sich bei 412 m ü. NN befindet. Dahinter folgt eine Verflachung mit anschließendem steilerem Anstieg bis zur Hauptabrisskante. Diese liegt in einer Höhe von etwa 510 m ü. NN im massigen Riffdolomit der Frankenalb-Formation. Die senkrechte Felswand hat dabei eine Höhe von knapp über 25 m. Vor dem Abriss nimmt die Menge an Hangschutt dabei deutlich zu. Nach der Abrisskante folgt ein weiterer Anstieg bis zum Gipfelkreuz des Rodensteins. Nach dem kurzen steileren Abschnitt am Gipfel folgt die Hochfläche der Ehrenbürg. Dabei ist mittig auf der Hochfläche ein steileres Abfallen mit einer Geländeschwelle zu beobachten. Auf dieser lassen sich noch die undeutlichen Reste der Wallanlage der einstigen Akropolis erkennen. Anschließend verläuft das Profil bis zur Hauptabrisskante der Ostseite weitestgehend eben. Diese zur Massenbewegung SE_2 gehörende Abrisskante befindet sich in einer Höhe von 490 m ü. NN ebenfalls im massigen Riffdolomit und die Felswand weist auch hier eine Höhe von etwa 25 m auf. Unterhalb des Abrisses befindet sich deutlich mehr Hangschutt als an der Westseite. Außerdem ist hier eine deutliche Verflachung mit Nackengraben zu beobachten. Dieser Abschnitt ist von viel Hang- und Felssturzmaterial mit Volumen bis 25 m³ und abgeglittenen Festgesteinsschollen geprägt. In einer Höhe von 420 m ü. NN folgt eine untergeordnete Abrisskante. Eine weitere untergeordnete Abrisskante, die zur sekundären Massenbewegung SE_8 gehört, liegt bei 405 m ü. NN. Im Kopfbereich der Rutschung befindet sich dabei eine größere Vernäsungszone. Aufgrund einer Rutschungswulst bei 350 m ü. NN kann die

Rutschung SE_8 als sekundäre Bewegung innerhalb der Hauptmassenbewegung angesehen werden. Kurz vor dem Endpunkt des Profils kann eine weitere Rutschungswulst bei 315 m ü. NN angetroffen werden, die das Ende der Hauptrutschung SE_2 darstellt.

7.2. Profil 2

Profil 2 beginnt bei knapp 350 m ü. NN am Westhang der Ehrenbürg bei Punkt D und verläuft mit einer Peilung von 042° NE auf die Walburgiskapelle zu (Abb. 23). Hier knickt das Profil an Punkt E leicht ab und verläuft anschließend mit einer Peilung von 052° NE weiter bis zum Endpunkt F. Der Endpunkt liegt dabei in einer Höhe von etwa 300 m ü. NN neben dem Ehrenbach. Die Gesamtlänge des Profils beträgt hier etwa 1.700 m. Der Höchste Punkt liegt bei 515 m ü. NN und wird an der Hauptabbrisskante der Ostseite erreicht.

Der Anstieg nach Punkt D am Westhang verläuft anfangs ohne Auffälligkeiten. Bei einer Höhe von 400 m ü. NN wird der Beginn der Rutschmasse NW_1 vermutet. Nachfolgend befindet sich ab einer Höhe von 425 m ü. NN ein kurzer deutlicher Anstieg mit dahinterliegendem leichten Nackengraben. Hier wird eine abgeglittene Festgesteinsscholle vermutet, die jedoch nicht aufgeschlossen ist. Nach diesem flacheren Abschnitt folgt der steile Anstieg zur Hauptabbrisskante der Westseite. Der Abriss bildet dabei eine etwa 15 m hohe Felswand im massigen Riffdolomit der Frankenalb-Formation und reicht bis zu einer Höhe von 510 m ü. NN. Vor der Abrisskante befindet sich viel stark überwachsener Hangschutt. Außerdem sind in diesem Bereich sehr viele kleinere, von der Abrisskante abgeglittene Festgesteinsschollen anzutreffen. Nach der Abrisskante verläuft die Profillinie auf der Hochfläche bis zur Walburgiskapelle ohne Auffälligkeiten. Auf die Kapelle folgt eine Geländeschwelle, bei der noch die Reste der ehemaligen Wallanlage, die einst den Bereich der Vorburg vom südlichen Siedlungsbereich trennte, erkannt werden können. Weiter dem Profil folgend erreicht man die Hauptabbrisskante der Massenbewegung NE_1 an der Ostseite in einer Höhe von 515 m ü. NN. Hier liegt eine etwa 25 m hohe Felswand (Römer Wand) im massigen Riffdolomit der Frankenalb-Formation vor. Unterhalb der Abrisskante befindet sich eine abgeglittene Festgesteinsscholle, an die eine untergeordnete Abrisskante anschließt und deren Nackengraben stark mit Hang- und Felssturzmaterial verfüllt ist. Allgemein ist dieser Abschnitt aufgrund von Hangschutt, Hang- und Felssturzmaterial und vielen abgeglittenen Festgesteinsschollen bis in eine Höhe von 435 m ü. NN sehr unruhig. Bei 435 m ü. NN liegt eine deutlich ausgeprägte untergeordnete Abrisskante vor. Unterhalb ist wiederum eine abgeglittene Festgesteinsscholle mit Nackengraben, der auch hier mit Hang- und Fels-

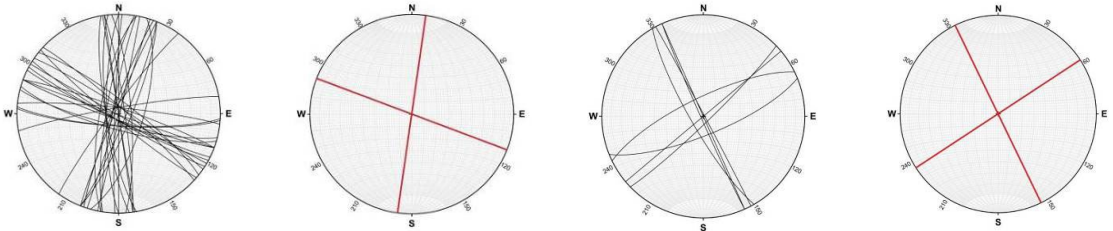


Abb. 24: A – Haupteinfallrichtung und Haupteinfallswinkel der an der Ehrenbürg gemessenen Klüfte. B – Mittlere Streichrichtungen der gemessenen Klüfte an der Ehrenbürg. C – Selten auftretende Klüfte an der Ehrenbürg mit Einfallrichtung und Einfallswinkel. D – Mittlere Streichrichtung der selten auftretenden Klüfte an der Ehrenbürg.

sturzmaterial verfüllt ist, anzutreffen. Weiter dem Profil folgend kommt es ab einer Höhe von 405 m ü. NN zu einer deutlichen Verflachung. Hier wird eine große abgeglittene Festgesteinsscholle vermutet, an die in einer Höhe von 395 m ü. NN die untergeordnete Abrisskante der sekundären Rutschung NE_2 anschließt. Bei 350 m ü. NN befindet sich eine große Vernässungszone. Der Rutschungswulst zu NE_2 befindet sich bei etwa 335 m ü. NN. Eine weitere Rutschungswulst befindet sich in einer Höhe von etwa 305 m ü. NN und stellt das Ende der Hauptrutschung NE_1 dar.

8. Kluftrichtung

An der Ehrenbürg wurden 47 Klufflächen im gut aufgeschlossenen Riffdolomit eingemessen sechs Klüfte im Sandstein der Eisensandstein-Formation. Die Daten der im Gelände gemessenen Klufflächen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. In den folgenden Abb. 24A und 24B sind die gemessenen Klufflächen samt gemittelten Streichrichtungen in Schmidt'schen Netzen dargestellt. Die Orientierungen der Trennflächen in der Eisensandstein-Formation zeigen dabei keinen unterschiedlichen Trend zu denen der Frankenalb-Formation und werden deshalb hier nicht gesondert behandelt.

