Bayerisches Landesamt für
Umwelt

Kirchheimer Quaderkalk II

Neue Naturwerkstein-Potenziale im Oberen Muschelkalk

geologie

Bayerisches Landesamt für
Umwelt

Kirchheimer Quaderkalk II

Neue Naturwerkstein-Potenziale im Oberen Muschelkalk

Bearbeiter:
M. Miehlbradt, E. Linhardt, C. Eicke

89 Seiten, 64 Abbildungen, 25 Tabellen, Augsburg 2022

UmweltSpezial

Impressum

Kirchheimer Quaderkalk II, Neue Naturwerkstein-Potenziale im Oberen Muschelkalk

Herausgeber:
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Konzept/Text/Bearbeitung:
LfU: Elmar Linhardt;
Martin Miehlbradt, Hannover; Corinna Eicke, Hannover

Bildrechte:
LfU

Druck:
KASTNER AG - das medienhaus
Schloßhof 2-6
85283 Wolnzach

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier, zertifiziert nach dem „Blauen Engel“

Februar 2022, 1. Auflage: 500 Exemplare

Stand:
Januar 2022

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

BAYERN|DIREKT
Tel. 089 12 22 20

BAYERN|DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung 5

2 Sachstand 6

2.1 Bisheriger Kenntnisstand 6
2.2 Geologie des Erkundungsgebietes 12

3 Durchgeführte Arbeiten 14

3.1 Gebietserweiterung und Verifizierung des Prognosemodells 17

4 Ergebnisse 18

4.1 Teilerkundungsgebiet I – nordöstlich von Kirchheim 18
4.2 Teilerkundungsgebiet II – östlich von Kirchheim 23
4.3 Teilerkundungsgebiet III – westlich von Kirchheim 26
4.4 Teilerkundungsgebiet IV – nördlich von Kirchheim 29
4.5 Teilerkundungsgebiet V – zwischen Gützingen und Bütthard 32

5 Auswertung 40

5.1 Bewertung der Rohstoffpotenziale 41
5.1.1 Teilerkundungsgebiet I – nordöstlich von Kirchheim 41
5.1.2 Teilerkundungsgebiet II – östlich von Kirchheim 43
5.1.3 Teilerkundungsgebiet III – westlich von Kirchheim 45
5.1.4 Teilerkundungsgebiet IV – nördlich von Kirchheim 48
5.1.5 Teilerkundungsgebiet V – zwischen Gützingen und Bütthard 51
5.2 Modellierung des Oberen Hauptquaderkalk 53

6 Zusammenfassung 58

Glossar 60

Verzeichnis der Abbildungen 61

Verzeichnis der Tabellen 65

Literaturverzeichnis 67

Anhang 70

A Detailausschnitte des Modellierungsergebnisses 71

B Verortung, Ansatz- und Basishöhe der abgeteuften Erkundungsbohrungen 79

C Rohstoffgeologische Kurzcharakteristik der Erkundungsbohrungen Ki 1 bis Ki 16 (geringfügig modifiziert nach LfU 2019) 80

Teilerkundungsgebiet I – nordöstlich von Kirchheim

Ki 9 80
Ki 10 80
Ki 11 81
Ki 13 82

Teilerkundungsgebiet II – östlich von Kirchheim
Ki 5 82
Ki 6 83
Ki 14 84

Teilerkundungsgebiet III – westlich von Kirchheim
Ki 3 84
Ki 4 85
Ki 8 85
Ki 16 86

Teilerkundungsgebiet IV – nördlich von Kirchheim
Ki 1 87
Ki 2 87
Ki 7 88
Ki 12 89
Ki 15 89

1 Zielsetzung

Kirchheimer Quaderkalk ist ein beliebter Naturwerkstein, der in den letzten Jahren eine starke und stetig wachsende Nachfrage erlebt. Ein im Zuge der Rohstofferkundung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt durchgeführtes und 2019 abgeschlossenes Projekt führte zur Eingrenzung von sechs Potenzialflächen für diesen Rohstoff im Gebiet Kleinrinderfeld-Kirchheim-Gaubüttelbrunn (Tab. 1; LfU 2019).

Aufgrund des stetig steigenden wirtschaftlichen Interesses und der nur begrenzt verfügbaren Vorkommen von gewinnbarem und hochwertigem Naturwerkstein im Raum Kirchheim und Umgebung kommt es jedoch zunehmend dazu, dass sich neue Gewinnungsstellen abseits der historisch gewachsenen Steinbruchareale ansiedeln müssen.

Tab. 1: Abschlusseinschätzung der ermittelten Potenziale. Die rohstoffgeologische Bewertung ist folgendermaßen abgestuft: sehr hohes Potenzial > hohes Potenzial > gutes Potenzial > mäßiges Potenzial (LfU 2019).

Potenzial-fläche	Ausdehnung [ha]	Teilerkundungs-gebiet	Beleg Bohrkern(e)	Gesamtbewertung
1	111	I	Ki 11	Gutes bis hohes rohstoffgeologisches Potenzial, jedoch konkurrierende Nutzungen, weitere Erkundung notwendig
2	84	II	Ki 5; Ki 14	hohes rohstoffgeologisches Potenzial, kaum konkurrierende Nutzungen
3	88	III	Ki 3; Ki 4	Sehr hohes rohstoffgeologisches Potenzial, kaum konkurrierende Nutzungen
4	112	III	Ki 8; Ki 16	Sehr hohes rohstoffgeologisches Potenzial, keine konkurrierenden Nutzungen
5	14	IV	Ki 2	Hohes rohstoffgeologisches Potenzial, jedoch konkurrierende Nutzungen
6	49	IV	Ki 7; Ki 1; Ki 15	Mäßiges bis gutes rohstoffgeologisches Potenzial, zum Teil gravierende konkurrierende Nutzungen (vor allem der Sellenberger Hof!)

Um dieser Entwicklung Rechnung tragen zu können, sollten im Rahmen des Anschluss-Projektes „Kirchheimer Quaderkalk II – Neue Naturstein-Potenziale im Oberen Muschelkalk“ sowohl die bereits erarbeiteten Potenziale konkretisiert und offene Fragen geklärt als auch neue, bislang unberücksichtigte Potenziale im Umfeld der bekannten Gebiete untersucht werden.

Dazu wurde mit Mitteln und im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) eine zur vorangegangenen Erkundungsarbeit erweiterte Untersuchung durchgeführt. Dabei wurden nach rohstoffgeologischer Vorerkundung neun Erkundungsbohrungen abgeteuft, rohstoffgeologisch bewertet und die Ergebnisse in den bislang bekannten Rahmen eingearbeitet. Der Schwerpunkt des Programms lag zum einen auf der Erkundung neuer Naturwerkstein-Potenziale südlich von Gaubüttelbrunn und zum anderen darauf, die in LfU (2019) aufgekommenen Fragestellungen zu den Teilerkundungsgebieten I, III und IV zu beantworten.

2 Sachstand

2.1 Bisheriger Kenntnisstand

Die Quaderkalk-Formation stellt eine Sonderfazies in der Abfolge des Oberen Muschelkalks dar (Abb. 1, nach GLA 1967). Diese aus Zweischalern bestehenden und durch Kalkschlamm verkitteten spätig oder porös ausgebildeten Schillkalksteine besitzen eine dickbankige, häufig schräg- oder kreuzgeschichtete Ausbildung. Bedingt durch eine ausgeprägte natürliche Klüftung können sie mit wenig Aufwand in große Quader zerlegt und gewonnen werden.

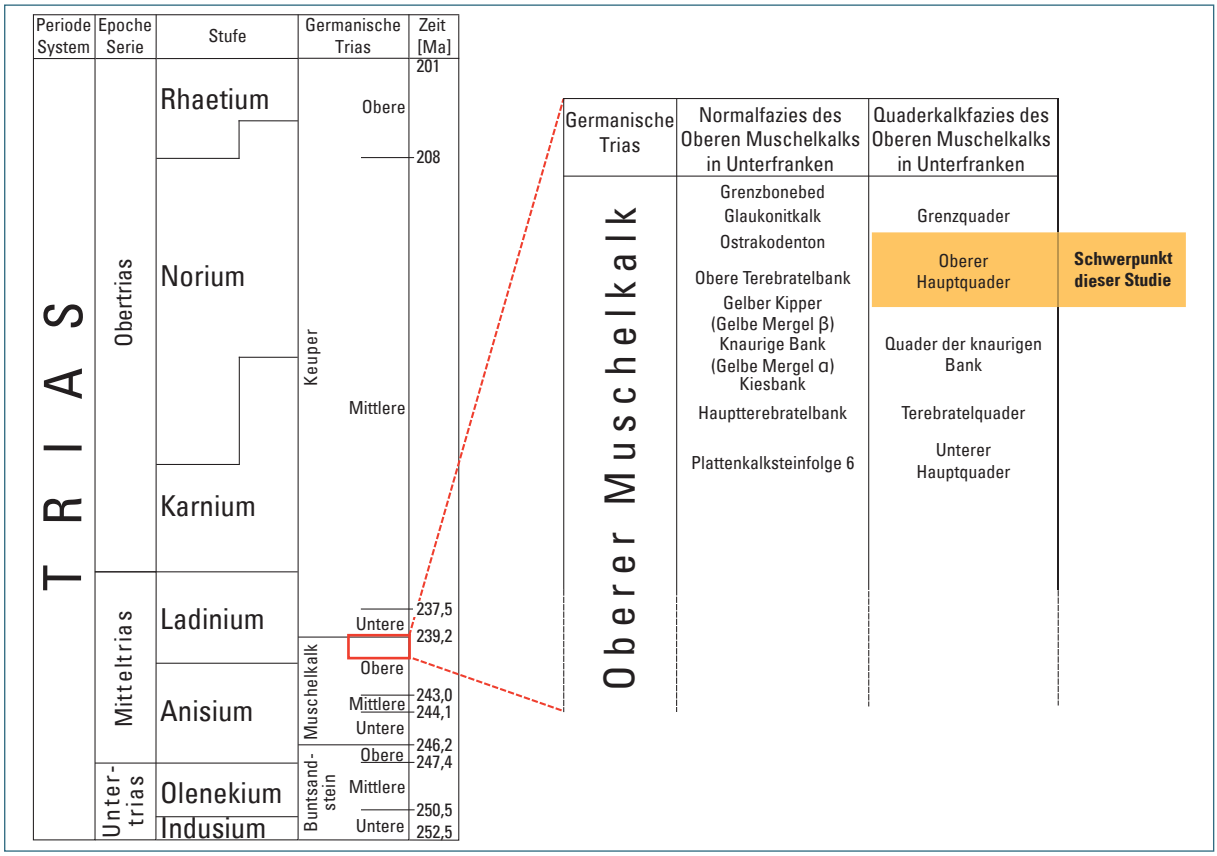

Abb. 1: Stratigraphische Abfolge der Germanischen Trias und des Oberen Muschelkalks in Unterfranken (auf Grundlage von GLA 1967 und Deutsche Stratigraphische Kommission 2016, verändert nach LfU 2019).

Die Quaderkalkvorkommen in Tauber- und Mainfranken sind schon seit vielen Jahrhunderten bekannt und wurden seit alters her als Baumaterial gewonnen. Dies führte dazu, dass im 30x30 km großen Bereich zwischen Würzburg und Bad Mergentheim die größte Aufschlussdichte Europas vorzufinden ist (Petrovic & Aigner 2017). Seit etwa 150 Jahren ist die Abfolge des Quaderkalks auch Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen (U. A. Sandberger 1867, Reis 1909, Schuster 1936, Geisler 1938, Drexler 1964, GLA 1964, GLA 1967, Aust 1969, Aigner 1979, Hatzold 1981, GLA 1984, Hagdorn & Simon 1985, Braun 2003, Palermo et al. 2010, Petrovic 2016, Petrovic & Aigner 2017, Petrovic et al. 2018, LfU 2019).

Da der Quaderkalk ausschließlich im Oberen Muschelkalk entwickelt ist, werden mittlerer und unterer Hauptmuschelkalk in dieser Studie nicht näher betrachtet. Die Normalfazies des Oberen Muschelkalk 3 (mo3) erreicht in Unterfranken Mächtigkeiten zwischen 28 und 35 m (GLA 1967). Jedoch setzt ab Mitte des mo3 die Entwicklung der Sonderfazies des Quaderkalks ein. Da Vergleiche von Profilen in Normalfazies und in Sonderausbildung eine Mächtigkeitszunahme im Bereich des Quaderkalks erkennen ließen, ging bereits GLA (1967) davon aus, dass nur ein geringer Teil der Quaderkalk-Fazies die Normalentwicklung ersetzt. Vielmehr handelt es sich wahrscheinlich um eingeschobene Lagen, die durch viele rasche Sedimentschübe im flachmarinen, küstennahen Bereich entstanden (GLA 1997, Palermo et al. 2010). Wagner (1913) bezeichnete diese, in das NW-SE-streichende Flachmeer hineinragende schwellenartige Untiefe als „Gammesfelder Barre“. Charakterisiert war dieser Bereich durch eine geringe Wassertiefe zwischen 5 m und 10 m, gute Lebensbedingungen und daraus resultierend eine hohe Produktion von biogenem Material. Durch Sturmereignisse und eine starke Strömung wurde das Schalenmaterial mehrfach aufgearbeitet und zu mächtigen Schill-Lagen akkumuliert.

Die einsetzenden Meeresspiegelschwankungen führten zu einer Beschränkung oder zum Pausieren der Schill-Sedimentation während einer transgressiven Phase, wo hingegen bei einer regressiven Phase die Quaderkalkbildung zunahm (Simon 1999). Im Gegensatz dazu steht die langsamere chemisch-organogene Bildung der normal-faziellen Kalksteinbänke in deutlich größeren Wassertiefen (GLA 1967). Dieser Umstand mag auch gleichzeitig die Mächtigkeitszunahme in der Quaderkalk-Fazies erklären. Durch eine mehrfache Verlagerung des Zentrums und der Ausdehnung des von der Gammesfelder Barre abgetrennten Flachmeeres stellt der Quaderkalk daher keinen einheitlichen Horizont dar (Simon 1999).

Bevorzugt sind Quaderkalke in den folgenden stratigraphischen Bereichen zu finden (vergleiche Abb. 2, Drexler 1964, GLA 1967):

– [1] Oberhalb des Ostracodentones: Grenzquader (Glaukonit-Quaderkalkstein)

– [2] Zwischen Ostracodenton und der Gelben Mergeleinheit (α bis γ): Oberer Hauptquaderhorizont

– [3] Unterhalb des Gelben Kippers: Quaderkalkstein der knaurigen Bank

– [4] Innerhalb der Hauptterebratelbank: Terebratelquader

– [5] Inmitten der Plattenkalksteinfolge 6: Unterer Hauptquaderhorizont.

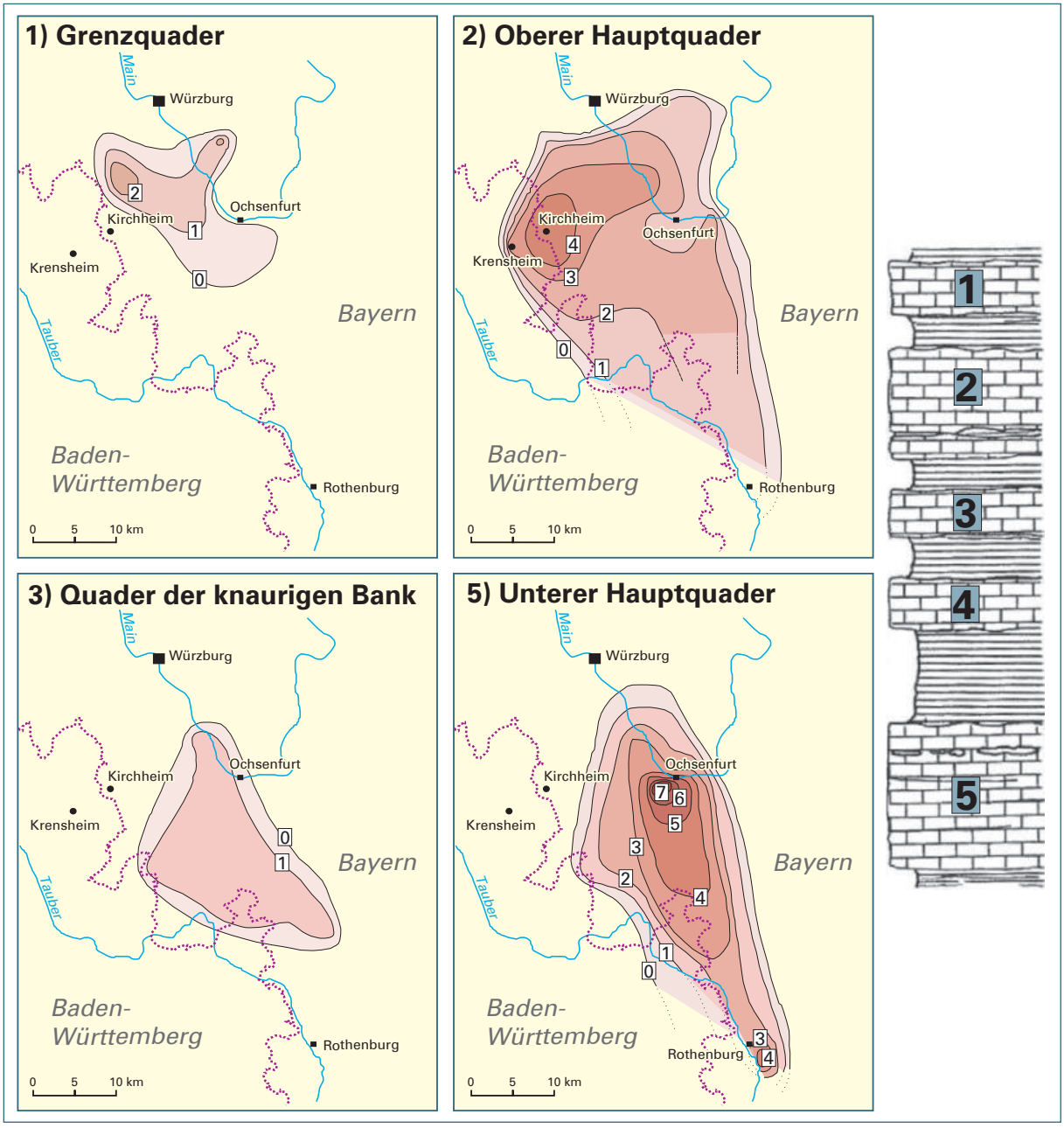

Abb. 2: Ausbreitung und Mächtigkeiten der unterschiedlichen Quaderkalkhorizonte (modifiziert nach Geyer 2002, aus LfU 2019). [1] Grenzquader, [2] Oberer Hauptquader, [3] Quader der Knaurigen Bank, [4] Terebratelquader, bisher nur unzureichend auskartiert, [5] Unterer Hauptquader. Die Isopachenangaben, von 0 bis 7, sind in Meter angegeben (Graner 1984); das idealisierte Profil für den Raum Ochsenfurt stammt von Aust (1969).

In Anlehnung an die gesteinsmechanischen Eigenschaften und die petrografische Zusammensetzung des Oberen Hauptquaderhorizontes entwickelten die hiesigen „Steinbrecher“ eine eigene Klassifikation für den Quaderkalk, die das Auftreten, Farbe und Textur, aber auch gesteinsmechanische Eigenschaften widerspiegelt (Abb. 3). Die Gruppen waren im Wesentlichen mit Trivialnamen (z. B. „Schale“) betitelt. Später wurden die Bezeichnungen als „Steinhauer Klassifikation“ bekannt (Deutsche Steinbruchkartei 1938). Diese Systematik wurde von Drexler (1964) und GLA (1984) aufgegriffen und in wissenschaftlicher Form modifiziert. Basierend auf Eigenschaften wie dem Auftreten von Schichtfugen, Vertikalklüften, Porosität, dem Verhältnis von Schill und Bruch-Schill zu

kalkiger Füllmasse oder der Farbe, wurde die Abfolge der Quaderkalke lose in sechs Klassen eingeteilt (Tab. 2, Drexler 1964, GLA 1984). Neben den phänomenologischen Beschreibungen dieser Autoren konnte in LfU (2019) eine umfangreiche Charakterisierung der technischen Eigenschaften der einzelnen Subtypen des Oberen Hauptquaderkalks ermittelt werden (Tab. 2). Auf Grundlage dieser repräsentativen Untersuchungen konnten zudem detaillierte Verwendungsempfehlungen formuliert werden.

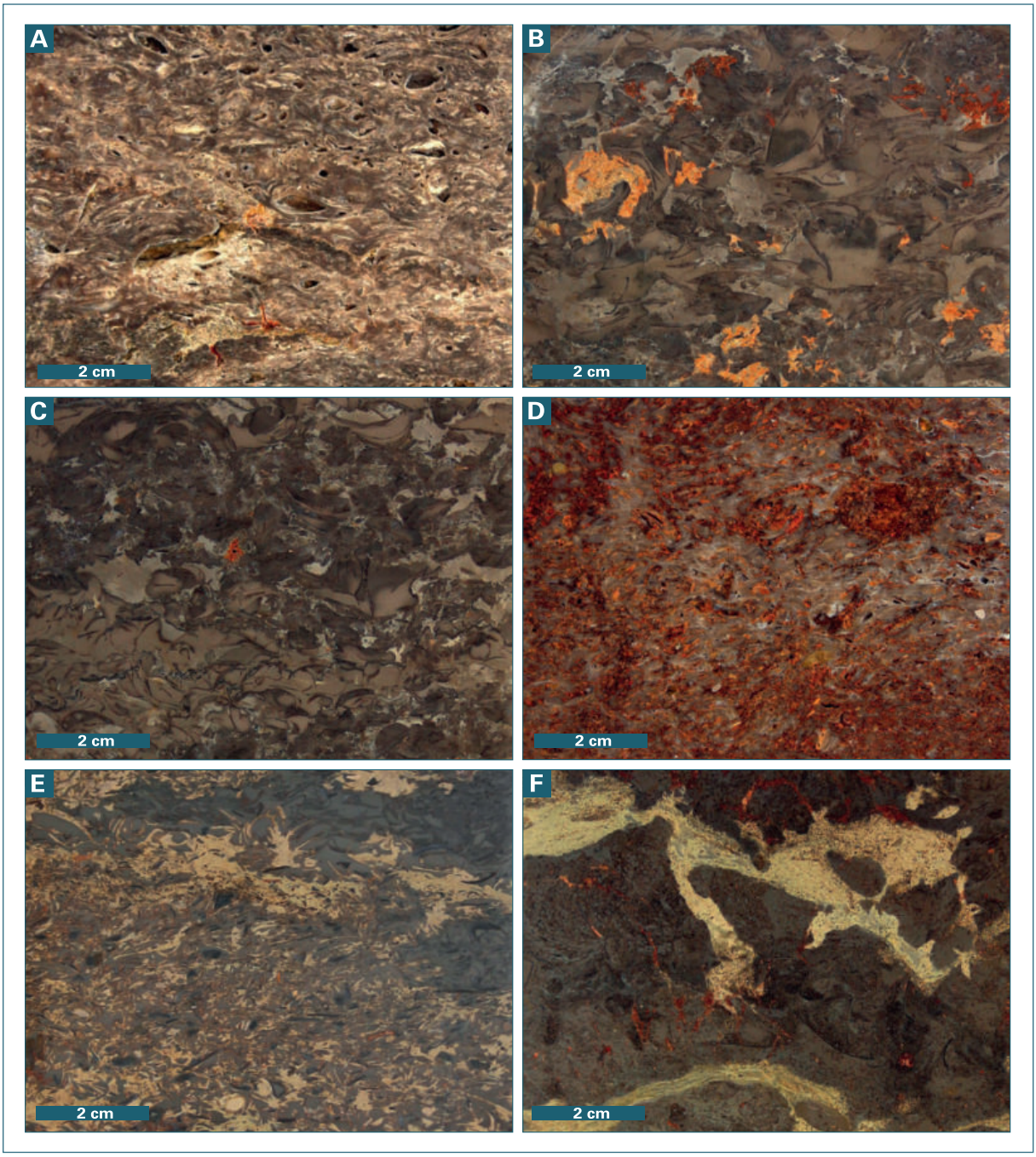

Abb. 3: Varietäten des Kirchheimer Quaderkalks und assoziierter Gesteine (jeweils gegen das Lager geschnitten). (A) Kernstein, (B) Goldbank, (C) Blaubank, (D) Rotbank, (E) Zugbank und (F) Gelbflaserkalk (aus LfU 2019).

Tab. 2: Steinbrecher Klassifikation der Quaderkalke des Oberen Hauptquaderhorizontes (Drexler 1964, GLA 1984, LfU 2019).

			Technische Eigenschaften					
Steinhauer-Bezeichnung	Petrografische Beschreibung	Eigenschaften	Druck-festigkeit [MPa]	Rohdichte [g/cm³]	Wasser-aufnahme [Gew.-%]	Hygrische Dilatation [µm/m]	Gewichts-verlust nach 168 FTW [%]	Verwendung
Zugbank	Dichter Kalkstein mit schwankendem Schillanteil	Blau bis grau, dicht, Mächtigkeit meist <1 m, i. d. R. ohne Werksteinqualität	Ø 154; 76–213	Ø 2,71; 2,66–2,73	Ø 0,49; 0,18–0,94	Ø 108; 22–175	Ø 0,07; 0,00–0,32	Überwiegend für den GaLa-Bau, z. B. für Stützmauern, Wasserüberläufe oder als Störsteine verwendet
Oberbank	Schillkalk	Ähnlich Kernstein (s. u.), Abhebende Schichtfugen, engständige Vertikal-Klüftung, deswegen trotz guter petrographischer Ausbildung i. d. R. ohne Werksteinqualität	Siehe Kernstein					Material sowohl für den Außen- als auch für den Innenausbau geeignet, jedoch aufgrund der meist geringen Blockgrößen oft nur für kleindimensionierte Verwendungszwecke nutzbar, z. B. Mauer oder Pflastersteine
Kernstein	Poriger grau-blauer und schwach rötlicher Schillkalkstein, wechsellagig aus Grobschalenlagen und feinen, zerriebenen Schalenstücken aufgebaut	Fester, großquadriger, idealer Werkstein („kernig“)	Ø 62; 9–120	Ø 2,57; 2,38–2,68	Ø 1,32; 0,36–2,81	Ø 37; 0–58	Ø 0,06; 0,00–0,17	Material sowohl für den Außen- als auch für den Innenausbau geeignet und je nach Blockgröße für alle Verwendungszwecke nutzbar z. B. Skulpturen, Treppenstufen, Fassadenplatten oder Bodenbeläge
Rotbank	Poriger rostroter Schillkalkstein, Porenraum limonitisch überzogen	Entspricht Kernstein, mit rost- bis ockerfarbenen Zwischenfüllungen	Ø 52; 11–97	Ø 2,54; 2,32–2,7	Ø 1,45; 0,54–2,78	Ø 24; 0–77	Ø 1,75; 0,00–25,0	Material sowohl für den Außen- als auch für den Innenausbau geeignet, Verwendungszwecke ähnlich Kernstein
Blaubank	Dichter blau-grauer Schillkalkstein	Bruch-Schill untergeordnet, kalkige Füllmasse überwiegend; im Liegenden teilweise auch „schalig“ (Schicht- und Kluft-Flächen vermehrt) ausgebildet.	Ø 96; 49–176	Ø 2,7; 2,61–2,76	Ø 0,34; 0,04–1,38	Ø 70; 0–215	Ø 0,03; 0,00–0,09	Material nur bedingt frostbeständig und tendenziell eher für den Innenausbau geeignet z. B. für Bodenplatten, Treppenstufen oder Fensterbänke
Goldbank	Dichter blau-grauer Schillkalkstein, Schill bereichsweise mit gelbem Sparit gefüllt	Entspricht Blaubank, bei der die kalkige Matrix oxidativ von den Außenflächen her teilweise oder durchgehend umgewandelt ist	Ø 107; 41–201	Ø 2,68; 2,57–2,72	Ø 0,51; 0,16–1,19	Ø 81; 0–203	Ø 0,02; 0,00–0,07	Material nur bedingt frostbeständig und tendenziell eher für den Innenausbau geeignet, Verwendungszwecke ähnlich der Blaubank
Gelbflaserkalk	Dichter Kalkstein/Schillkalkstein mit tonig-mergligen Einschaltungen	Optisch der Goldbank ähnlich, jedoch aufgrund diffus bis schlierenförmig auftretender gelber Einschaltungen deutlich verschlechterte gesteinsphysikalische Eigenschaften	Ø 99; 23–203	Ø 2,66; 2,48–2,74	Ø 0,86; 0,06–3,24	Ø 271; 0–1736	Ø 2,82; 0,00–35,0	Material nicht oder nur bedingt frostbeständig, Menge und Verteilung der gelblichen Einschaltung bestimmt maßgeblich die technische Verwendbarkeit; bei geringem Grad der „Durchflaserung“ geeignet für den Innenausbau, z. B. für Fensterbänke oder Bodenplatten

Zusätzlich konnte die Klassifikation der Steinbrecher mit einer detaillierten Beschreibung des „Gelbflaserkalks“ erweitert werden. Wenn auch nicht namentlich erwähnt, handelte es sich wahrscheinlich bereits in der Beschreibung der Goldbank in Drexler (1964) um einen Gelbflaserkalk. Die Beschreibung und Lage innerhalb der Abfolge gleicht der des Gelbflaserkalks (LfU 2019). GLA (1984) hingegen definierte die Goldbank als eine Blaubank, die durch oxidative Umwandlung der kalkigen Matrix, stellenweise eine ockerfarbene Tönung angenommen hat. Neben den petrographisch-lithologischen Unterschieden dieser beiden Gesteine existieren vor allem frappierende Differenzen im Bereich der technischen Eigenschaften, im Besonderen für die hygrische Dilatation sowie die Frostbeständigkeit (LfU 2019).

Ein weiterer wissenschaftlicher Ansatz zur Klassifikation dieser Gesteine, der vor allem auf lithologischen, sedimentpetrografischen und biostratigraphischen Eigenschaften basiert, wurde von Braun (2003), Palermo et al. (2010) und Petrovic & Aigner (2017) entwickelt und stellt im Vergleich zur „Steinhauer Klassifikation“ einen allumfassenderen Ansatz dar. Diese Einteilung umfasst 14 lithofazielle Einheiten, die in sechs Lithofazies-Gruppen eingeteilt wurden (Petrovic & Aigner 2017). Durch den wissenschaftlichen Charakter dieser Einteilung ist die Anwendbarkeit für den „Nichtgeologen“ jedoch schwer zu realisieren. Deshalb wird im Folgenden der pragmatischere Ansatz der „Steinhauer“ für die Ansprache der erbohrten Schillkalksteine verwendet.

2.2 Geologie des Erkundungsgebietes

Das Erkundungsgebiet, im Regierungsbezirk Unterfranken gelegen, befindet sich im nordwestlichen Teil Bayerns. Geologisch gliedert sich diese Region von West nach Ost in vier Haupteinheiten: (1) der Spessart-Odenwald, (2) die Rhön, (3) die Mainfränkischen Platten und (4) das Fränkische Keuper-Lias-Land. Der überwiegende Anteil der Landesoberfläche Unterfrankens wird von triassischen Sedimentgesteinen bedeckt (Rutte 1981, Rutte & Wilczewski 1983). Der allgemeine Schichtverlauf zeigt ein leichtes Einfallen nach Südosten. Bedingt durch die unterschiedliche Verwitterungsanfälligkeit der oberflächennahen Gesteine bildete sich durch Erosion und Abtragung die markante Geländemorphologie des fränkischen Schichtstufenlands (LfU 2013; Abb. 4).

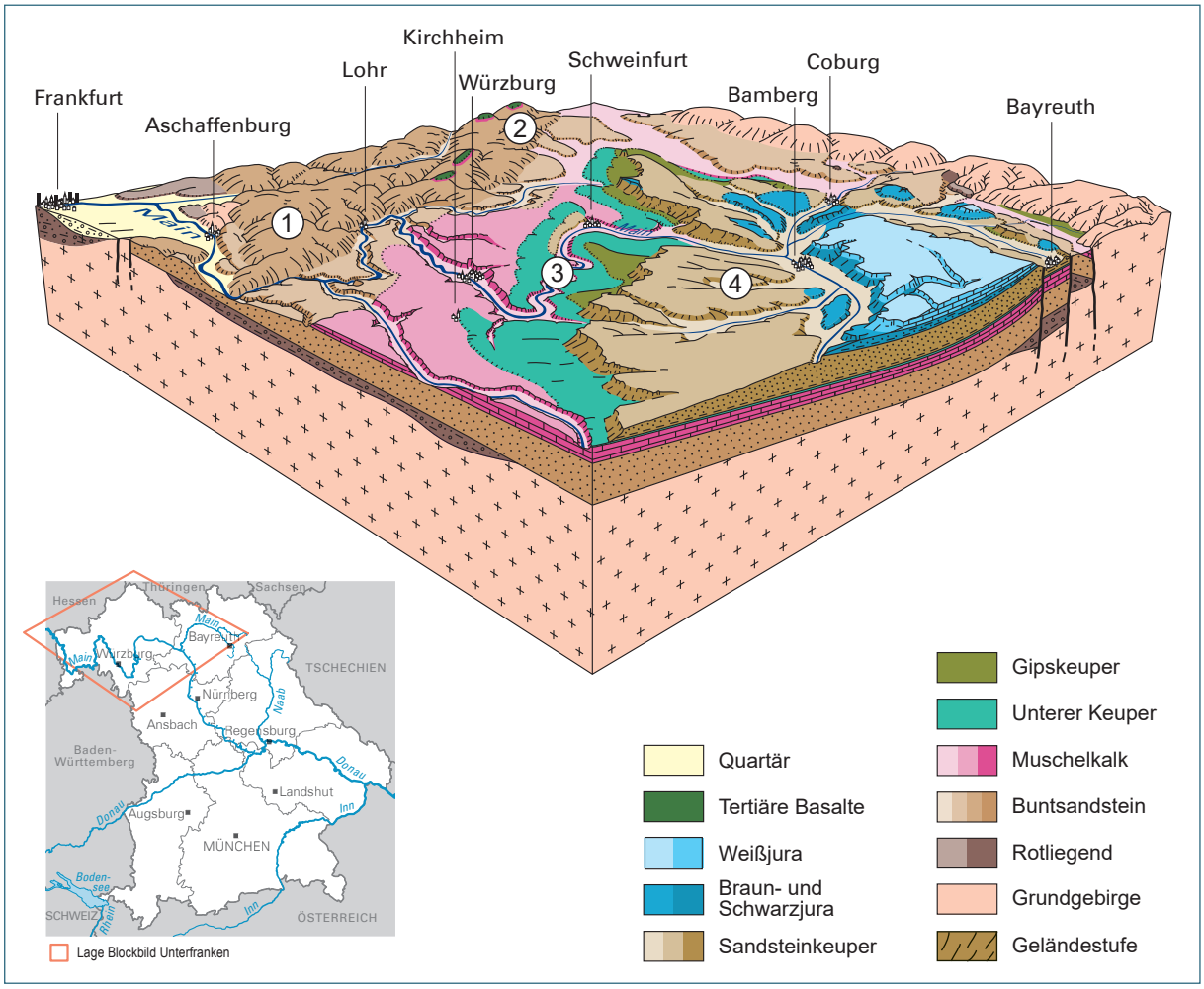

Abb. 4: Illustration des Fränkischen Schichtstufenlands als geologisches Blockbild (modifiziert nach GLA 1993, aus LfU 2019).

Den flächenmäßig größten Anteil an Unterfranken besitzen die Mainfränkischen Platten. Die Region um Kirchheim befindet sich an der Grenze zwischen den Neckar- und Taubergäuplatten und den Mainfränkischen Platten. In diesem an der nordwestlichen Grenze zwischen Bayern und Baden-Württemberg gelegenen Gebiet, wird die Oberflächengeologie von quartären und triassischen Einheiten dominiert (LfU 2010; Abb. 5). Vor allem in Flusstälern ist der Obere Muschelkalk angeschnitten; dies führt dazu, dass hier der Quaderkalk ausstreicht. Besonders in diesen Bereichen können

auch Karsterscheinungen beobachtet werden. Durch die fehlende, schützende Überdeckung ist das kalkige Gestein hier durch Oberflächenwässer angegriffen und zum Teil aufgelöst worden, sodass sich typische Karstformen bilden konnten.