Bei den meisten Klüften sind zwei Orientierungen der Streichrichtungen zu unterscheiden. Eine Flächenschar streicht \sim WNW ESE mit einem mittleren Wert von 111° , die andere mit durchschnittlich $008^\circ \sim$ NNE SSW (Abb. 24A). Im Durchschnitt beträgt der Einfallswinkel der Flächen 84° . Neben diesen Klufflächenscharen konnten zwei weitere, abweichend orientierte Klufflächenscharen gemessen werden, die jedoch in geringerer Anzahl auftreten. Sie streichen mit einem Durchschnitt von $157^\circ \sim$ NW SE und senkrecht dazu \sim NE SW mit einem mittleren Wert von 057° (Abb. 24B). Auch hier liegt der durchschnittliche Einfallswinkel der Flächen bei 84° . Bei diesen in geringerer Zahl auftretenden Orientierungen zeigt sich kein eindeutig zu erkennender Trend, da sie sowohl am

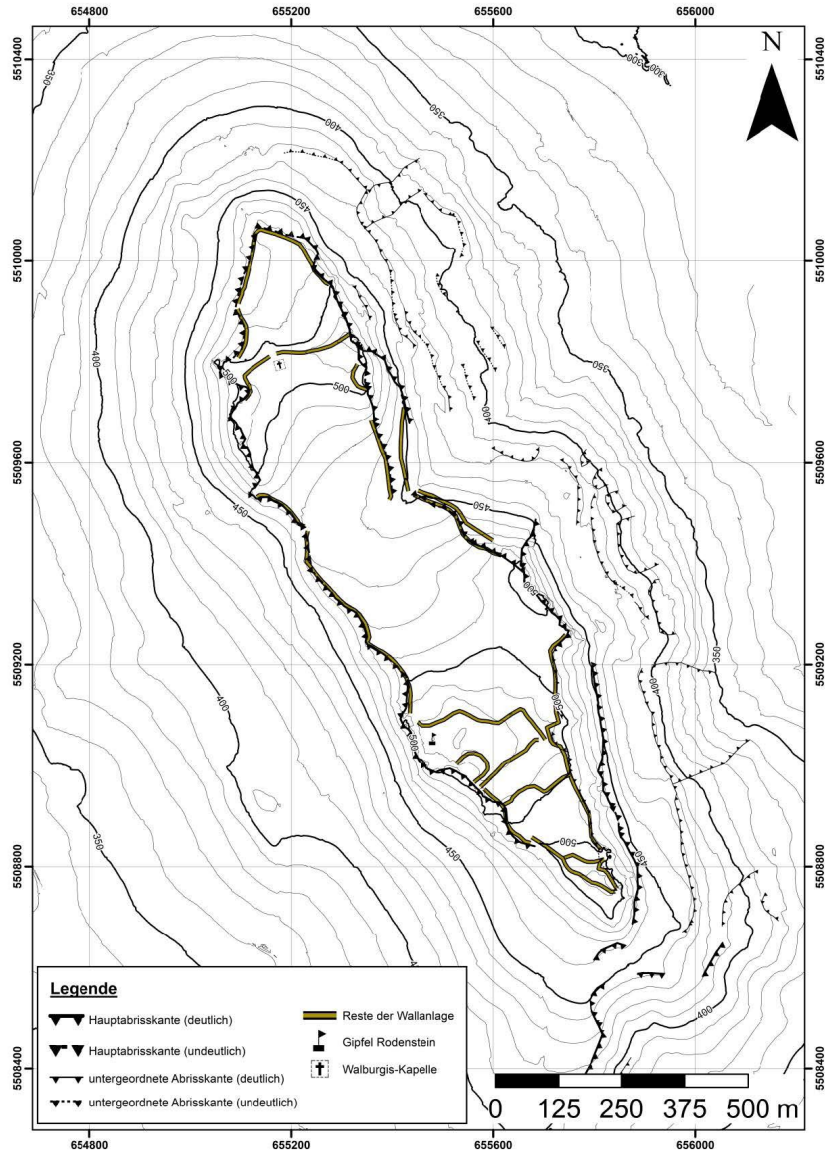


Abb. 25: Darstellung des Verlaufs der kartierten Abrisskanten und des Verlaufs der Reste der ehemaligen Wallanlage an der Ehrenbürg.

Nordwesthang, in der südlichen Eisensandstein-Formation, als auch am Osthang auftreten.

9. Verlauf der Abrisskanten und Wallanlagen

Noch heute lassen sich die Reste der einstigen Befestigungsanlagen aufgrund von Geländeschwellen, die aus aufgeschütteten Kalksteinen und Dolomiten bestehen, oftmals deutlich erkennen (Abb. 26). Ver-



Abb. 26: Einstiger Verlauf der hier nicht mehr vorhandenen Wallanlage auf einer natürlichen Geländeschwelle am Übergang zur Hochfläche. (Blickrichtung: NW; Position: R: 655329 H: 5509288).

gleicht man den Verlauf der kartierten Abrisskanten der Massenbewegungen an der Ehrenbürg mit dem Verlauf der Reste der ehemaligen Befestigungsanlage zeigt sich, dass dieser weitestgehend ähnlich ist und die Wallanlagen hier meist direkt auf die Abrisskanten am Übergang zur Hochfläche der Ehrenbürg aufgesetzt wurden (Abb. 25). Allgemein kann dabei der Einfluss der natürlichen Gegebenheiten auf die Befestigungsanlagen deutlich erkannt werden. So befinden sich an allen Flanken der Ehrenbürg erkennbare Reste der Wallanlagen, außer in den Bereichen an denen durch Massenbewegungen senkrechte Steilkanten vorliegen. An der nördlichen Vorbürg ist der Verlauf der Abrisskanten und der Wallanlagen dabei weitestgehend identisch. Nach Süden am Übergang zum Sattlbereich liegen sowohl an der Westseite als auch der Ostseite keine Wallreste vor, da hier die Abrisse der Massenbewegungen NW_1 im Westen und NE_1 im Osten hohe Steilkanten ausbilden. Der anschließende mittlere Sattlbereich weist die geringste Böschung der Hochfläche auf. Da sich hier die einstigen Zugänge befunden haben, wurde die Befestigungsanlagen hier deutlich stärker ausgebaut, wie sich am Verlauf einer doppelten Mauer an der Ostseite erkennen lässt. Außer im südöstlichen Bereich des Sattels, wo durch die senkrechte Steilwand der Abrisskante der Massenbewegung SE_2 wieder ein natürlicher Schutz vorliegt, verlaufen die Abrisskanten und Wallanlagen im Sattlbereich weitestgehend gleich. Die Westflanke des Rodensteins, an dem sich die einstige Akropolis befand, ist durch die Abrisskante der Rutschmasse SW_2 geschützt, weshalb hier ebenfalls keine Wallreste anzutreffen sind. An der Ostflanke des Rodensteins verläuft der Übergang zur Hochfläche mit Wallanlage



Abb. 27: A – Kalke und Dolomite, die zum Bau der ehemaligen Wallanlage an der Westflanke der Vorburg verwendet wurden. (Blickrichtung: N; Position: R: 655117 H: 5510018; Maßstab: Hammer 32 cm). B – Heute ersichtliche mit Moos überwachsene Kalke und Dolomite, die im Torbereich der Ostflanke zum Bau der ehemaligen Wallanlage verwendet wurden. (Blickrichtung: N; Position: R: 655428 H: 5509568; Maßstab: Hammer 32 cm).

deutlich oberhalb der Hauptabbrisskante, wobei dazwischen ein stark geböschter Hangbereich vorliegt, der nicht als Siedlungsbereich geeignet war.

10. Diskussion

10.1. Geologische Karte

Da sich der Schichtaufbau der geologischen Formationen nur aufgrund des nicht von Massenbewegungen überlagerten Abschnitts im Südwesten abschätzen lässt, besteht beim Verlauf der Schichtgrenzen an den Hängen der Ehrenbürg große Ungenauigkeit. Auch können in diesem Bereich nur die Schichtgrenzen ab der Eisensandstein-Formation bestimmt werden. Aus diesen Gründen beruhen die Mächtigkeiten der Einheiten größtenteils auf Literaturdaten. Das vermutete Einfallen der Schichten um 1-2° nach Osten entspricht weitestgehend dem der Schichtstufenlandschaft, weshalb die Ehrenbürg hier als vorgelagerter Zeugenberg der östlich liegenden rückschreitenden Stufenfront der Albhochfläche erkannt werden kann. Hinweise für das Einfallen der geologischen Formationen sind der Höhenunterschied der Weißjura-Untergrenze an der West- und Ostseite. Außerdem die Bierkeller, die vermutlich in der gleichen standfesten unteren Sandsteinbank der Eisensandstein-Formation gebaut wurden. Der südlichste Weißjura-Untergrenze liegt dort in einer Höhe von 400 m ü. NN, während ein weiterer 100 m nordöstlich sich bereits in einer Höhe von 395 m ü. NN befindet. Ein weiterer Hinweis dafür, dass die Schichten am Osthang etwas tiefer liegen, sind die häufig auftretenden Vernässungen, die ab 380 m ü. NN anzutreffen sind und vermutlich auf die Grenze der besser wasserführenden Gesteine der Eisensandstein-Formation und der unterlagernden wasserstauenden Gesteine der Opalinuston-Formation hindeuten. Da für die Posidonienschiefer-Formation keine Aufschlüsse gefunden

wurden, beruht die vermutete Mächtigkeit auf den Angaben der dGK25 des Gebiets. Die Mächtigkeit von 45 m für die Opalinuston-Formation richtet sich nach Literaturdaten von KRUMBECK (1953), der diese für den direkt südlich an die Ehrenbürg anschließenden Eichelberg angibt. Der Aufbau der Eisensandstein-Formation wird in einem Profil von KRUMBECK (1953) auf der Südwestseite sehr genau beschrieben. Sie reicht von der etwa 6 m mächtigen Sandsteinbank bei 400 m ü. NN bis zu einer Höhe von 452 m ü. NN, was in dieser Arbeit bestätigt werden kann. Innerhalb der Eisensandstein-Formation erkennt KRUMBECK (1953) vier Roteisenoolith-Flöze und sieben Kalksandstein-Bänke, von denen die oberste als Austernbank bezeichnet wird und die Obergrenze der Formation bildet. Die Mächtigkeit der darüberliegenden Sengenthal-Formation kann nur aufgrund der Differenz von Eisensandstein-Obergrenze und Weißjura-Untergrenze bestimmt werden. Die Grenze zwischen den Kalken und dem Riffdolomit der Frankenalb-Formation wurde größtenteils der GK25 entnommen. Auch hier reicht die Weißjura-Basis an der Südostseite bis auf 445 m ü. NN herab. An der Nordostseite liegt sie in der dGK25 jedoch bei 460 m ü. NN. Da im Nordosten der Ehrenbürg noch anstehende Kalke in einer Höhe von 445 m ü. NN erkannt werden können, wird für diese Arbeit die Basis der Weißjura-Gruppe auch am Nordosthang bei 445 m ü. NN vermutet. KRUMBECK (1953) geht davon aus, dass es sich bei den Gesteinen der Weißjura-Gruppe um die teilweise dolomitisierten Abschnitte der unteren Frankenalb-Formation handelt, was dem als Malm α bis δ bezeichneten Einheiten entspricht.

10.2. Karte der Massenbewegungen

Die Unterteilung der kartierten Massenbewegungen beruht auf einer Abschätzung des relativen Alters. Ein Kriterium hierfür sind sichtbare Merkmale im Gelände, wie Rutschbuckel, die auf der Rutschmasse zu erkennen sind und mit der Zeit durch Abtragungsprozesse eingeebnet werden. Ein weiteres Kriterium ist die relative Überlagerung der einzelnen Massenbewegungen. Bei den Rutschmassen der Phase 1 handelt es sich meist um große Hauptrutschungen, die von einer Hauptabrisskante in der Frankenalb-Formation am Übergang zu Hochfläche ausgehen. Eine Ausnahme stellen dabei die unabhängigen südlichen Massenbewegungen S_1 und S_2 dar, bei denen Gesteine der Eisensandstein-Formation abgeglitten sind. Da sich die Abmessungen der Massenbewegungen der Phase 1 wegen den oft nicht mehr vorhandenen Merkmalen nur schwierig abschätzen lassen, ist die Ungenauigkeit der berechneten Flächen und Volumen vermutlich hier am größten. Dies trifft vor allem auf die Rutschungen NW_1, NW_2 und N_1 am West- und Nordhang zu, bei denen aufgrund von

intensiver landwirtschaftlicher Überprägung die Bestimmung der Reichweite nicht eindeutig möglich ist. Ob die Reichweite hier ähnlich hoch war wie bei der Massenbewegung SW_1, die in größerer Entfernung noch viele abgeglittenen Festgesteinsschollen im Norden der Rutschmasse aufweist, kann nicht mehr gesagt werden. An der Ostseite der Ehrenbürg ist die Reichweite aufgrund erkennbarer Rutschungswülste bei den Massenbewegungen NE_1, SE_2 und SE_3 besser einzugrenzen. Auch die seitlichen Begrenzungen der Phase 1 Rutschungen lassen sich nur schwer bestimmen, da hier abgesehen von den einzeln auftretenden Rutschungen S_1 und S_2 nur wenig Merkmale ersichtlich sind, die die Rutschmassen voneinander abgrenzen. Eine markante Erosionsrinne, die am tiefsten Sattelpunkt der Hochfläche beginnt, trennt am Osthang den Nord- und Südbereich, wobei diese Trennung für die Einteilung des Westhangs übernommen wurde. Die weitere Untergliederung der Rutschmassen NW_1, NW_2 und N_1 erfolgte anschließend hauptsächlich aufgrund der teilweise bogenförmigen Verläufe und der unterschiedlichen Ausprägungen der Abrisskanten. Am Osthang können die Massenbewegungen NE_1 und SE_2 aufgrund der Hillshade-Karten, den deutlichen Abrisskanten und den unruhigen Bereichen in der Geländemorphologie abgegrenzt und somit als eigenständige Massenbewegungen identifiziert werden. Dabei handelt es sich bei diesen beiden Hangbewegungen wahrscheinlich um die jüngsten innerhalb der Phase 1, weshalb davon auszugehen ist, dass es am Osthang zu immer neuen Massenbewegungen kommt, bei denen die Abrisskante rückschreitend verlegt wird und wodurch die Ostflanke der Hochfläche immer weiter abgetragen wird. Hangbewegungen der Phase 2 ereigneten sich innerhalb der Phase 1 Hauptrutschungen als sekundäre Massenbewegung oder überlagern diese. Die Rutschungen zeigen ähnlich ausgeprägte Geländemerkmale, weshalb sie hier zusammengefasst werden. Auch hier ist die Bestimmung der Flächen und Volumen oftmals relativ ungenau. So können bei den Rutschmassen N_2, NE_2 und SW_2 die Reichweite zwar gut bestimmt werden, die Breiten jedoch nicht. Die Rutschungen SE_4 und S_3 können dagegen besser zum umgebenden Gelände abgegrenzt werden. Die Flächen- und Volumenbestimmung der Rutschmassen der Phase 2.5 und 3 erweist sich am genauesten, da hier die Massenbewegungen aufgrund von Rutschungswülsten und einer deutlich unruhigen Geländemorphologie mit vielen Rutschbuckeln sowohl in den Hillshade-Karten, als auch im Gelände am besten einzugrenzen sind. Bei den Rutschungen dieser beiden Phasen handelt es sich um meist relativ kleine sekundäre Massenbewegungen innerhalb der Hauptrutschmasse, die wegen der geringen Abtragung und Einebnung als jung eingestuft werden. Generell fällt auf, dass der Osthang der Ehrenbürg deutlich rutschempfindlicher als der Westhang ist und daher aufgrund von großen abgeglit-

tenen Festgesteinsschollen, viel Hang- und Felssturzmaterial, Nackenraben und Rutschbuckeln eine wesentlich unruhigere Geländemorphologie aufweist. Dies bestätigt die Arbeit von WIEDENMANN (2019), der feststellt, dass viele Rutschungen in der Fränkischen Alb an Osthängen mit west- bis südexponierter Lage auftreten.