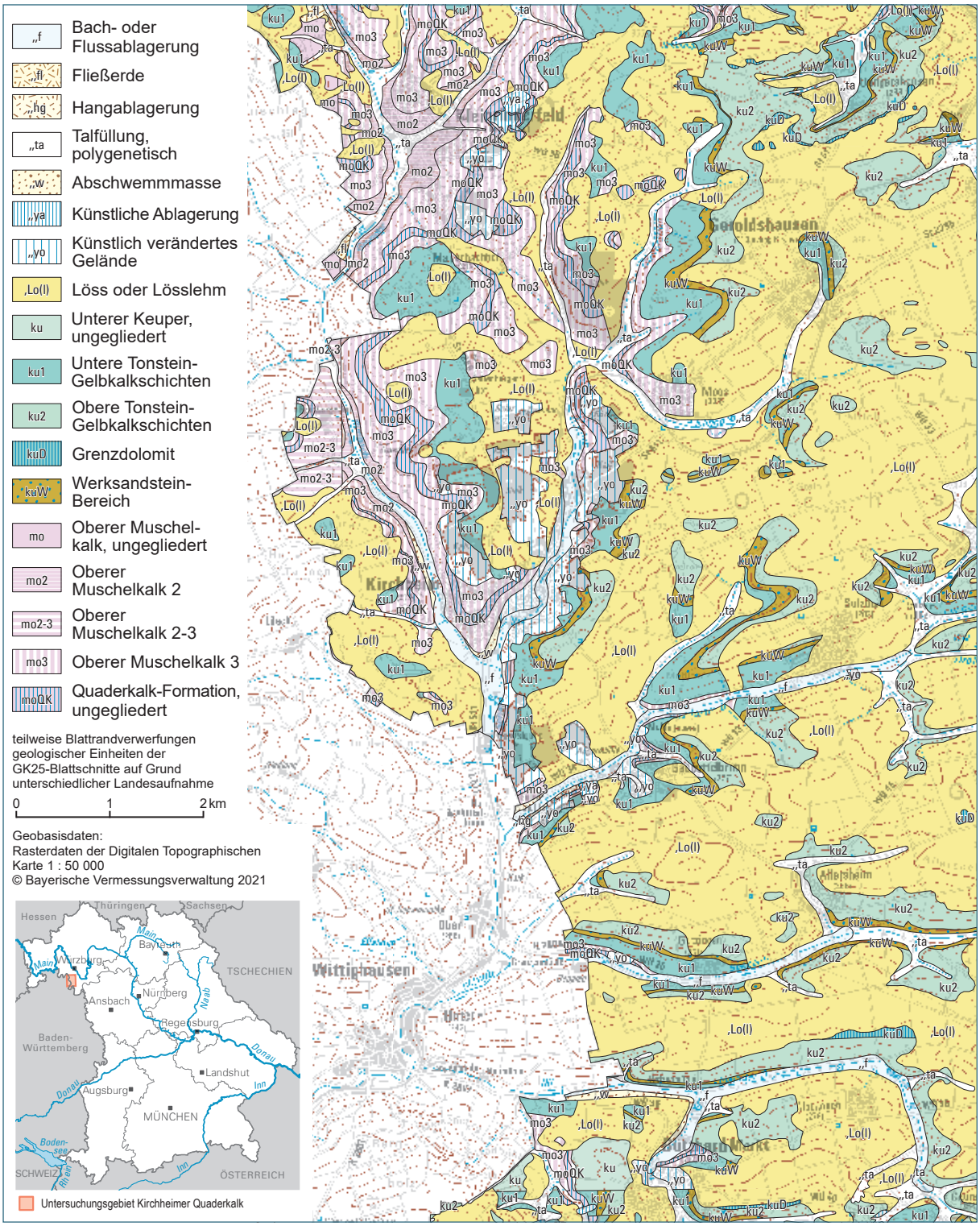

Abb. 5: Geologische Karte (auf Grundlage der dGK 25) des Erkundungsgebiets (GLA 1967, GLA 1996, LfU 2010)

3 Durchgeführte Arbeiten

Zur erweiterten Erkundung der Quaderkalkvorkommen im Kirchheimer Raum wurden 2019 neun Kernbohrungen auf Basis der bisherigen Erkenntnisse abgeteuft und dabei insgesamt 258,3 m Kernstrecke erbohrt. Für die Lokationen der Bohrungen Ki 17 bis Ki 25 wurden sowohl Punkte in bereits ausgearbeiteten Teilerkundungsgebieten I bis IV als auch in einem aussichtsreichen neuen Teilerkundungsgebiet V ausgewählt (Abb. 6). Die Bohrungen Ki 17, Ki 18 und Ki 19 sind im westlichen Teil des Teilerkundungsgebietes I lokalisiert, Ki 22 im südwestlichen Teil des Teilerkundungsgebietes II, Ki 21 liegt zentral im Teilerkundungsgebiet III, die Bohrung Ki 20 deckt den nordöstlichen Teil des Teilerkundungsgebietes IV ab und die Bohrungen Ki 23, Ki 24 und Ki 25 beschreiben das neue Teilerkundungsgebiet V (Abb. 6). Die Bohrkerne wurden stratigrafisch und petrografisch angesprochen, dokumentiert, rohstoffgeologisch bewertet, klassifiziert (s.u.) und anschließend ins Bodeninformationssystem (BIS) des LfU eingepflegt.

In Analogie zu LfU (2019) wurde dazu der erbohrte Schillkalkstein des Oberen Muschelkalks nach der sog. „Steinbrecher Klassifikation“ in verschiedene Qualitäten eingeteilt (Abb. 3). Um einen Richtwert für die ökonomische Gewinnbarkeit des Quaderkalks in den zu entwickelnden Potenzialgebieten zu erhalten, wurde auf Grundlage der lithologischen Ansprache jeweils das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff berechnet. In Anlehnung an die wirtschaftlichen Erfordernisse der Abbaubetriebe (Stand 2019) wurde für eine positive Bewertung der Grenzwert auf ≤ 5 (z. B. 25 m Abraum bei minimal 5 m Nutzhorizont) festgelegt. Mit Stand 2021 zeichnet sich ab, dass schon höhere Abraum-Mächtigkeiten um die 30 m in Kauf genommen werden. Zusätzlich wurden die Nutzhorizonte nach weiteren wichtigen Kriterien (optisch-petrographisch) bewertet, die neben aktuellen „Verbrauchervorlieben“ auch eine gesteinstechnische bzw. verarbeitungstechnische Einstufungsmöglichkeit zulassen (Tab. 3).

Tab. 3: Teufenunabhängige Bewertung der Rohstoffqualität von Quaderkalken ([1] im Rahmen dieser Studie wurden keine gesteinsphysikalischen Untersuchungen durchgeführt).

Nutzbarkeitsstufe	Bewertung des Rohstoffes	Bewertungskriterien der Schillkalk-Gesteinspakete des Oberen Quaderkalks
Werksteinqualität	Gute bis sehr gute Eignung als Ausgangsmaterial für klein- wie auch großformatige Bauelemente in charakteristischer Quaderkalkoptik.	– Kaum bis keine Einschaltungen und Trennflächengefüge (vertikale Klüfte, Stylolithen, Stiche…) – Charakteristische Optik der jeweiligen Sorte (z. B. Blaubank, Goldbank und Kernstein) – Für den technischen Gebrauch geeignete gesteinsphysikalische Werte[1]
GaLa-Stein-Qualität	Mäßige Qualität des Rohstoffs bedingen Verwendbarkeit im GaLa-Bau, in gebrochener Form, oder für kleinformatige Bauelemente vorzugsweise für den Innenausbau	– Zunehmender Einfluss von unerwünschten Einschaltungen und Trennflächengefüge (vertikale Klüfte, Stylolithen, Stiche…) – Charakteristische Optik verschwimmt – Verschlechterung der gesteinsphysikalischen Werte (insbesondere Verwitterungsresistenz oder Druckfestigkeit)[1]
Technisch nicht nutzbare Qualität	nicht verwertbar	– Großer Einfluss von Einschaltungen und Trennflächengefügen bis hin zur Bildung von tonig-mergligen Zwischenlagen und daraus resultierende deutliche Entfestigung und Abnahme der technischen Eigenschaften

Zusätzlich zur Gesteinsqualität der Quaderkalke hat auch die vertikale Lage der Gesteinspakete einen Einfluss auf ihre ökonomische Gewinnbarkeit. Um diesem Sachverhalt gerecht zu werden, wurden die Gesteine sowohl teufenunabhängig (unter der Prämisse der reinen Gesteinsqualität), als auch teufenabhängig bewertet (Gesteinsqualität und Teufenlage werden zusammen bewertet). Dadurch ist es möglich, dass Gesteinspakete trotz einer Werkstein- oder GaLa-Bau-Qualität nach heutigen Maßstäben nicht oder noch nicht wirtschaftlich gewinnbar sind (Abb. 7).

Abb. 6: Einteilung des Erkundungsgebiets in fünf Teilerkundungsgebiete

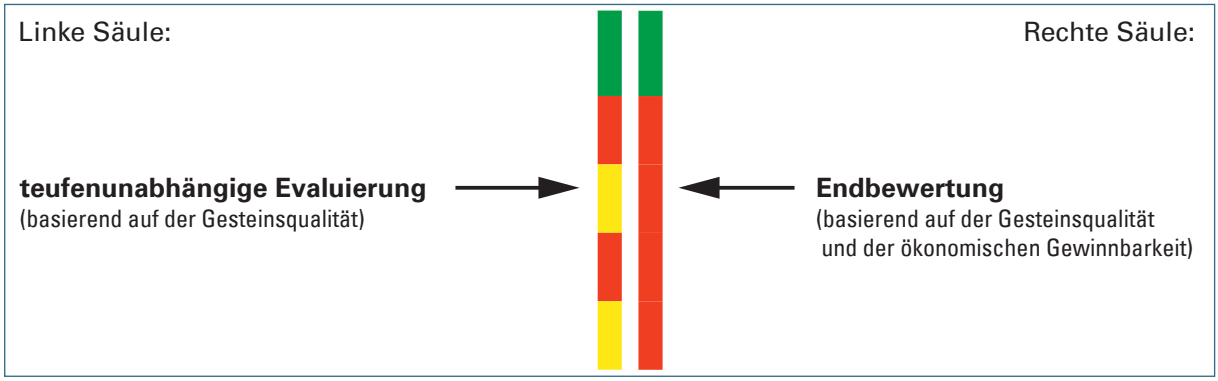

Abb. 7: Durch das zweistufige Evaluierungssystem wird sowohl die reine Gesteinsqualität bewertet (linke Säule) als auch dessen Gewinnbarkeit unter ökonomischen Gesichtspunkten (rechte Säule, Endbewertung; modifiziert nach LfU 2019).

Ein wichtiges Kriterium für eine angemessene ökonomische Bewertung der erbohrten Quaderkalke ist die Häufigkeit und Art der auftretenden Trennflächengefüge. Doch nicht alle dieser das Gesteinsgefüge unterbrechenden Diskontinuitäten sind natürlich. Zum einen bedingt das Bohrverfahren einen immensen Druck auf einer geringen Fläche und zum anderen kann auch die „Portionierung“ des gewonnenen Kerngutes für die Lagerung in Kernkisten zu einer zusätzlichen Fragmentierung führen, die nicht zwingend Ausdruck einer schlechten Gesteinsqualität ist (Abb. 8). Um in einer solchen Situation die erbohrten Schillkalke passend zu bewerten, ist der Kerngewinn vor einer möglichen Fragmentierung dokumentiert worden. In der Folge werden Bereiche, die durch diesen Zusammenhang zusätzlich fragmentiert wurden, als „durch den Gewinnungsvorgang fragmentiert“ benannt und ihre ökonomische Bewertung entsprechend angepasst.

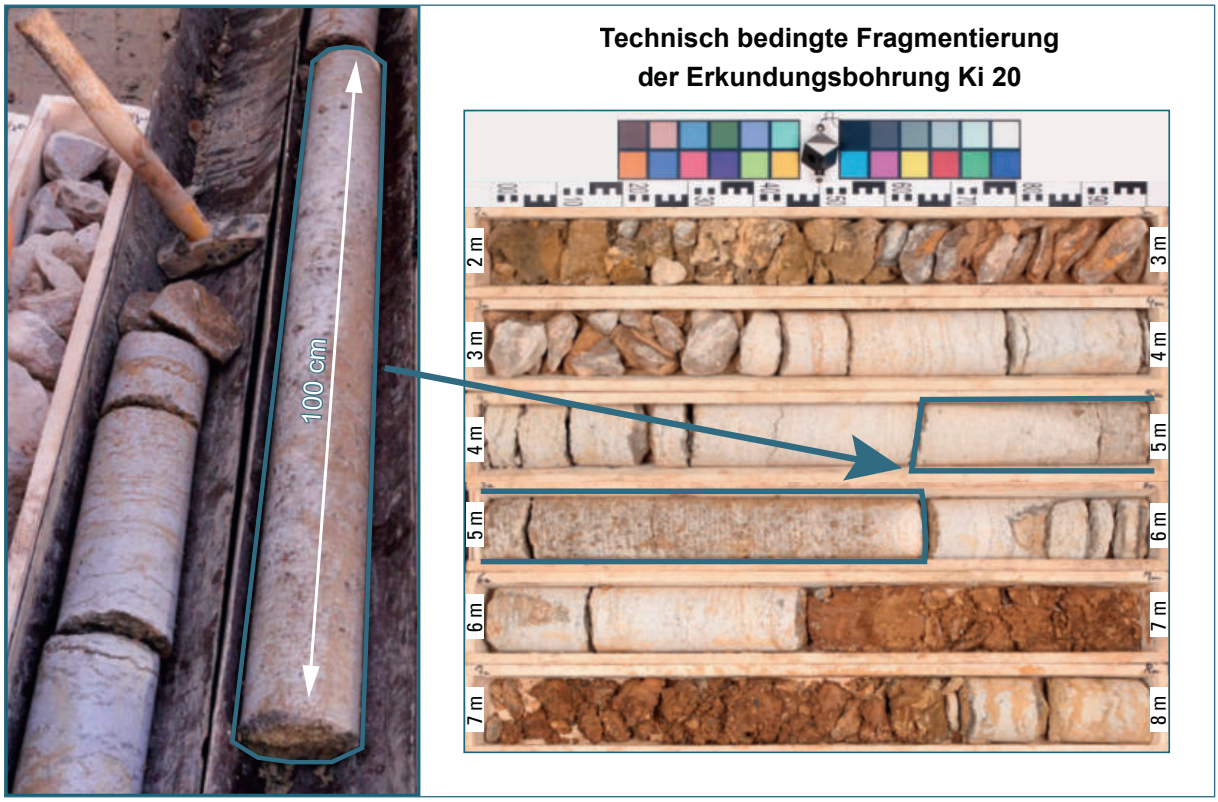

Abb. 8: Beispiel für eine technisch bedingte Fragmentierung der Bohrkerne anhand der Kernbohrung Ki 20

3.1 Gebietserweiterung und Verifizierung des Prognosemodells

Das in LfU (2019) erstellte Prognosemodell für den Oberen Hauptquaderkalk (OHQ) wurde um die Erkundungsbohrungen dieser Studie, Bohrungen Ki 17 bis Ki 25, erweitert. Dazu wurden zur Erweiterung des Datenpools, zusätzlich zur Durchführung der Erkundungsbohrungen, zahlreiche Aufschlüsse und Steinbrüche eingemessen und fotodokumentiert (Tab. 9, Anhang B). In Kombination mit den Ergebnissen der Geologischen Landesaufnahme des LfU (GLA 1967; GLA 1992, LfU 2010) konnte aus diesen Daten ein digitales, dreidimensionales Modell des Oberen Hauptquaderkalks erstellt werden (vergleiche Kapitel 5.2).

Für die digitale Bearbeitung kam die Software „ArcMap“ (ArcGIS) der Firma ESRI zum Einsatz. Nach Festlegung des Untersuchungsgebiets wurde das dimensionierte „Shapefile“ als Ausschneiderahmen für die vorliegenden geologischen Vektordaten von Bayern verwendet. Für den Bereich Baden-Württemberg im Westen des Bearbeitungsgebiets lagen zum Zeitpunkt der Bearbeitung keine digitalen geologischen Daten vor. Deswegen wurde als westliche Begrenzung die Landesgrenze von Bayern herangezogen. Nach dem Ausschneiden wurden die Flächen an Schneidegrenzen auf geometrische Unsauberkeiten kontrolliert. Für die Modellierung mussten nach geologischem Ermessen passende stratigraphische Bereiche erkannt, zusammengefasst und codiert werden (Tab. 4).

Tab. 4: Für die 3D-Modellierung mittels „ArcGIS“ getroffene Vereinfachung der geologischen Abfolge.

Gruppe	Geologische Einheit	Bedeutung
1	„ta; „ f; „fl; „ w; „yo; „ya; „Lo(l); ku1; ku2; kuD; kuW; kmM; mo3 (Grenz-Bonebed bis Ostracodenton)	Abraum
2	mo3Q	Nutzhorizont
3	mo3 (Unterkante mo3Q bis Cycloidesbank); mo2;…	Liegend-Einheiten unter dem Nutzhorizont

Die eingeteilten Polygonflächen wurden mithilfe des Werkzeugs „Polygon in Linie“ in Linien-Features konvertiert. Diese wurden anschließend in Basis-und Top-Linien des OHQ eingeteilt und im nächsten Schritt mit dem Werkzeug „Feature-Stützpunkte in Punkte“ umgewandelt. Im nächsten Schritt wurden die Shape-Dateien der Basis- und Top-Punkte mit dem DGM interpoliert, um eine Z-Klasse zu generieren. Folgend wurde den Punkten automatisiert über den Befehl „Z-Informationen hinzufügen“ die jeweiligen Höhen über NN hinzugefügt. Im Anschluss wurde sowohl für die Basis als auch für die Top-Datenpunkte eine Interpolation mit dem „Natürlicher Nachbar“-Verfahren durchgeführt. Diese Methode sucht nach der nächstgelegenen Teilmenge der Eingabepunkte zu einem Abfragepunkt und weist diesen Daten proportional zur Fläche eine Gewichtung zu (Sibson 1981). Nach der Berechnung der Ober- und Unterkante des Oberen Hauptquaderkalks wurden die Werte des schon abgebauten bzw. überwiegend erosiv abgetragenen Quaderkalks mithilfe des „Map-Algebra-Werkzeugs“ und des „Con“- und „SetNull“-Befehls auf null gesetzt. Zusätzlich wurde nun die Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalks und die Menge des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk durch Subtraktionen im „Map-Algebra-Werkzeug“ berechnet und als Isolinienkarte ausgewertet.

4 Ergebnisse

Die innerhalb dieser Studie abgeteuften Erkundungsbohrungen wurden in Analogie zu LfU (2019) je nach ihrer geografischen Lage und geologischen Situation in fünf Teilerkundungsgebiete unterteilt (Abb. 6).

Anschließend wurden die für die Teilerkundungsgebiete bestehenden Fragen aufgegriffen, weiterführend diskutiert und die ermittelten Bohrergebnisse rohstoffgeologisch charakterisiert. Die Ergebnisse der einzelnen Erkundungsbohrungen wurden für jedes Teilerkundungsgebiet in einer Bohrprofildarstellung visualisiert (Abb. 10, Abb. 15, Abb. 18, Abb. 21, Abb. 24). Für eine bessere Vergleichbarkeit sind die 16 Erkundungsbohrungen aus LfU 2019, Ki 1 bis Ki 16, in den Bohrprofildarstellungen ebenfalls dargestellt.

4.1 Teilerkundungsgebiet I – nordöstlich von Kirchheim

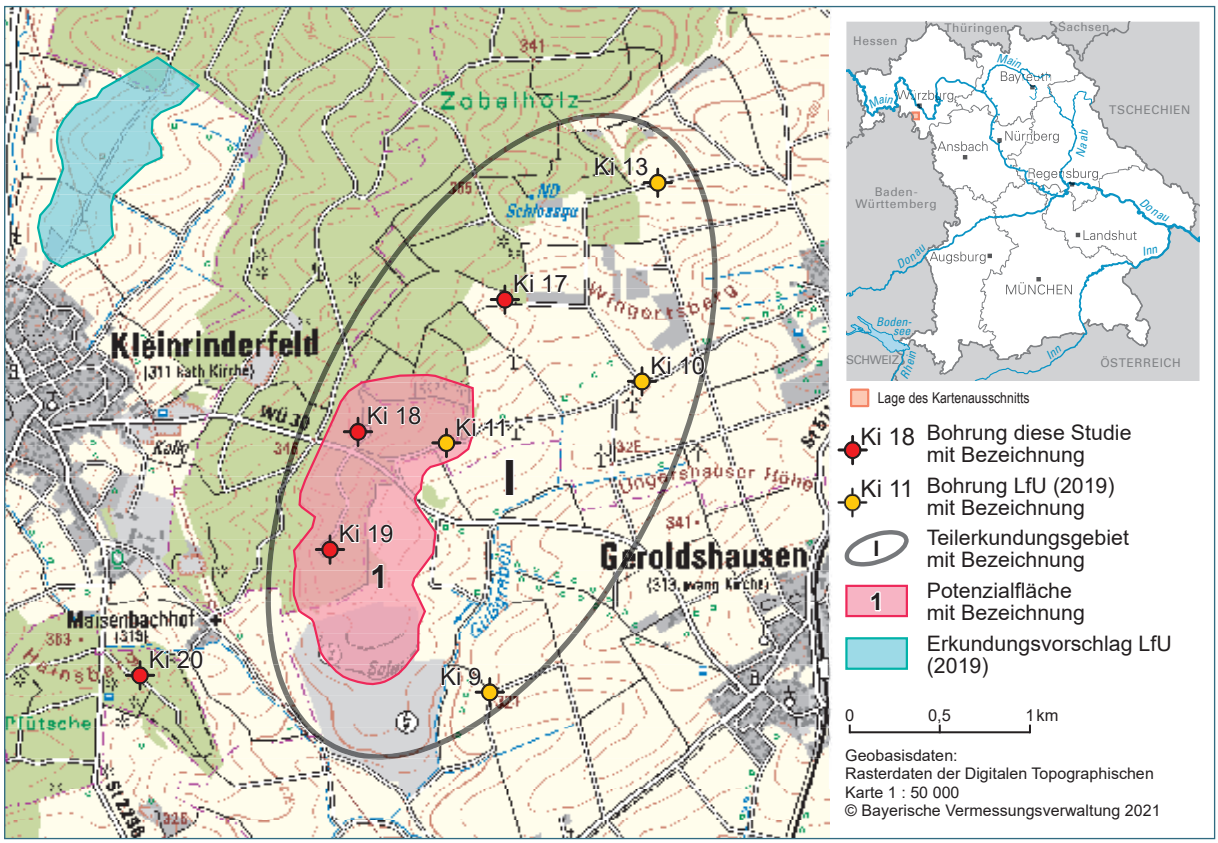

Abb. 9: Teilerkundungsgebiet I mit der aus LfU 2019 ermittelten Potenzialfläche 1, den zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrungen Ki 17 bis Ki 19 sowie des nicht erkundeten Quaderkalkvorkommens nördlich von Kleinrinderfeld

Im Zuge des Erkundungsprogrammes „Kirchheimer Quaderkalk – Naturwerksteins-Potenziale im Oberen Muschelkalk“ wurden vier Kernbohrungen im Teilerkundungsgebiet I niedergebracht, von denen drei Bohrungen aufgrund schlechter petrografischer Eigenschaften, geringer Mächtigkeiten und schlechtem Verhältnis von Abraum zu Rohstoff als nicht fündig einzustufen waren (Siehe Anhang C – Teilerkundungsgebiet I). Lediglich Kernbohrung Ki 11 zeigte eine wirtschaftlich gewinnbare Ausprägung und legte den Schluss nahe, dass die Plateaulage des Abtsrain und des Achthuber Waldes eine bis zu 111 Hek-

tar große Potenzialfläche für eine zukünftige planerische Berücksichtigung und spätere Gewinnung von Quaderkalk darstellen könnte. Um dieses Potenzial zu präzisieren, wurden drei weitere Kernbohrung in und um die Potenzialfläche 1 abgeteuft und werden folgend detailliert beschrieben (Abb. 9 und Abb. 10).

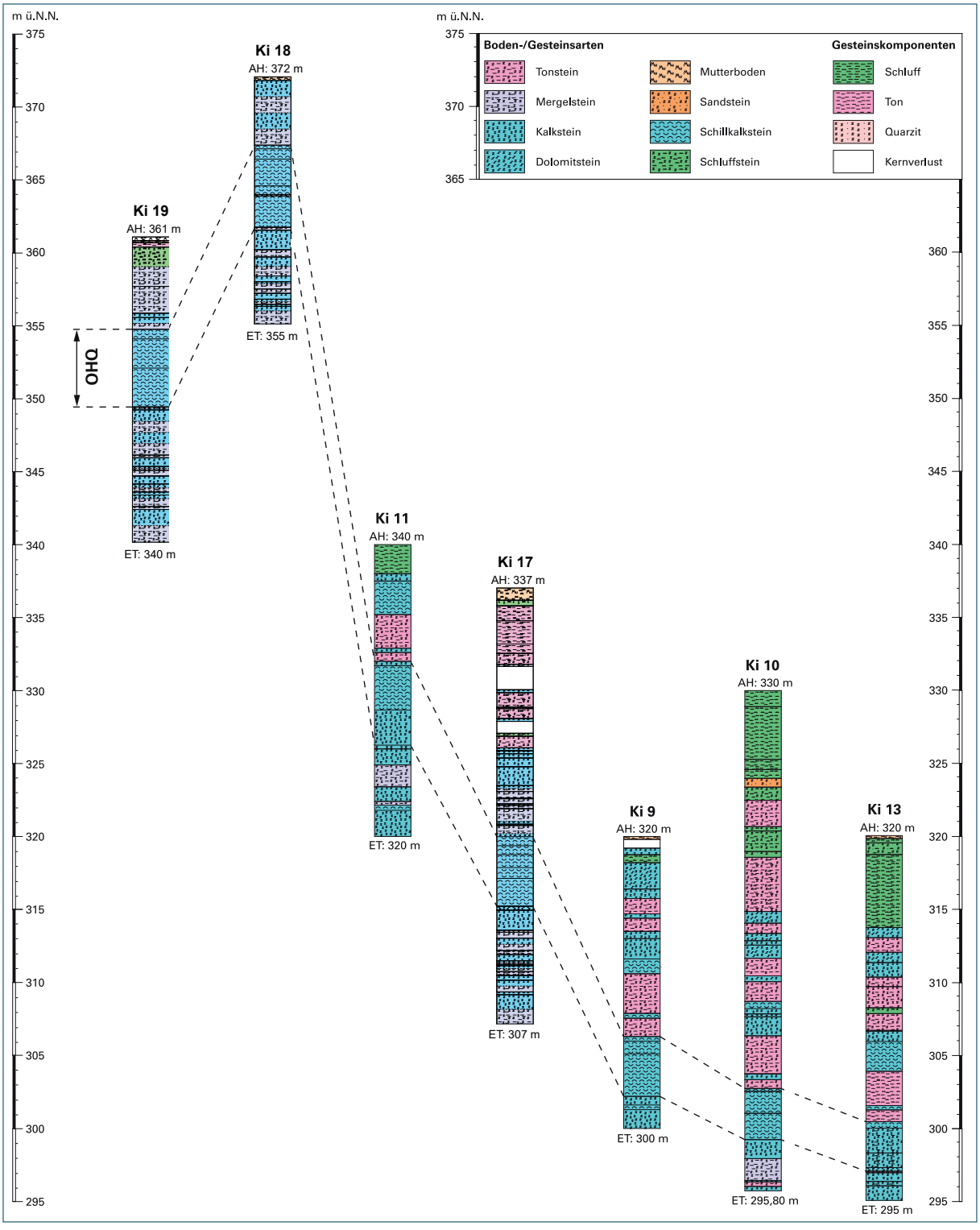

Abb. 10: Bohrprofildarstellung der sieben Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet I, nordöstlich von Kirchheim

Das in LfU 2019 benannte mögliche Erkundungsgebiet nördlich von Kleinrinderfeld (Abb. 9) wurde im Zuge dieser Studie nicht erkundet. Ursächlich für diese Entscheidung war die unmittelbare Lage des Quaderkalkvorkommens im und um das Trinkwasserschutzgebiet Kleinrinderfeld und die damit verbundene geringe Wahrscheinlichkeit einer späteren Gewinnung.

Ki 17

Die Erkundungsbohrung Ki 17, gelegen im nordwestlichen Teil des Erkundungsgebietes I, wurde mit einer Endteufe von 30 m niedergebracht. Die erbohrte Stratigraphie besteht aus 1,2 m Quartär, 9,8 Keuper und 19,0 m Oberer Muschelkalk 3 (Abb. 11).

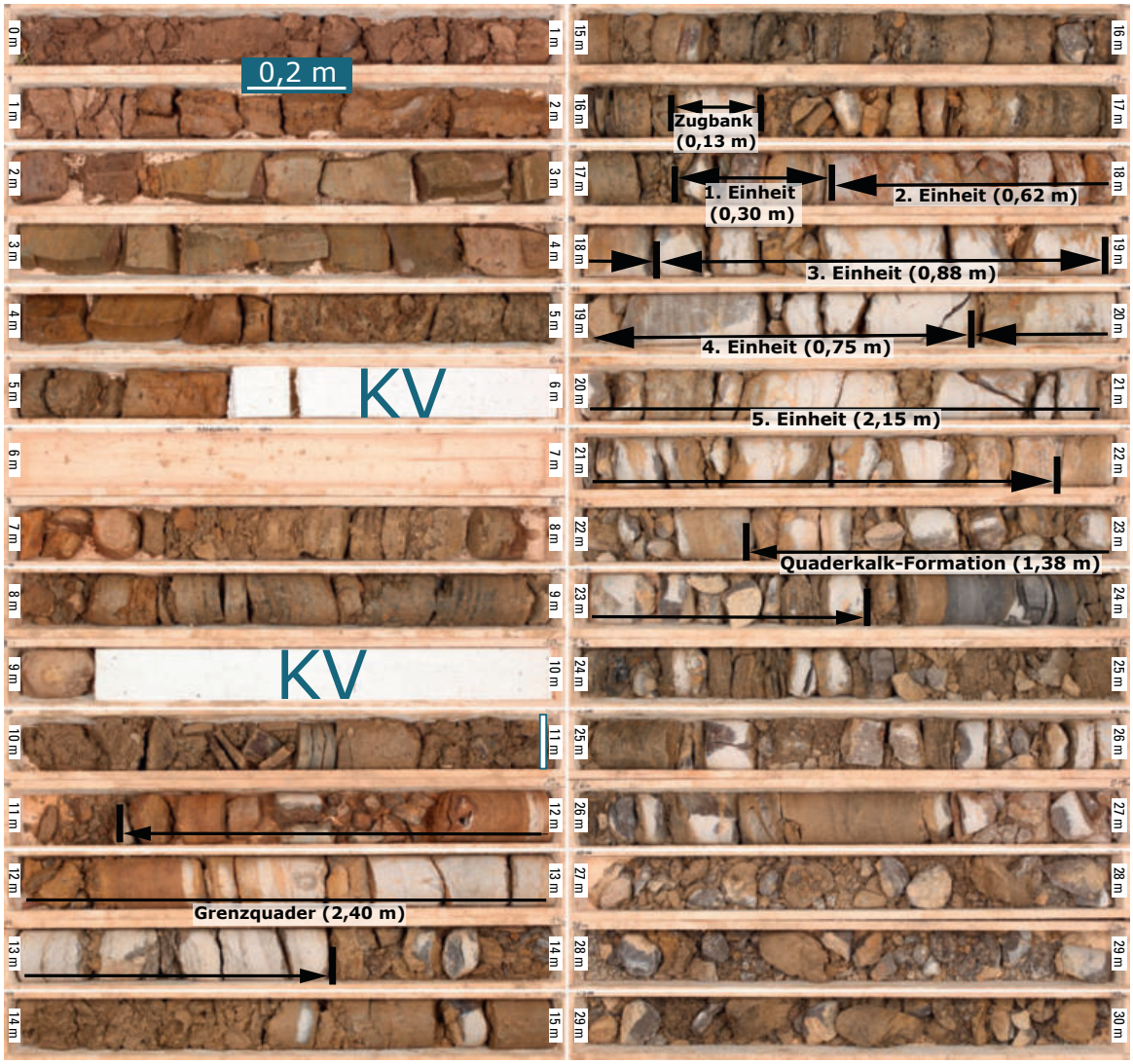

Abb. 11: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 17 (E 32 563.520:N 5.506.127). Die erbohrte Abfolge umfasst 1,2 m Quartär, 9,8 m Horizonte des Keupers und 19,0 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 17,20 m und 21,90 m.

Es wurden vier Schillkalk führende Bereiche durchörtert: der Grenzquader (11,20 m–13,60 m), welcher der Blaubank ähnlich ist und zahlreiche Mergelfugen aufweist, die Zugbank (16,17 m–16,34 m), ein Blaubank ähnlicher, dichter Schillkalkstein, der Obere Hauptquaderkalk (17,20 m–21,90 m) und ein weiterer Schillkalk-führender Horizont (22,17 m–23,55 m), der als dichter Schillkalkstein

ausgeprägt ist und intensiv durch zahlreiche Mergelfugen kleinteilig fragmentiert vorliegt. Die potenziell rohstofflich nutzbaren Bereiche liegen zwischen 17,20 m und 21,90 m Teufe und werden wie folgt in fünf Einheiten unterteilt (Abb. 11):

(1) Oberbank, schalig ausgebildeter, dichter Schillkalkstein mit gelben tonig-mergligen Zwischenmitteln (0,30 m),

(2) Rotbank, z. T. durch den Gewinnungsprozess fragmentiert (0,62 m),

(3) Gelbflaserkalk mit Tonfugen (0,88 m),

(4) Blaubank, Schillkalkanteil abnehmend (0,75 m),

(5) Gelbflaserkalk mit zahlreichen Tonfugen (2,15 m).

Technisch nutzbare Gesteinshorizonte liegen mit einer Gesamtmächtigkeit von 1,4 m in Einheit 2 und 4 vor. Daraus ergibt sich ein Verhältnis von Abraum zu Rohstoff von 12,6.

Ki 18

Die Erkundungsbohrung Ki 18, gelegen im westlichen Teil des Erkundungsgebietes I wurde mit einer Endteufe von 17,0 m niedergebracht. Die erbohrte Abfolge umfasst 0,3 m Quartär und 16,7 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 12).

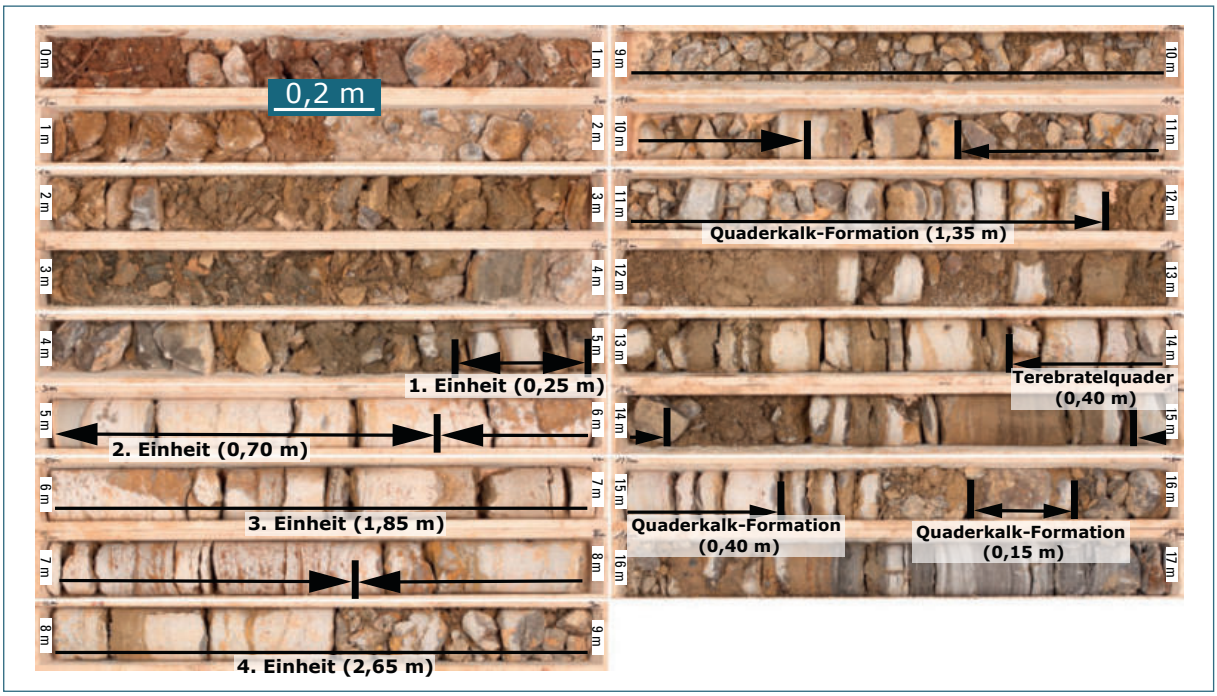

Abb. 12: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 18 (E 32 562.651:N 5.505.392). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,3 m Quartär und 16,7 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 4,70 m und 10,35 m.

Dabei wurden fünf Schillkalk führende Einheiten erbohrt: der Obere Hauptquaderkalk zwischen 4,70 m und 10,35 m und 4 weitere Schillkalkschübe die als dichte, Blaubankähnliche Schillkalksteine ausgebildet sind, jedoch aufgrund zahlreicher Mergelfugen und Einschaltungen keinerlei Verwendbarkeit aufweisen. Der Obere Hauptquader gliedert sich in vier Einheiten auf (Abb. 12):

(1) Oberbank, schalig ausgebildeter, dichter Schillkalkstein (0,25 m),

(2) Blaubank ähnliches Material mit Stylolithen bei 5,05 m; 5,32 m und 5,40 m, ab 5,45 m treten gelbe-tonig mergelige Einschaltungen auf (0,70 m),

(3) Rotbank mit zahlreichen Stylolithen und einer Mergelfuge bei 6,55 m (1,85 m),

(4) Gelbflaserkalk, ab 8,53 m stark fragmentiert vorliegend (2,65 m).

Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff beträgt 7,8 (0,6 m technisch nutzbares Gestein aus Einheit 3).

Ki 19

Die Erkundungsbohrung Ki 19, gelegen im südwestlichen Teil des Erkundungsgebietes I wurde mit einer Endteufe von 21,0 m niedergebracht. Die erbohrte Abfolge umfasst 0,7 m Quartär und 20,3 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 13).