Abschnitte im Arbeitsgebiet am Nordosthang im Bereich der Massenbewegung NE_1 und Südosthang bei SE_2 liegen. Dies liegt daran, dass hier die Hauptabrisse im Riffdolomit liegen, was der Aussage von HOFBAUER et al. (2007) entspricht, dass die dolomitischen Bereiche der Frankenalb-Formation durch die vermehrt auftretenden vertikalen Klüfte einer stärkeren seitlichen Reduktion unterliegen, während die Kalke der Frankenalb-Formation größtenteils aufgelockert und chemische gelöst werden. Daher bilden die Kalke vermehrt die flacheren Senken zwischen den hoch aufragenden senkrechten Steilwänden der Riffkomplexe. Dies ist auch am Westhang ersichtlich, da hier die steilen markanten Abrisse der Massenbewegungen SW_1 und SW_2 ebenfalls im Riffdolomit liegen. In den überwiegend kalkigen Abschnitten der Frankenalb-Formation sind die Abrisse zwar weniger deutlich ausgeprägt, jedoch ist zu beachten, dass sich wie bei den Abrissen der Rutschung SE_3 und dem südlichen Teil des Abrisses der Rutschung NE_1 auch hier deutliche Steilwände in den Kalken ausbilden können. Aus dem leicht bogenförmigen und rückschreitenden Verlauf der Abrisskante der Rutschung SE_2 im Riffdolomit, der Abrisskante der Massenbewegung SW_2, die sich rückschreitend zur Massenbewegung SW_1 ereignete und bei der mit dem »Kleinen Walberla« eine sehr große Festgesteinsscholle abgeglitten ist und der Abrisskante von NE_1 zeigt sich, dass es zu immer neuen Massenbewegungen an den Flanken der Hochfläche, vor allem in den Bereichen der Riffkomplexe kommt. Daher ist davon auszugehen, dass im Laufe der Zeit immer neue Hangbewegungen stattgefunden haben und somit auch die Rutschmassen der Phase 1 von nochmals älteren Rutschmassen unterlagert werden. Durch die im Detail auskartierten Massenbewegungen kann somit die Entstehung der Ehrenbürg und die heutige Form durch eine seitliche Abtragung der Hochfläche, wie sie in Kapitel 4.3. beschrieben wird, bestätigt werden.

10.3. Geotechnische Profile

Für die beiden an der Ehrenbürg erstellten geotechnischen Profile gilt, dass die Mächtigkeit und der vermutete Scherbahnverlauf der Hangbewegungen nur abgeschätzt werden konnte, da für eine Bestimmung der tatsächlichen Scherbahntiefe Bohrungen durchgeführt werden müssten. Weil die Hauptrutschmassen der Phase 1 große Ausdehnungen besitzen und Gesteine der Frankenalb-Formation bis zum Gleitfuß dominieren,

sind diese vermutlich sehr tiefgründig und weisen eine hohe Mächtigkeit von maximal 30 m auf. Bei den kleineren sekundären Massenbewegungen der Phase 3 handelt es sich um flachgründige Bewegungen, bei denen eine maximale Mächtigkeit von 5 m vermutet wird. Für die mittelgroßen Massenbewegungen wird eine maximale Mächtigkeit zwischen 10 m bis 20 m angenommen. Die vermuteten Mächtigkeiten der in den Profilen aufgenommenen Massenbewegungen werden dabei auf die Rutschungen mit ähnlichen Ausdehnungen im Arbeitsgebiet übertragen.

Das geotechnische Profil 1 im Süden der Ehrenbürg zeigt die Rutschmassen SW_1 und SW_2 an der Westflanke der Ehrenbürg. Der Abriss der Massenbewegung SW_2 ereignete sich rückschreitend zur Abrisskante der Rutschung SW_1 im Rifffolomit. Im oberen Teil verlaufen die Rutschmasse auf einer gemeinsamen Scherbahn, jedoch lässt eine deutlich zu erkennende Rutschungswulst bei 390 m ü. NN und die Erhebung des »Kleinen Walberla« darauf schließen, dass es sich bei SW_2 um ein eigenes Ereignis handeln muss, bei der einst eine große Festgesteinsscholle, die heute das »Kleine Walberla« darstellt, abgeglitten ist. Auf der Ostseite verläuft das Profil 1 durch die Rutschmassen SE_2 und SE_8. Hier zeigt sich der Abriss der Massenbewegung SE_2 ebenfalls im Rifffolomit. Innerhalb der Rutschmasse SE_2 lassen sich mehrere untergeordnete Abrisskanten erkennen. Die Scherbahn des obersten internen Abrisses bei 420 m ü. NN geht dabei auf eine gemeinsame Scherbahn des Hauptabrisses über. Die zweite untergeordnete Abrisskante bei 405 m ü. NN gehört zur Rutschmasse SE_8. Aufgrund der Rutschungswulst bei 350 m ü. NN handelt es sich hier um eine eigene Massenbewegung mit einer geringen Mächtigkeit, deren Scherbahn parallel zur Hauptscherbahn verläuft. Das Profil 2 im Norden der Ehrenbürg zeigt die Rutschmasse NW_1 an der Westseite mit der zugehörigen Scherbahn. An der Ostseite der Ehrenbürg sind im Profil 2 die zwei Massenbewegungen NE_1 und NE_2 zu erkennen. Hierbei findet die Unterteilung aufgrund der zwei ersichtlichen Rutschungswülste statt. Die unterste liegt dabei bei 305 m ü. NN und gehört zur Massenbewegung NE_1. Innerhalb dieser Massenbewegung finden sich zwei untergeordnete Abrisskanten, deren Scherbahnen auf eine gemeinsame Hauptscherbahn übergehen. Ein dritte untergeordnet Abrisskante stellt die eigenständige sekundäre Massenbewegung NE_2 dar, deren Rutschungswulst bei 335 m ü. NN liegt.

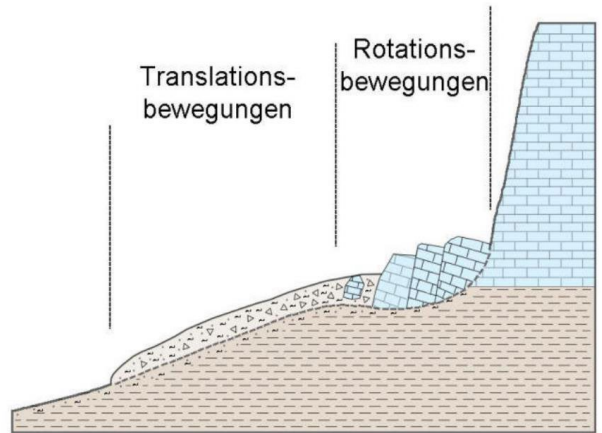
10.4. Kluftrichtungsmessung

Die Haupttreichrichtungen ~NNE-SSW und ~WNW-ESE der an der Ehrenbürg gemessenen Klufflächen sind teilweise mit denen der tektonischen Verwerfungen in der Umgebung vergleichbar. So werden diese in der Erläuterung zum Kartenblatt Nummer 6232 Forchheim von

KRUMBECK (1956) als tektonische Achsenkreuze beschrieben und treten in Form der N-S streichenden Regnitztal-Verwerfung und der WNW-ESE streichenden Pautzfelder und Unterweilersbacher Sprünge auf.

Auch die Orientierungen der zusätzlich gemessenen und seltener auftretenden Klufflächen lassen sich bei der Betrachtung von tektonischen Verwerfungen wiederfinden. So wird aus der Geologischen Karte des Gebiets ersichtlich, dass die Abtrennung der Ehrenbürg von der Albhochfläche vermutlich entlang einer nicht gesicherten Störung im Ehrenbachtal erfolgte. Dieses Tal verläuft ungefähr parallel zu den vereinzelt auftretenden ~NW-SE streichenden Klüften an der Ehrenbürg. Östlich

Abb. 28: Schematische Darstellung des angenommenen komplexen Hauptbewegungstyps bestehend aus einer Rotationsbewegung und Translationsbewegung (Quelle: WIEDENMANN 2019).



dieser nicht gesicherten Störung treten mehrere kleine Verwerfungen auf. Gleich den ebenfalls in geringer Anzahl auftretenden Klüften an der Ehrenbürg streichen sie ~NE-SW.

10.5. Bewegungsmechanismen und Klassifikation

Außer dem Driften kann jeder der von VARNES (1978) definierten Bewegungsmechanismen an der Ehrenbürg erkannt werden. Den meisten kartierten Massenbewegungen liegt dabei ein komplexer Bewegungstyp zugrunde, der aus einer Kombination aus Rotationsrutschung und Translationsrutschung besteht. Die Rutschmassenzusammensetzung zeigt dabei, dass sowohl Festgestein, gröbere Trümmer, als auch feineres Material bewegt wird. Im Kopfbereich unterhalb der Abrisskante kann meist eine starke Verflachung aufgrund von rückwärts rotierten Festgesteinschollen mit dahinterliegenden Nackengräben erkannt werden. Dies weist darauf hin, dass die Bewegung anfangs größtenteils vertikal nach unten gerichtet entlang einer gekrümmten Scherbahn rotational verläuft. Anschließend geht sie in eine translationsförmige Bewegung über,

bei der sich die Rutschmasse entlang einer größtenteils planaren Scherbahn hangabwärts bewegt (Abb. 28). Dies kann bei allen größeren Hauptmassenbewegungen in der Frankenalb-Formation erkannt werden. Auch bei der Rutschung S_2 in der Eisensandstein-Formation am Südhang der Ehrenbürg handelt es sich um diesen kombinierten Bewegungstyp. Zur Massenbewegung S_1 kann aufgrund der hier nicht mehr vorhandenen Rutschmasse keine exakte Aussage getroffen werden.

Auch bei den kleineren Hangbewegungen können oftmals deutlich rotierte Festgesteinsschollen erkannt werden, die hier im oberen Abschnitt der Rutschmassen vorliegen. Hier sind die Massenbewegungen NE_2, SE_4, SE_9, SE_12 und S_3 zu nennen. Bei NE_2, SE_4 und S_3 handelt es sich dabei ebenfalls um eine Kombination aus Rotations- und Translationsbewegung, jedoch überwiegt hier aufgrund der geringeren Reichweite, verglichen zu den Hauptrutschungen, der rotationale Anteil. Da die Reichweite der Rutschungen SE_9 und SE_12 nochmals geringer ist, werden diese als reine Rotationsbewegungen eingestuft, bei denen keine oder nur eine sehr geringe Translationsbewegung zu erkennen ist. Die restlichen sekundären Massenbewegungen zeigen nur wenig bis keine Anzeichen für eine Rotationsbewegung im Kopfbereich. Hier sind die Rutschmassen NE_4 und NE_3 zu nennen, bei denen sich vereinzelt kleine rotierte Festgesteinsschollen im Kopfbereich vorfinden lassen. Da diese Abschnitte im Vergleich zur Gesamtlänge der Bewegungen sehr klein sind, handelt es sich hier zwar ebenfalls um eine Kombination aus Rotations- und Translationsbewegung, jedoch überwiegt dabei der translative Anteil deutlich. Der Großteil der Phase 3 Rutschungen N_3, NE_5, SE_5, SE_6, SE_7, SE_8, SE_10, SE_11 und S_4 sowie die Phase 2 Rutschung N_2 zeigen keine erkennbaren Anzeichen für eine Rotation im Kopfbereich, weshalb hier der rotationale Anteil entweder sehr gering oder nicht vorhanden ist. Die Massenbewegungen werden daher als Translationsrutschungen klassifiziert. Bei den Massenbewegungen NE_3, NE_4 und NE_5, die ein hohes Verhältnis von Länge zu Breite aufweisen und sich dadurch kanalartig hangabwärts bewegen, geht die Bewegung im untersten Abschnitt des Gleitfußes vermutlich in ein Fließen über. Da sich hier bei allen Rutschungen deutliche Vernässungszonen im Kopfbereich finden lassen, ist davon auszugehen, dass die Rutschmassen bei der Bewegung einen hohen Wassergehalt aufgewiesen haben und sich somit relativ rasch bewegten. Ähnliches gilt für die Rutschung SE_10, bei der wegen der hier ebenfalls starken Vernässung ein teilweise fließender Bewegungstyp anzunehmen ist. Beim bewegten Material kann überwiegend feineres Material sowie gröbere Trümmer erkennen werden, jedoch finden sich vereinzelt auch Festgesteinsschollen wieder. Das Hang- und Felssturzmaterial, das in großen Mengen unter-

halb der Hauptabrissskanten am Osthang anzutreffen ist, unterliegt dem Bewegungstyp des Fallens und reicht meist nicht weiter als zur ersten Verflachung unterhalb der Abrisskante. Beim bewegtem Material handelt es sich hier hauptsächlich um Festgestein. Beim letzten Bewegungstyp, der an der Ehrenbürg erkannt werden kann, handelt es sich um Kippprozesse der durch vertikale Klüfte im Riffdolomit von der Hochfläche abgelösten Felstürme. Durch weiteren Abtragung können diese Felsstürme abkippen und anschließend hangabwärts rutschen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelt es sich bei vielen abgeglittenen Festgesteinsschollen, die im unteren Bereich der Rutschmassen anzutreffen sind, um ehemalige Felsstürme. Auch hier handelt es sich bei dem bewegtem Material größtenteils um Festgestein.

10.6. Bewegungsursachen

Aufgrund der Vielzahl an Massenbewegungen kann erkannt werden, dass es sich bei den Hängen der Ehrenbürg um stark rutschempfindliche Bereiche handelt. Hierfür spielen verschiedene Ursachen eine wichtige Rolle, bei denen im Folgenden zwischen vorbereitenden und auslösenden Faktoren unterscheiden wird. Als ein wichtiger vorbereitender Faktor ist dabei die geologische Ausgangssituation zu nennen. WIEDENMANN (2019) stellt fest, dass etwa 70% aller Hangbewegungen in der Fränkischen Alb auf das PRINZIP »Hart auf Weich« zurückgehen und dass diese in ihrer Ausdehnung die größten Massenbewegungen darstellen. Außerdem stellt er fest, dass etwa 45% der Hangbereiche an der Grenze zwischen der Sengenthal-Formation und Feuerstein-Formation, was dem Übergang von Braunjura-Gruppe zu Weißjura-Gruppe entspricht, von Bewegungen betroffen sind. Somit können Massenbewegungen als ein Hauptgrund für die Abtragung an den Flanken der Weißjura-Hochfläche angesehen werden. Dies bestätigt sich an der Ehrenbürg, bei der die rutschempfindlichen Systeme Sengenthal und Opalinuston erkannt werden können. Neben diesen beiden Systemen wird außerdem das System sekundär eingeführt, bei dem es sich um Rutschungen innerhalb der Rutschmasse einer größeren Hauptmassenbewegung handelt. Beim System Sengenthal bilden besonders die weichen Tonsteine der hier 15 m mächtigen Sengenthal-Formation einen wichtigen Gleithorizont. Als überlagernde Einheit der Weißjura-Gruppe ist hier nicht die Feuerstein-Formation, sondern die Frankenalb-Formation anzutreffen, die hier den harten Gesteinshorizont bildet. An der großen Ausdehnung und Mächtigkeit der Rutschmassen zeigt sich, dass dieses System hier besonders rutschempfindlich ist. Wie sich im südlichen Bereich der Ehrenbürg feststellen lässt, bilden auch die weichen Tonsteine der 45 m mächtigen Opalinuston-Formation eine Schwächezone, an

Abb. 29: Beginnende Ablösung einer Festgesteinscholle an einer 1,20 m breiten Zerrspalte hinter der Hauptabbrisskante der Massenbewegung SE_2. (Blickrichtung: NW; Position: R: 655692 H: 5509318).