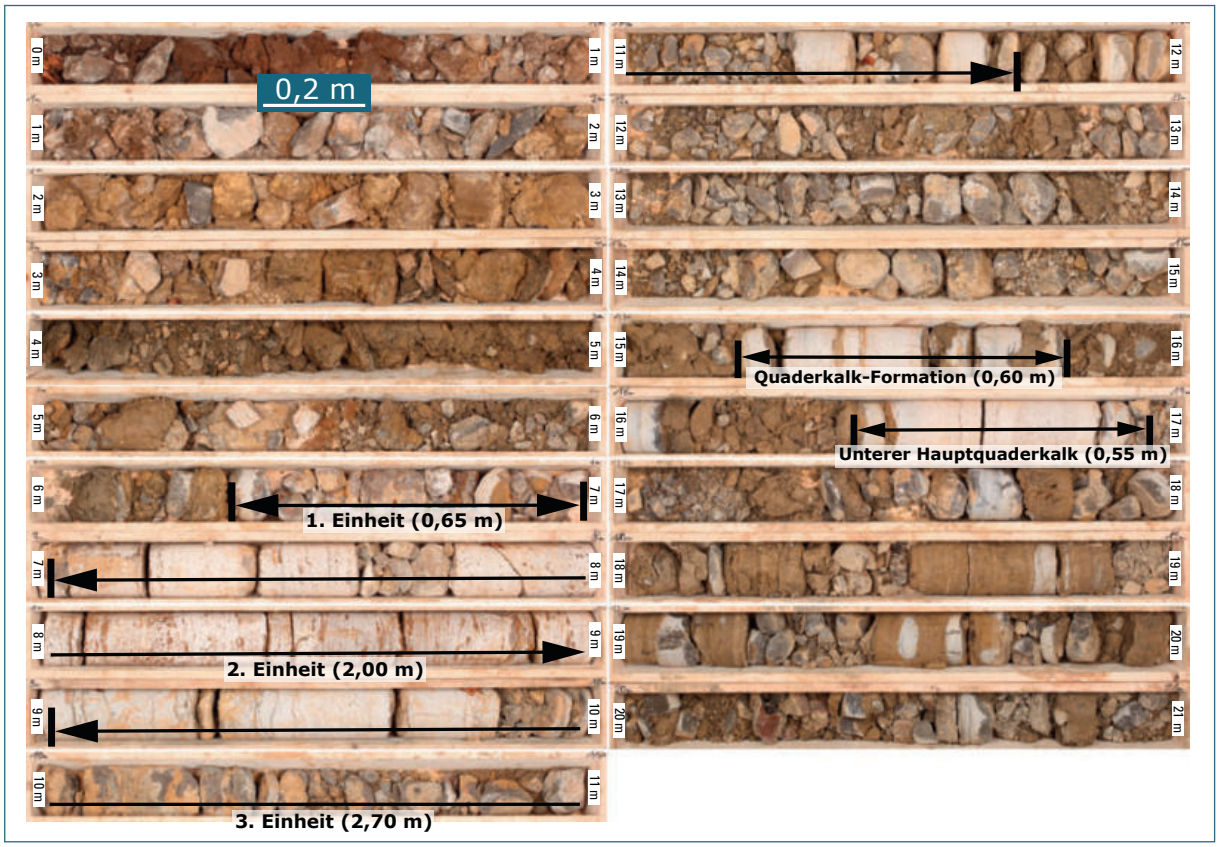

Abb. 13: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 19 (E 32 562.457:N 5.504.737). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,7 m Quartär und 20,3 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 6,35 m und 11,70 m.

Dabei wurde drei Schillkalkführende Einheiten durchörtert: der OHQ zwischen 6,3 m und 11,7 m, eine Blaubank-ähnliche Quaderkalk-Formation zwischen 15,2 und 15,8 m, die bedingt durch zahlreiche tonig-merglige Einschaltung keine Verwendbarkeit aufweist und der ähnlich ausgeprägte Untere Hauptquaderkalk (16,45–17,0 m). Die rohstofflich potenziell nutzbaren Bereiche liegen zwischen circa 6,35 m und circa 11,7 m Teufe und werden wie folgt (Abb. 13) in drei Einheiten unterteilt:

(1) Oberbank, z. T. schalig ausgeprägte Rotbank (0,65 m),

(2) Rotbank, ab 8,00 m nimmt die Anzahl der Trennflächengefüge zu (2,00 m),

(3) Gelbflaserkalk (2,70 m).

Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff beträgt 3,2 (2,0 m technisch nutzbares Gestein der Einheit 2).

4.2 Teilerkundungsgebiet II – östlich von Kirchheim

Östlich des Kirchheimer Dorfkerns konnte in circa 800 m Entfernung eine Potenzialfläche ausgewiesen werden, die zukünftig dazu beitragen könnte, die Versorgung mit hochwertigem Quaderkalk zu gewährleisten (Abb. 14, LfU 2019). Als charakteristische Besonderheit in diesem Gebiet konnte in Erkundungsbohrung Ki 5 sowohl die bisher mächtigste als auch qualitativ hochwertigste Abfolge des Oberen Hauptquaderkalks durchörtert werden (Abb. 15). Im Vergleich zu den in der Umgebung befindlichen Steinbrüchen ragt diese Qualität heraus und leitet somit zur Frage über, ob die hohe Güte des Oberen Hauptquaderkalks über eine größere Distanz verfolgbar ist oder nur einen punktuellen „Glückstreffer“ darstellt. Um diese Frage beantworten zu können, wurde Erkundungsbohrung Ki 22 abgeteuft und wird folgend beschrieben.

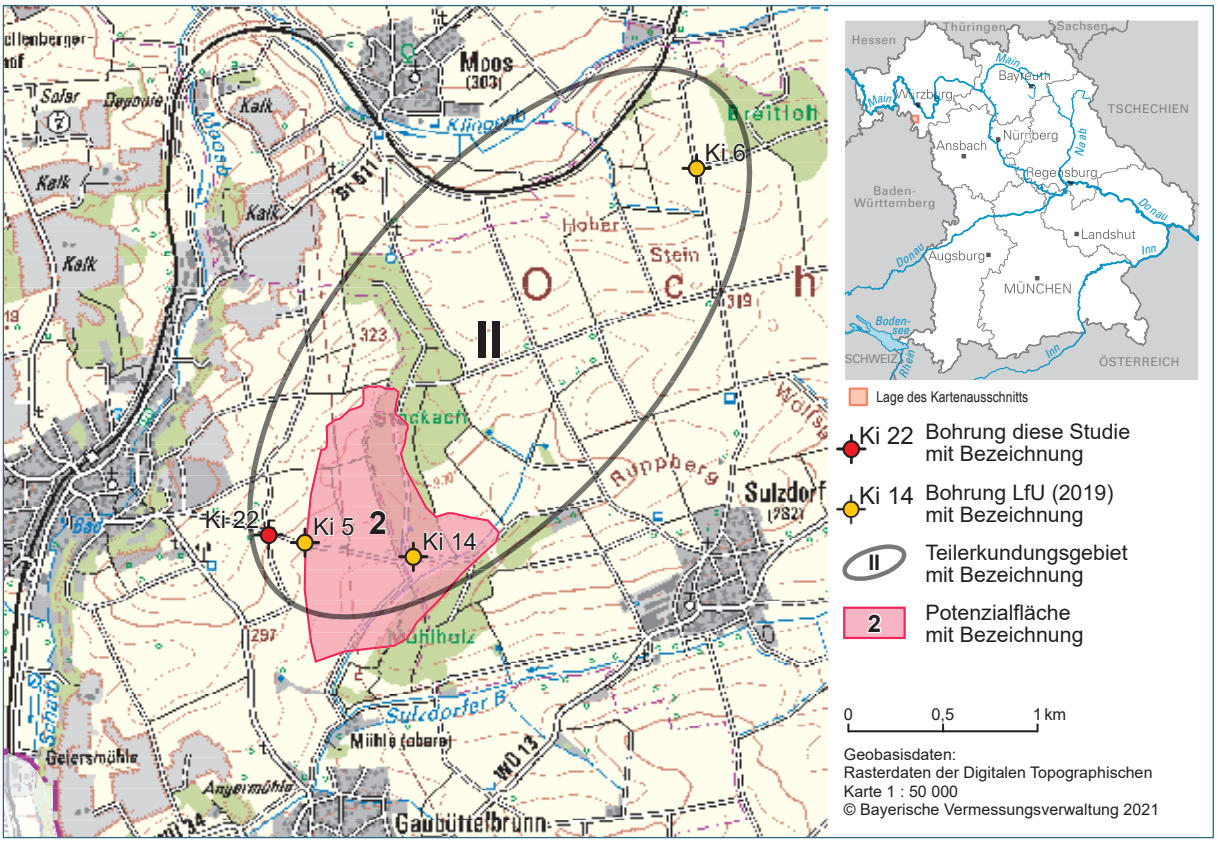

Abb. 14: Teilerkundungsgebiet II mit der aus LfU 2019 ermittelten Potenzialfläche 2 sowie der zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrung Ki 22

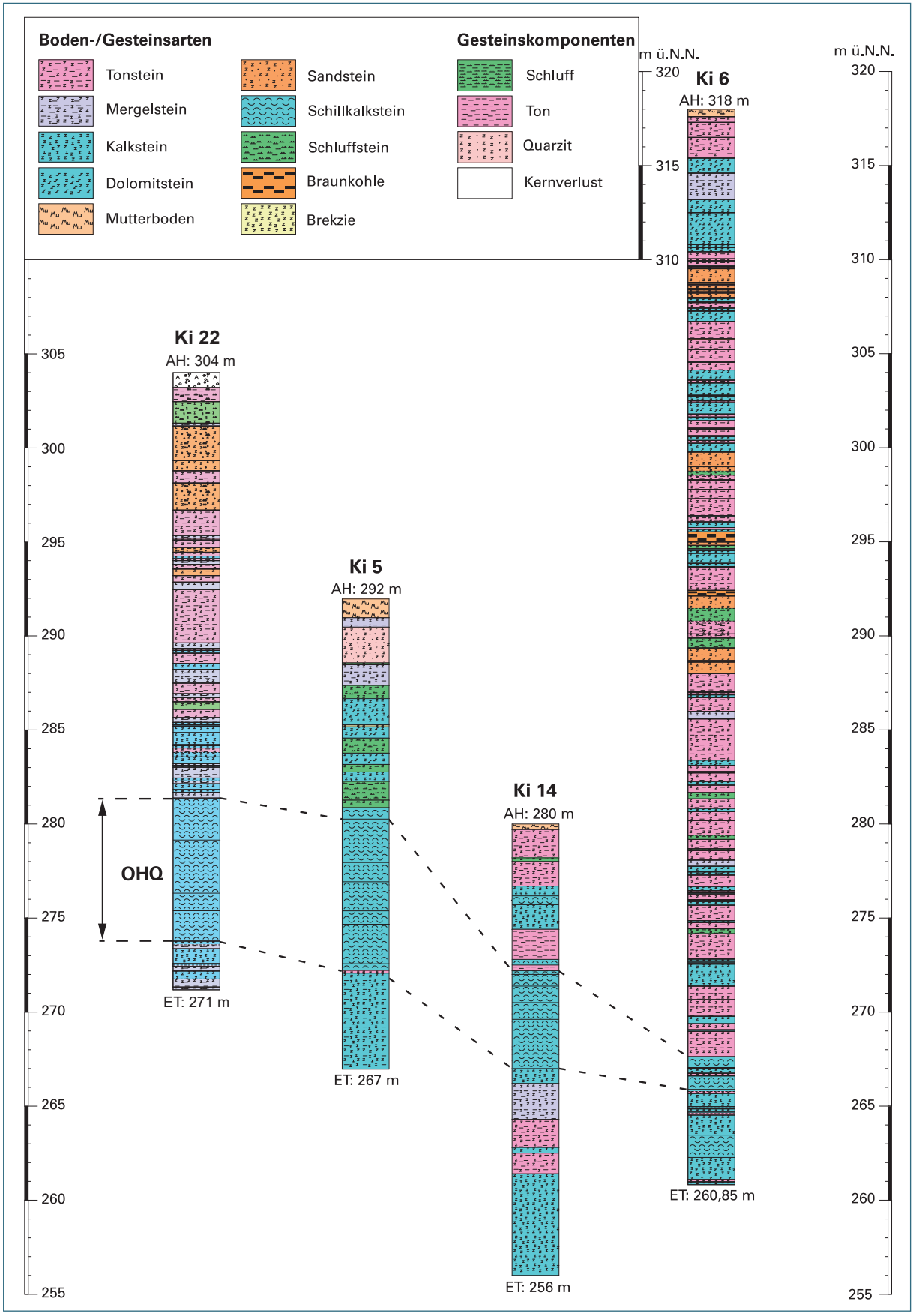

Abb. 15: Bohrprofildarstellung der vier Erkundungsbohrungen des Teilerkundungsgebietes II östlich von Kirchheim

Ki 22

Die Erkundungsbohrung Ki 22, gelegen im südwestlichen Teil des Erkundungsgebietes II wurde mit einer Endteufe von 33,0 m niedergebracht. Die erbohrte Abfolge umfasst 2,7 m Quartär, 16,1 m Keuper und 14,2 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 16).

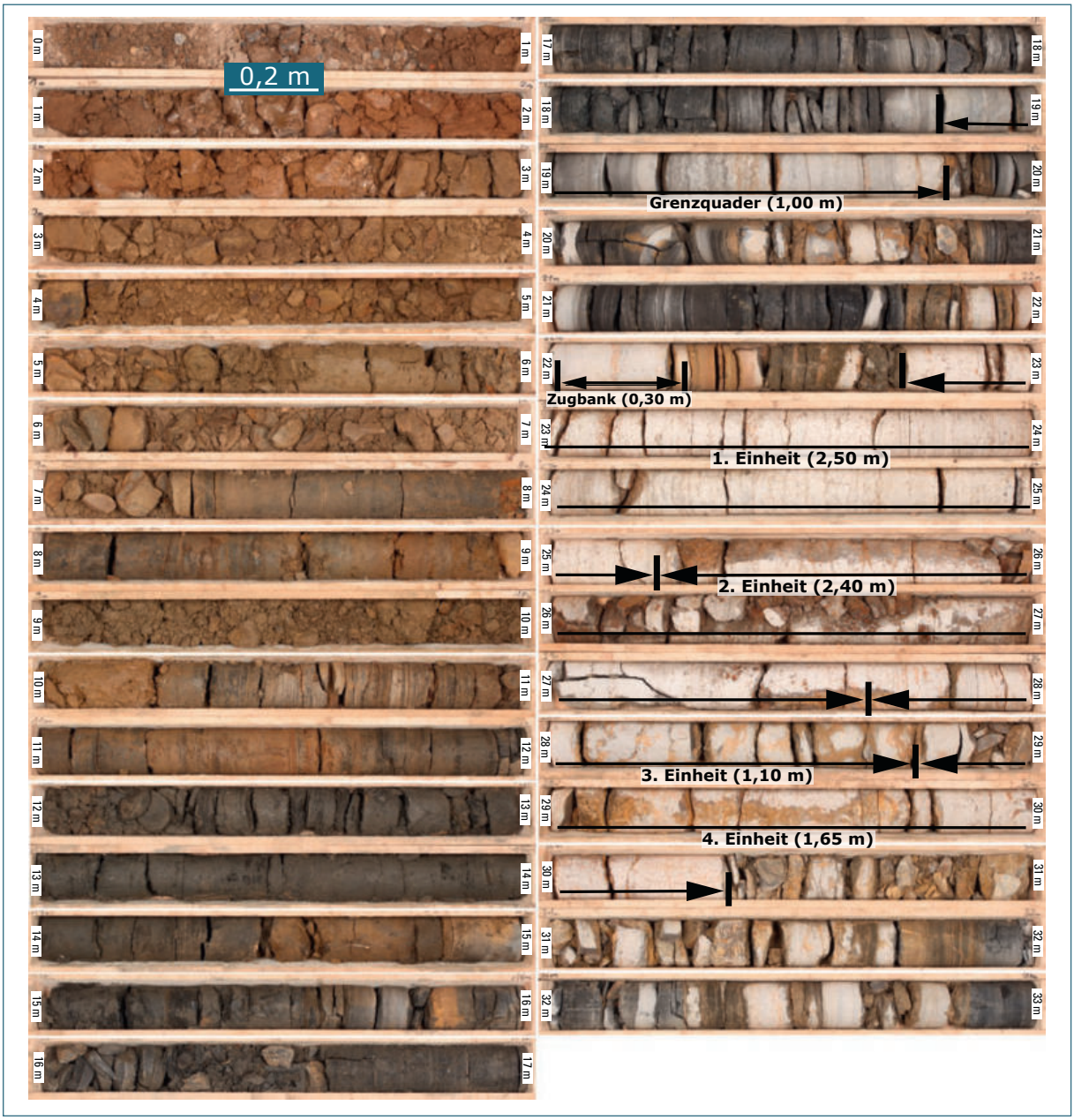

Abb. 16: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 22 (E 32 562.891:N 5.500.450). Die erbohrte Abfolge umfasst 2,7 m quartäre Einheiten, 16,1 m der Horizonte des Keupers und 14,2 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 22,75 m und 30,40 m.

Dabei wurden drei Schillkalk führende Bereiche durchörtert: der Grenzquader, die Zugbank im Ostracodenton und der Obere Hauptquaderkalk. Der Grenzquader setzt ab einer Teufe von 18,80 m ein und besitzt eine Mächtigkeit von 1,00 m die charakterisiert ist durch einige tonig-merglige Einschaltungen und ein 0,25 m großes mergliges Zwischenmittel. Etwa 1,20 m darunter folgt die Zugbank im Ostracodenton, ein blaubank-ähnlicher dichter Schillkalkstein der etwa 0,30 m Mächtigkeit

erreicht. Ab 22,75 m folgt der Obere Hauptquaderkalk. Seine 7,65 m umfassende Abfolge lässt sich in folgende Einheiten einteilen (Abb. 16):

(1) Kernstein (2,50 m),

(2) Rotbank (2,40 m),

(3) Gelbflaserkalk (1,10 m),

(4) Rotbank, mit vereinzelten tonig-mergeligen Einschaltungen (1,65 m).

Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff beträgt 3,5 (6,5 m technisch nutzbares Gestein in den Einheiten 1, 2 und 4).

4.3 Teilerkundungsgebiet III – westlich von Kirchheim

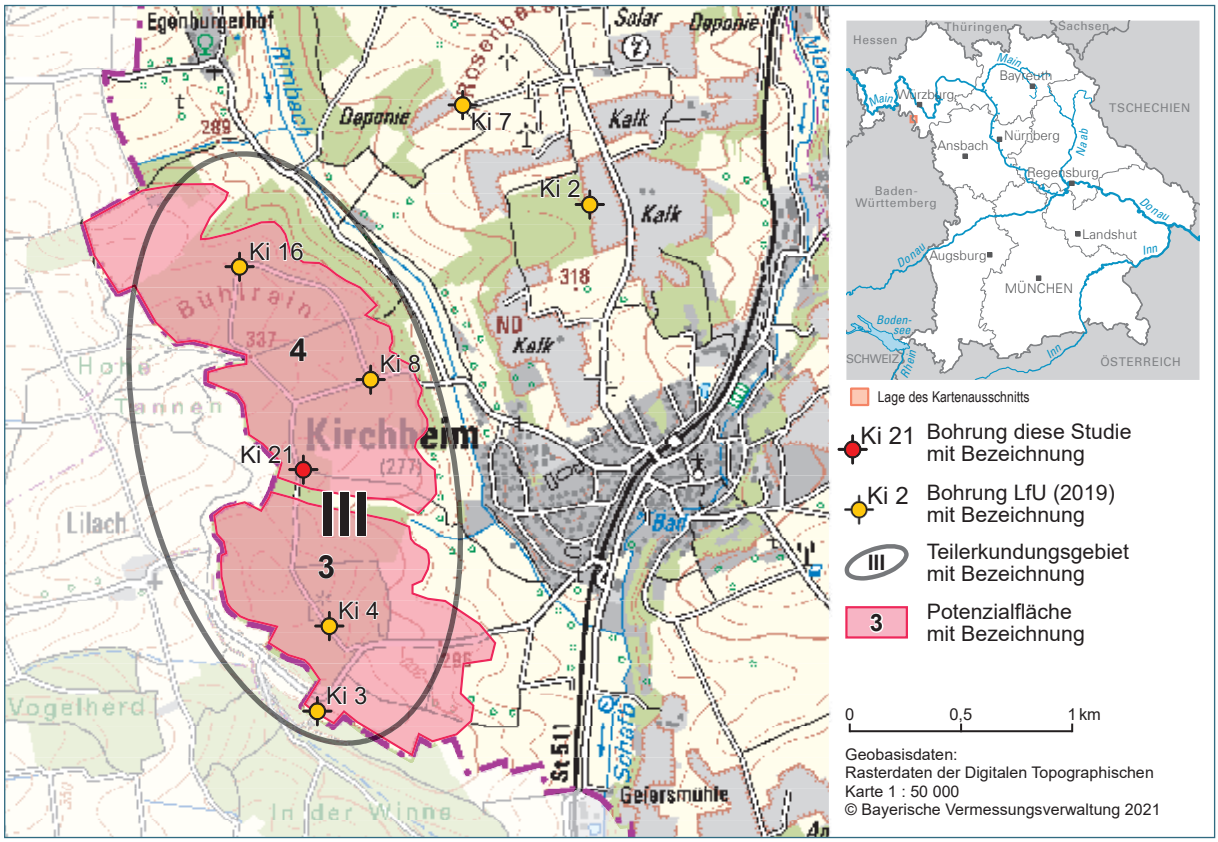

Abb. 17: Teilerkundungsgebiet III mit den aus LfU 2019 ermittelten Potenzialflächen 3 und 4 sowie der zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrung Ki 21

Für die Fläche des Dorfwalds am Bühlrain und Poppsberg konnten zwei zusammen circa 200 Hektar große Potenzialflächen für eine langfristige planerische Sicherung von Quaderkalkgewinnungsstellen ermittelt werden (LfU 2019). Die dieser Erkenntnis zugrundeliegenden Bohrungen beschrieben einen nach Nordnordwest ansteigenden Horizont, der gute petrografische und gesteinsphysikalische Eigenschaften aufwies und mit moderaten Verhältnis von Abraum zu Rohstoff überzeugte. Unklar blieb allerdings die genaue Ausdehnung der ermittelten Potenzialflächen 3 und 4, da sowohl die kartierten Randbereiche der Vorkommen z.T. intensiv verkarstet waren (z. B. Ki 3, Siehe Anhang C – Teilerkundungsgebiet III) als auch zwischen Bühlrain und Poppsberg ein schmaler Streifen mit quartären Füllungen verläuft, der im ehemaligen Einzugsgebiet eines Gewässers liegt. Ob und in welcher Intensi-

tät diese Gegebenheit in einem Zusammenhang mit einer Verkarstung des anstehenden Quaderkalk steht, sollte folgend mit der Bohrung Ki 21 in besagtem Bereich zumindest exemplarisch überprüft werden (Abb. 17 und Abb. 18).

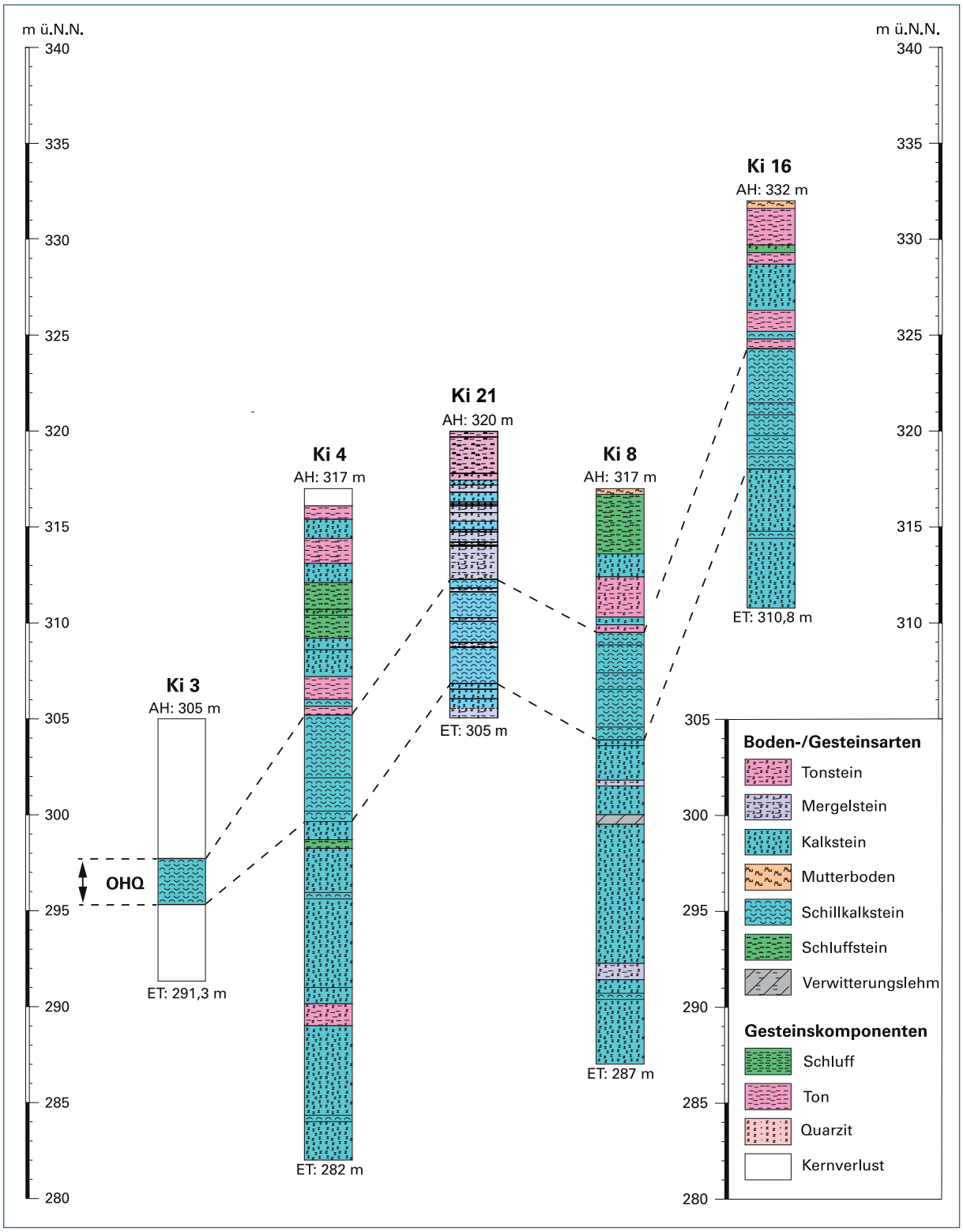

Abb. 18: Bohrprofildarstellung der fünf Erkundungsbohrungen des westlich von Kirchheim gelegenen Teilerkundungsgebietes III

Eine weitere Fragestellung ergab sich bezüglich des Verlaufs des Quaderkalks auf dem Ölberg, nordwestlich des Bühlrains. Für diese, circa 18 Hektar große Fläche, konnte anhand des Ausstriches des Oberen Hauptquaderkalks und den in der Peripherie liegenden Bohr- und Stützpunkten ein überschlagsmäßiger Verlauf skizziert werden, der jedoch möglicherweise noch mit einem relativ großen Fehler behaftet ist. Um hier diese Unsicherheit zu verringern wäre eine Erkundungsbohrung vorteilhaft gewesen. Leider konnte diese Maßnahme aufgrund hydrogeologischer Rahmenbedingungen nicht umgesetzt werden, da ein am Ölberg verlaufender oberflächennaher Grundwasserleiter unmittelbar für die Landwirtschaft genutzt wird. Weil dieser Zusammenhang nicht nur die vorliegende Erkundungstätigkeit einschränkte, sondern auch für eine spätere Gewinnung eine negative Standorteigenschaft wäre, wird in der Folge die circa 18 Hektar große Potenzialfläche des Ölbergs nicht mehr für planerische Empfehlungen berücksichtigt.

Ki 21

Die Erkundungsbohrung Ki 21 wurde im „Kirchheimer Wald“ zwischen dem Bühlrain im Norden und dem Poppsberg im Süden niedergebracht. Es wurde eine Endteufe von 15,00 m erreicht. Die erbohrte Abfolge umfasst 0,3 m Quartär, 3,4 m Horizonte des Keupers und 11,3 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 19).

Abb. 19: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 21 (E 32 560.271:N 5.500.724). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,3 m Quartär, 3,4 m der Horizonte des Keupers und 11,3 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 7,75 m und 13,20 m.

Dabei wurde ein Schillkalk führender Bereich, der OHQ (zwischen 7,75 m und 13,2 m) durchörtert. Wegen starker Verkarstung in den rohstofflich potenziell nutzbaren Bereichen ist eine Bestimmung bzw. eine weitere Eingrenzung und Untergliederung hier nicht weiter möglich (Abb. 19). Auch diese Bohrung zeigt, wie schon Bohrung Ki 3 (Siehe Anhang C), dass insbesondere oberflächennahe Vorkommen des Quaderkalkes stark von Verkarstung mit Nachbrechen und Nachrutschen des überlagernden Materials betroffen seien können.

Da an dieser Stelle offenbar keine Nutzbarkeit vorliegt, unterbleibt die Angabe eines Verhältnis von Abraum zu Rohstoff.

4.4 Teilerkundungsgebiet IV – nördlich von Kirchheim

Nördlich von Kirchheim liegt im Umfeld der traditionellen Gewinnungsstellen mit den Steinbrüchen Kuhacker und Sellenberg das Teilerkundungsgebiet IV (Abb. 20). Als Ergebnis der ersten Rohstofferkundungskampange konnten in diesem Gebiet zwei Potenzialgebiete mit einer Gesamtfläche von circa 63 Hektar für eine mögliche zukünftige planerische Erweiterung im Zuge der Regionalplanung ausgewiesen werden (LfU 2019). Weiter nördlich des Sellenbergs in Richtung Heinzberg, im westlichen Teil des Waldstücks „Pfütsche“ konnte mit Erkundungsbohrung Ki 15 gezeigt werden, dass in diesem Teil die Ausbildung des Oberen Hauptquaderkalks durch zahlreiche Mergelfugen und Zwischenmittel für eine Nutzung ungeeignet ist. Im östlichen Teil des Waldes besteht ein Vorranggebiet für Rohstoffgewinnung. Allerdings wird dieser Bereich bisher noch nicht für die Rohstoffgewinnung genutzt und es ist generell unklar ob der anstehende Quaderkalk den hohen Anforderungen einer Werk- oder GaLa-Steinnutzung entspricht. Diese Fragen soll Erkundungsbohrung Ki 20 beantworten; sie wird folgend detailliert rohstoffgeologisch charakterisiert (Abb. 21 und Abb. 22).

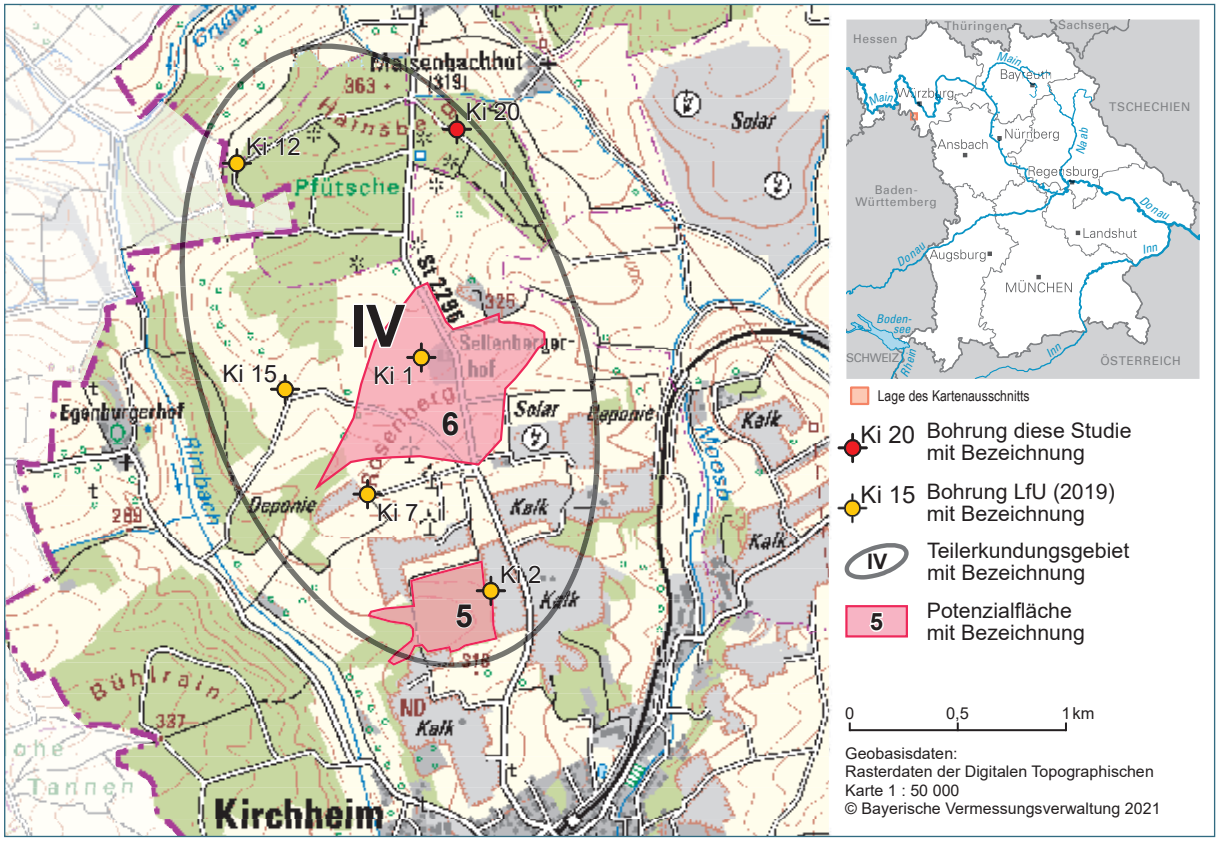

Abb. 20: Teilerkundungsgebiet IV mit den aus LfU 2019 ermittelten Potenzialflächen 5 und 6 sowie der zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrung Ki 20

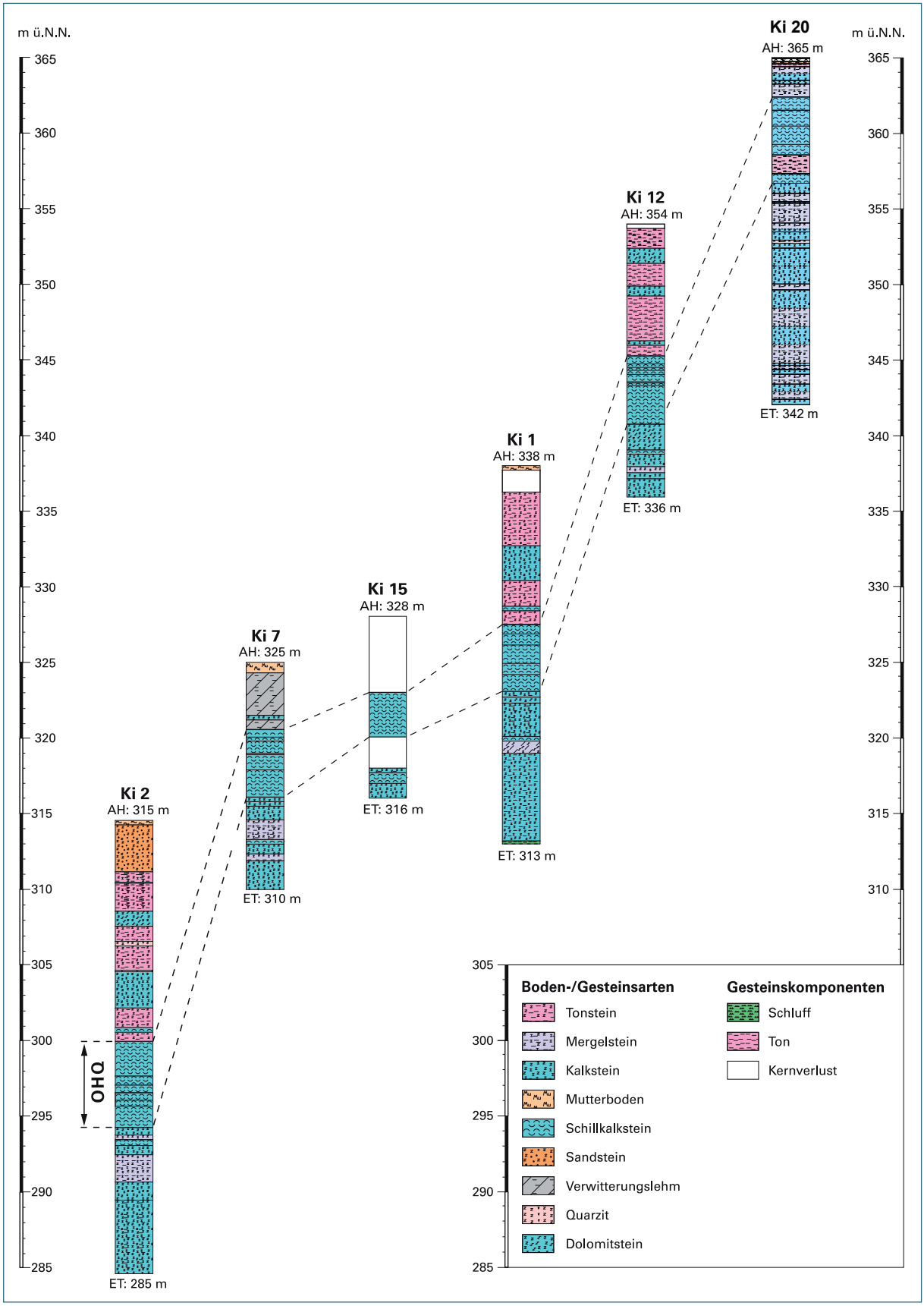

Abb. 21: Bohrprofildarstellung der sechs Erkundungsbohrungen des Teilerkundungsgebietes IV nördlich von Kirchheim

Ki 20

Die Erkundungsbohrung Ki 20, gelegen wenig südwestlich des Maisenbachhofes am nordöstlichen Rand des Erkundungsgebietes IV wurde mit einer Endteufe von 23,0 m niedergebracht. Die erbohrte Abfolge umfasst 0,6 m Quartär und 22,4 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 22).