Abb. 30: Beginnende Ablösung einer Festgesteinsscholle hinter der Hauptabbrisskante der Massenbewegung SW_2. (Blickrichtung: S; Position: R: 655582 H: 5508942).



denen die harten Gesteine der überlagernden Eisensandstein-Formation abgleiten können. Jedoch in einer deutlich geringeren Ausprägung. Erweiterte Klüfte, die in harten Gesteinsschichten auftreten, sind ein weiterer vorbereitender Faktor. Dabei sind vor allem Kluftflächen mit den Streichrichtungen NNE-SSW und NW-SE aufzuführen, die weitest-

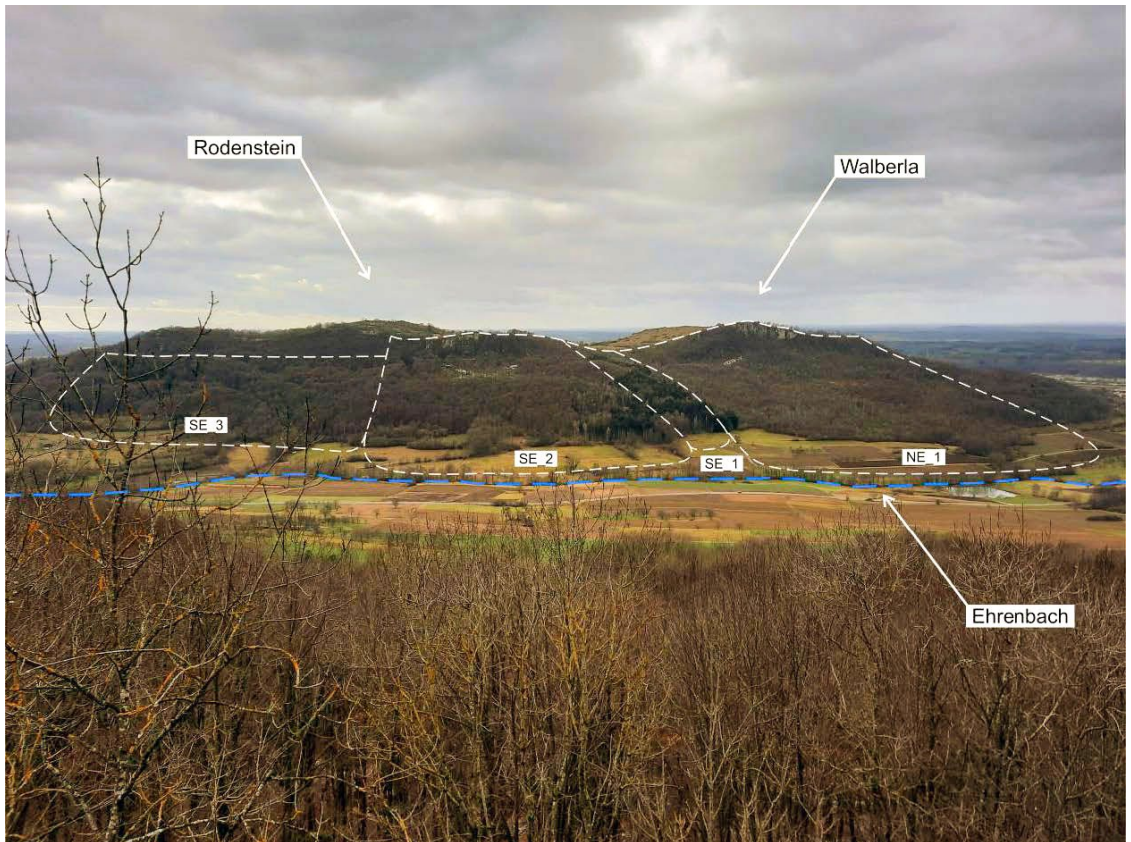


Abb. 31: Blick auf den stark vom Massenbewegungen betroffenen Osthang und den Ehrenbach mit den ungefähren Verläufen der Rutschungen. (Blickrichtung: W; Position: R: 657204 H: 5509905).

gehend hangparallel verlaufen. Zusammen mit den fast senkrecht dazu stehenden Klüften, die WNW-ESE und NE-SW streichen, können sich Trennflächen ausbilden, die sich später zu neuen Abrisskanten entwickeln können. Hierbei fällt auf, dass die dolomitierten Bereiche der Frankenalb-Formation am intensivsten geklüftet sind und sich dadurch hier die meisten vertikalen Schwächezonen herausbilden. Dies hat zur Folge, dass die Bereiche an den Rändern der Hochfläche, an denen Riffdolomit ansteht, die größten Hangbewegungen zeigen und aufgrund dieser Klüfte große Festgesteinsschollen abgetragen werden und sich dadurch rückschreitend zu Hauptabbrisskante neue Abrisse bilden (Abb. 29 und 30). Die Kalke der Frankenalb-Formation sind weniger intensiv geklüftet, weswegen diese eher durch Lösung abgetragen werden. Jedoch bilden auch hier Trennflächen Schwächezonen, die zu Hangbewegungen führen können. Auch in den Sandsteine der Eisensandstein-Formation zeigen sich diese Trennflächen, die zu Abrissen führen.

Ein dritter vorbereitender Faktor ist das leichte Schichteinfallen der geologischen Formation mit 12° nach Osten. Dies hat einerseits zur

Folge, dass die Gesteine in diese Richtung leichter abgleiten können. Außerdem wird dadurch die Fließrichtung des durch Niederschlag eindringenden Wassers bestimmt, weshalb sich alle kartierten Quellen, Vernässungen und Bäche am Osthang der Ehrenbürg befinden. Ein letzter vorbereitender Faktor sind die mächtigen Lockergesteinsablagerungen, die durch die großen Haupttrutschungen an den Flanken der Ehrenbürg vorliegen und in denen sich im Anschluss vermehrt sekundäre Massenbewegungen ereignen können. Bei den auslösenden Faktoren muss zwischen dem West- und dem Osthang der Ehrenbürg unterschieden werden, da sich dadurch erklären lässt, warum der Osthang deutlich rutschempfindlicher ist. Zum einen ist hier der Ehrenbach zu nennen. Dieser trennte einst die Ehrenbürg von der Hochfläche der Fränkischen Alb. Durch die noch immer andauernde Erosion des Bachlaufs am Fuß des Osthanges (Abb. 31), kommt es zu einer Versteilung in der Hangmorphologie verglichen zum Westhang. Dies wird auch an den gemessenen Werten für die Hangneigung deutlich. Die Neigungen liegen dabei am Nordosthang bei 17° und am Südosthang bei 20° , während sie am Nordwesthang bei 14° und am Südwesthang bei 15° liegen. Das dadurch entstandene Ungleichgewicht in der Hangmorphologie führt somit zu einer Instabilität. Ein zweiter wichtiger Grund ist der Einfluss von Wasser. Hier ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Auftreten von sekundären Rutschungen innerhalb der Hauptbewegungen und den kartierten Quellaustritten und Vernässungen zu erkennen. Durch die intensiv geklüfteten Riffdolomite und teilweise geklüfteten Kalke der Frankenalb-Formation kann Wasser gut in den Untergrund eindringen. Durch unterlagernde wasserstauende Einheiten, wie die Sengenthal-Formation, kommt es vermehrt zu Quellschüttungen und Vernässungen. Diese treten dabei deutlich in Kopfbereichen von sekundären Rutschmassen wie NE_3, NE_4, NE_5, SE_6, SE_8 und SE_10 auf. Hieraus lässt sich ableiten, dass durch die starke Wassersättigung die Stabilität des Hanges herabgesetzt wird und dadurch Hangbewegungen in den Lockergesteinsablagerungen der Haupttrutschmasse begünstigt werden. Eine hohe Anzahl an kartierten Vernässungen in den unteren Abschnitten der Massenbewegungen zeigt, dass generell eine hohe Wassersättigung innerhalb der Lockergesteinsablagerungen vorliegt, die eine destabilisierende Wirkung auf den gesamten Osthang der Ehrenbürg hat.

10.7. Aktivität

Es konnten keine deutlich sichtbaren Merkmale erkannt werden, die für eine Aktivität der Massenbewegungen an den Hängen der Ehrenbürg sprechen. Allerdings sind alle vorbereitenden und auslösenden Faktoren,

die als Ursache für die Hangbewegungen genannt wurden, weiterhin vorhanden. Daher werden die Massenbewegungen in diesem Arbeitsgebiet nach der Klassifikation nach WIEDENMANN (2019) als inaktiv ruhend eingestuft. Dabei ist eine Reaktivierung der vorliegenden Massenbewegungen nicht auszuschließen. Außerdem kann es durch Rückverlagerung der Hauptabrissskanten, wie es in manchen Abschnitten zu beobachten ist, zu erneuten großen Bewegungen, sowohl an den Flanken der Hochfläche innerhalb der Gesteine der Frankenalb-Formation, als auch innerhalb der Gesteine der Eisensandstein-Formation kommen. Vor allem der Osthang der Ehrenbürg, der aufgrund der hier deutlich auftretenden Vernässungen und Übersteilung in der Hangmorphologie durch den Ehrenbach eine hohe Rutschempfindlichkeit aufweist, ist dabei deutlich gefährdet. Auch kann es zu erneuten Bewegungen innerhalb der Lockergesteinsablagerungen der Hauptrutschungen kommen, wie an den meist noch als jung eingestuften kleineren Rutschungen am Osthang erkannt werden kann.

11. Schlußfolgerungen

Die geologischen Voraussetzungen hatten einen großen Einfluss auf den ur- und frühgeschichtlichen Siedlungsbau auf der Ehrenbürg und bestimmten sowohl die Lage als auch den Aufbau der einstigen Höhensiedlungen sowie den Verlauf der einstigen Befestigungsanlagen.

Dabei spielen besonders Massenbewegungen eine entscheidende Rolle, da diese wesentlich an der Abtragung und somit an der Herausbildung der natürlichen Zeugenberg-Festungen beteiligt waren.

Vor allem der Massendolomit der Frankenalb-Formation trägt zu Massenbewegungen bei, da durch intensive vertikale Klüftung und der daraus resultierenden Abtragung großer Festgesteinsschollen, natürliche, über 25 m hohe senkrechte Felsklippen entstanden sind.

Diese mussten oftmals nicht durch eine zusätzliche Befestigung in Form einer Wallanlage gesichert werden, da hier ein für Feinde unüberwindbarer, natürlicher Schutz vorlag.

Daneben spielt der geologische Schichtaufbau mit den unterschiedlichen Verwitterungsresistenzen der geologischen Formationen eine entscheidende Rolle, da er neben den Massenbewegungen den zweiten wesentlichen Grund zur Herausbildung der Hochflächen und der stark geböschten Hänge des Zeugenbergs Ehrenbürg darstellt.

Für eine leichtere Verteidigung der Höhensiedlungen wurden die Befestigungsanlagen meist direkt an die Kanten der Hochfläche gesetzt. Da diese dadurch nahezu identisch mit den kartierten Abrisskanten der Massenbewegungen verlaufen, kann es zu einer Gefährdung der auf der Denkmalliste als Bodendenkmäler geführten Wallanlagen kommen.

Durch die direkt an die Mauern anschließende Versteilung in der Hangmorphologie besteht die Gefahr, dass die Befestigungsanlagen abrutschen und den Hang hinabstürzen können. Da es sich bei den Wallanlagen um sehr alte, im Gelände nur als leichte Erhebung ersichtliche, Bodendenkmäler handelt ist es nicht möglich Risse oder sonstige sichtbare Indizien zu erkennen, die einen direkten Einfluss der Hangbewegungen auf die Wallanlagen aufzeigen würden.

Jedoch verdeutlichen archäologische Untersuchungen z.B. an den Mauern des Staffelbergs-Hochplateaus, bei denen Ausbesserungen durch vorgesetzte Pfosten entdeckt wurden, dass Teile der dortigen Wallanlage teilweise bereits kurz nach dem Bau abgerutscht sind (ABELS 1989).

Heute kann unterhalb der Hangkanten, an denen die Reste der einstigen Befestigungsanlagen erkannt werden, viel Hangschutt vorgefunden werden.

Da hier die Gesteinsbrocken größtenteils ähnliche Größen aufweisen und auch oberhalb der Abrisskanten auftreten, handelt es sich hierbei oft um Gesteinsmaterial, das einst zum Bau der Wallanlagen verwendet wurde und im Laufe der Jahrtausende nach der Aufgabe der Höhensiedlungen langsam durch Abtragungsprozesse den Hang hinabgestürzt ist. Diese Abtragung wird dabei weiter voranschreiten, bis die letzten Reste der Wallanlage eingegeben worden sind.

Ein weiteres Problem sind erneute Massenbewegungen durch Rückverlagerungen der Abrisskanten, wodurch weitere Teile der Hochfläche abtragen werden können.

Da sich die Wallreste direkt an den Kanten der Hochflächen befinden, wären diese dabei zuerst betroffen.

An der Ehrenbürg werden in die Massenbewegungen als inaktiv ruhend eingestuft, da alle vorbereitenden und auslösenden Faktoren weiterhin vorhanden sind.

Betrachtet man den Zeugenberg somit in einem geologischen Zeitrahmen sind Reaktivierungen der bestehenden Massenbewegungen oder erneute Rutschungen nicht auszuschließen, wobei der besonders rutschempfindliche Osthang der Ehrenbürg hervorzuheben ist.

Gründe für diese hohe Rutschempfindlichkeit an der Ehrenbürg finden sich sowohl in den vorbereitenden als auch in den auslösenden Faktoren.

Auch resultiert aus der Rutschempfindlichkeit an der Ehrenbürg ein großes Volumen und eine große Ausdehnung der Hangbewegungen.

Hierbei ist vor allem der Übergang der geologischen Formationen der Braunjura-Gruppe zur Weißjura-Gruppe zu nennen, der eine besonders rutschempfindliche Zone darstellt.

Auch die Intensität der auslösenden Faktoren wie Hangunterschneidung durch den Ehrenbach und oberflächlich abkaufendes Wasser, das

eine destabilisierende Wirkung auf die Hangstabilität hat, sind an der Ehrenbürg stark ausgeprägt.

12. Danksagung

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. Joachim Rohn für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung und Hilfe während der Bearbeitungszeit.

Außerdem möchte ich mich bei Tim Förster, Andreas Helgert, Stefan Liedel, Michael Niedermann und Heinrich Werner bedanken, die mir an mehreren Tagen bei der Profilaufnahme an der Ehrenbürg geholfen haben.

13. Literatur

- ABELS, B.-U. (1989): Neue Ausgrabungen im Befestigungsbereich des Staffelbergs, Stadt Staffelstein, Oberfranken. – In: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.), Bericht der Bayerischen Bodendenkmalpflege 28/29 1987/88, 143-180, Selbstverlag des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, München.
- ABELS, B.-U. (1990): Schlaifhausen, Ringwall auf der Ehrenbürg. – In: Nordwestdeutscher & West- und Süddeutscher Verband für Altertumsforschung (Hrsg.), Fränkische Schweiz, 237-240, Theiss-Verlag, Stuttgart.
- ABELS, B.-U. (1993): Der Staffelberg – Der Staffelberg – Die Geschichte einer befestigten Höhensiedlung. – In: Dannheimer, H. & Gebhard, R. (Hrsg.), Das Keltische Jahrtausend, 94-101, Verlag Philipp von Zabern, Mainz.
- ABELS, B.-U. (2009): Die Ehrenbürg – ein bronzezeitliches und frühkeltisches Machtzentrum. – In: Förderkreis Kaiserpfalz e.V. & Kulturrat des Landkreises Forchheim (Hrsg.), Die Ehrenbürg- Geologie- Archäologie-Volkskunde, 46-67, Kulturrat des Landkreises Forchheim, Forchheim.
- ABELS, B.-U. (2012): Die urnenfelder- und frühlatènezeitliche Zentralsiedlung Ehrenbürg bei Forchheim. – In: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.), Bericht der Bayerischen Bodendenkmalpflege 53, 9-59, Selbstverlag des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, München.
- ABELS, B.-U. (2015): Die Keltische Besiedlung des Staffelbergs. – In: Stadt Bad Staffelstein (Hrsg.), Entdeckungen rund um den Staffelberg, 48-61, Bamberg.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2017): Steinschlag, Felssturz, Rutschung, Erdfall. – 20 S., BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Augsburg.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2020): Methoden-Bericht zur Gefahrenhinweiskarte Bayern – Vorgehen und technische Details. – 29 S., BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Augsburg.
- BLOOS, G., DIETL, G., SCHWEIGERT, G. (2005): Der Jura Süddeutschlands in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. – Newsletter on Stratigraphy, Volume 41, Number 1-3: 263-277.
- BRAM, G. & KOCH, R. (2008): Trubachweg –Geologie-Kultur-Klettern, 161 S., Görtler Druck, Forchheim.
- CRUDEN, D. M. (1991): A simple definition of a landslide. – Bulletin of the International Association for Engineering Geology, 43: 27-29.
- CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. (1996): Landslide Types and Processes. – In: Turner, A. K. & Schuster, R. L. (Hrsg.), Landslides: Investigation and Mitigation, National Academy of Sciences. Special report 247, 36-75, National Academies Press, Washington D.C.
- FASSBINDER, J.W.E. (2012): Magnetometerprospektion auf der Ehrenbürg. – In: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.), Bericht der Bayerischen Bodendenkmalpflege 53, 73-83, Selbstverlag des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, München.
- HEGENBERGER, W. & SCHIRMER, W. (1967): Erläuterung zur Geologischen Karte von Bayern (1:25000) – Blatt Nr. 5932 Ützing. – 156 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- HIGHLAND, L.M. & BOBROWSKY, P. (2008): The landslide handbook – A Guide to Understanding Landslides. – 139 S., U.S. Geological Survey Circular 1325, Virginia.
- HOFBAUER, G. ET AL. (2007): Die Ehrenbürg (das »Walberla«): Aspekte zur Entstehung eines Zeugenbergs vor der Nördlichen Frankenalb. – In: www.gdgh.de/Berichte/B12 (11. Februar 2007).
-