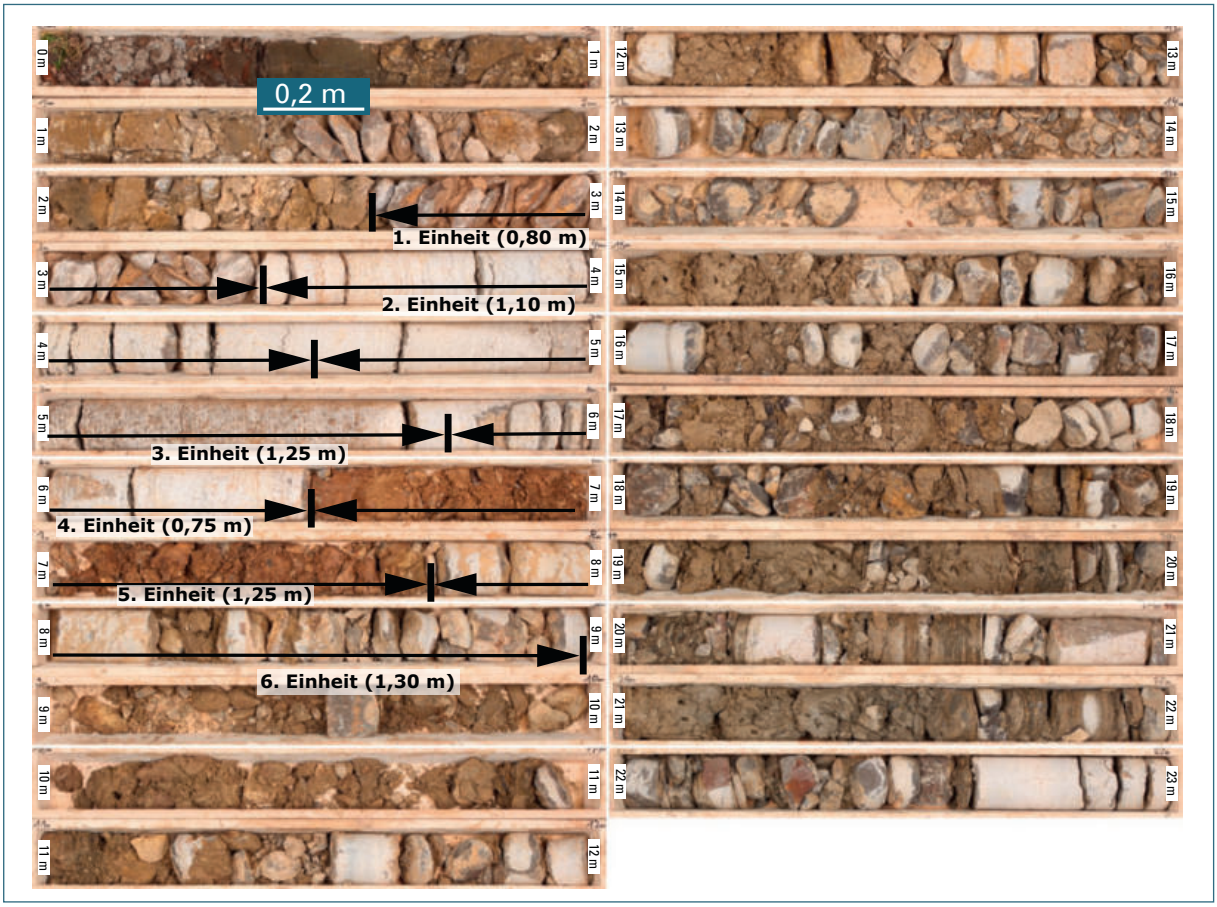

Abb. 22: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 20 (E 32 561.498:N 5.503.987). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,6 m Quartär und 22,4 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 2,60 m und 9,00 m.

Dabei wurde der OHQ in einer Teufe zwischen 2,60 und 9,00 m durchörtert. Er gliedert sich in folgende Einheiten auf (Abb. 22):

(1) stark fragmentierter Blaubank ähnlicher, dichter Schillkalkstein mit gelben tonigen Einschaltungen und Stylolithen (0,8 m),

(2) Blaubank ähnlicher, dichter Schillkalkstein mit gelben tonigen (vor allem zwischen 3,4 m und 3,8 m) und bituminösen Einschaltungen (vor allem zwischen 3,8 und 4,5 m) und Stylolithen (1,1 m),

(3) Kernstein (1,25 m),

(4) Blaubank ähnlicher, dichter Schillkalkstein mit gelben tonigen Einschaltungen (0,7 m),

(5) Karstschlotte mit Lehmfüllung (1,25 m),

(6) Gelbflaserkalk (1,30 m).

Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff beträgt 0,8 (3,1 m technisch nutzbares Gestein in Einheit 2-4).

4.5 Teilerkundungsgebiet V – zwischen Gützingen und Bütthard

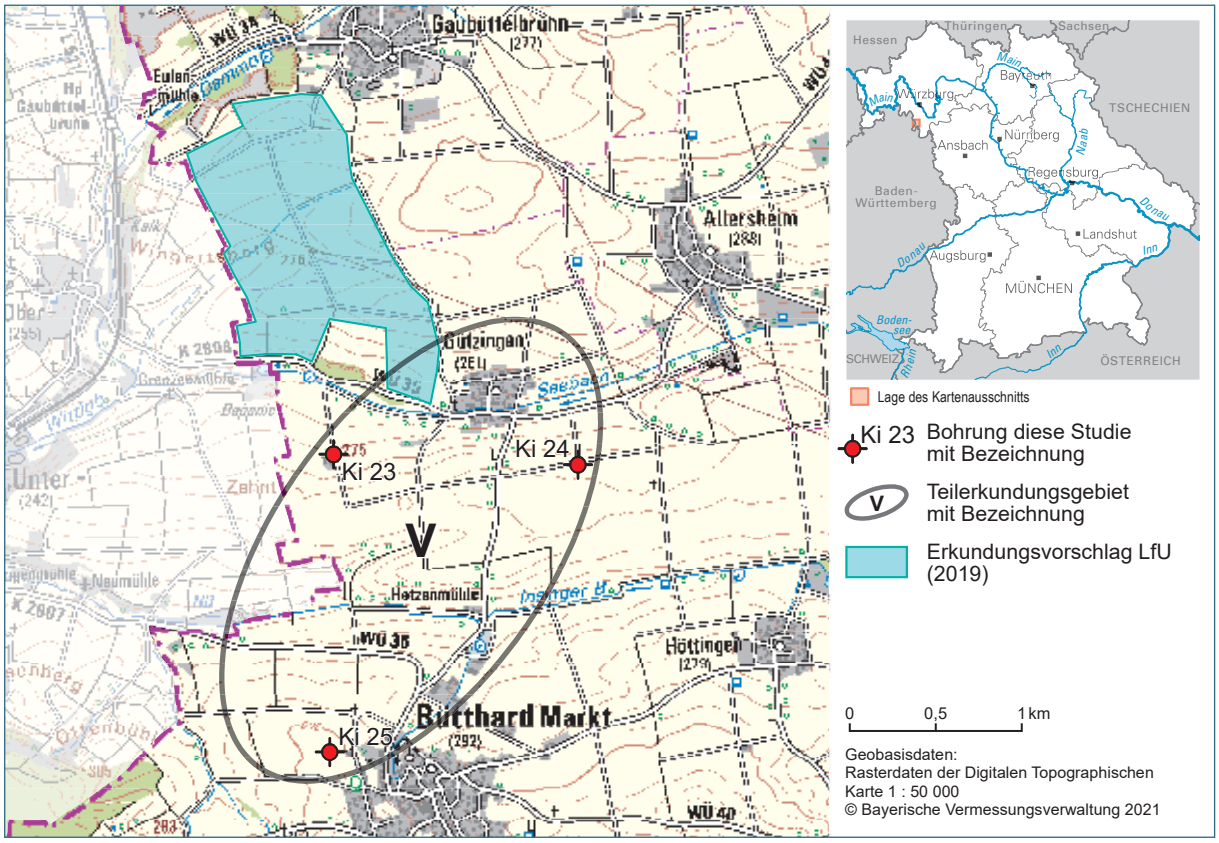

Abb. 23: Teilerkundungsgebiet V mit dem Erkundungsvorschlag aus LfU (2019) sowie den abgeteuften Bohrungen Ki 23, 24 und 25

Einhergehend mit einer deutlichen Nachfragezunahme für Produkte aus Kirchheimer Quaderkalk ist in den vergangenen Jahren die Tendenz erkennbar, dass einige Gewinnungsbetriebe neue Abbaustellen außerhalb des Kernbereiches Kleinrinderfeld–Kirchheim–Gaubüttelbrunn aufsuchen und anlegen. Besonders in den Fokus gerückt ist der Bereich südlich von Gaubüttelbrunn und Gützingen bis Bütthard. In diesem überwiegend landwirtschaftlich geprägten Gebiet streicht der Obere Hauptquaderkalk in schmalen Streifen entlang der Flusseinschnitte aus. Über dem Oberen Hauptquaderkalk liegen zum Teil mächtige Keuperablagerungen, die abgeschlossen werden von meist wenigen Metern quartärer Überdeckung.

Aus dieser Ausgangslage ergaben sich zwei potenziell zu erkundende Gebiete. Das erste Gebiet, zwischen Gaubüttelbrunn und Gützingen (in LfU 2019 als Abb. 59B benannt), ist charakterisiert durch einen deutlichen Anstieg der Mächtigkeit des Keupers von West nach Ost. Die Bereiche in unmittelbarer Nähe der Ausstriche des Oberen Hauptquaderkalks sind vielerorts bereits in Gewinnung. Weiter östlich, mit steigender Geländemorphologie und Abraummächtigkeit verbunden, sind bislang noch keine Steinbrüche angelegt. Für diese Gebiete ergab sich allerdings eine negative Prognose hinsichtlich einer zukünftigen Rohstoffgewinnung aufgrund eines zur landwirtschaftlich Bewirtschaftung genutzten Grundwasserleiters und den damit verbundenen Auflagen für Erkundung und Gewinnung von Naturwerkstein.

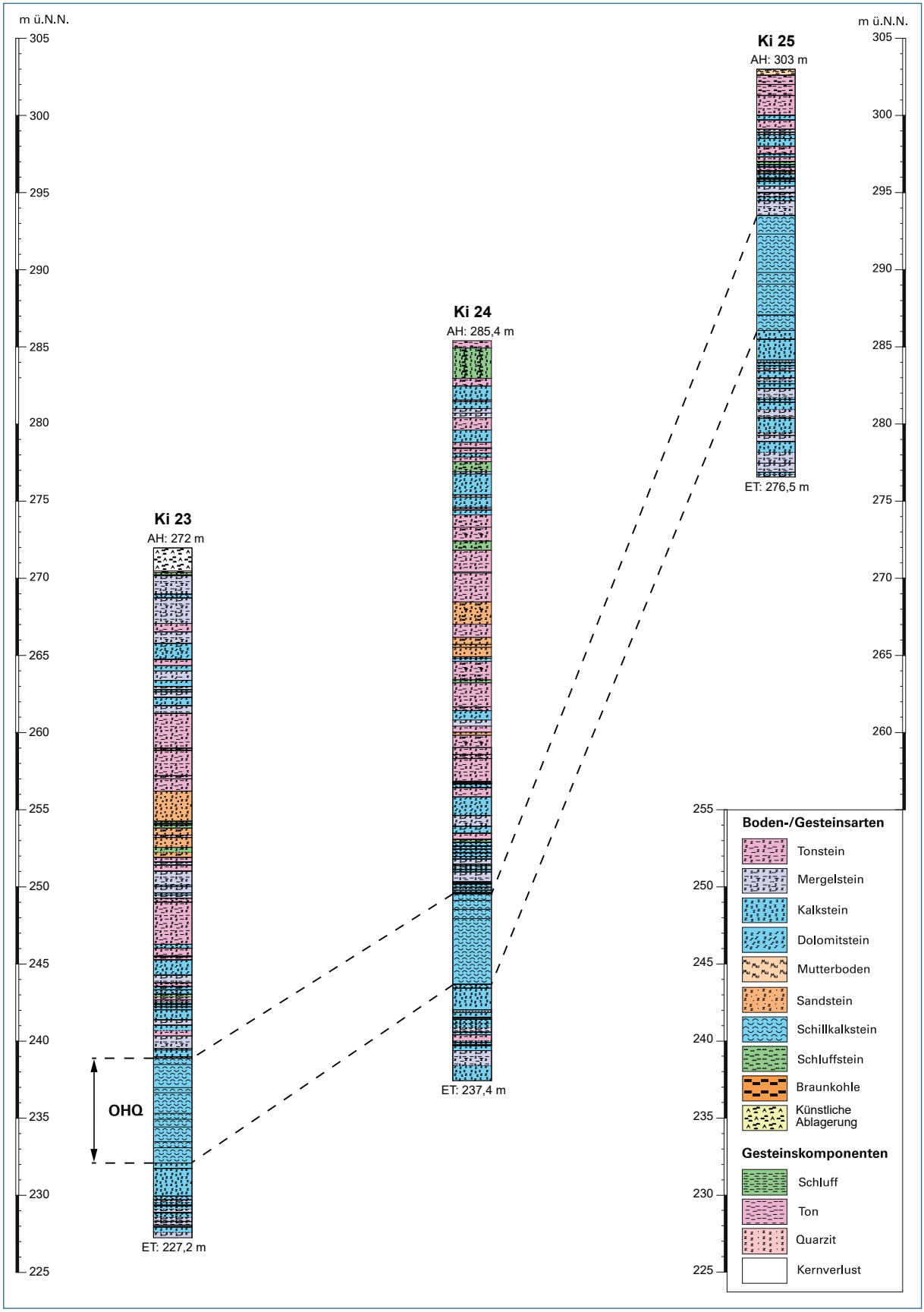

Abb. 24: Bohrprofildarstellung der drei Erkundungsbohrungen des Teilerkundungsgebietes V zwischen Gützingen und Bütthard

Der zweite Bereich zwischen Gützingen und Bütthard hingegen konnte in der Vorfeldrecherche positiver bewertet werden. In diesem Gebiet gibt es einen aktiven Steinbruch. Die geologische Situation ist vergleichbar mit der zwischen Gaubüttelbrunn und Gützingen. Zusätzlich gab es westlich von Bütthard einen Schurf zur Quaderkalkerkundung. Um das Rohstoffpotenzial in diesem Gebiet zu erkunden wurden die Erkundungsbohrungen Ki 23, Ki 24 und Ki 25 abgeteuft (Abb. 23). Sie werden folgend detailliert angesprochen (Abb. 24 bis Abb. 27).

Ki 23

Am „Flürlein“ südwestlich von Gützingen wurde die Erkundungsbohrung Ki 23 abgeteuft. Die erbohrte Abfolge umfasst 1,8 m Quartär, 28,0 m Keuper und 15,0 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 25).

Bis zur Endteufe bei 44,8 m wurden vier Schillkalk führende Bereiche erbohrt: der Grenzquader, die Zugbank im Ostracodenton, der Obere Hauptquaderkalk und der Untere Hauptquaderkalk. Der erste dieser sonderfaziell ausgebildeten Schillkalkhorizonte ist der zwischen 29,8 und 30,8 m auftretende Grenzquader. Petrografisch handelt es sich dabei um einen dichten, blaugrauen Schillkalkstein der zwischen 30,0 und 30,2 m durch eine Mergelfuge unterbrochen ist und keine technische Nutzbarkeit aufweist. Etwa 1,7 m darunter folgt die Blaubank-ähnliche Zugbank im Ostracodenton mit einer Mächtigkeit von 0,55 m. Die innerhalb dieses Horizontes auftretenden zahlreichen tonig-mergligen Einschaltungen, sowie die bei 32,82 m eingeschaltete Tonfuge, bedingen den Ausschluss einer technischen Verwendbarkeit. Ab einer Teufe von 33,15 m wurde der Obere Hauptquaderkalk erbohrt. Dieser besitzt eine Mächtigkeit von 6,7 m und gliedert sich in folgende Einheiten (Abb. 25):

(1) Oberbank, schalig ausgebildeter dichter Schillkalkstein (0,40 m),

(2) Kernstein, z. T. Rotbank ähnlich mit schwankender Porosität (1,50 m),

(3) Blaubank mit Tonfuge bei 35,11 m (0,30 m),

(4) Kernstein, zwischen 35,30 und 35,40 Rotbank ähnlich ausgebildet (1,35 m),

(5) dichter, Blaubank-ähnlicher Schillkalkstein mit bituminösen Stylolithen zwischen 36,65–37,0 m sowie zwischen 37,50 und 38,45 m (1,70 m),

(6) Kernstein bis Rotbank (0,35 m),

(7) Gelbflaserkalk mit reichlich gelben und grauen tonig-mergligen Einschaltungen und einem geringen Schillkalkanteil (1,10 m).

Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff beträgt 6,0 (5,6 m technisch nutzbares Gestein in den Einheiten 1 bis 6 unter einer Abraummächtigkeit von 33,15 m). Unter dem OHQ ist noch ein weiterer Schillkalkeinschub durchörtert worden, der Untere Hauptquaderkalk, mit einer Mächtigkeit von 1,8 m. Aufgrund der Ausbildung zahlreicher Trennflächengefüge und einiger tonig-mergliger Einschaltungen besitzt dieser Blaubank-ähnliche Horizont keine technische Nutzbarkeit.

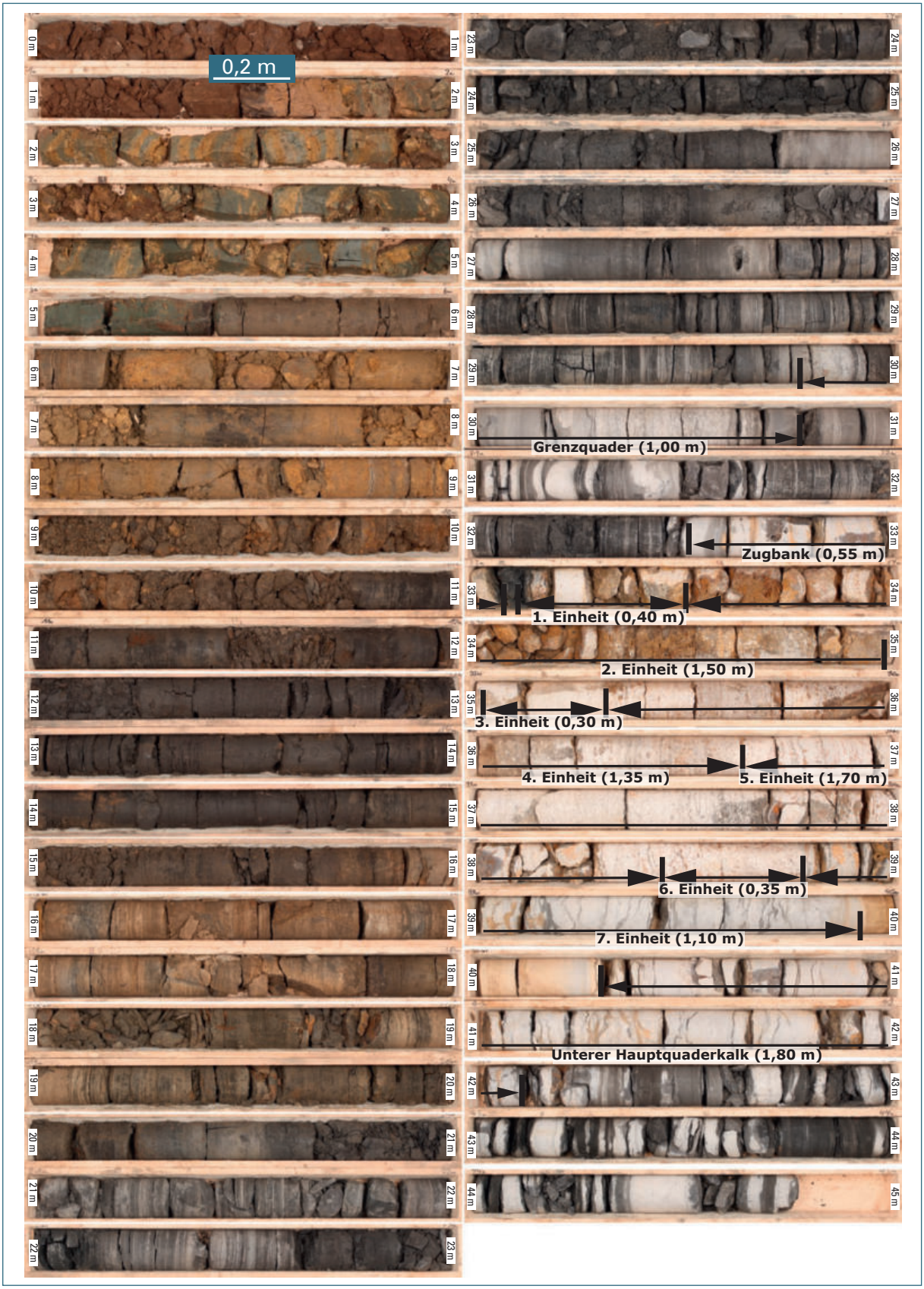

Abb. 25: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 23 (E 32 563.001:N 5.496.416). Die erbohrte Abfolge umfasst 1,8 m Quartär, 28,0 m Horizonte des Keupers und 15,0 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 33,15 m und 39,85 m.

Ki 24

Südöstlich von Gützingen im Flurstück „Roth“ wurde die Erkundungsbohrung Ki 24 mit einer Endteufe von 48,0 m niedergebracht. Die erbohrte Abfolge umfasst 2,5 m Quartär, 30,2 m Schichten des Keupers und 15,3 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 26).

Es wurden fünf Schillkalk-führende Bereiche erbohrt: der Grenzquader, die Zugbank im Ostracodenton, der Obere Hauptquaderkalk, der Terebratelquader und der Untere Hauptquaderkalk. Die Hangenste dieser Einheiten ist der 0,8 m mächtige Grenzquaderkalk, ein der Blaubank ähnlicher dichter Schillkalkstein, der bedingt durch merglige Zwischenmittel jedoch keine technische Nutzbarkeit aufweist. Im Anschluss folgt die Zugbank im Ostracodenton, die in zwei separat ausgebildeten geringmächtigen dichte Schillkalksteinbänken vorliegt. Darunter folgt ab 35,85 m der Obere Hauptquaderkalk mit einer Mächtigkeit von 5,9 m. Er gliedert sich wie folgt (Abb. 26):

(1) Oberbank, mit zahlreichen Trennflächengefügen (0,4 m),

(2) Rotbank (0,6 m),

(3) Gelbflaserkalk mit grauen Mergelfugen bei 37,25 m; 37,35 m und 37,42 m (0,65 m),

(4) Rotbank, zwischen 38,3–38,4 m mit tonig-mergligen Einschaltungen (2,30 m),

(5) Gelbflaserkalk (1,90 m).

Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff beträgt 12,4 (2,9 m technisch nutzbare Gesteinseinheiten 2 und 4). Unter dem OHQ sind noch zwei weitere Schillkalkschübe durchörtert worden, der Untere Hauptquaderkalk und der Terebratelquader. Aufgrund der Ausbildung mit zahlreichen Trennfläche und einiger tonig-mergliger Einschaltungen besitzen beide Horizonte keine technische Nutzbarkeit.

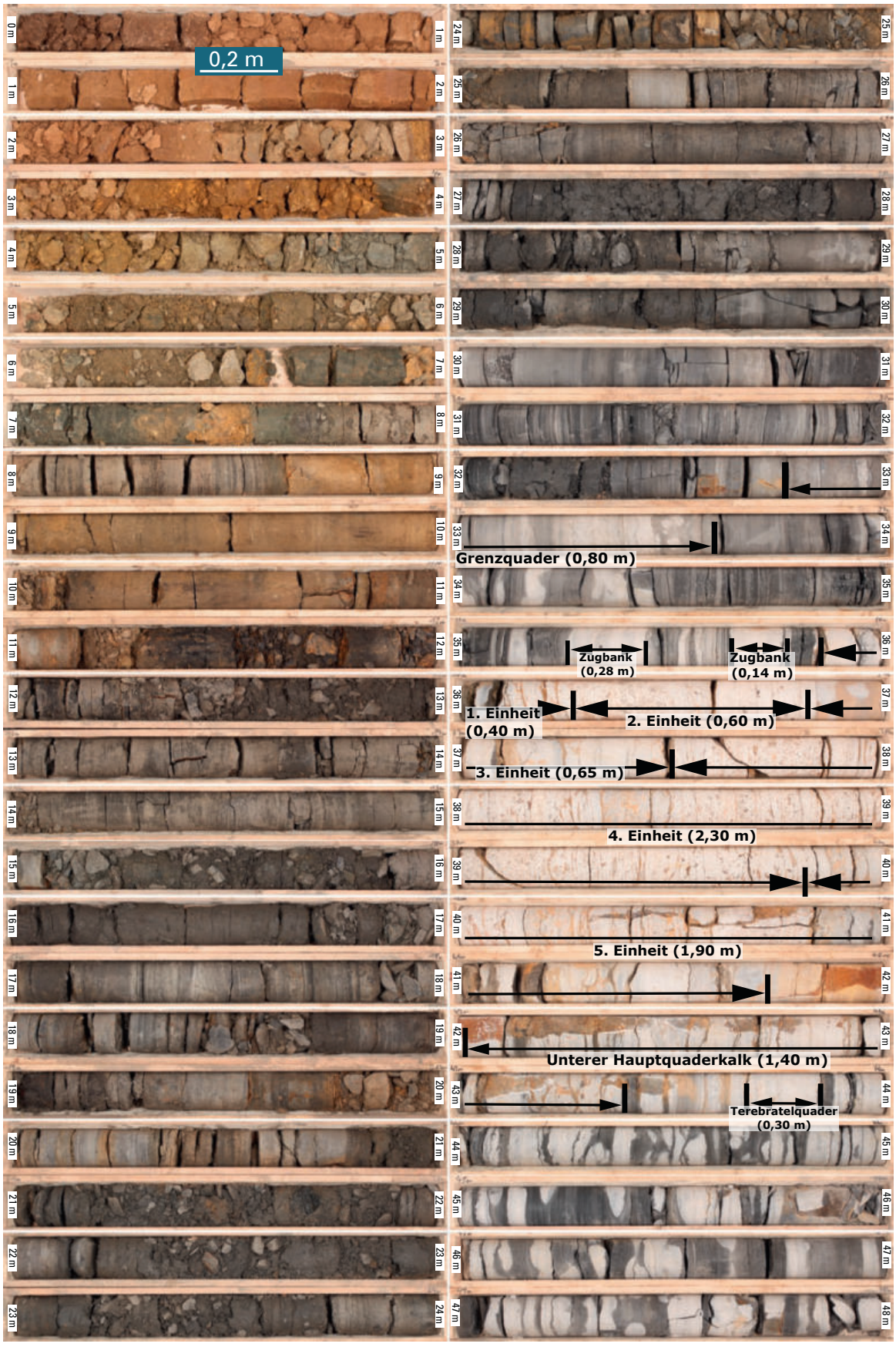

Abb. 26: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 24 (E 32 564.417:N 5.496.369). Die erbohrte Abfolge umfasst 2,5 m Quartär, 30,2 m Horizonte des Keupers und 15,3 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 35,85 m und 41,75 m.

Ki 25

Etwas westlich des Ortes Markt Bütthard auf der Flur „Eselszotten“ wurde die Erkundungsbohrung Ki 25 mit einer Endteufe von 26,5 m niedergebracht. Die erbohrte Abfolge umfasst 0,4 m Quartär, 6,4 m Horizonte des Keupers und 19,7 m des Oberen Muschelkalks 3 (Abb. 27).

Abb. 27: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 25 (E 32 562.987:N 5.494.683). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,4 m Quartär, 6,4 m Horizonte des Keupers und 19,7 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 9,50 m und 16,60 m.

Dabei wurden drei Schillkalkführende Bereiche erbohrt: die Zugbank im Ostracodenton, der Obere Hauptquaderkalk und der Untere Hauptquaderkalk. Die oberste dieser Horizonte, die Zugbank im Ostracodenton setzt in einer Teufe von 7,3 m ein und besitzt eine Mächtigkeit von 0,3 m. Petrografisch handelt es sich bei diesem Gesteinsverbund um einen dichten blaugrauen Schillkalkstein der der Blaubank ähnlich ist. Etwa 1,9 m darunter folgt der Obere Hauptquaderkalk mit einer Mächtigkeit von 7,1 m und weitere Einheiten (Abb. 27):

(1) dichter, Blaubank ähnlicher Schillkalkstein, mit reichlich Stylolithen im Liegenden (1,2 m),

(2) Rotbank und Kernstein, die starke Zertrümmerung zwischen 11,6 m und 12,15 m ist durch das Kernbohrverfahren bedingt und nicht natürlich (2,55 m),

(3) dichter, Blaubank ähnlicher Schillkalkstein mit zahlreichen Stylolithen (0,75 m),

(4) Rotbank ähnlicher Schillkalkstein, z.T. dicht und mit zahlreichen Stylolithen und Einschaltungen (2,0 m),

(5) Gelbflaserkalk, wenig Schill führend (0,6 m).

Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff beträgt 1,8 (5,4 m technisch nutzbares Gestein in den Einheiten 1 bis 4). Im Liegenden des OHQ ist noch der Untere Hauptquaderkalk als überwiegend dichter, blaugrauer Schillkalkstein ausgebildet, der aufgrund zahlreicher Mergelfugen jedoch für keine technische Nutzung infrage kommt.

5 Auswertung

Im Zuge der mehrjährigen Erkundungsarbeiten auf Schillkalkstein der Oberen Hauptquaderkalkformation wurden 25 Erkundungsbohrungen im Gebiet zwischen Kleinrinderfeld und Bütthard abgeteuft (LfU 2019 und diese Studie). Als Fazit dieser Arbeiten lässt sich feststellen, dass 14 dieser Bohrungen als fündig zu bewerten sind (Tab. 5; günstiges Verhältnis von Abraum zu Rohstoff ≤5 sowie Vorliegen einer ausreichenden gesteinsmechanischen und petrografischen Qualität).

Im Folgenden werden die rohstoffgeologischen Potenziale der Teilerkundungsgebiete porträtiert. Zusätzlich werden auf Basis der Ergebnisse dieser Studie sowie der Ergebnisse aus LfU (2019) Vorschläge für Potenzialgebiete erarbeitet.

Tab. 5: Auswertung der Ergebnisse der Kernbohrungen Ki 17 bis Ki 25. Für eine abschließende Gesamteinschätzung der jeweiligen Rohstoffpotenziale sind die Ergebnisse der Kernbohrungen Ki 1 bis K 16 (*) aus LfU (2019) mit dargestellt. Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff ergibt sich aus der Division der Abraummächtigkeit (m) durch die nutzbare Mächtigkeit (m) des OHQ (Werkstein- und GaLa-Bau-Qualität).

Teilerkundungsgebiet	Bohrung	Abraummächtigkeit (m)	Mächtigkeit des OHQ (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)	Abraum-zu-Rohstoffverhältnis
I	Ki 9*	13,7	4,2	0,3	1,0	10,6
I	Ki 10*	27,2	3,1	-	0,5	54,4
I	Ki 11*	8,3	6,1	2,5	-	3,3
I	Ki 13*	19,6	3,4	-	0,4	49,0
I	Ki 17	17,2	4,1	0,8	0,6	12,6
I	Ki 18	4,7	5,5	-	0,6	7,8
I	Ki 19	6,4	5,4	1,0	1,0	3,2
II	Ki 5*	11,7	8,1	5,6	2,4	1,5
II	Ki 6*	51,4	1,8	-	1,0	51,4
II	Ki 14*	7,8	5,1	1,4	1,1	3,1
II	Ki 22	22,8	7,6	4,9	1,6	3,5
III	Ki 3*	7,3	1,2	-	-	-
III	Ki 4*	11,8	5,6	3,8	-	3,1
III	Ki 8*	8,0	5,5	1,4	2,1	2,3
III	Ki 16*	7,7	6,1	3,8	0,6	1,8
III	Ki 21	7,8	5,5	-	-	-
IV	Ki 1*	10,5	4,3	3,2	-	3,8
IV	Ki 2*	14,6	5,7	4,1	-	3,6
IV	Ki 7*	4,4	4,4	2,7	-	1,6
IV	Ki 12*	8,6	4,6	-	1,2	7,5
IV	Ki 15*	5,0	3,0	-	-	-
IV	Ki 20	2,6	5,7	1,2	1,9	0,8
V	Ki 23	33,2	6,7	2,1	3,5	6,0
V	Ki 24	35,9	5,9	0,6	2,3	12,4
V	Ki 25	9,5	7,1	2,6	2,8	1,8

5.1 Bewertung der Rohstoffpotenziale

5.1.1 Teilerkundungsgebiet I – nordöstlich von Kirchheim

Die sieben abgeteuften Bohrungen im Teilerkundungsgebiet I beschreiben eine nach Osten einfallende Morphologie der Quaderkalkoberfläche. In Analogie dazu nimmt auch die Überdeckung in östlicher Richtung zu (Abb. 28 und Abb. 29). Die Verhältnise von Abraum zu Rohstoff sind mit Ausnahme von Ki 11 und Ki 19 hoch und liegen teilweise weit über dem ökonomisch rentablen Grenzwert von 5.

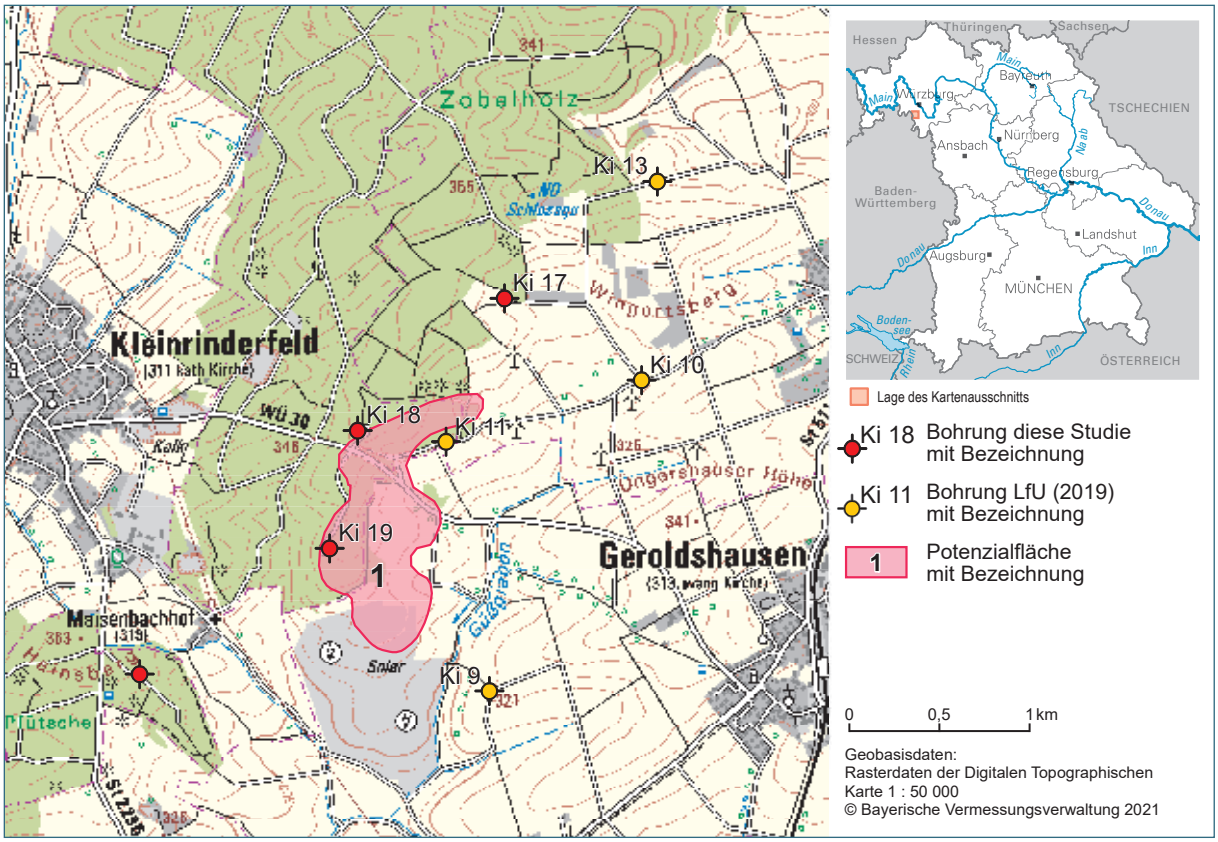

Abb. 28: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet I

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Erkundung hat gezeigt, dass die geologisch-petrografischen Erkenntnisse aus LfU (2019) sich überwiegend auch auf die erbohrten Gesteine der Bohrungen Ki 17, Ki 18 und Ki 19 anwenden lassen. Die Schillkalke dieses Gebiets sind meist stark durchwachsen von zahlreichen gelben Einschaltungen, die häufig zur Entfestigung des Gesteinsverbunds und damit zu einer drastischen Verschlechterung der gesteinsphysikalischen Eigenschaften führen. Dadurch sind die meisten dieser Gesteine für die Verwendung als Naturwerkstein nicht geeignet.

Einzig die Ergebnisse für die Schillkalk führenden Horizonte des Oberen Hauptquaderkalks der Erkundungsbohrungen Ki 11 und Ki 19 fallen positiv aus. Sowohl das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff als auch die petrografische und gesteinsphysikalische Beschaffenheit (Ki 11, LfU 2019) sind moderat bis gut und würden für einen künftigen Abbau sprechen.

Zusätzlich zum Oberen Hauptquaderkalk existieren in diesem Teilerkundungsbereich sowohl die Zugbank im Ostracodenton (etwa 30 cm mächtig und meist als GaLa-Stein geeignet), als auch der

Grenzquader. Die schwankende petrografische Beschaffenheit und Mächtigkeit (wenige Dezimeter bis 2,3 m !) des Grenzquaders lässt jedoch eine eindeutige Verwendungsempfehlung nicht zu.

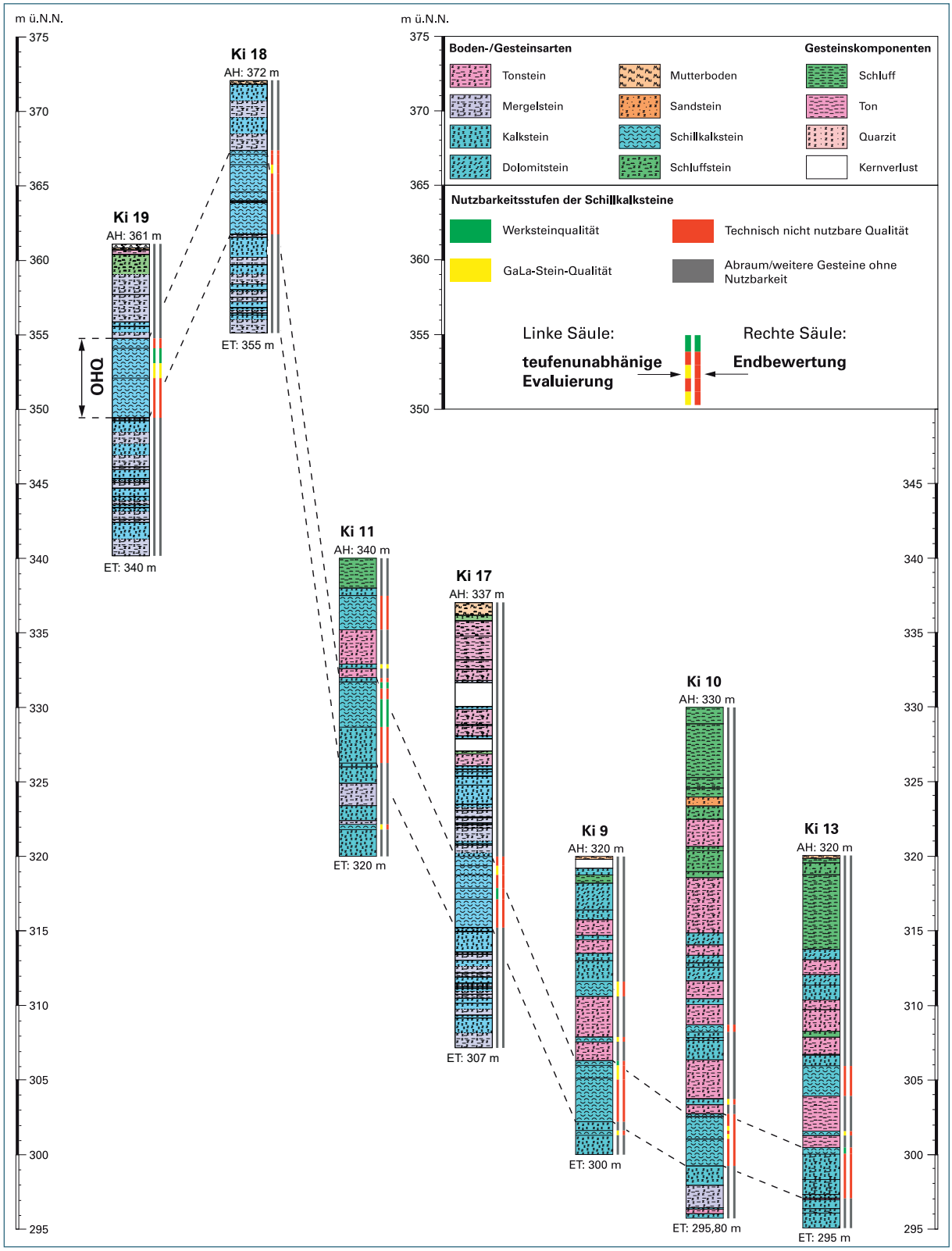

Abb. 29: Rohstoffgeologische Bewertung der sieben Erkundungsbohrungen im Bereich nordöstlich von Kirchheim (Teilerkundungsgebiet I)

In Abbaustellen, in denen dieser Horizont mit einer ausreichenden Mächtigkeit und Festigkeit des Gesteinsverbundes auftritt, sollte eine Nutzung erwogen werden.

Die in LfU 2019 ausgehaltene Potenzialfläche 1 konnte mit den Ergebnissen dieser Studie präzisiert werden. Der etwas nördlich der Kernbohrung Ki 11 abtauchende Quaderkalkhorizont (GLA 1967) setzt sich in nördliche Richtung fort und konnte in Kernbohrung Ki 17 wieder durchteuft werden. Aufgrund der für eine Gewinnung und Verarbeitung negativen Eigenschaften (schlechte petrografische Qualität, hoher Abraum) muss diese Erkundungsbohrung jedoch als nicht höffig bewertet werden. Auch die Kernbohrung Ki 18 erbrachte ein ähnliches Ergebnis (schlechte petrografische Qualität). Lediglich Kernbohrung Ki 19 konnte aufgrund einer moderat bis guten petrografischen Ausbildung und einer geringen Abraummächtigkeit positiv bewertet werden.

Aus diesen Befunden ergibt sich insgesamt eine Flächenverkleinerung der Potenzialfläche 1 auf und um die Flur Abtsrain von 111 Hektar auf 63 Hektar. Innerhalb dieser Fläche steigt der Quaderkalk sukzessive im Höhenniveau von Süd nach Nord an. Überdeckung und Mächtigkeit des Nutzhorizontes dürften überwiegend dem in der Nähe gelegenen Steinbruch der Arbeitsgemeinschaft Kirchheimer Muschelkalk GmbH ähneln. Dem Potenzial dieses Vorkommens stehen allerdings auch konkurrierende Nutzungen gegenüber (z. B. FFH-Gebiet und im südlichen Teil der Betrieb der Solaranlagen, RISBY-ABFRAGE, 01/2019).

5.1.2 Teilerkundungsgebiet II – östlich von Kirchheim

Neben den Erkundungsbohrungen Ki 5 und Ki 14 (LfU 2019) kann auch die im Rahmen dieser Studie abgeteufte Bohrung Ki 22 als fündig bewertet werden (Abb. 30 und Abb. 31).

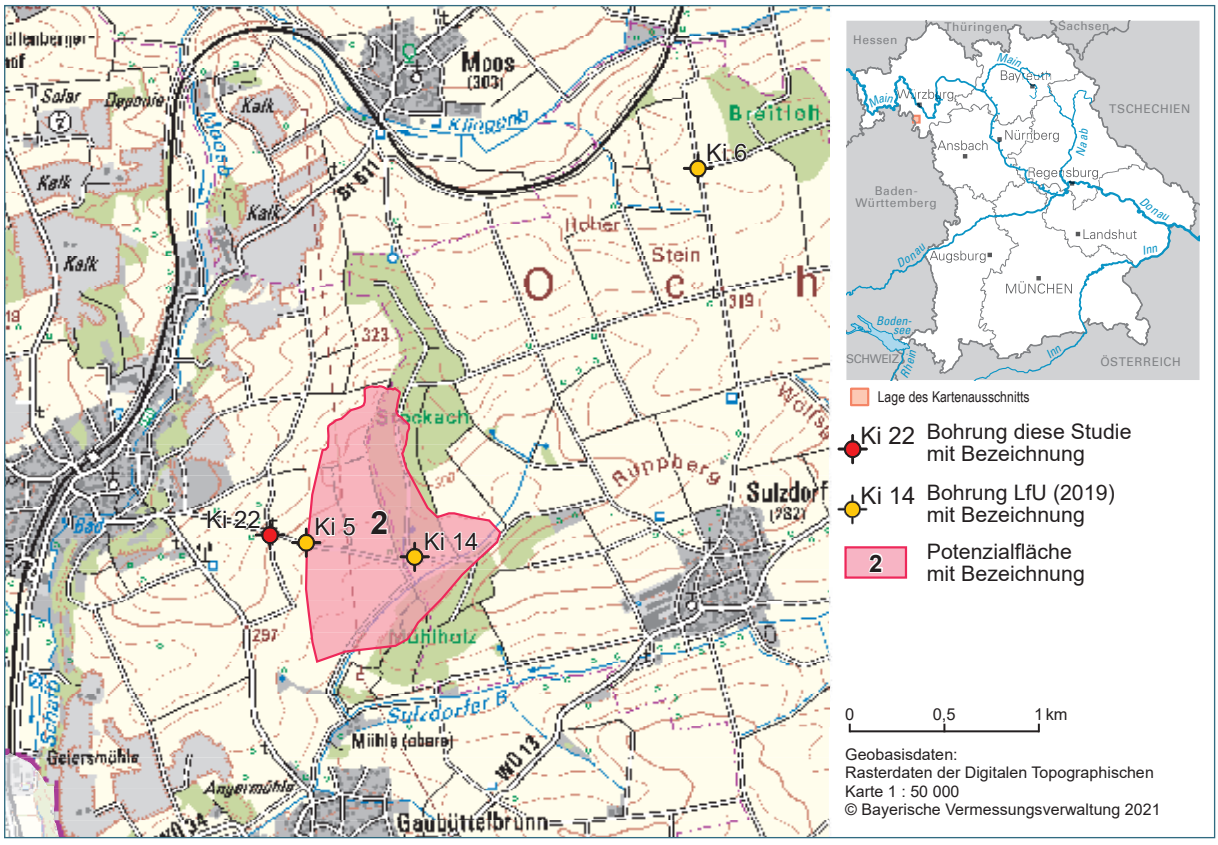

Abb. 30: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet II

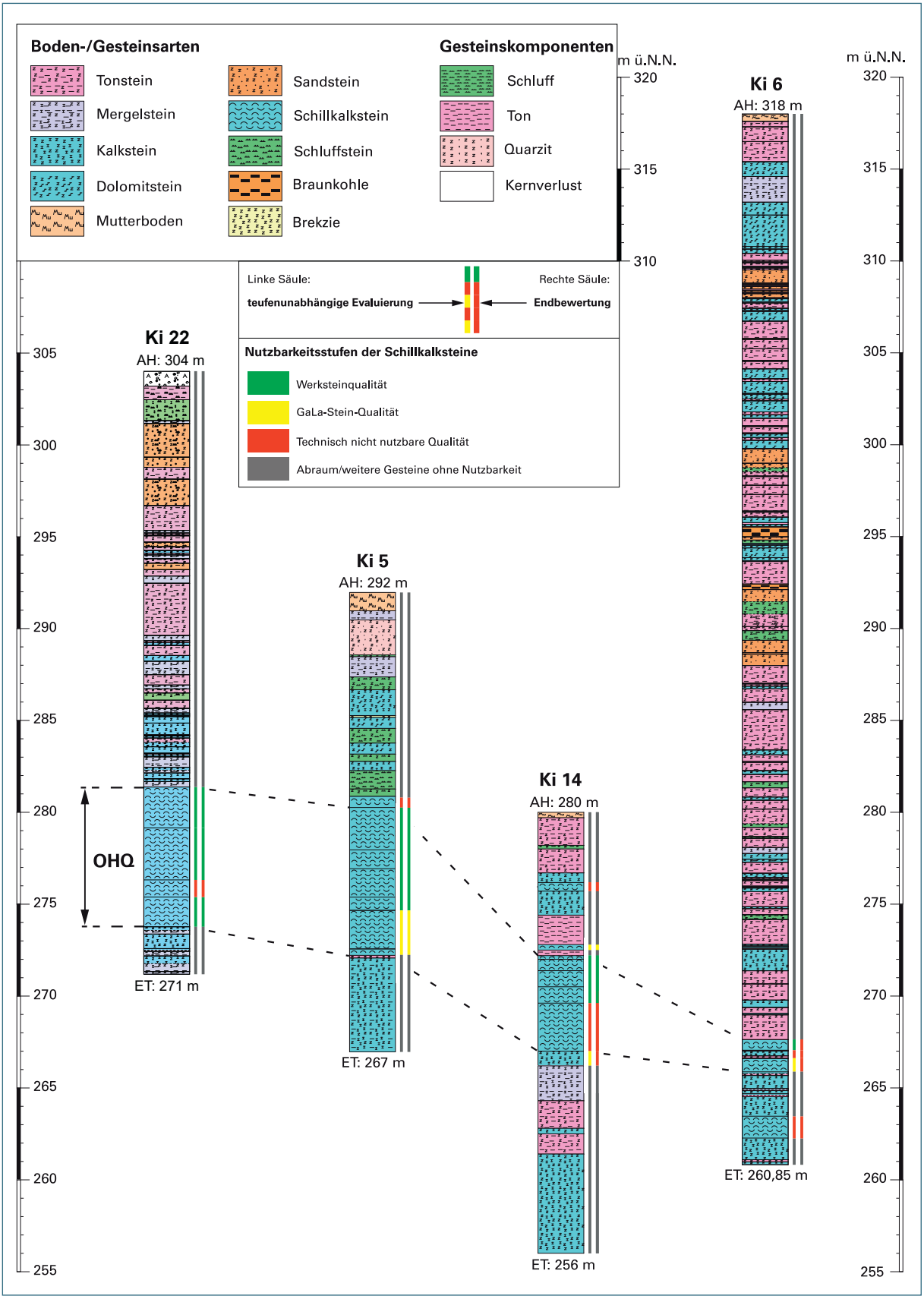

Abb. 31: Rohstoffgeologische Bewertung der vier Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet II östlich von Kirchheim

Sowohl die petrografische Beschaffenheit (viel poriges Material!) als auch das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff der Bohrungen Ki 5 , Ki 14 und Ki 22 lassen eine positive Bewertung zu (Tab. 5). Im besonderen Maße überzeugen die Schillkalke des Oberen Hauptquaderkalks der Ki 5. Durch eine absolute Mächtigkeit von 8,05 m und ein moderates Verhältnis von Abraum zu Rohstoff von 1,54 erzielt diese Bohrung eine der besten Bewertungen des gesamten Erkundungsprogramms (LfU 2019). Das große Rohstoffpotenzial dieses Bereiches wird durch Erkundungsbohrung Ki 22 weiter konkretisiert. Die Anzeichen, dass das Vorkommen des Oberen Hauptquaderkalk auch zwischen diesen beiden „Nadelstichen“ ähnlich ausgeprägt ist, konkretisieren sich damit.

Die in östlicher Fortsetzung gelegene Bohrung Ki 14 weist immer noch ein moderat bis gutes Verhältnis von Rohstoffqualität (2,7 m Werksteinqualität) und Abraummächtigkeit (7,8 m Abraum) auf, allerdings wird auch eine abnehmende Qualität des Quaderkalks bei gleichzeitiger Mächtigkeitsabnahme deutlich (LfU 2019).

Auch in diesem Erkundungsbereich konnten weitere Schillkalk-Horizonte (Grenzquader: Ki 5, Ki 14, Ki 22; Quaderkalk der knaurigen Bank: Ki 6) erbohrt werden. Jedoch ist sowohl die petrografische Ausbildung als auch die anstehende Mächtigkeit so schlecht, dass eine ökonomische Nutzung zweifelhaft erscheint. Einzig die Zugbank im Ostracodenton kommt für eine Nutzung (z. B. im Ga-La-Bau) infrage (LfU 2019).

In Kombination mit der lokalen geologischen Situation (GLA 1992, LfU 2010) ergibt sich aus den Ergebnissen der Erkundungsbohrungen eine Potenzialfläche für einen möglichen Quaderkalkabbau von 84 Hektar. Dieses Potenzial grenzt unmittelbar östlich an ein bestehendes Vorranggebiet an. Die zu erwartende Gesteinsmächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalks nimmt wahrscheinlich von West nach Ost ab. In Süd-Ost-Richtung ist zudem ein deutlicher Anstieg des Abraums anzunehmen (LfU 2019).

Teile der ausgehaltenen Potenzialfläche sind als Biotopfläche eingestuft; ein Abbau müsste dementsprechend mit den zuständigen Naturschutzbehörden abgestimmt werden (RISBY-ABFRAGE, 01/2019). Ansonsten ist der überwiegende Teil der Potenzialflächen landwirtschaftlich genutzt und über eine z. T. asphaltierte Straße von Gaubüttelbrunn aus gut erreichbar (LfU 2019).

5.1.3 Teilerkundungsgebiet III – westlich von Kirchheim

Der Verlauf des Oberen Hauptquaderkalks kann im Teilerkundungsgebiet III als ein nach Nordnordwest ansteigender Horizont beschrieben werden (von Ki 3 mit der OHQ-Oberkante bei 298 m NN zu Ki 16 mit 325 m NN; LfU 2019).

Von den fünf abgeteuften Bohrungen (Abb. 32) sind drei als fündig einzustufen (Ki 4, Ki 8 und Ki 16). Die beiden Erkundungsbohrungen Ki 3 und Ki 21 erschlossen eine verkarstete Abfolge und demzufolge nur veränderten, zur Gewinnung und technischen Nutzung nicht geeigneten Teil des Oberen Hauptquaderkalks.

Mit Ausnahme von Ki°3 und Ki°21 ist hier die petrografische und gesteinsphysikalische Qualität des OHQ als gut zu bewerten; auch die Verhältnise von Abraum zu Rohstoff liegen mit Werten zwischen 1,75 und 2,96 im Bereich der ökonomischen Gewinnbarkeit. Die besten Ergebnisse erreichen dabei die Bohrungen Ki 4 und Ki 16 (Abb. 33; LfU 2019).

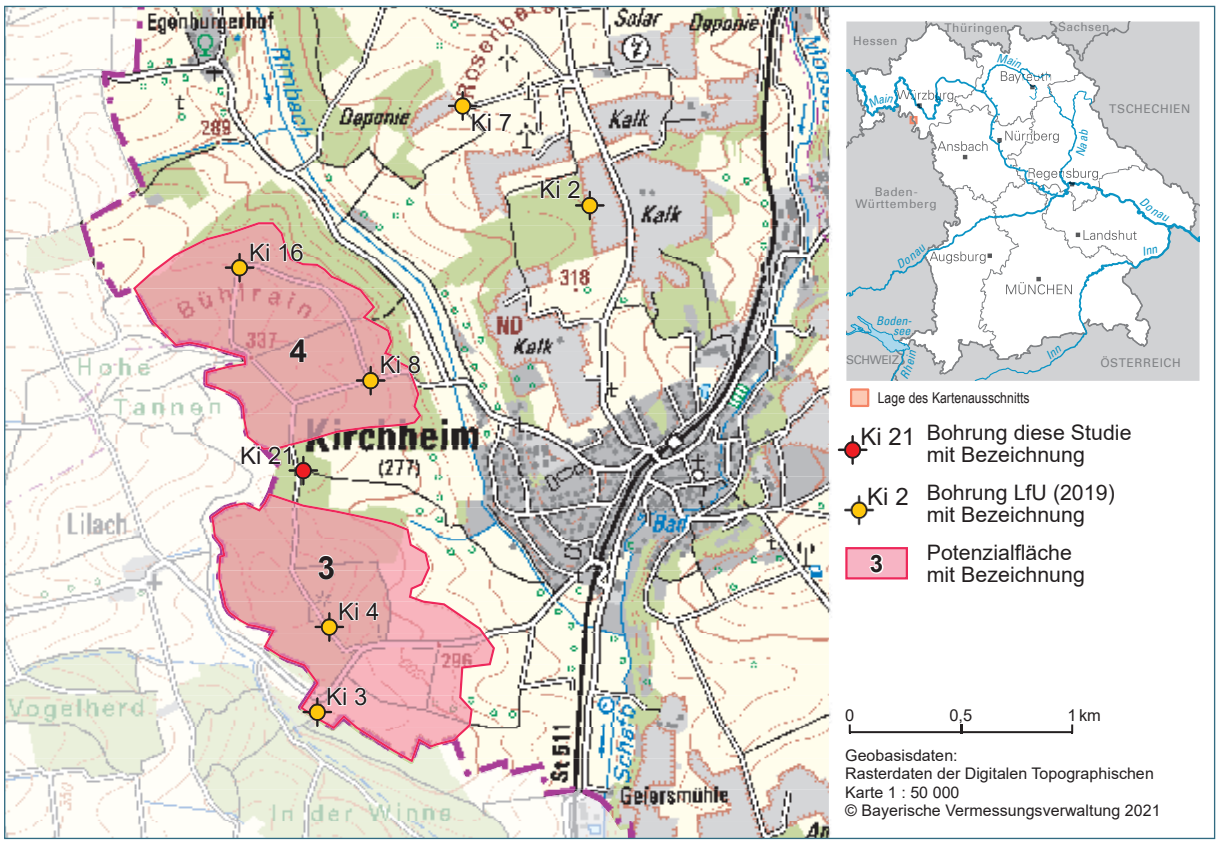

Abb. 32: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet III

Zusätzlich zum OHQ wurden noch weitere Schillkalk führende Horizonte erbohrt. Wenngleich diese Einheiten (Schillkalksteine im Bereich der Dickbankzone, UHQ und Terebratelquader) mit dem OHQ vergleichbare petrografische und gesteinsphysikalische Eigenschaften aufweisen, bedingt in den meisten Fällen ihre Teufenlage und geringe Mächtigkeit den Verlust einer ökonomischen Gewinnbarkeit. Einzig die Zugbank im Ostracodenton bietet sich für eine weitere Verwendung an (LfU 2019).

Die in LfU 2019 aufgeworfenen Fragen bezüglich der Ausdehnung des oberen Hauptquaderkalks in dem mit Fragezeichen symbolisierten Bereich zwischen Potenzialfläche 3 und 4 konnte somit im Rahmen dieser Studie beantwortet werden. Mit der Erkundungsbohrung Ki 21 bestätigte sich der Verdacht, dass der Quaderkalk in diesem Areal vermehrt verkarstet ist.

Das Gebiet nördlich des Bühlrain hingegen wurde aufgrund eines oberflächennähen Grundwasserleiters, der zu Bewirtschaftungszwecken Verwendung findet, nicht weitergehend untersucht. Das dort möglicherweise vorhandene Potenzial wird demzufolge nicht mehr zur Potenzialfläche gerechnet.

Aus den Ergebnissen der Erkundungsbohrungen (diese Studie und LfU 2019) und der geologischen Landesaufnahme (LfU 2010) ergibt sich daher eine zweigeteilte Potenzialfläche mit einer Gesamtfläche von circa 161 Hektar (vergleiche Abb. 32, südliche Fläche: 87 ha; nördliche Fläche: 74 ha). Die ausgehaltenen Gebiete sind durch einen schmalen Streifen eines ehemaligen Gewässers (heute als quartäre Talfüllung dokumentiert) geteilt, das den hier verkarsteten Quaderkalk wahrscheinlich ganz ausgeräumt hat.

Insgesamt handelt es sich bei der ausgehaltenen Potenzialfläche um das größte noch unverritzte Potenzial im Abbaugebiet Kleinrinderfeld–Kirchheim–Gaubüttelbrunn (LfU 2019). Konkurrierende Nutzungen gibt es nur in kleinen Bereichen direkt westlich von Kirchheim (Flachland Biotope, RIS-BY-ABFRAGE 01/2019).

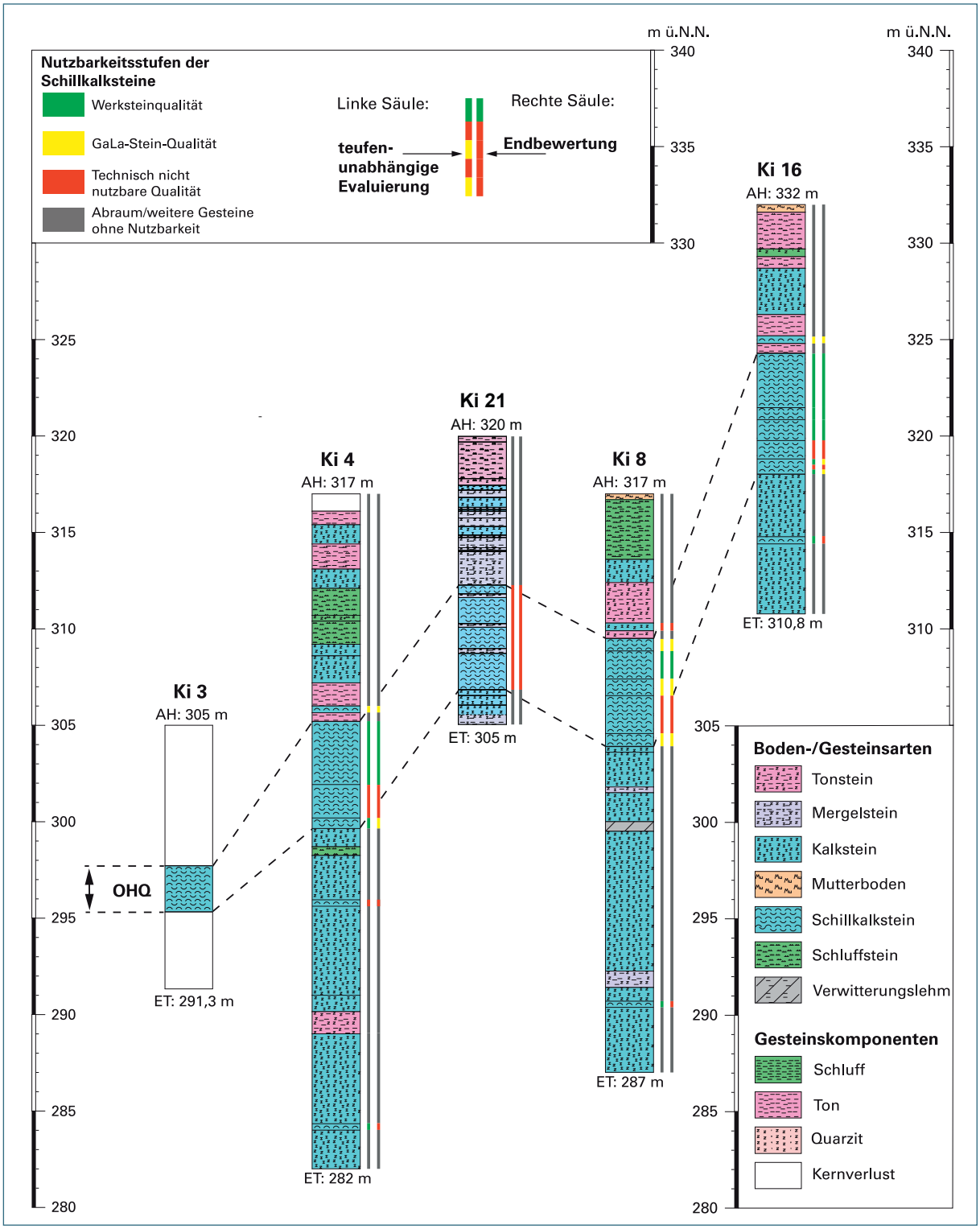

Abb. 33: Rohstoffgeologische Bewertung der fünf Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet III westlich von Kirchheim

5.1.4 Teilerkundungsgebiet IV – nördlich von Kirchheim

Das Teilerkundungsgebiet IV ist zugleich das Abbaugebiet für die Quaderkalkvarietäten „Kuacker“ und „Sellenberger“ (LfU 2019). In diesem Bereich wurden sechs Erkundungsbohrungen abgeteuft (Abb. 34), von denen vier als fündig einzustufen sind (Ki 2, Ki 7, Ki 1 und Ki 20). Die Bohrung Ki 15 erbohrte eine Verkarstung im Ausstrich des OHQ (LfU 2019).

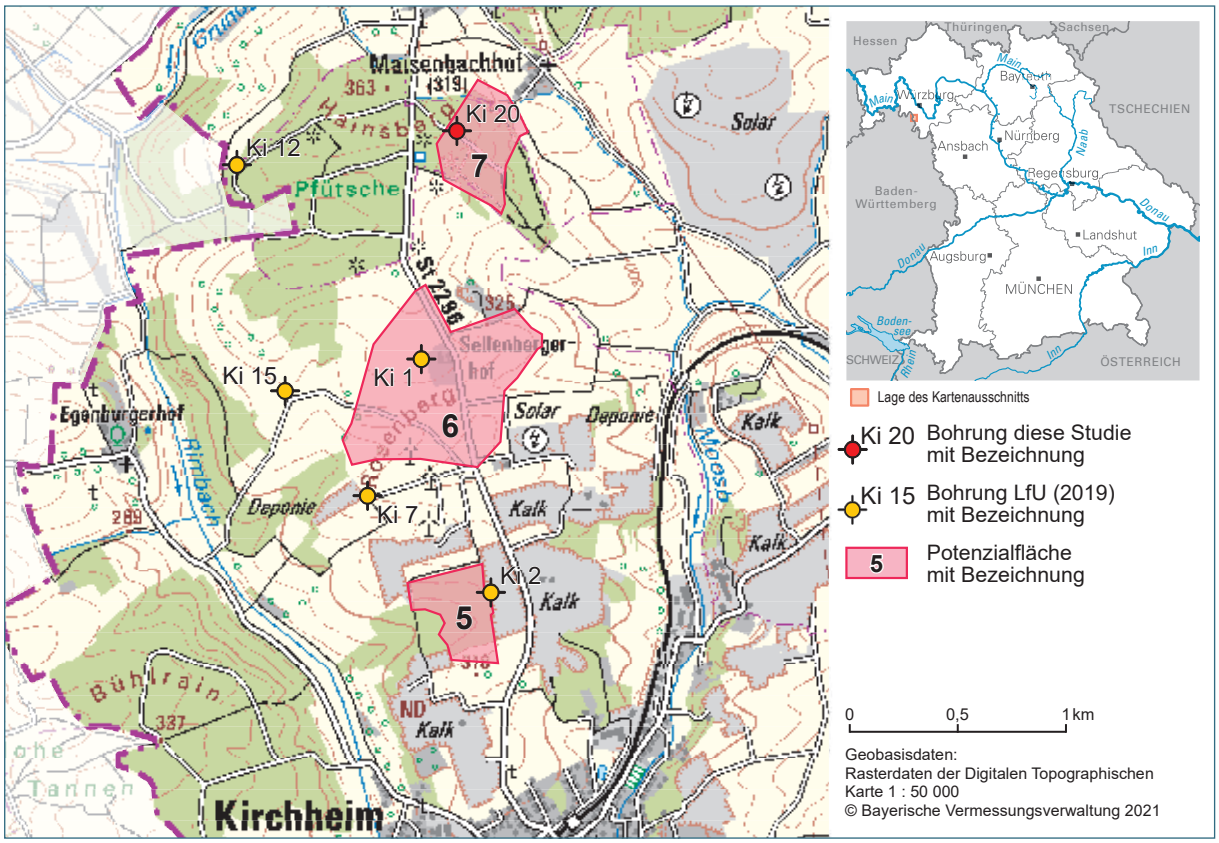

Abb. 34: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet VI.

Der Quaderkalkhorizont beschreibt in diesem Teilabschnitt seinen größten topologischen Anstieg (LfU 2019; zwischen Ki 2 und Ki 1 existiert auf einer Distanz von 1,1 km ein Höhenanstieg von 27,1 m) und streicht östlich und westlich in den Tälern des Rim- und Moosbaches sowie nördlich am Hainsberg aus (LfU 2019).

Die petrografische und gesteinsmechanische Güte der Quaderkalke ist hier mäßig bis gut, verringert sich allerdings analog zur Mächtigkeit in nordnordwestlicher Richtung (Abb. 35). Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff liegt für Bohrung Ki 20 bei 0,8.

Neben dem Oberen Hauptquaderkalk konnten hier noch weitere Schillkalksteine erbohrt werden. Jedoch spielen diese Einheiten für die Wirtschaftlichkeit des Quaderkalk-Abbaus kaum eine Rolle (sie sind meist zu geringmächtig bei hohem Abraum). Die einzig aushaltende Einheit mit einer möglichen ökonomischen Bedeutung im Teilerkundungsgebiet IV ist die Zugbank im Ostracodenton. Die weiteren Schillkalkbänke besitzen mit Mächtigkeiten zwischen 0,2 und 0,65 m ein meist

ungünstiges Verhältnis zum zu bewältigenden Abraum. Eventuell könnte der Terebratelquader aus der Erkundungsbohrung Ki 15 ein ökonomisch gewinnbares Potenzial unter dem Oberen Hauptquaderkalk darstellen (LfU 2019).

Da der erkundete Bereich bereits ein Vorranggebiet zur Rohstoffgewinnung beinhaltet sollen die ausgehaltenen Potenzialflächen dieser Studie als künftige Erweiterungsmöglichkeiten des ausgewiesenen Vorranggebiets verstanden werden. Dabei handelt es sich um eine Gesamtfläche von circa 60 Hektar (vergleiche Abb. 34), die sich auf eine kleinere, südliche Fläche 5 (11 ha) und eine größere, nördlich gelegene Fläche 6 (49 ha) aufteilt. Nach heutigen Bewertungskriterien ist davon auszugehen, dass die größere, nördlich gelegene Fläche nur im Grenzbereich der ökonomischen Gewinnbarkeit abbaubar ist. Hingegen besitzt die Fläche im Süden trotz ihrer kleineren Ausdehnung ein höheres Potenzial. Jedoch bestehen für diese Fläche zahlreiche konkurrierende Nutzungen (Flachland Biotop, FFH-Gebiet; RISBY-ABFRAGE 01/2019). Auch für die nördlich gelegene Fläche bestehen konkurrierende Nutzungen (Flachland Biotop, Siedlungen), was eine künftige Rohstoffgewinnung besonders im Bereich um den Sellenberger Hof unwahrscheinlich macht (LfU 2019).

Eine Ausnahme innerhalb dieser Studie bildet die circa 14 Hektar große Potenzialfläche 7 (Abb. 34). Sie liegt teilweise bereits in einem Vorranggebiet für Rohstoffgewinnung. Bisher gab es hier jedoch weder eine aktive Gewinnung noch einen bekannten Nachweis über ein mögliches Rohstoffpotenzial. Die Erkundungsbohrung Ki 20 erschloss unter 2,6 m quartärem Abraum eine nutzbare Quaderkalkmächtigkeit von 3,1 m (Tab. 5). Das sich daraus ergebende Verhältnis von Abraum zu Rohstoff stellt mit 0,8 das beste Ergebnis der gesamten Studie dar. Zusätzlich bestehen 1,3 m dieser Nutzmächtigkeit aus dem begehrten Kernstein in sehr guter petrografischer Ausprägung. Allerdings ist das bewaldete Gebiet der Potenzialfläche 7 bekannt für mögliche Verkarstungserscheinungen, wie auch in Erkundungsbohrung Ki 20 nachgewiesen werden konnte.

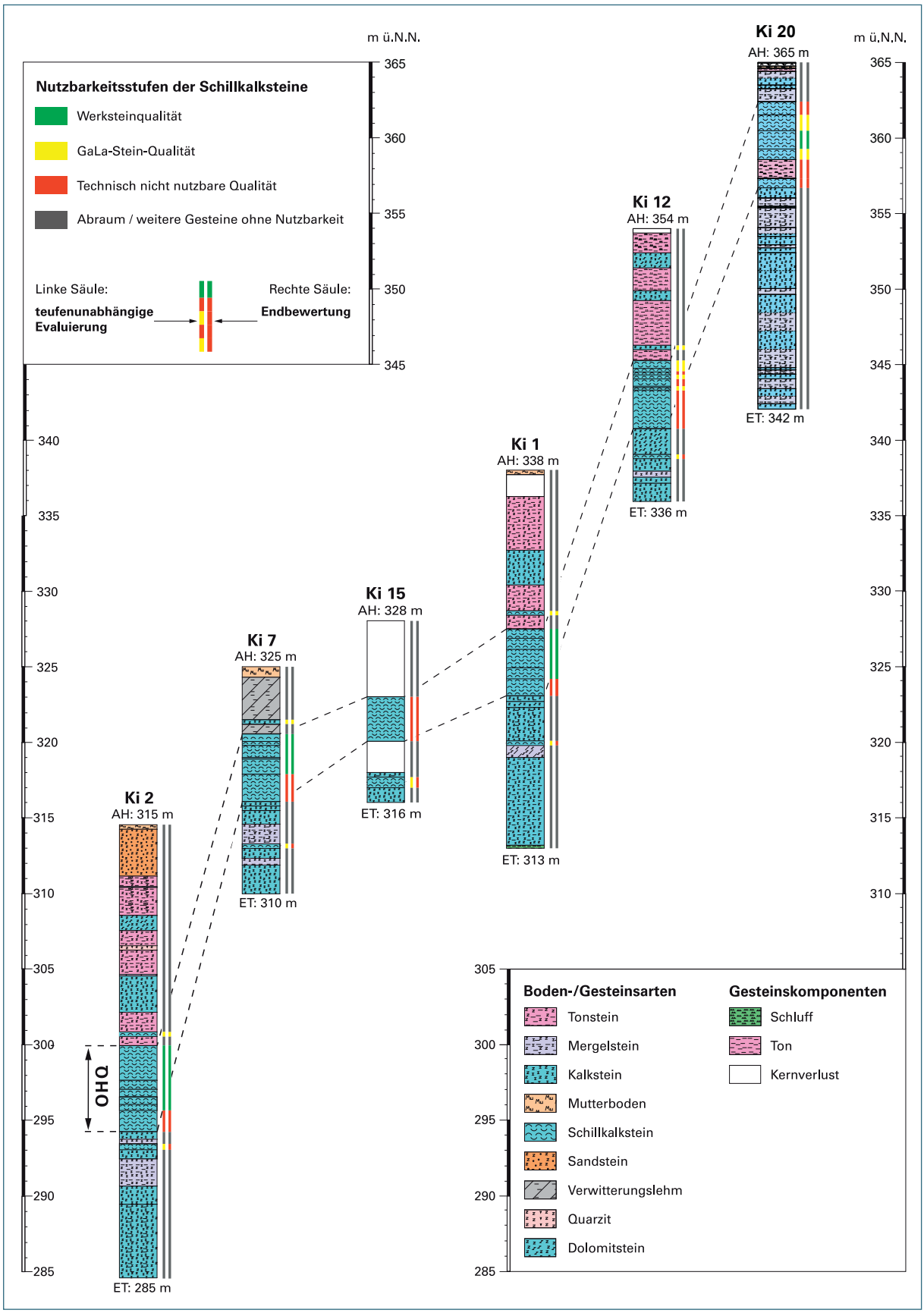

Abb. 35: Rohstoffgeologische Bewertung der sechs Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet IV nördlich von Kirchheim

5.1.5 Teilerkundungsgebiet V – zwischen Gützingen und Bütthard

Sowohl die Erkundungsbohrung Ki 25 (Verhältnis von Abraum zu Rohstoff: 1,8) als auch – mit Abstrichen – Bohrung Ki 23 (Verhältnis von Abraum zu Rohstoff: 6,0) erbohrten rohstoffhöffige Horizonte des gefragten Naturwerksteins. Nach Osten hingegen nehmen Abraum zu sowie Mächtigkeit und Qualität des potenziellen Rohstoffes deutlich ab, sodass die Erkundungsbohrung Ki 24 (Verhältnis von Abraum zu Rohstoff: 12,4) als nicht fündig zu bewerten ist (Abb. 36 und Abb. 37).