- IAEG COMMISSION ON LANDSLIDES (1990): Suggested Nomenclature for Landslides. – Bulletin of the International Association for Engineering Geology, 41: 13-16.
- JOCKENHÖVEL, A. (1990): Bronzezeitlicher Burgenbau in Mitteleuropa. Untersuchung zur Struktur frühmetallzeitlicher Gesellschaften. – In: Orientalisch-ägäische Einflüsse in der europäischen Bronzezeit: Ergebnisse eines Kolloquiums, 209-228, Habelt-Verlag, Bonn.
- KAULICH, B. (2004): Kelten und andere auf der Ehrenbürg. – In: SCHMIDT-KALER, H. (Hrsg.), Wanderung in die Erdgeschichte (15), 18-24, Pfeil-Verlag, München.
- KOCH, R., SENOWBATHRI-DARYAN, B. & STRAUSS, H. (1994): The Late Jurassic “Massenkalk Fazies” of Southern Germany: Calcareous sand piles rather than organic reefs. – Facies, 31, 179-208; Erlangen.
- KRUMBECK, L. (1953): Geologie der Ehrenbürg bei Forchheim (Oberfranken). – In: Lotze, F., Schindewolf, O. H., Schwarzbach, M. (Hrsg.), Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlung 96, 375-420, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KRUMBECK, L. (1956): Erläuterung zur Geologischen Karte von Bayern (1:25000) – Blatt Nr. 6232 Forchheim. – 80 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- MAUS, H. (1993): Europas Mitte – reich an Erzen. – In: Steuer, H. & Zimmermann, U. (Hrsg.), Alter Bergbau in Deutschland, 16-23, Theiss-Verlag, Stuttgart.
- MESCHÉDE, M. (2015): Geologie Deutschlands – Ein prozessorientierter Ansatz. – 249 S., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1992): Wanderung in die Erdgeschichte (5) – Durch die Fränkische Schweiz. – 168 S., Pfeil-Verlag, München.
- MÜLLER, M. (2013): Geologische und ingenieurgeologische Kartierung von Massenbewegungen am Südhang der Ehrenbürg, unveröffentlichte Bachelorarbeit, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- NIEBUHR, B. & PÜRNER, T. (2014): Plattenkalk und Frankendolomit – Lithostratigraphie der Weißjura-Gruppe der Frankenalb (außeralpiner Oberjura, Bayern). – Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften, 83: 5-72.
- PRINZ, P. & STRAUSS, R. (2017): Ingenieurgeologie. – 6. Auflage, 898 S., Springer-Verlag, Berlin.
- SCHIRMER, W. (2009): Der Reiz der Ehrenbürg (Walberla) für Besiedler und Besucher. – In: Förderkreis Kaiserpfalz e.V. & Kulturamt des Landkreises Forchheim (Hrsg.), Die Ehrenbürg-Geologie-Archäologie-Volkskunde, 10-45, Kulturamt des Landkreises Forchheim, Forchheim.
- SCHMIDT-KALER, H. (2004): Wanderungen in die Erdgeschichte (15) - Das Walberla – Ein Weißjura-Zeugenberg vor der Frankenalb. – 122 S., Pfeil-Verlag, München.
- SCHUSSMANN, M. (2011): Die Befunde der Ausgrabung auf der Ehrenbürg 2005. – In: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.), Bericht der Bayerischen Bodendenkmalpflege 53, 61-64, Selbstverlag des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, München.
- STURM, F. (2013): Geologische und ingenieurgeologische Kartierung von Massenbewegungen am Walberla, unveröffentlichte Bachelorarbeit, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- VARNES, D. J. (1978): Slope Movement Types and Processes. – In: Schuster, R. L. & Krizek, R. J. (Hrsg.): Landslides: Analysis and Control. Special Report 176, 11-33, National Academy of Sciences, Washington D. C.
- WIEDENMANN, J. (2019): Systematische ingenieurgeologische Untersuchung an Hangbewegungen am Nordwestrand der Frankenalb. – 285 S., Naturwissenschaftliche Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg.
-

Online-Quellen

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (2020): Regierungsbezirk Oberfranken-Landkreis Forchheim-Gemeinde Kirchehrenbach. – In: [geoportal.bayern.de](https://www.geoportal.bayern.de), https://www.geodaten.bayern.de/denkmal_static_data/externe_denkmalliste/pdf/denkmalliste_merge_474143.pdf (Stand: 13.09.2021).
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE (2021): Regierungsbezirk Oberfranken-Landkreis Lichtenfels-Stadt Staffelstein. – In: [geoportal.bayern.de](https://www.geoportal.bayern.de), https://www.geodaten.bayern.de/denkmal_static_data/externe_denkmalliste/pdf/denkmalliste_merge_478165.pdf (Stand: 13.09.2021).
- FRANZ, M. & ZEISS, A. (2013): Eisensandstein-Formation. – In: LithoLex [Online-Datenbank], Hannover: BGR, Last updated 09.01.2013, [cited 30.08.2021], Record No. 4012026, Available from: <https://litholex.bgr.de>.
- FRANZ, M., NIEBUHR, B., ZEISS, A. (2014): Sengenthal-Formation. – In: LithoLex [Online-Datenbank], Hannover: BGR, Last updated 31.03.2014, [cited 30.08.2021], Record No. 4012038, Available from: <https://litholex.bgr.de>.
- FRANZ, M., ZEISS, A., MÖNNIG, E. (2013): Opalinuston-Formation. – In: LithoLex [Online-Datenbank], Hannover: BGR, Last updated 09.01.2013, [cited 30.08.2021], Record No. 4012027, Available from: <https://litholex.bgr.de>.
- JORZIK, O. (2020): Gravitative Massenbewegungen. – In: [eskp.de](https://www.eskp.de), <https://www.eskp.de/grundlagen/naturgefahren/gravitative-massenbewegungen-935627/> (Stand: 12.10.2021).
- MÖNNIG, E., NITSCH, E., ARP, G. (2015): Amaltheenton-Formation. – In: LithoLex [Online-Datenbank], Hannover: BGR, Last updated 19.10.2015, [cited 30.08.2021], Record No. 4012097, Available from: <https://litholex.bgr.de>.
- MÖNNIG, E., NITSCH, E., ARP, G. (2015): Posidonienschiefer-Formation. – In: LithoLex [Online-Datenbank], Hannover: BGR, Last updated 19.10.2015, [cited 30.08.2021], Record No. 4012098, Available from: <https://litholex.bgr.de>.
- NITSCH, E., ARP, G., MÖNNIG, E. (2015): Jurensismergel-Formation. – In: LithoLex [Online-Datenbank], Hannover: BGR, Last updated 19.10.2015, [cited 30.08.2021], Record No. 4012084, Available from: <https://litholex.bgr.de>.
- UmweltAtlas Bayern: https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_angewandte_geologie_ftz/index.html?lang=de&activeTool=locationInformationTool&stateId=32f33d27-0513-4c84-b33d-2705132c8470 (Stand: 25.01.2022).
- Wikipedia Ehrenbürg: <https://de.wikipedia.org/wiki/Ehrenbürg> (Stand: 25.01.2022).
-