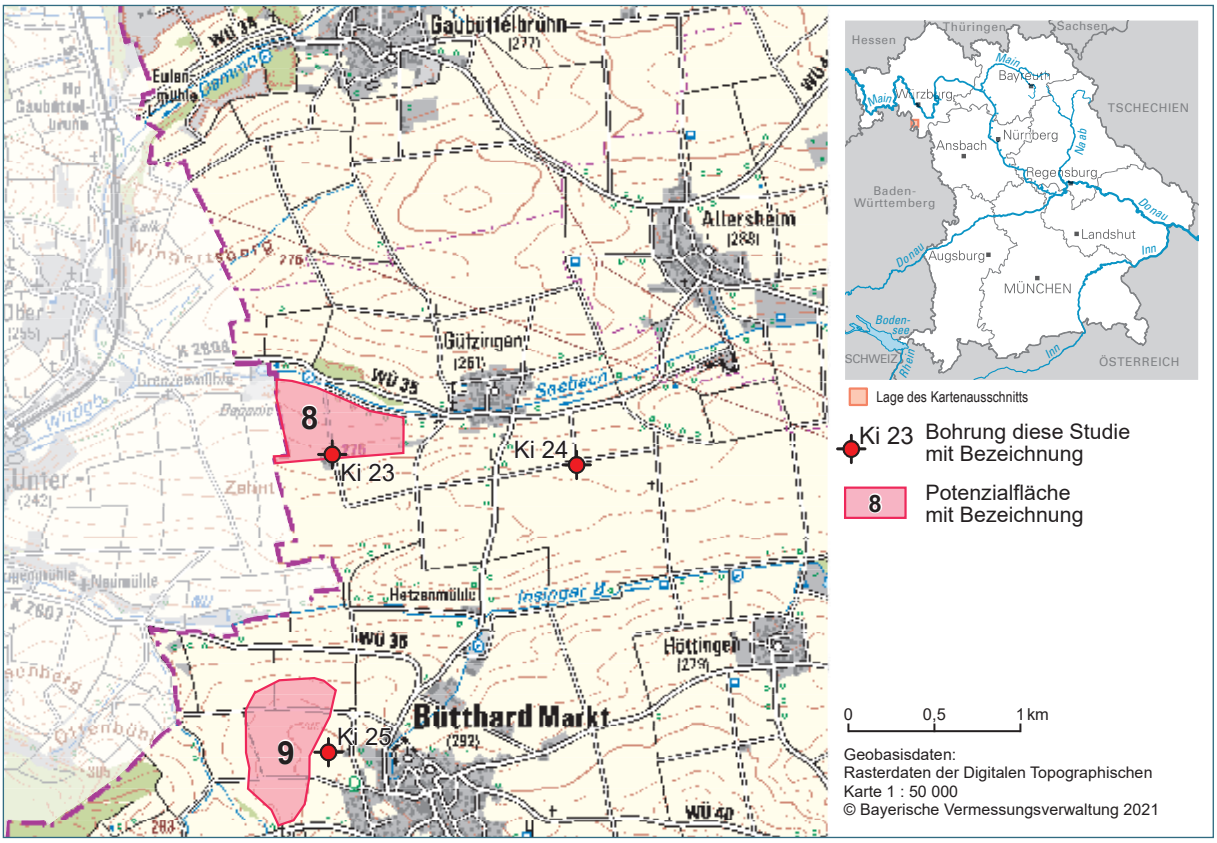

Abb. 36: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet V

Aus den Ergebnissen der geologischen Landesaufnahme (GLA 1997, LfU 2010) und der Erkundung im Rahmen dieser Studie ergeben sich zwei mögliche Potenzialgebiete für eine zukünftige Gewinnung von Quaderkalk.

Die Potenzialfläche 8, im Bereich des Flurstücks „Flürlein“ gelegen, hat eine Fläche von 26 Hektar. Die dafür ursächliche Erkundungsbohrung Ki 23 begrenzt zugleich die Potenzialfläche (Abb. 36) nach Süden. Nach heutigem Stand wäre die erbohrte Abfolge aufgrund des Verhältnises von Abraum zu Rohstoff von 6,0 wohl noch nicht ökonomisch gewinnbar. Da die durchteuften Schillkalksteine eine gute petrografische Qualität aufweisen, die vergleichbar ist mit den anstehenden Quaderkalken im gegenüberliegenden Steinbruch, könnte jedoch vor allem der Bereich südlich der Seebachstraße für eine zukünftige Gewinnung infrage kommen.

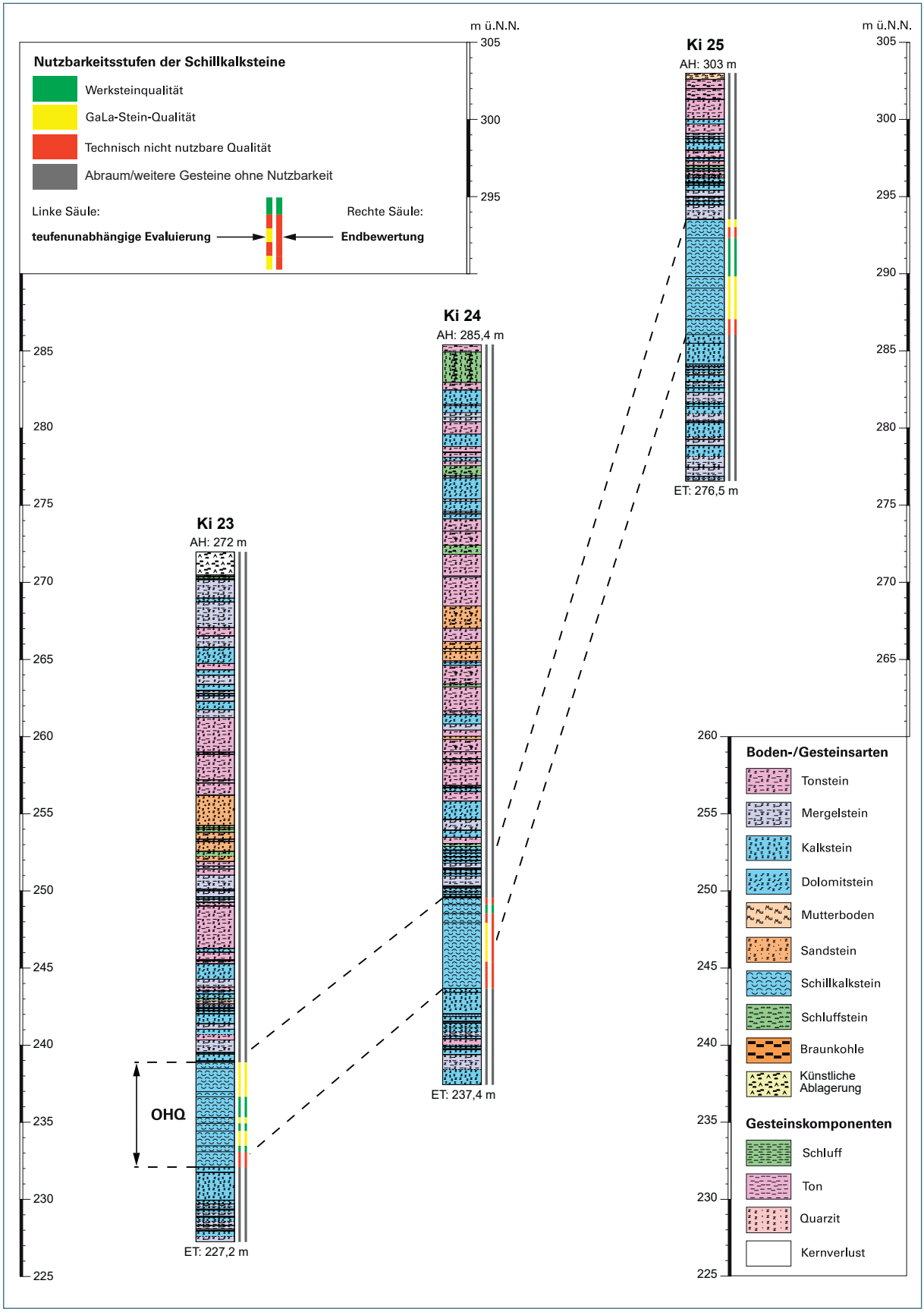

Abb. 37: Rohstoffgeologische Bewertung der drei Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet V zwischen Gützingen und Bütthard

Die Potenzialfläche 9 liegt westlich von Bütthard und besitzt eine Fläche von circa 31 Hektar. Am westlichen Rand der Potenzialfläche gab es in den letzten Jahren einen „Schurfversuch“ sowie historisch einen kleinvolumigen Abbau. Der mittlerweile wieder verfüllte Bereich erschloss eine Abfolge des Oberen Hauptquaderkalks, die lediglich 2,5 bis 3 Meter mächtig und wegen zahlreicher Trennflächen selbst für eine technische Verarbeitung als Gala- oder Werkstein ungeeignet war. Aufgrund der geringen quartären Bedeckung von nur 0,5 bis 1,0 Meter handelt es sich dabei wahrscheinlich um eine durch physikalische und chemische Verwitterung stark erodierte und verkarstete Abfolge, die nicht repräsentativ für diesen Bereich ist. Die in Kernbohrung Ki 25 durchteufte Abfolge hingegen besitzt mit einer Mächtigkeit von 7,1 Meter ein deutlich attraktiveres Rohstoffpotenzial. Im besonderen Maße sticht der etwa 2,6 m mächtige Kernstein hervor (Abb. 27). Über dem Oberen Hauptquaderkalk wurde zusätzlich die Zugbank im Ostracodenton erbohrt, die möglicherweise im GaLa-Bau Verwendung finden könnte.

5.2 Modellierung des Oberen Hauptquaderkalk

Allgemein beschreibt der OHQ im Untersuchungsgebiet einen nach Süd-Süd-Ost einfallenden, z. T. stark erodierten und verkarsteten Horizont („Karbonat-Rampe“), dessen Mächtigkeit stark schwanken kann (Abb. 38). Es existieren lokale Minima und Maxima der Mächtigkeit, zudem beschreibt der Verlauf des Schichtpaktes innerhalb des Untersuchungsraumes auch kein gleichbleibendes Einfallen.

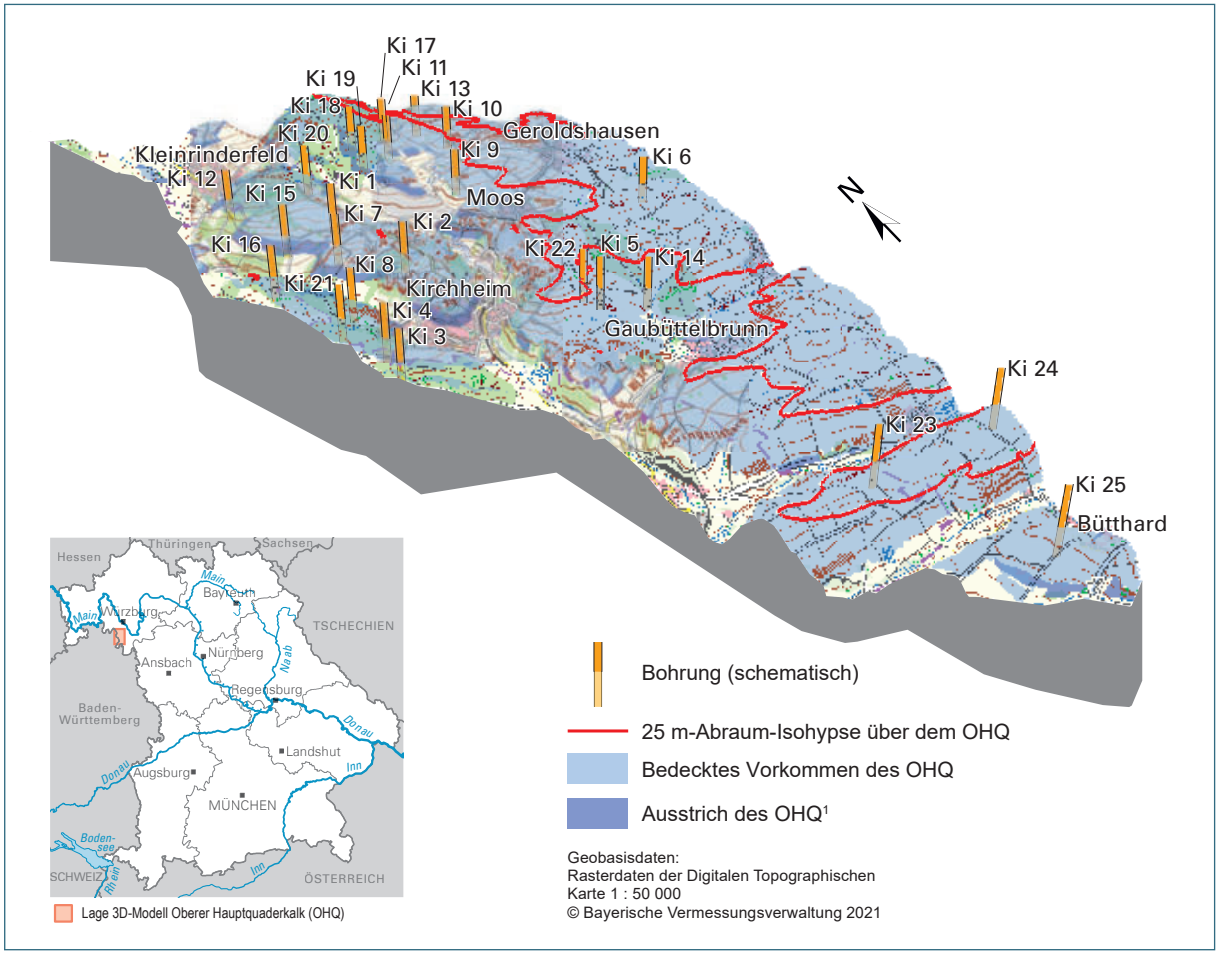

Abb. 38: Geologisches 3D-Modell (ArcScene, 10-fach überhöht dargestellt) des Oberen Hauptquaderkalks im Untersuchungsgebiet zwischen Kleinrinderfeld, Kirchheim, Gaubüttelbrunn, Gützingen und Bütthard ([1] nach GLA 1967 und LfU 2010).

Das in LfU 2019 erstellte Modell des Oberen Hauptquaderkalks für den Bereich Kleinrinderfeld-Kirchheim-Gaubüttelbrunn wurde im Rahmen dieses Projektes aktualisiert und erweitert (Tab. 6). Als Ergebnis konnte die Fläche des Untersuchungsgebietes um circa 50 % vergrößert werden und bietet nun auch für das Gebiet zwischen Gaubüttelbrunn, Gützingen und Bütthard eine näherungsweise Prognose über die Tiefenlage und die Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalks (Abb. 39 und Abb. 40).

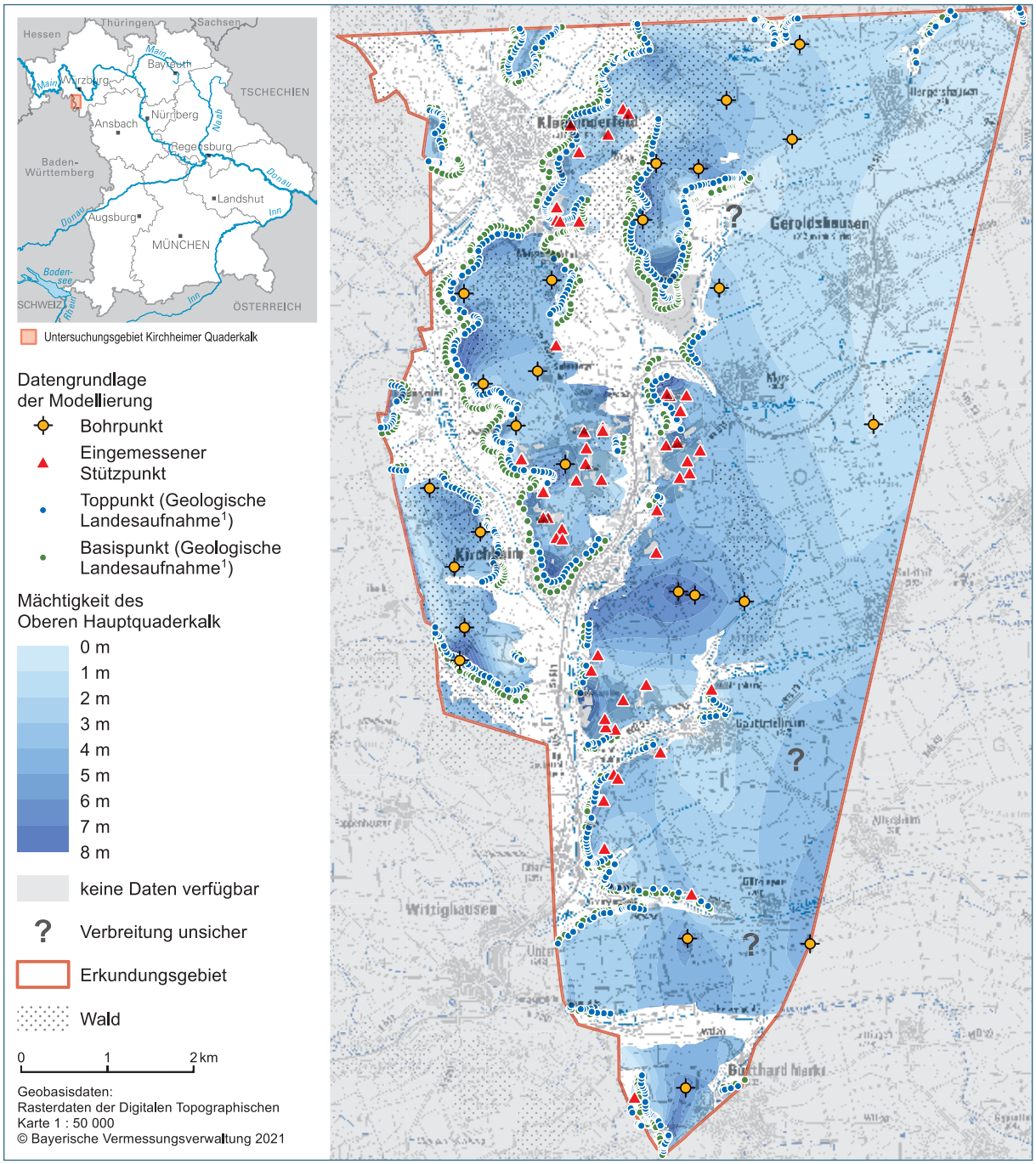

Abb. 39: 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard. Verwendete Datengrundlage aus LfU (2019), erweitert um neun neue Erkundungsbohrungen.

Auch für diesen Bereich wurden die Daten der geologischen Landesaufnahme (1.763 Stützpunkte, Tab. 6) mit den Ober- und Unterkanten der eingemessene Aufschlüssen (69 Einzeldaten, Tab. 6) und den Teufenlagen des Oberen Hauptquaderkalks in den Erkundungsbohrungen (25 einzelne Bohrungen, Tab. 6) für die Erstellung des Prognosemodells genutzt und ergeben so eine Gesamtmenge von 1.857 Stützpunkten. Eine Aussage über die Gesteinsqualität ist aufgrund der sehr wechselhaften Petrografie der Schillkalksteine damit weiterhin nicht möglich.

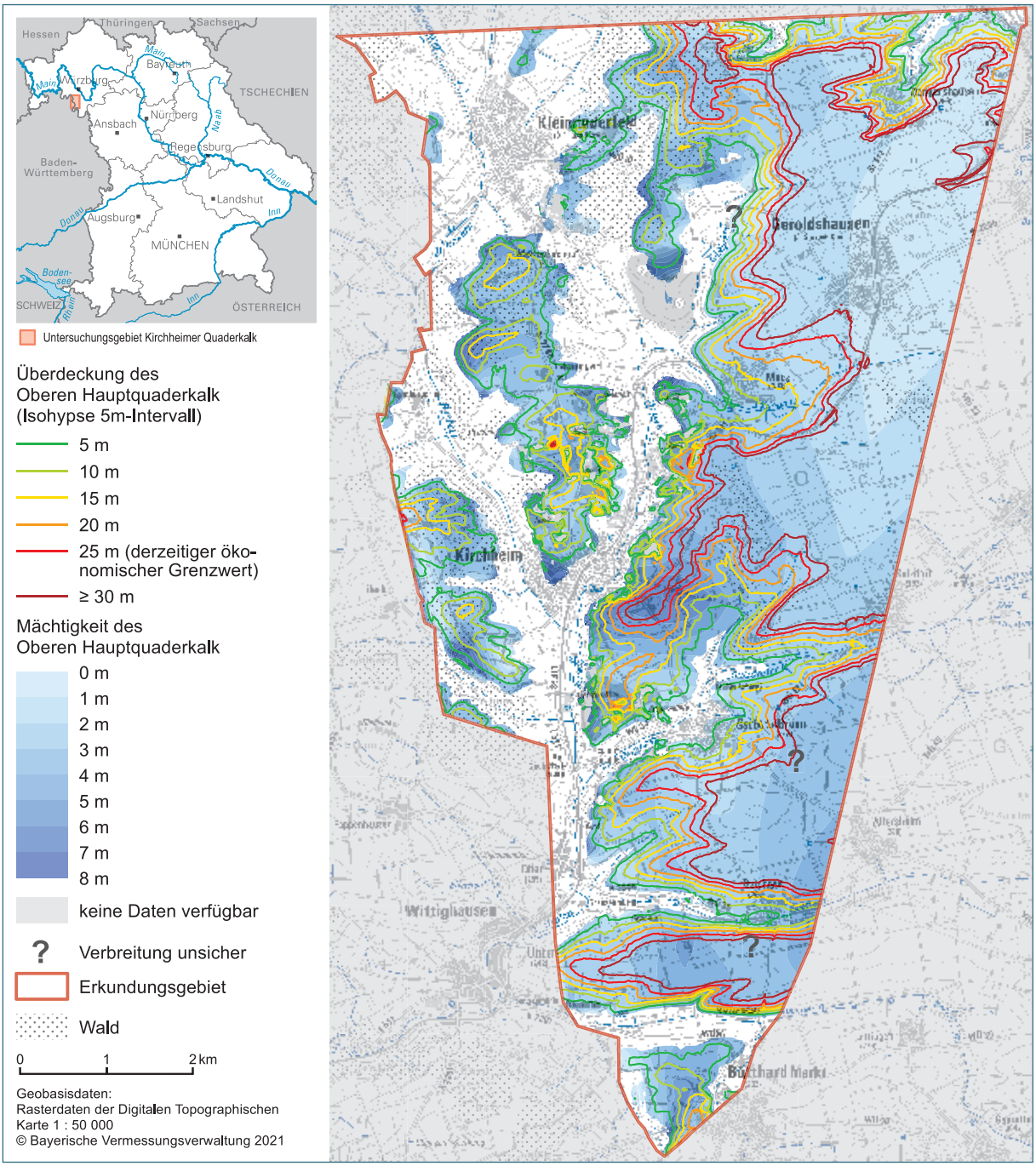

Abb. 40: 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard. Kombinierte Darstellung der Mächtigkeit des OHQ mit dem darüber liegenden Abraum.

Zur besseren Visualisierung sind die Ergebnisse der Modellierung als Detailabbildungen im Anhang beigefügt (Abb. 42 bis Abb. 49).

Tab. 6: Statistischer Vergleich der Datenbasis der Modellversion V1 und V2 des Oberen Hauptquaderkalks im Untersuchungsgebiet (LfU 2019). Stützpunkte aus geol. Kartierung1 nach GLA 1967 und LfU 2010.

Modellversion	V1	V2
Fläche [ha]	4093	6288
Bohrpunkte	16	25
Eingemessene Stützpunkte	51	69
Stützpunkte geologische Kartierung[1]	1452	1763
Stützpunkte Gesamt	1519	1857

Neben der Erweiterung des modellierten Gebietes von Modellversion V1 zu V2 ist es nun auch möglich, eine beispielhafte Betrachtung der Genauigkeit der Modellversion V1 durchzuführen. Da eine Modellierung mit einer Vereinfachung komplexer Sachverhalte einhergeht, besitzt das Modell des Oberen Hauptquaderkalks V1 natürlicherweise einen mehr oder weniger großen Fehler und die wiedergegebenen Inhalte entsprechen nicht 1:1 der Realität. Die Ergebnisse der Modellierung besitzen keine kleinmaßstäbliche Punktgenauigkeit, jedoch stellt sich die Frage, wie genau die modellierten Ergebnisse tatsächlich sind. Diese Frage kann nur exemplarisch und nicht allgemeingültig für das gesamte Modell beantwortet werden.

Jedoch bieten die Ergebnisse dieser Studie nun die Möglichkeit einen Vergleich zwischen den Prognosen des Modells (V1; LfU 2019) und der tatsächlich erbohrten Mächtigkeit des Nutzhorizontes, sowie des Abraumes, anzustellen. Für diese Punkte kann festgestellt werden, dass die durchschnittliche Abweichung der erbohrten Mächtigkeit bei 19,4 % und die Abweichung des Abraumes über dem Oberen Hauptquaderkalk bei durchschnittlich 33,0 % liegt (Tab. 7).

Tab. 7: Statistischer Vergleich der Datenbasis der Modellversion V1 und V2 des Oberen Hauptquaderkalks im Untersuchungsgebiet (LfU 2019).

Bohrkern	Mächtigkeit nach Modell (LfU2019)	Erbohrte Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalks	Mächtigkeit Abweichung [%]	Abraum nach Modell (LfU 2019)	Tatsächlicher Abraum	Abraum Abweichung [%]
Ki 17	6 m	4,8 m	20,0	10	17	70,0
Ki 18	8 m	5,5 m	31,3	<5	4,8	0,0
Ki 19	8 m	5,4 m	32,5	5–10	6,3	0,0
Ki 20	5 m	5,7 m	14,0	10	2,6	74,0
Ki 21	5 m	5,5 m	10,0	5	7,7	54,0
Ki 22	7 m	7,6 m	8,6	20–25	22,7	0,0

Diese Ergebnisse zeigen, dass die modellierten Angaben zum Oberen Hauptquaderkalks einen Fehler besitzen, der bei ihrer konkreten Verwendung unbedingt beachtet werden sollte. Ebenso wird aber auch deutlich, dass das Modell eine Hilfe für eine zukünftige Gewinnungsplanung darstellen kann. Tendenziell kann angenommen werden, dass in Bereichen mit erhöhter Datendichte die Aussagekraft besser ist, als in Bereichen mit geringerer Datendichte. Punktuelle, parzellenscharfe Aussagen sind auf dieser Grundlage allerdings nicht möglich, dafür sind engräumigere Untersuchungen auf jeden Fall unumgänglich.

Neben der Datendichte existieren auch qualitative Heterogenitäten innerhalb der dem Modell zugrundeliegenden Daten. Im Bereich der Bohrungen Ki 17 bis Ki 19 ist die vom Modell ermittelte Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalks zu hoch. Diese Kalkulation basiert im Wesentlichen auf Kartierungsergebnissen, die aus einem Gelände stammen, in dem in relativ geringem vertikalen Abstand über dem Oberen Hauptquaderkalk der Horizont des Grenzglaukonitkalksteins eine sonderfazielle Ausbildung als Grenzquader aufweist und dadurch eine Mächtigkeit von bis zu zwei Metern erreichen kann (siehe Ki 17–19, Graner 1984).

6 Zusammenfassung

Als Ergebnis der umfangreichen Erkundungsarbeiten im Rahmen dieser Studie und LfU 2019 können neun Quaderkalk-Rohstoffpotenzialflächen mit einer Gesamtfläche von 438 Hektar für eine mögliche Berücksichtigung im Rahmen der Regionalplanung ausgewiesen werden.

Tab. 8: Abschlusseinschätzung der ermittelten Potenziale. Die rohstoffgeologische Bewertung ist folgendermaßen abgestuft: sehr hohes Potenzial>hohes Potenzial>gutes Potenzial>mäßiges Potenzial.

Potenzialfläche	Ausdehnung [ha]	Teilerkundungs-gebiet	Beleg Bohrkern(e)	Gesamtbewertung
1	63	I	Ki 9; Ki 10; Ki 11; Ki 13; Ki 17; Ki 18; Ki 19	mäßiges bis gutes rohstoffgeologisches Potenzial, konkurrierende Nutzungen (FFH-Gebiet und Solarpark)
2	84	II	Ki 5; Ki 14; Ki 22	hohes rohstoffgeologisches Potenzial, keine konkurrierenden Nutzungen
3	87	III	Ki 3; Ki 4; Ki 21	sehr hohes rohstoffgeologisches Potenzial, kaum konkurrierende Nutzungen, aber Wald
4	74	III	Ki 8; Ki 16; Ki 21	sehr hohes rohstoffgeologisches Potenzial, keine konkurrierenden Nutzungen, aber Wald
5	12	IV	Ki 2	hohes rohstoffgeologisches Potenzial, konkurrierende Nutzungen
6	48	IV	Ki 7; Ki 1; Ki 15	mäßiges bis gutes rohstoffgeologisches Potenzial, z. T. gravierende konkurrierende Nutzungen (v. a. Sellenberger Hof!)
7	15	IV	Ki 20	Gutes rohstoffgeologisches Potenzial, kaum konkurrierende Nutzungen
8	25	V	Ki 23; Ki 24;	sehr hohes rohstoffgeologisches Potenzial, kaum konkurrierende Nutzungen
9	30	V	Ki 25	hohes rohstoffgeologisches Potenzial (verkarstete Störungszone beachten !), kaum konkurrierende Nutzungen

Auf die Angabe eines wahrscheinlichen Lagerstätteninhaltes wird allerdings bewusst verzichtet, da aufgrund der petrografisch und gesteinsmechanisch schwankenden Natur des Quaderkalks oftmals ein stark selektiver Abbau betrieben werden muss und nur eine Teilmenge der Abfolge des Oberen Hauptquaderkalks als Werk- oder GaLa-Bau-Stein Verwendung finden kann.

Durch die Ergebnisse dieser Studie konnte sowohl eine Konkretisierung der rohstoffgeologischen Potenziale in der Potenzialflächen 1, 3 und 4 erzielt werden als auch eine Ausweisung dreier neuer Flächen erfolgen. Die durchgeführten Arbeiten zeigen, dass in einigen Gebieten ein Abbau mit günstigen Verhältnisen von Abraum zu Rohstoff möglich wäre. Insbesondere sind in diesem Zusammenhang die Potenzialflächen 2, 3, 4, 7, 8 und 9 zu nennen. Sie beinhalten unverritzte Quaderkalkvorkommen, die im Falle einer Erschließung nur in geringem Umfang mit konkurrierenden Flächennutzungen abgewogen werden müssten. Auch die übrigen Potenzialflächen (vergleiche Abb. 41) können die Rohstoffversorgung mit Kirchheimer Quaderkalk ergänzen. Jedoch sind dafür weiterführende Abwägungen mit konkurrierenden Nutzungen erforderlich. Da zudem die relativ weiträumig angesetzten Erkundungsbohrungen im Hinblick auf ein künftiges Abbaugebiet nur bedingte Aussagekraft haben empfiehlt es sich vor einer Erschließung engmaschigere Erkundungen mittels (Kern-)Bohrungen durchzuführen.

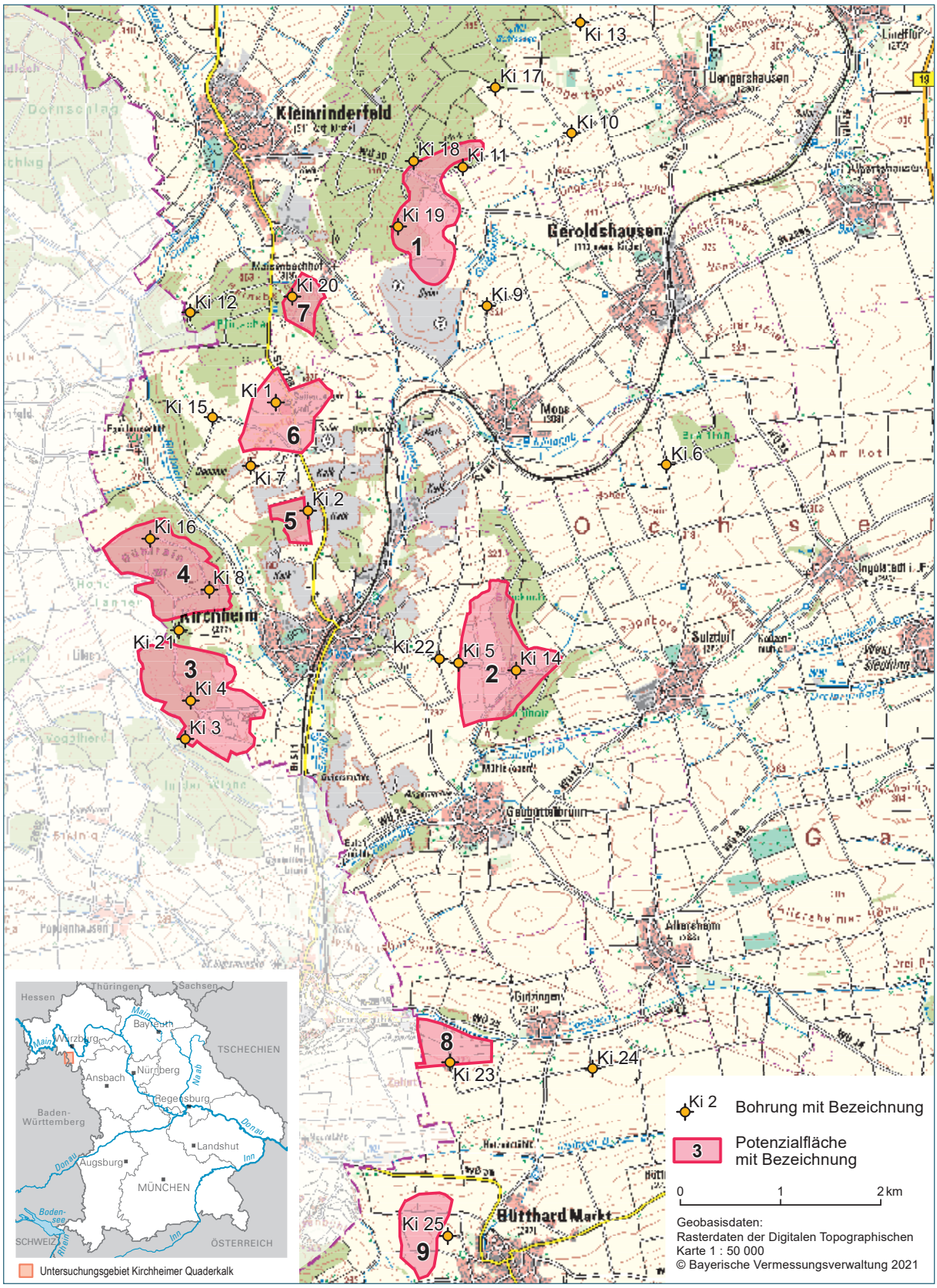

Abb. 41: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Untersuchungsgebiet um Kleinrinderfeld, Kirchheim, Gaubüttelbrunn, Gützingen und Markt Bütthard (teilweise basierend auf LfU 2019).

Glossar

BIS: Bodeninformationssystem Bayern, ein behördeninternes Fachinformationssystem des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU). Es enthält eine Vielzahl detaillierter Grundlagendaten und Fachinformationen über Geologie und Böden in Bayern.

Fazies (i.e.S. sedimentäre F.): Beschreibung der Gesteinseigenschaften von Sedimenten (sog. Lithofazies), die auf die Bedingungen während der Sedimentation ohne die nachfolgende Diagenese zurückzuführen sind und damit den ehemaligen Ablagerungsraum charakterisieren.

GaLa-Bau: Verwendung von Natursteinen für den Garten- und Landschaftsbau.

Lithostratigraphie: Teildisziplin der Stratigraphie, die die räumliche und strukturelle Gliederung von Gesteinseinheiten ausschließlich nach ihren lithologischen Eigenschaften (Gesteinsmerkmale: Zusammensetzung, Farbe, Gefüge, Korngröße, etc.) durchführt.

Quaderkalk-Formation: Gruppe fossilreicher Kalksteine aus dem Oberen Muschelkalk, die als isolierte Schillkalkeinschübe neben dem Hauptquaderkalk auftreten.

RIS-BY: Das Rauminformationssystem Bayern ist ein Informationssystem, das u. a. aus einem Geoinformationssystem mit Fachinformationen aus dem Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie besteht, die mit Landkarten und Luftbildern der Bayerischen Vermessungsverwaltung kombiniert werden können.

Schill: Ablagerungen von tierischen Skeletten aus Kalk, die vor allem an Meeresküsten entstehen.

(Bruch-)Schillkalkstein: Kalkstein, der nahezu vollständig aus Versteinerungen abgestorbener Tiere (Muscheln, Schnecken oder aus deren Bruchstücken) besteht.

Stich: Riss oder Haarriss im Gestein (Begriff aus der Naturwerksteinindustrie).

Stratigraphie: Teildisziplin der Geologie, deren Methoden zur Korrelation und zur relativen Datierung besonders von fossilführenden Sedimentgesteinen genutzt werden.

Stylolith: Feinlineare und wellig-zackige Struktur, die aus dünnen Säumen von Ton und schwer löslichen Material besteht und sich meist aderförmig abzeichnet (Tucker 1985). Die Entstehung von Stylolithen ist bedingt durch Auflösungserscheinungen in Sedimentgesteinen, überwiegend in sedimentären Karbonatgesteinen (Vinx 2011).

Tempestit (od. Sturmablagerung): Allochthone, gradiert aufgebaute und häufig geröllführende Schillkalke werden als Tempestit bezeichnet (Ager 1974).

Transgression (Adj. transgressiv): Vordringen eines Meeres auf bis dahin trocken liegende Teile eines Kontinents.

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Stratigraphische Abfolge der Germanischen Trias und des Oberen Muschelkalks in Unterfranken (auf Grundlage von GLA 1967 und Deutsche Stratigraphische Kommission 2016, verändert nach LfU 2019). 6

Abb. 2: Ausbreitung und Mächtigkeiten der unterschiedlichen Quaderkalkhorizonte (modifiziert nach Geyer 2002, aus LfU 2019). (1) Grenzquader, (2) Oberer Hauptquader, (3) Quader der Knaurigen Bank, (4) Terebratelquader, bisher nur unzureichend auskartiert, (5) Unterer Hauptquader. Die Isopachenangaben sind in Meter (Graner 1984); das idealisierte Profil für den Raum Ochsenfurt stammt von Aust (1969). 8

Abb. 3: Varietäten des Kirchheimer Quaderkalks und assoziierter Gesteine (jeweils gegen das Lager geschnitten). (A) Kernstein, (B) Goldbank, (C) Blaubank, (D) Rotbank, (E) Zugbank und (F) Gelbflaserkalk (aus LfU 2019). 9

Abb. 4: Illustration des Fränkischen Schichtstufenlands als geologisches Blockbild (modifiziert nach GLA 1993, aus LfU 2019). 12

Abb. 5: Geologische Karte (auf Grundlage der dGK 25) des Erkundungsgebiets (GLA 1967, GLA 1996, LfU 2010) 13

Abb. 6: Einteilung des Erkundungsgebiets in fünf Teilerkundungsgebiete 15

Abb. 7: Durch das zweistufige Evaluierungssystem wird sowohl die reine Gesteinsqualität bewertet (linke Säule) als auch dessen Gewinnbarkeit unter ökonomischen Gesichtspunkten (rechte Säule, Endbewertung; modifiziert nach LfU 2019). 16

Abb. 8: Beispiel für eine technisch bedingte Fragmentierung der Bohrkerne anhand der Kernbohrung Ki 20 16

Abb. 9: Teilerkundungsgebiet I mit der aus LfU 2019 ermittelten Potenzialfläche 1, den zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrungen Ki 17 bis Ki 19 sowie des nicht erkundeten Quaderkalkvorkommens nördlich von Kleinrinderfeld 18

Abb. 10: Bohrprofildarstellung der sieben Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet I, nordöstlich von Kirchheim 19

Abb. 11: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 17 (E 32 563.520:N 5.506.127). Die erbohrte Abfolge umfasst 1,2 m Quartär, 9,8 m Horizonte des Keupers und 19,0 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 17,20 m und 21,90 m. 20

Abb. 12: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 18 (E 32 562.651:N 5.505.392). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,3 m Quartär und 16,7 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 4,70 m und 10,35 m. 21

Abb. 13: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 19 (E 32 562.457:N 5.504.737). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,7 m Quartär und 20,3 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 6,35 m und 11,70 m. 22

Abb. 14: Teilerkundungsgebiet II mit der aus LfU 2019 ermittelten Potenzialfläche 2 sowie der zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrung Ki 22 23

Abb. 15: Bohrprofildarstellung der vier Erkundungsbohrungen des Teilerkundungsgebietes II östlich von Kirchheim 24

Abb. 16: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 22 (E 32 562.891:N 5.500.450). Die erbohrte Abfolge umfasst 2,7 m quartäre Einheiten, 16,1 m der Horizonte des Keupers und 14,2 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 22,75 m und 30,40 m. 25

Abb. 17: Teilerkundungsgebiet III mit den aus LfU 2019 ermittelten Potenzialflächen 3 und 4 sowie der zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrung Ki 21 26

Abb. 18: Bohrprofildarstellung der fünf Erkundungsbohrungen des westlich von Kirchheim gelegenen Teilerkundungsgebietes III 27

Abb. 19: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 21 (E 32 560.271:N 5.500.724). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,3 m Quartär, 3,4 m der Horizonte des Keupers und 11,3 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 7,75 m und 13,20 m. 28

Abb. 20: Teilerkundungsgebiet IV mit den aus LfU 2019 ermittelten Potenzialflächen 5 und 6 sowie der zur weiterführenden Erkundung abgeteuften Bohrung Ki 20 29

Abb. 21: Bohrprofildarstellung der sechs Erkundungsbohrungen des Teilerkundungsgebietes IV nördlich von Kirchheim 30

Abb. 22: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 20 (E 32 561.498:N 5.503.987). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,6 m Quartär und 22,4 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 2,60 m und 9,00 m. 31

Abb. 23: Teilerkundungsgebiet V mit dem Erkundungsvorschlag aus LfU (2019) sowie den abgeteuften Bohrungen Ki 23, 24 und 25 32

Abb. 24: Bohrprofildarstellung der drei Erkundungsbohrungen des Teilerkundungsgebietes V zwischen Gützingen und Bütthard 33

Abb. 25: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 23 (E 32 563.001:N 5.496.416). Die erbohrte Abfolge umfasst 1,8 m Quartär, 28,0 m Horizonte des Keupers und 15,0 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 33,15 m und 39,85 m. 35

Abb. 26: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 24 (E 32 564.417:N 5.496.369). Die erbohrte Abfolge umfasst 2,5 m Quartär, 30,2 m Horizonte des Keupers und 15,3 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 35,85 m und 41,75 m. 37

Abb. 27: Stratigraphische Einteilung der Kernbohrung Ki 25 (E 32 562.987:N 5.494.683). Die erbohrte Abfolge umfasst 0,4 m Quartär, 6,4 m Horizonte des Keupers und 19,7 m des Oberen Muschelkalks 3. Die potenziell rohstoffhöffigen Bereiche liegen zwischen 9,50 m und 16,60 m. 38

Abb. 28: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet I 41

Abb. 29: Rohstoffgeologische Bewertung der sieben Erkundungsbohrungen im Bereich nordöstlich von Kirchheim (Teilerkundungsgebiet I) 42

Abb. 30: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet II 43

Abb. 31: Rohstoffgeologische Bewertung der vier Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet II östlich von Kirchheim 44

Abb. 32: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet III 46

Abb. 33: Rohstoffgeologische Bewertung der fünf Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet III westlich von Kirchheim 47

Abb. 34: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet VI. 48

Abb. 35: Rohstoffgeologische Bewertung der sechs Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet IV nördlich von Kirchheim 50

Abb. 36: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Teilerkundungsgebiet V 51

Abb. 37: Rohstoffgeologische Bewertung der drei Erkundungsbohrungen im Teilerkundungsgebiet V zwischen Gützingen und Bütthard 52

Abb. 38: Geologisches 3D-Modell (ArcScene, 10-fach überhöht dargestellt) des Oberen Hauptquaderkalks im Untersuchungsgebiet zwischen Kleinrinderfeld, Kirchheim, Gaubüttelbrunn, Gützingen und Bütthard ([1] nach GLA 1967 und LfU 2010). 53

Abb. 39: 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard. Verwendete Datengrundlage aus LfU (2019), erweitert um neun neue Erkundungsbohrungen. 54

Abb. 40: 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard. Kombinierte Darstellung der Mächtigkeit des OHQ mit dem darüber liegenden Abraum. 55

Abb. 41: Ermittelte Rohstoffpotenziale im Untersuchungsgebiet um Kleinrinderfeld, Kirchheim, Gaubüttelbrunn, Gützingen und Markt Bütthard (teilweise basierend auf LfU 2019). 59

Abb. 42: Detailausschnitt A der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 71

Abb. 43: Detailausschnitt B der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 72

Abb. 44: Detailausschnitt C der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 73

Abb. 45: Detailausschnitt D der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 74

Abb. 46: Detailausschnitt A der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 75

Abb. 47: Detailausschnitt B der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 76

Abb. 48: Detailausschnitt C der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 77

Abb. 49: Detailausschnitt D der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard 78

Abb. 50: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 9 (E 32 563.359:N 5.503.968) 80

Abb. 52: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 11 (E 32 563.108:N 5.505.347) 81

Abb. 51: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 10 (E 32 564.203:N 5.505.717) 81

Abb. 53: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 13 (E 32 564.291:N 5.506.797) 82

Abb. 54: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 5 (E 32 563.092:N 5.500.404) 83

Abb. 55: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 6 (E 32 565.168:N 5.502.372) 83

Abb. 56: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 14 (E 32 563.657:N 5.500.326) 84

Abb. 57: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 4 (E 32 560.408:N 5.500.024) 85

Abb. 58: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 8 (E 32 560.508:N 5.501.094) 86

Abb. 59: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 16 (E 32 560.005:N 5.501.639) 86

Abb. 60: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 1 (E 32 561.263:N 5.502.970) 87

Abb. 61: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 2 (E 32 561.562:N 5.501.918) 88

Abb. 62: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 7 (E 32 561.005:N 5.502.363) 88

Abb. 63: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 12 (E 32 560.576:N 5.503.999) 89

Abb. 64: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 15 (E 32 560.640:N 5.502.822) 89

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Abschlusseinschätzung der ermittelten Potenziale. Die rohstoffgeologische Bewertung ist folgendermaßen abgestuft: sehr hohes Potenzial > hohes Potenzial > gutes Potenzial > mäßiges Potenzial (LfU 2019). 5

Tab. 2: Steinbrecher Klassifikation der Quaderkalke des Oberen Hauptquaderhorizontes (Drexler 1964, GLA 1984, LfU 2019). 10

Tab. 3: Teufenunabhängige Bewertung der Rohstoffqualität von Quaderkalken ([1] im Rahmen dieser Studie wurden keine gesteinsphysikalischen Untersuchungen durchgeführt). 14

Tab. 4: Für die 3D-Modellierung mittels „ArcGIS“ getroffene Vereinfachung der geologischen Abfolge. 17

Tab. 5: Auswertung der Ergebnisse der Kernbohrungen Ki 17 bis Ki 25. Für eine abschließende Gesamteinschätzung der jeweiligen Rohstoffpotenziale sind die Ergebnisse der Kernbohrungen Ki 1 bis K 16 (*) aus LfU (2019) mit dargestellt. Das Verhältnis von Abraum zu Rohstoff ergibt sich aus der Division der Abraummächtigkeit (m) durch die nutzbare Mächtigkeit (m) des OHQ (Werkstein- und GaLa-Bau-Qualität). 40

Tab. 6: Statistischer Vergleich der Datenbasis der Modellversion V1 und V2 des Oberen Hauptquaderkalks im Untersuchungsgebiet (LfU 2019). Stützpunkte aus geol. Kartierung1 nach GLA 1967 und LfU 2010. 56

Tab. 7: Statistischer Vergleich der Datenbasis der Modellversion V1 und V2 des Oberen Hauptquaderkalks im Untersuchungsgebiet (LfU 2019). 56

Tab. 8: Abschlusseinschätzung der ermittelten Potenziale. Die rohstoffgeologische Bewertung ist folgendermaßen abgestuft: sehr hohes Potenzial>hohes Potenzial>gutes Potenzial>mäßiges Potenzial. 58

Tab. 9: Verortung, Ansatz- und Basishöhe der abgeteuften Bohrungen für den Oberen Hauptquaderkalk, die die Grundlage für die durchgeführte 3D-Modellierung bilden (*Messpunkte aus LfU 2019). Aufgrund datenschutzrechtlicher Bestimmungen können die Daten der weiteren Stützpunkte nicht veröffentlicht werden. 79

Tab. 10: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 9 (LfU 2019) 80

Tab. 11: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 10 (LfU 2019) 80

Tab. 12: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 11 (LfU 2019) 81

Tab. 13: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 13 (LfU 2019) 82

Tab. 14: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 5 (LfU 2019) 82

Tab. 15: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 6 (LfU 2019) 83

Tab. 16: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 14 (LfU 2019) 84

Tab. 17: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 3 (LfU 2019) 84

Tab. 18: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 4 (LfU 2019) 85

Tab. 19: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 8 (LfU 2019) 85

Tab. 20: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 16 (LfU 2019) 86

Tab. 21: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 1 (LfU 2019) 87

Tab. 22: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 2 (LfU 2019) 87

Tab. 23: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 7 (LfU 2019) 88

Tab. 24: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 12 (LfU 2019) 89

Tab. 25: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 15 (LfU 2019) 89

Literaturverzeichnis

Ager, D. V. (1974): Storm deposits in the Jurassic of the Moroccan High Atlas.- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Vol. 15, S. 83–93.

Aigner, Th. (1979): Schilltempestite im Oberen Muschelkalk (Trias, SW-Deutschland).- N. Jb. Geol. Paläontolog. Abh. 157, S. 326–343.

Aust, H. (1969): Lithologie, Geochemie und Paläontologie des Grenzbereiches Muschelkalk-Keuper in Franken.- Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg 10, S. 3–155.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1964): Muschelkalk. – Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000, S. 81–95 und 307–309, Bearbeiter: Emmert, U. - München.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1967): Geologische Karte von Bayern 1:25 000 mit Erläuterung, Blatt 6225 Würzburg Süd. 134 S. – Bearbeiter: Hoffmann, U. – München.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern – Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden mit einer Karte 1 : 500 000. - Geologica Bavarica 86. – 563 S.. Bearbeiter: Weinig, H., Dobner, A., Lagally, U., Stephan, W., Streit, R., Weinelt, W. – München.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1990): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt 6425 Röttingen. – Bearbeiter: Freudenberger, W. – München.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1993): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Main – Hydrogeologie. 138 S.. – Bearbeiter: Apel, R., Büttner, G., Dobner, A. & Frank, H. – München.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1996): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt 6324 Tauberbischhofsheim-Ost. – Bearbeiter: Albert, K., Simon, T. – München.

Bayerisches Geologisches Landesamt (1997): Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6425 Röttingen. 133 S.. - Bearbeiter: Freudenberger, W. - München.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2010): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt 6325 Giebelstadt. – Bearbeiter: Voßmerbäumer, H., Haunschild, H. (1992) – Augsburg.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013): Geotope in Unterfranken.- Erdwissenschaftliche Beiträge zum Naturschutz. Band 8, 197 S.. – Bearbeiter: Loth, G., Geyer, G., Hoffmann, U., Jobe, E., Lagally, U., Loth, R., Pürner, TH., Weinig, H. & Rohrmüller, R. – Augsburg.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2019): Kirchheimer Quaderkalk – Naturwerkstein-Potenziale im Oberen Muschelkalk.108 S.. - Bearbeiter: Miehlbradt, M., Linhardt, E., Eicke, C. – Augsburg.

Braun, S. (2003): Quantitative analysis of carbonate sandbodies: Outcrop analogue study from an epicontinental basin (Triassic Germany). - Diss. Universität Tübingen, 167 S.

Deutsche Steinbruchkartei (1938): Steinbruch: Klößberg-Bruch. Bstk. 47: 547/26.

Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.: Redaktion, Koordination und Gestaltung: Menning, M. & Hendrich, A.) (2016): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016. Potsdam (GeoForschungsZentrum).

Drexler, P. (1964): Der Quaderkalk im Hauptmuschelkalk Frankens (Eine Geowirtschaftliche Studie). - Diss. Universität Würzburg, 141 S.

Geisler, R. (1938): Zur Stratigraphie des Hauptmuschelkalkes in der Umgebung von Würzburg mit besonderer Berücksichtigung der Ceratiten.- Jb. Preuß. Geol. Landesanstalt 59, Berlin, S. 197–248.

Geyer, G. (2002): Geologie von Unterfranken und angrenzende Regionen.- Fränkische Landschaften. Arbeiten zur Geographie von Franken 2, Gotha/Stuttgart (Klett-Perthes), 588 S.

GLA siehe unter Bayerisches Geologisches Landesamt

Graner, D. (1984): Zur Petrographie und Genese der Quaderkalkfazies (Trias, mo3) im fränkisch-württembergischen Raum.- Dissertation Universität Würzburg, 114 S.

Hagdorn, H. & Simon, T. (1985): Geologie und Landschaft des Hohenloher Landes. In: Forschungen aus Württembergisch Franken.- Sigmaringen (Jan Thorbecke Verlag), 181 S.

Hatzold, W. (1981): Zum Quaderkalk (Trias, mo) Frankens.- Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. 63. S 211–217.

LfU siehe Bayerisches Landesamt für Umwelt

Palermo, D., Aigner, Th., Nardon, S. & Blendinger, W. (2010): Three-dimensional facies modeling of carbonate sand bodies: Outcrop analog study in an epicontinental basin (Triassic, southwest Germany).- AAPG Bulletin 94 (4), S. 475–512.

Petrovic, A. (2016): Complexity of carbonate ramp reservoirs: Regional sedimentological evaluation and modeling of an Upper Muschelkalk coquina shoal complex (Triassic, SW Germany).- University of Tübingen, Germany, Ph.D.Thesis, 260 S.

Petrovic, A. & Aigner, T. (2017): Are shoal reservoirs Discrete Bodies? A Coquina shoal outcrop analogue from the mid Triassic upper Muschelkalk, SW Germany.- Journal of Petroleum Geology, Vol 40 (3), July 2017. S 249–275.

Petrovic, A., Aigner, T., Pontiggia, M. (2018): Facies Heterogeneities in a ramp carbonate reservoir analogue: a new high-resolution approach for 3D facies modelling.- Journal of Petroleum Geology, Vol. 41 (2). S 155–174.

Reis, O. M. (1909): Beobachtungen über Schichtenfolge und Gesteinsausbildungen in der Fränkischen Unteren und Mittleren Trias. I. Muschelkalk und Untere Lettenkohle.- Geogn. Jb. 22, München. S. 1–284.

Rutte, E. (1981): Bayerns Erdgeschichte. Der geologische Führer durch Bayern.- München (Ehrenwirth). 266 S.

Rutte, E. & Wilczewski, N. (1983): Mainfranken und Rhön.- Sammlung geologischer Führer, 74: VII. Berlin, Stuttgart (Borntraeger). 217 S.

Sandberger, F. (1867): Die Gliederung der Würzburger Trias und ihrer Aequivalente.- Würzburger Naturwiss. Zeitschr. 5. S. 131–208.

Schuster, M. (1936): Kalksteine des Muschelkalkes. In: Bayerisches Oberbergamt (Hrsg.): Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns. II. Band: Franken, Oberpfalz und Schwaben nördlich der Donau.- München. S. 34–66.

Sibson, R. (1981): A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. In: Barnett, V., Ed., Interpolating Multivariate Data. New York (John Wiley & Söhne). S. 21–36.

Simon, T. (1999): Erläuterungen zur geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:25 000, Blatt Nr. 6324 Tauberbischofsheim-Ost.- Freiburg i. Br. (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg). 127 S.

Tucker, M. E. (1985): Einführung in die Sedimentpetrologie.- Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag). 265 S.

Vinx, R. (2011): Gesteinsbestimmung im Gelände.- 3. Auflage 2011, Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag). 480 S.

Wagner, G. (1913): Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des oberen Hauptmuschelkalks und der unteren Lettenkohle in Franken.- Geologische und Palaeontologische Abhandlungen, N. F. Bd. 12 H. 3. Jena (Fischer Verlag). 180 S.

Anhang

A Detailausschnitte des Modellierungsergebnisses

B Verortung, Ansatz- und Basishöhe der abgeteuften Erkundungsbohrungen

C Rohstoffgeologische Kurzcharakteristik der Erkundungsbohrungen Ki 1 bis Ki 16 (geringfügig modifiziert nach LfU 2019)

A Detailausschnitte des Modellierungsergebnisses

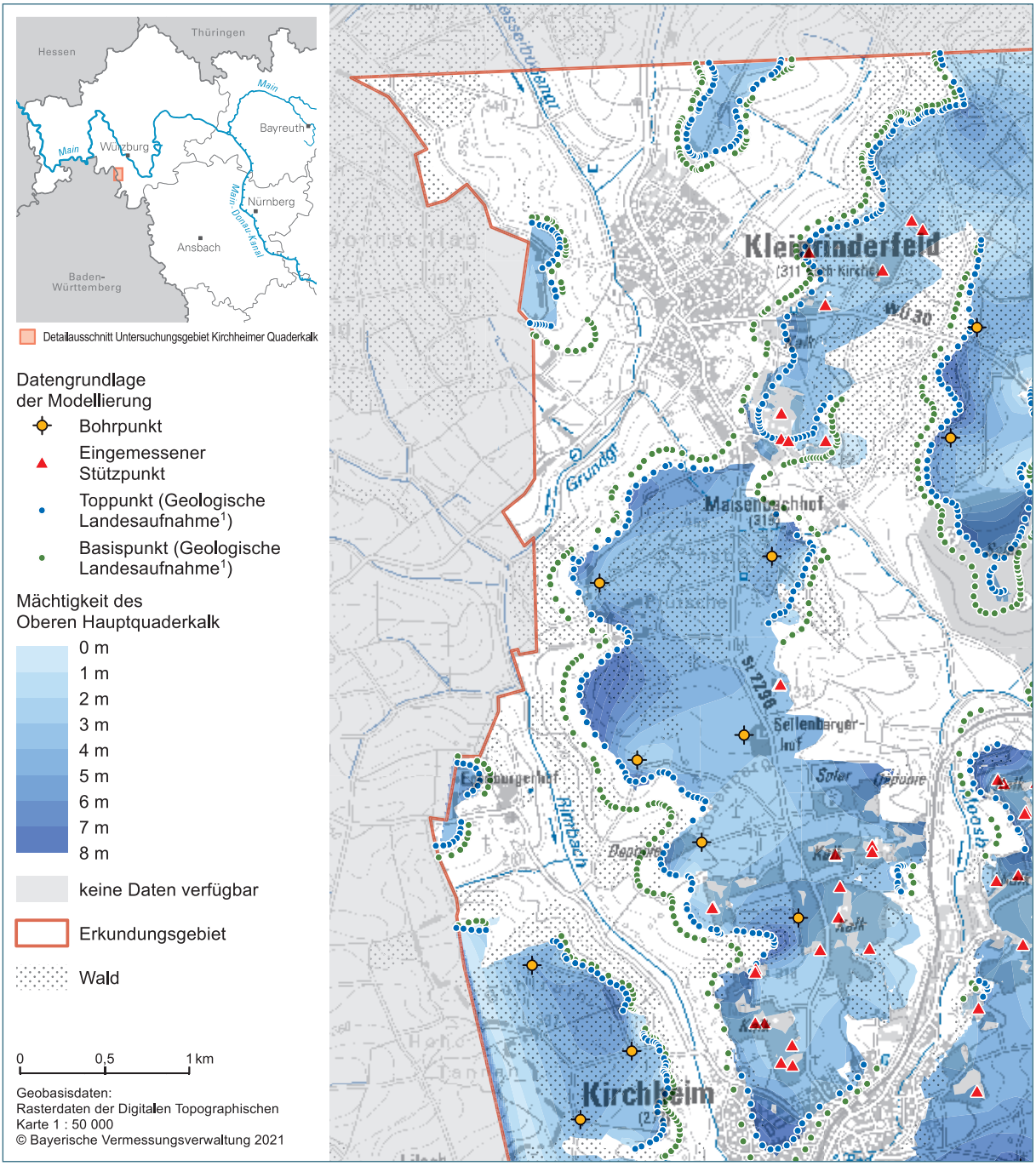

Abb. 42: Detailausschnitt A der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

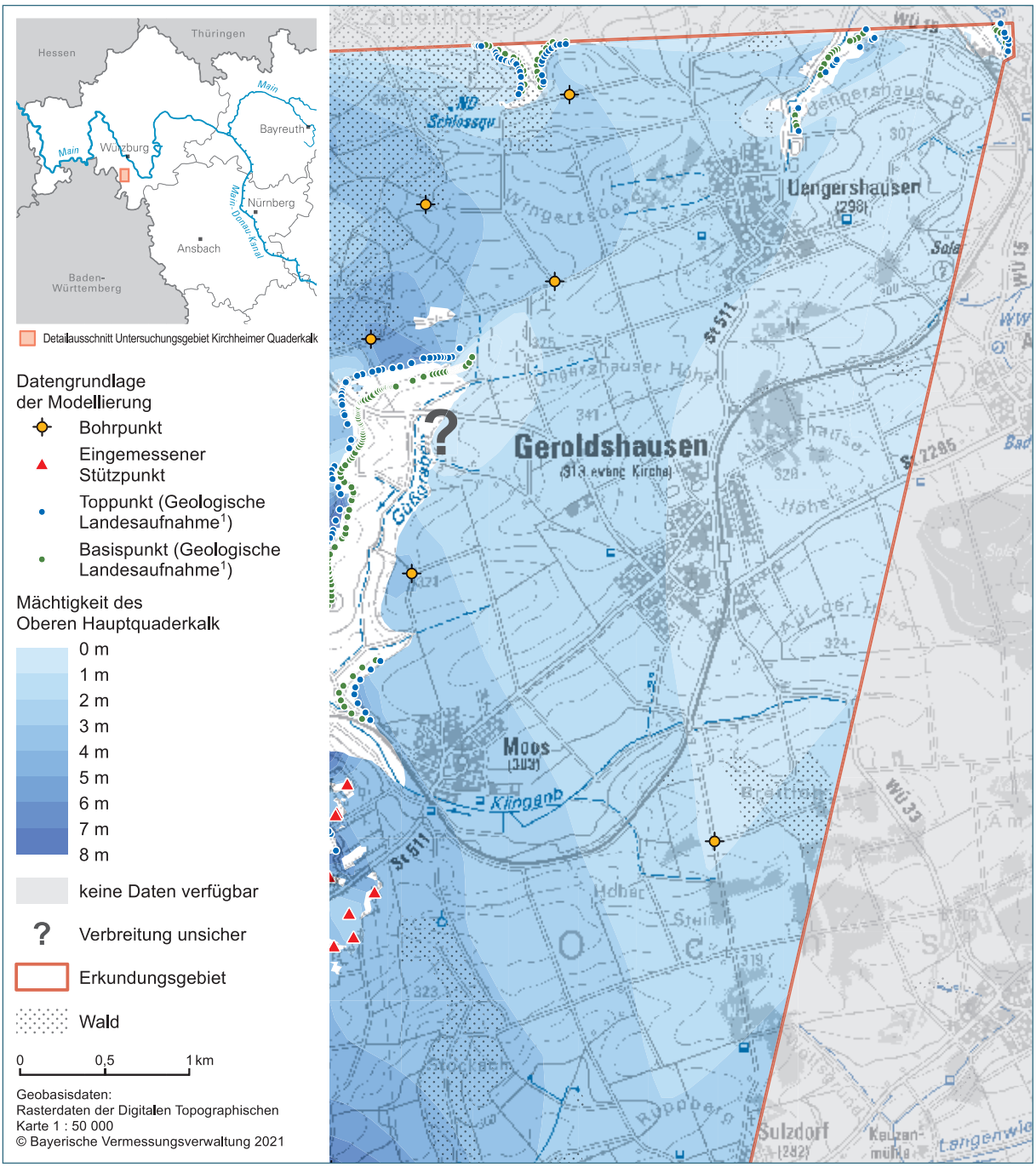

Abb. 43: Detailausschnitt B der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

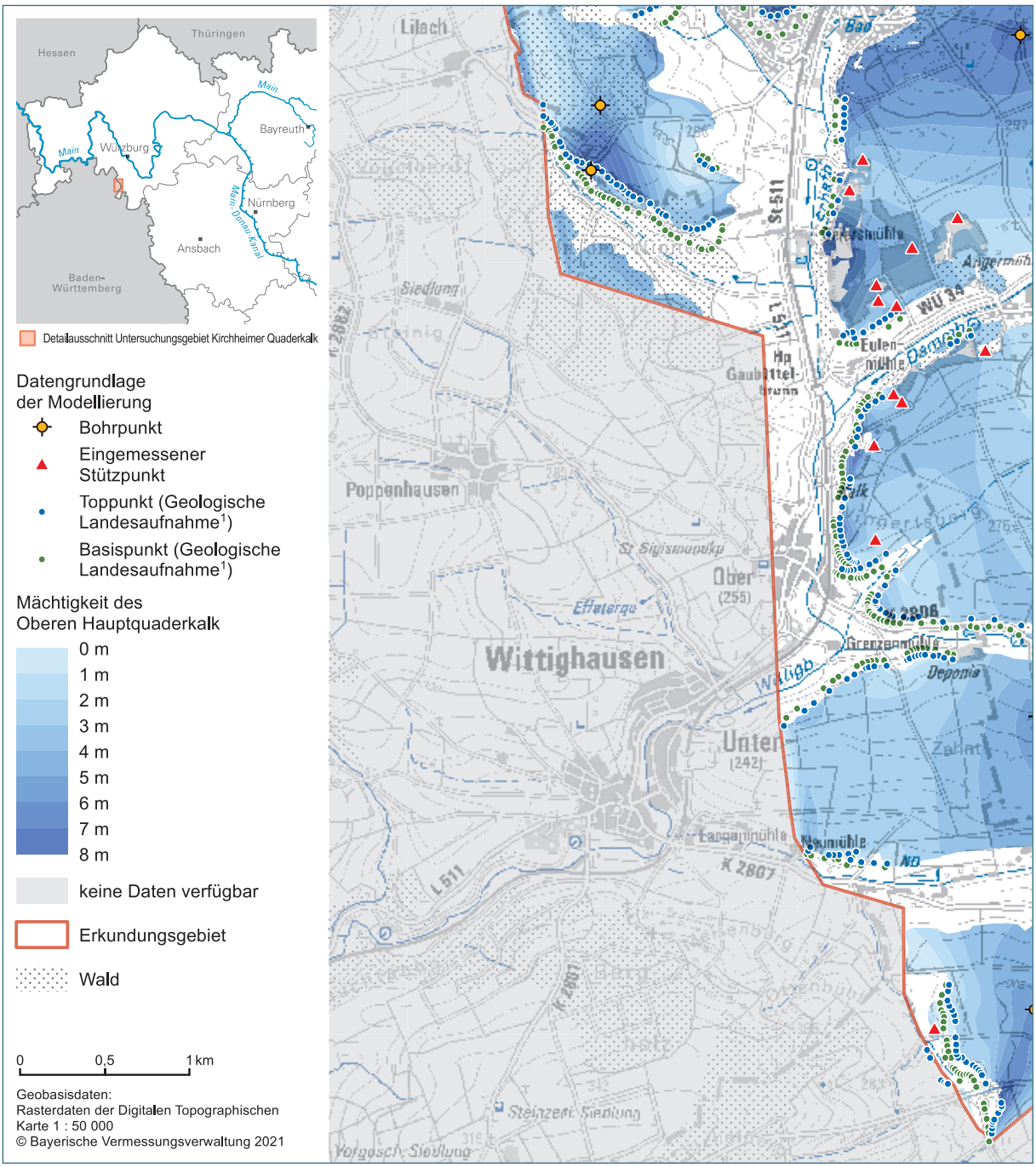

Abb. 44: Detailausschnitt C der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

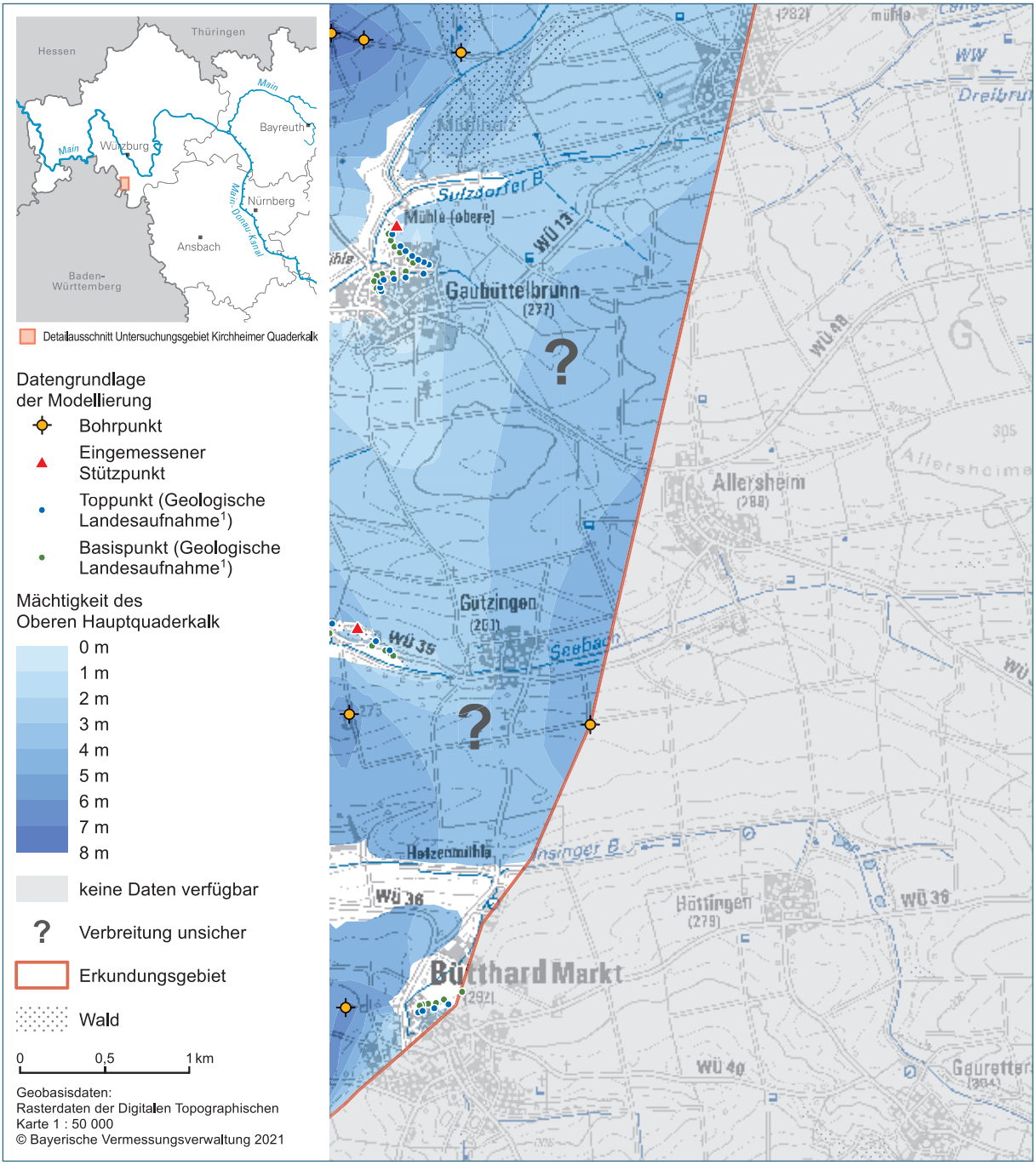

Abb. 45: Detailausschnitt D der 2D-Darstellung der Mächtigkeit des Oberen Hauptquaderkalkes im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

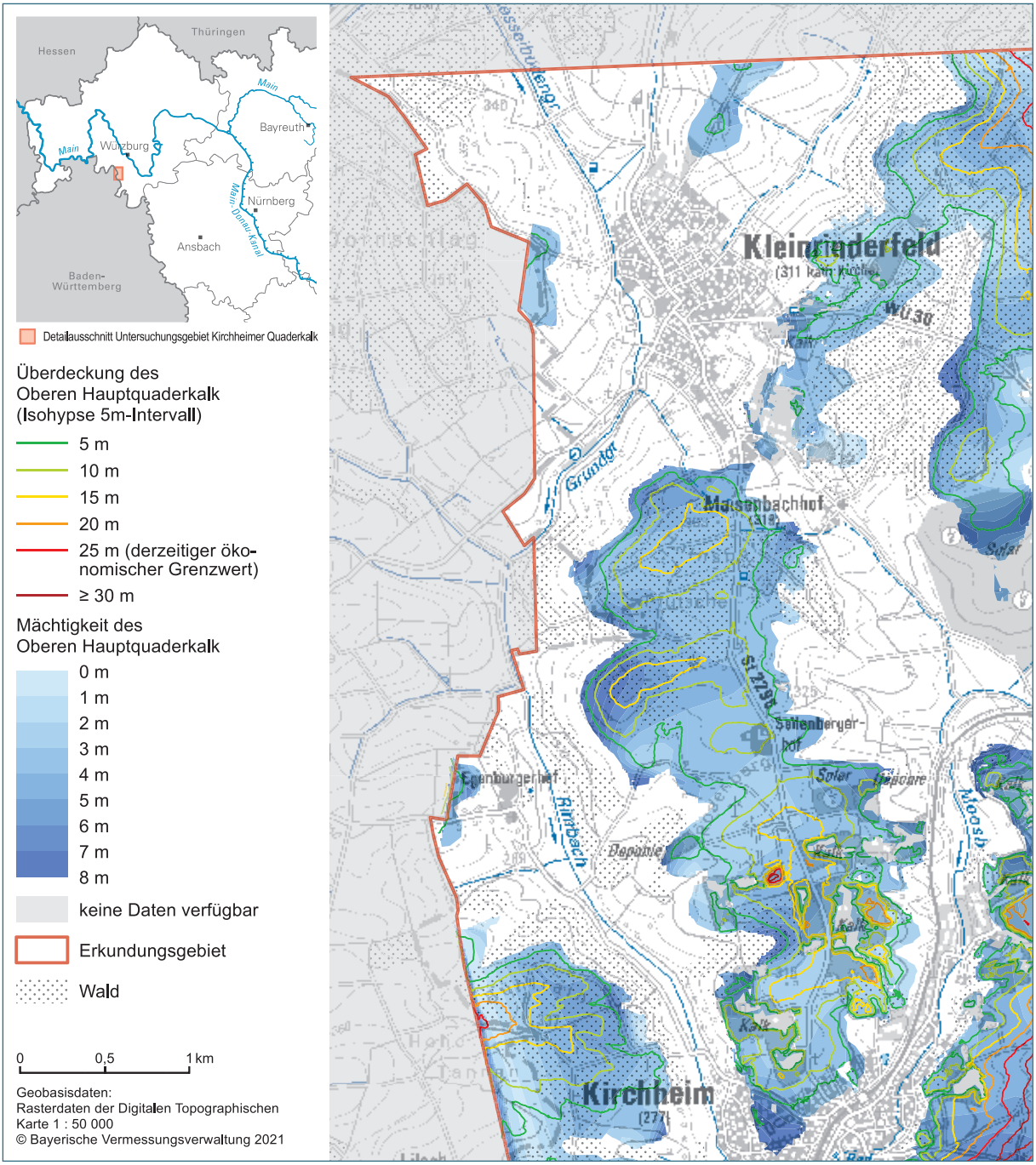

Abb. 46: Detailausschnitt A der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

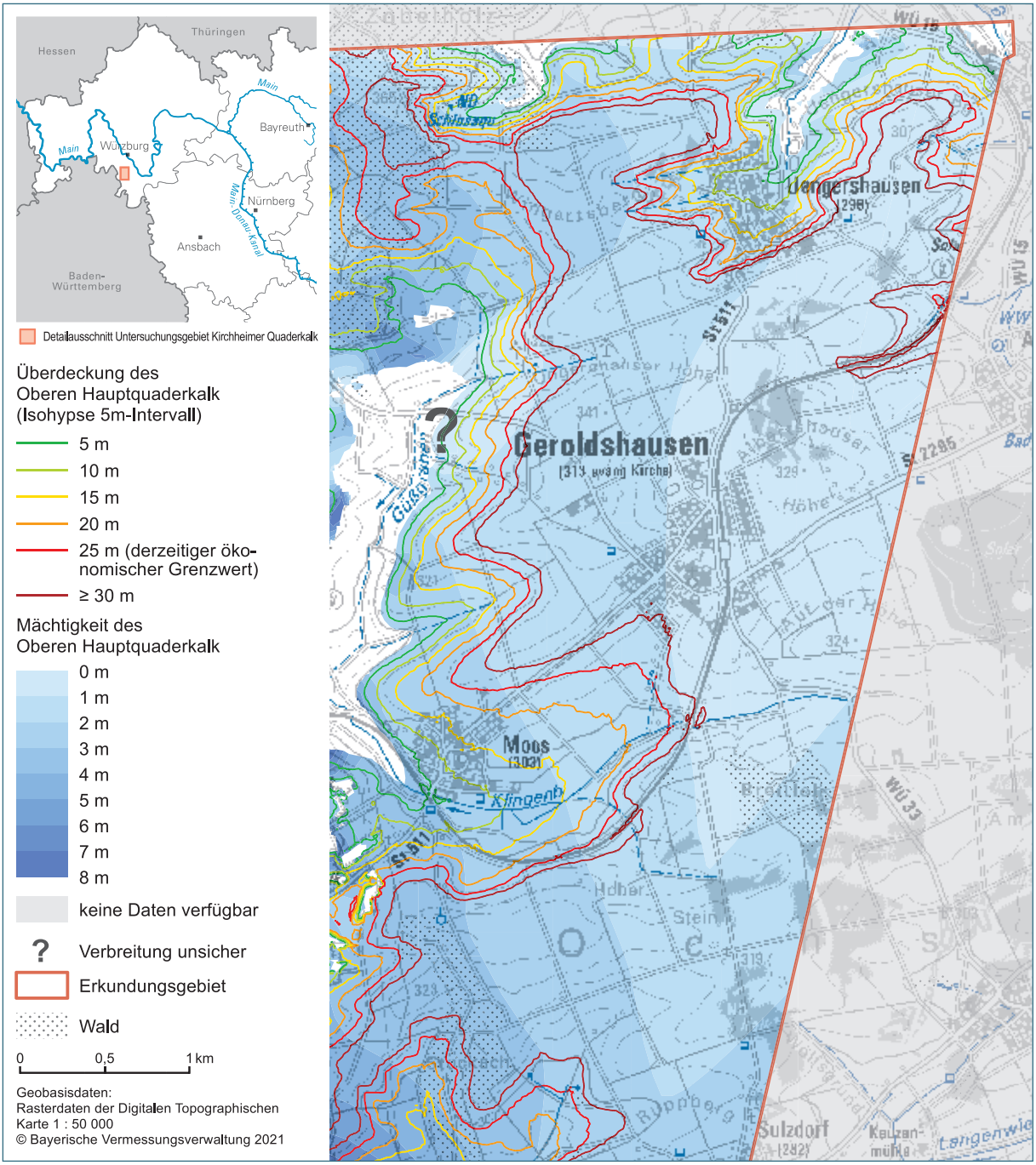

Abb. 47: Detailausschnitt B der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

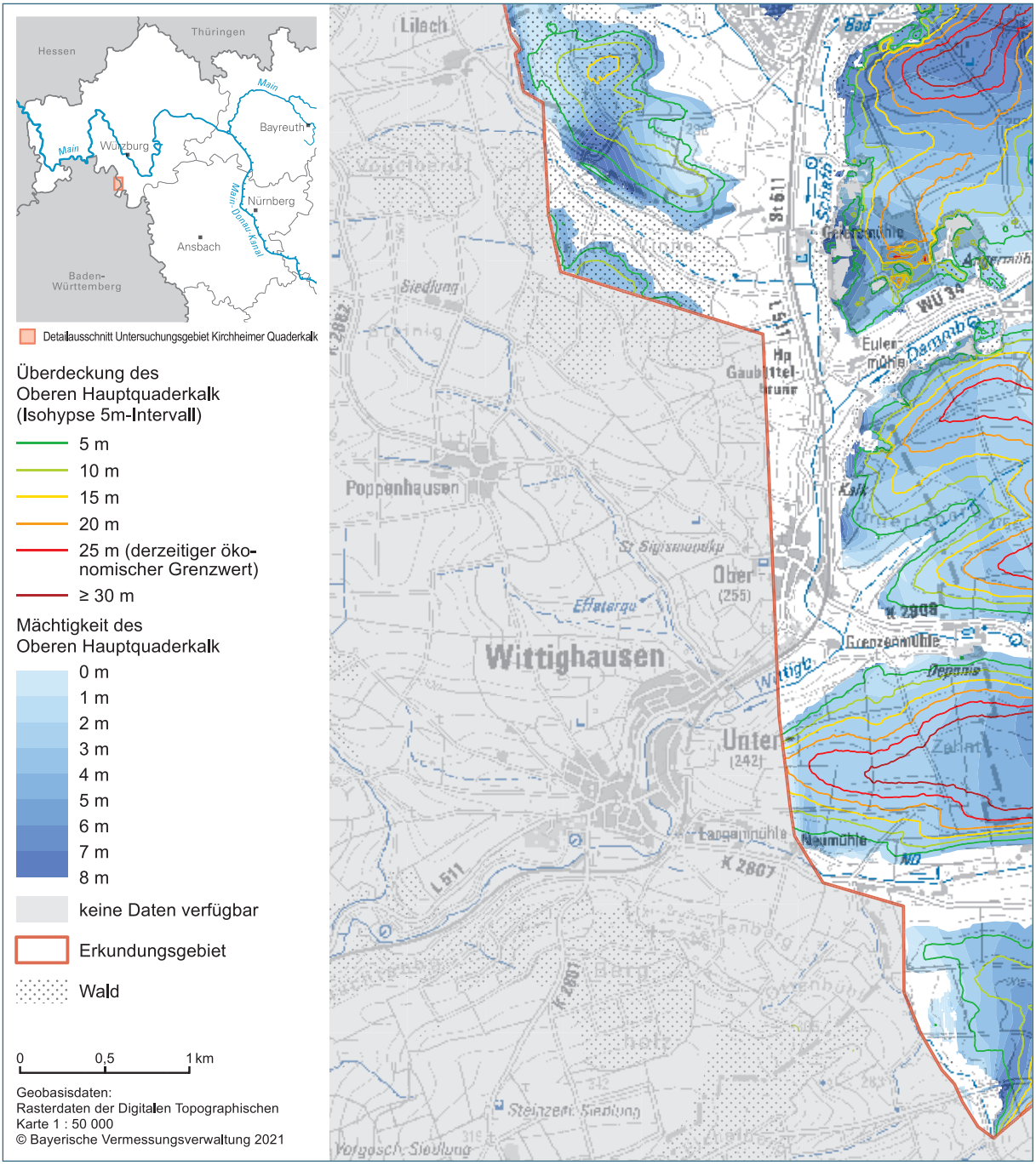

Abb. 48: Detailausschnitt C der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

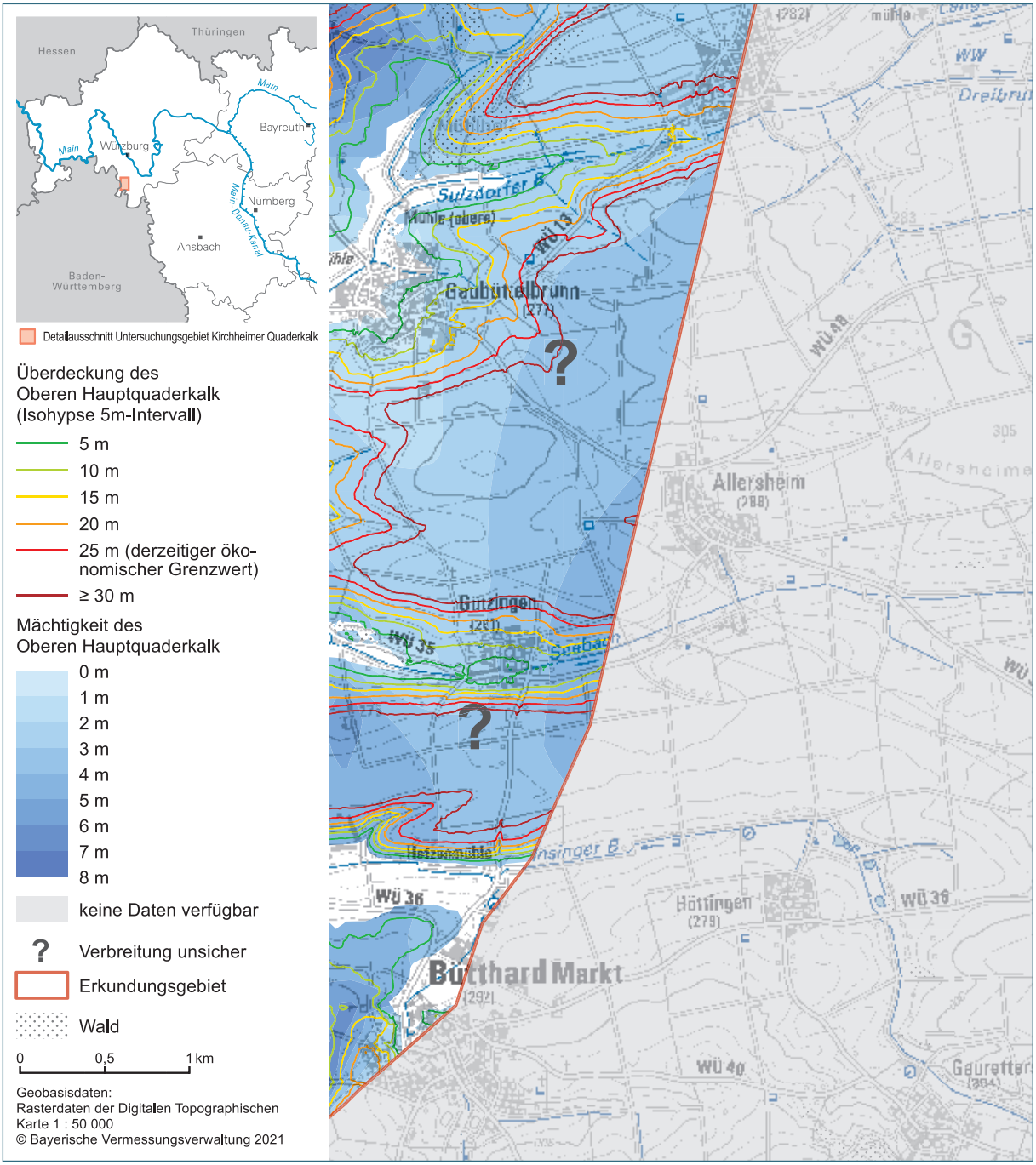

Abb. 49: Detailausschnitt D der 2D-Darstellung des Abraums über dem Oberen Hauptquaderkalk im Gebiet Kleinrinderfeld, Kirchheim und Markt Bütthard

B Verortung, Ansatz- und Basishöhe der abgeteuften Erkundungsbohrungen

Tab. 9: Verortung, Ansatz- und Basishöhe der abgeteuften Bohrungen für den Oberen Hauptquaderkalk, die die Grundlage für die durchgeführte 3D-Modellierung bilden (*Messpunkte aus LfU 2019). Aufgrund datenschutzrechtlicher Bestimmungen können die Daten der weiteren Stützpunkte nicht veröffentlicht werden.

Teilerkundungs-gebiet	Messpunkt	Ostwert – UTM-Koordinate	Nordwert – UTM-Koordinate	Ansatzhöhe OHQ [m]	Basishöhe OHQ [m]
I	Ki 9*	32 563.359	5.503.968	306,3	301,9
I	Ki 10*	32 564.203	5.505.717	299,8	298,1
I	Ki 11*	32 563.108	5.505.347	331,7	326,2
I	Ki 13*	32 564.291	5.506.797	300,4	297,0
I	Ki 17	32 563.520	5.506.127	319,9	315,2
I	Ki 18	32 562.651	5.505.392	367,3	361,9
I	Ki 19	32 562.457	5.504.737	354,7	349,3
II	Ki 5*	32 563.092	5.500.404	280,3	272,3
II	Ki 6*	32 565.168	5.502.372	266,6	261,6
II	Ki 14*	32 563.657	5.500.326	272,2	269,5
II	Ki 22	32 562.891	5.500.450	280,3	272,6
III	Ki 3*	32 560.331	5.499.612	297,7	296,5
III	Ki 4*	32 560.408	5.500.024	305,2	299,6
III	Ki 8*	32 560.508	5.501.094	309,0	303,9
III	Ki 16*	32 560.005	5.501.639	324,3	319,9
III	Ki 21	32 560.271	5.500.724	312,3	306,8
IV	Ki 1*	32 561.263	5.502.970	327,5	324,3
IV	Ki 2*	32 561.562	5.501.918	300,4	294,7
IV	Ki 7*	32 561.005	5.502.363	320,6	317,9
IV	Ki 12*	32 560.576	5.503.999	345,4	343,5
IV	Ki 15*	32 560.640	5.502.822	318,0	317,0
IV	Ki 20	32 561.498	5.503.987	362,4	356,6
V	Ki 23	32 563.001	5.496.416	238,5	232,1
V	Ki 24	32 564.417	5.496.369	249,6	243,7
V	Ki 25	32 562.987	5.494.683	293,5	286,0

C Rohstoffgeologische Kurzcharakteristik der Erkundungsbohrungen Ki 1 bis Ki 16 (geringfügig modifiziert nach LfU 2019)

Teilerkundungsgebiet I – nordöstlich von Kirchheim

Ki 9

Tab. 10: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 9 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Rotbank	0,3	-
2	Dichter Schillkalkstein	-	1,0
3	Gelbflaserkalk	-	-

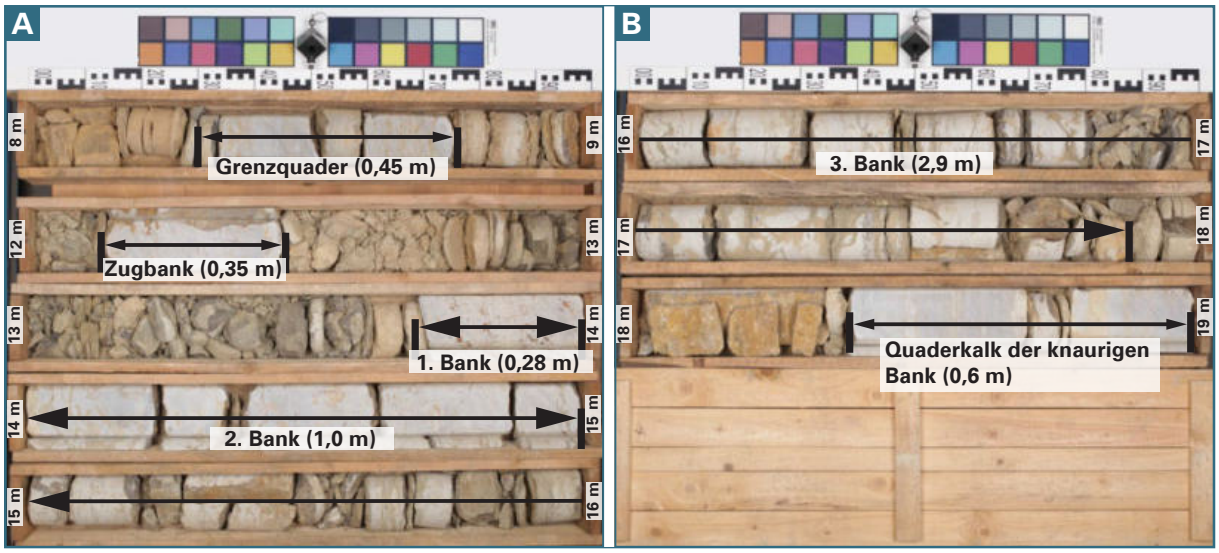

Abb. 50: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 9 (E 32 563.359:N 5.503.968)

Ki 10

Tab. 11: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 10 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Dichter Schillkalkstein	-	0,5
2	Gelbflaserkalk	-	-

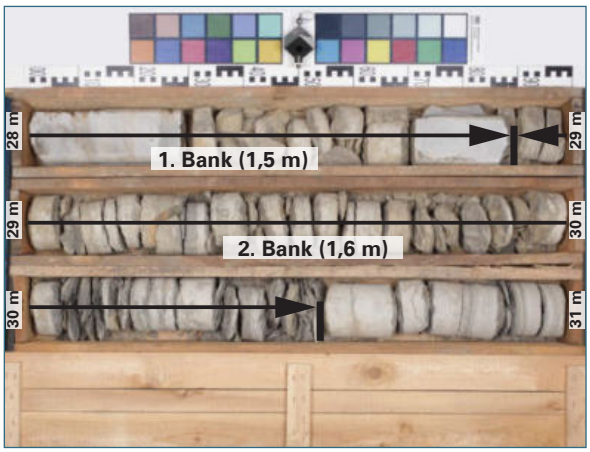

Abb. 51: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 10 (E 32 564.203:N 5.505.717)

Ki 11

Tab. 12: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 11 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Oberbank	-	-
2	Kernstein	0,3	-
3	Gelbflaserkalk	-	-
4	Rotbank	2,2	-
5	Gelbflaserkalk	-	-

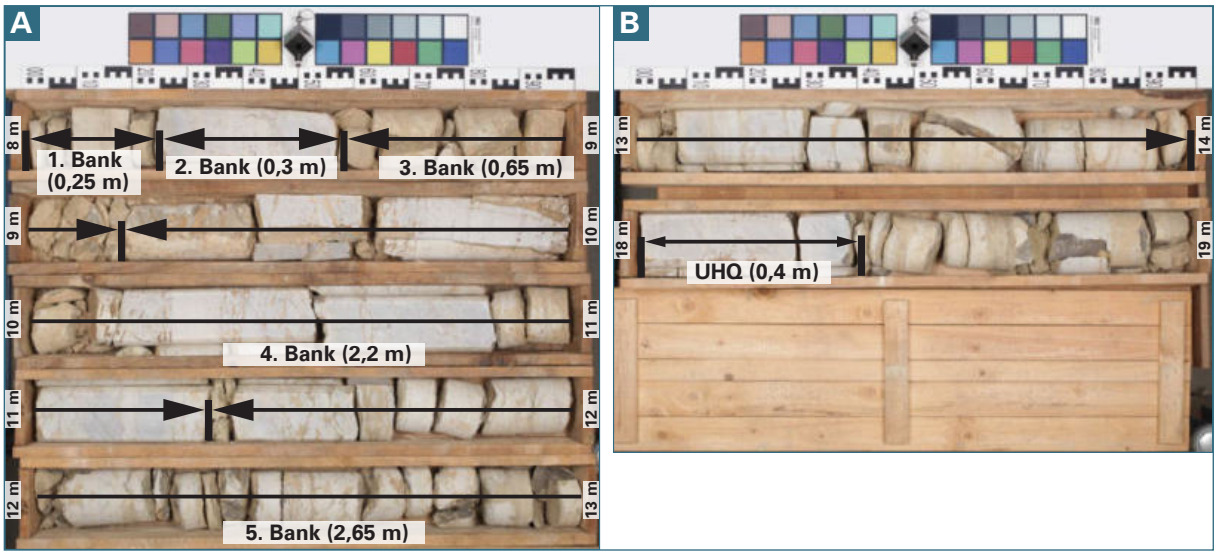

Abb. 52: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 11 (E 32 563.108:N 5.505.347)

Ki 13

Tab. 13: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 13 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Rotbank	-	0,4
2	Gelbflaserkalk	-	-
3	Gelbflaserkalk	-	-
4	Gelbflaserkalk	-	-

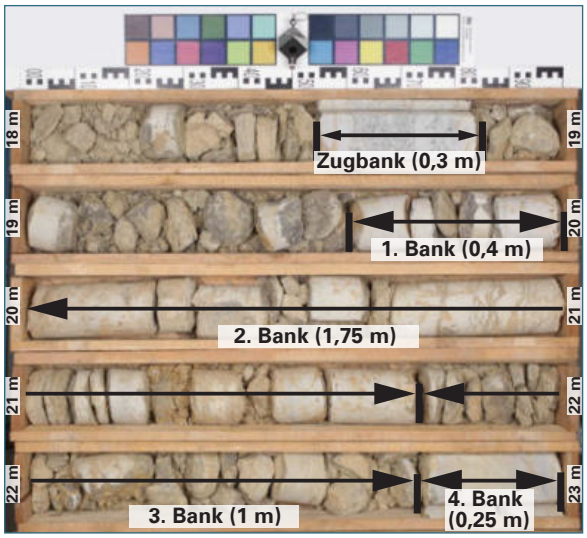

Abb. 53: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 13 (E 32 564.291:N 5.506.797)

Teilerkundungsgebiet II – östlich von Kirchheim

Ki 5

Tab. 14: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 5 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Oberbank (Rotbank)	2,3	-
2	Rotbank	1,0	-
3	Blaubank	1,7	-
4	Blaubank	0,7	
5	Gelbflaserkalk	-	2,1
6	Blaubank	-	0,3

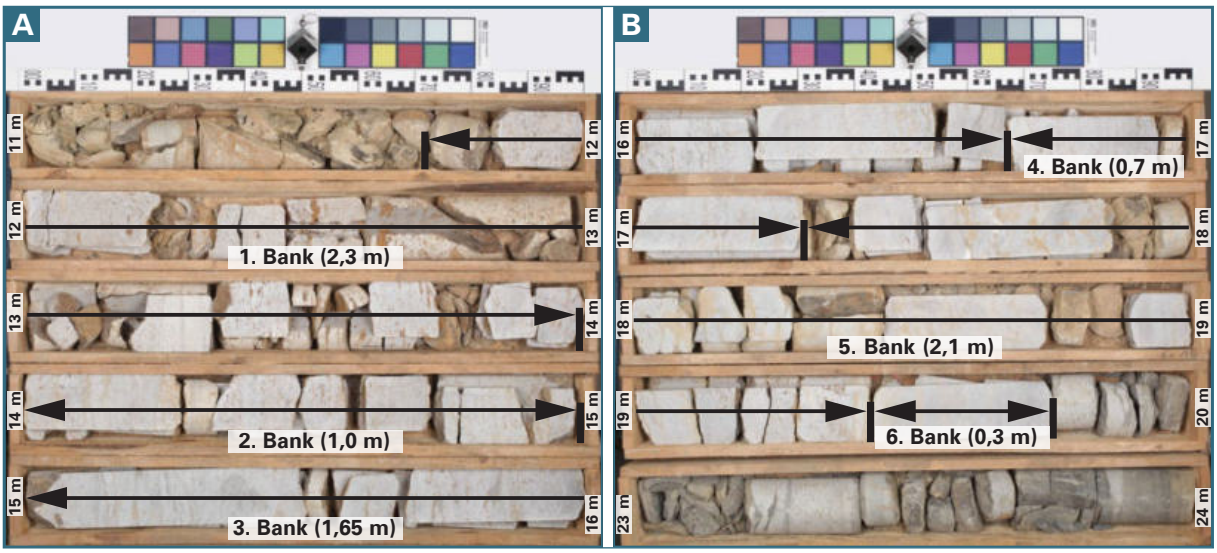

Abb. 54: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 5 (E 32 563.092:N 5.500.404)

Ki 6

Tab. 15: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 6 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Blaubank	-	0,6
2	Blaubank-Rotbank	-	0,5

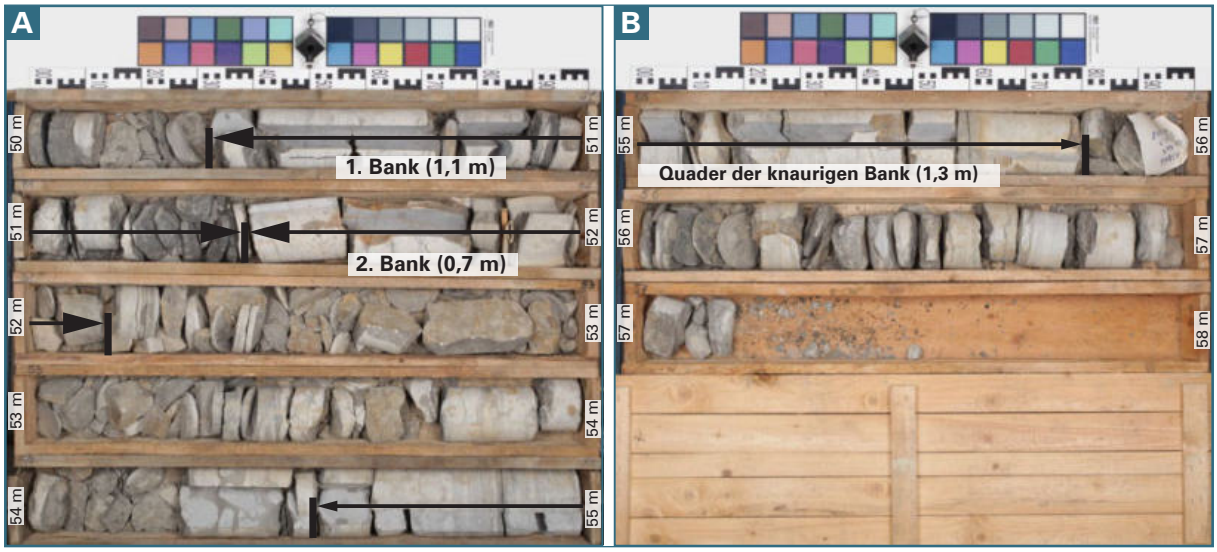

Abb. 55: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 6 (E 32 565.168:N 5.502.372)

Ki 14

Tab. 16: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 14 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Dichter Schillkalkstein	-	-
2	Kernstein-Rotbank	0,6	-
3	Dichter Schillkalkstein	-	1,1
4	Kernstein	0,8	-
5	Gelbflaserkalk	-	-

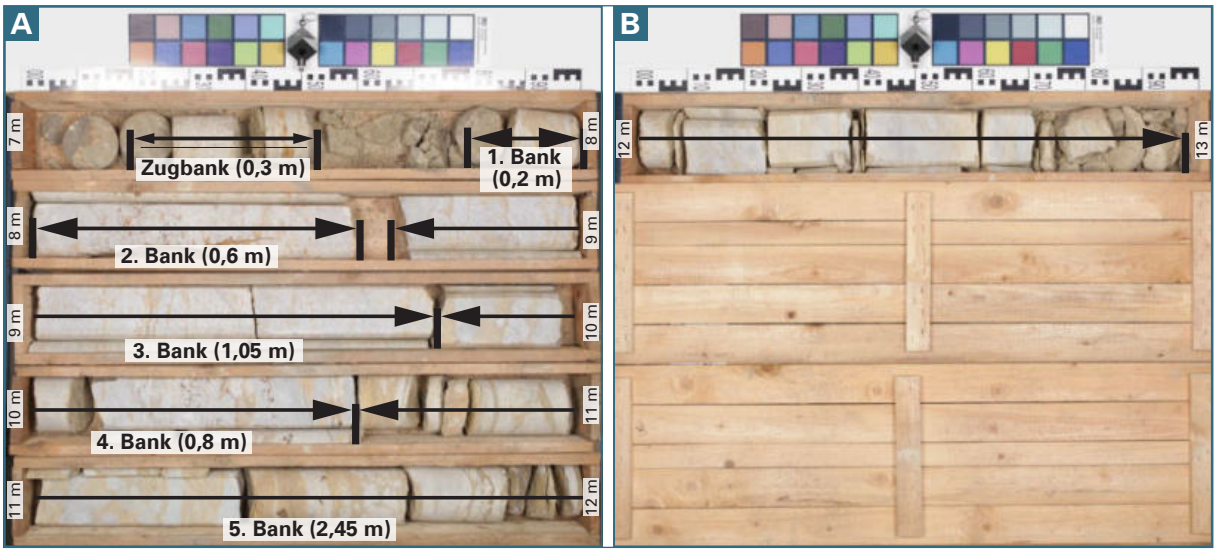

Abb. 56: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 14 (E 32 563.657:N 5.500.326)

Teilerkundungsgebiet III – westlich von Kirchheim

Ki 3

Tab. 17: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 3 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	OHQ, verkarstet	-	-

Ki 4

Tab. 18: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 4 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Kernstein	3,1	-
2	Gelbflaserkalk	-	-
3	Kernstein	0,7	-

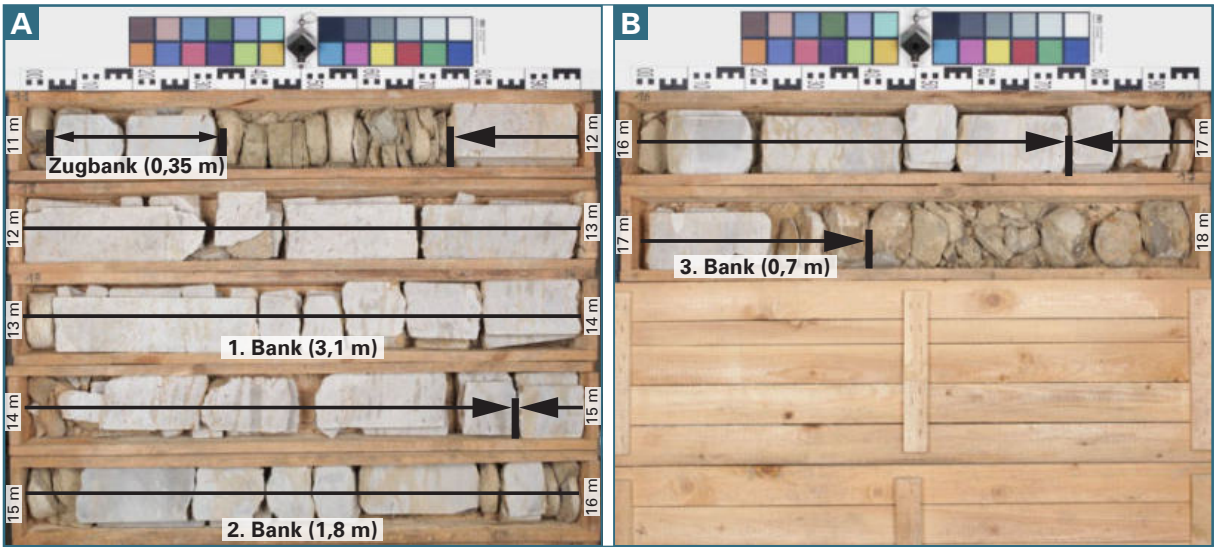

Abb. 57: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 4 (E 32 560.408:N 5.500.024)

Ki 8

Tab. 19: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 8 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Dichter Schillkalkstein	-	0,7
2	Blaubank	1,4	-
3	Rotbank	-	0,8
4	Gelbflaserkalk	-	-
5	Rotbank-Gelbflaserkalk	-	0,6

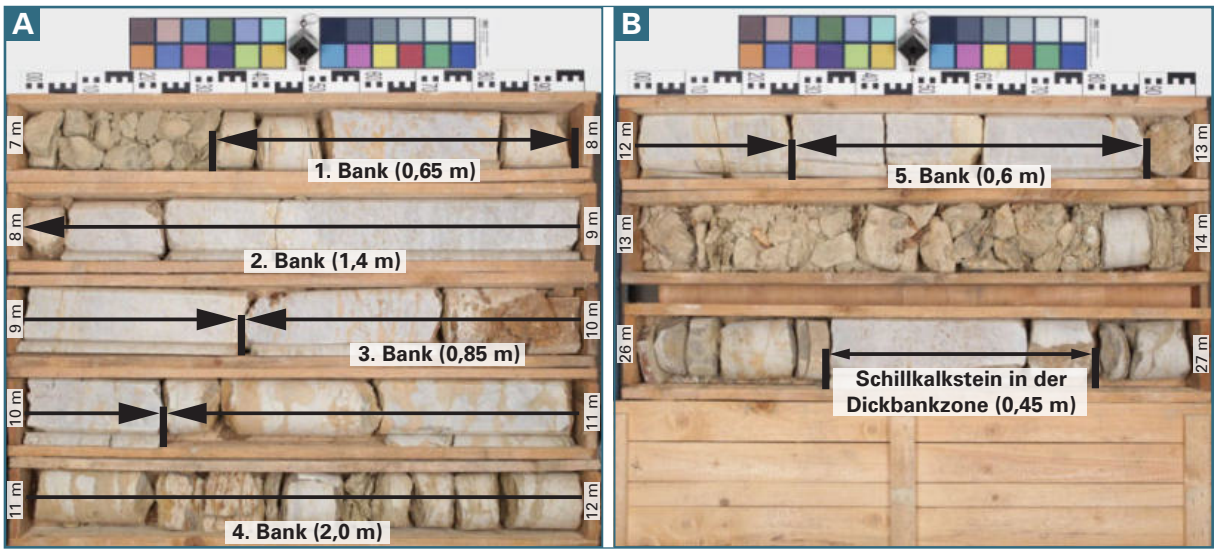

Abb. 58: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 8 (E 32 560.508:N 5.501.094)

Ki 16

Tab. 20: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 16 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Rotbank	2,7	-
2	Dichter Schillkalkstein	-	0,6
3	Rotbank	1,1	-
4	Gelbflaserkalk	-	-
5	Dichter Schillkalkstein	-	-

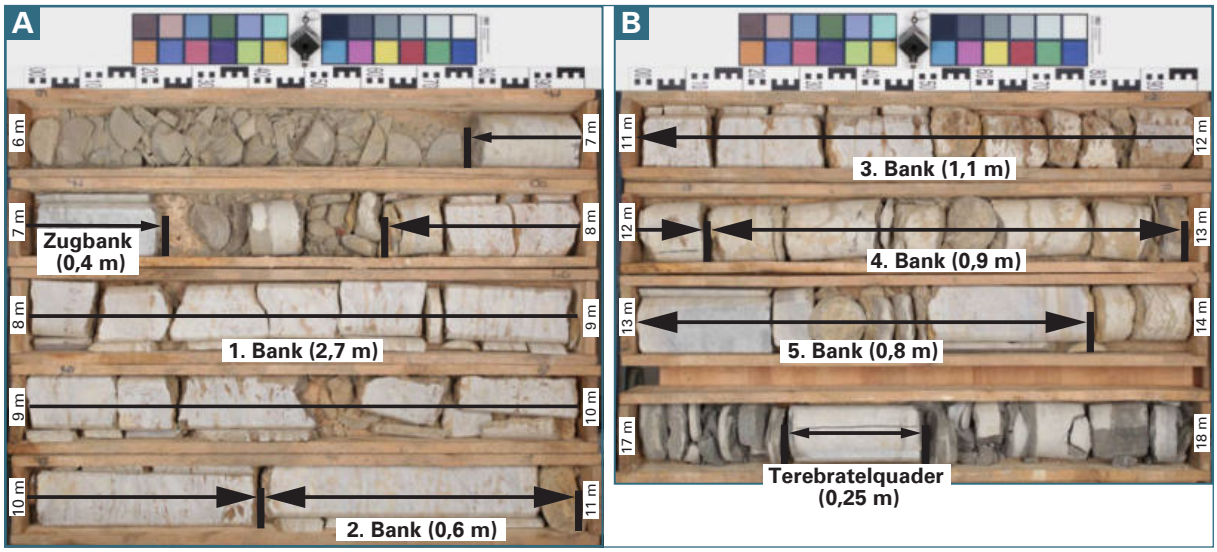

Abb. 59: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 16 (E 32 560.005:N 5.501.639)

Teilerkundungsgebiet IV – nördlich von Kirchheim

Ki 1

Tab. 21: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 1 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Oberbank (Rotbank)	2,3	-
2	Rotbank	1,0	-
3	Blaubank	1,7	-
4	Blaubank	0,7	
5	Gelbflaserkalk	-	2,1
6	Blaubank	-	0,3

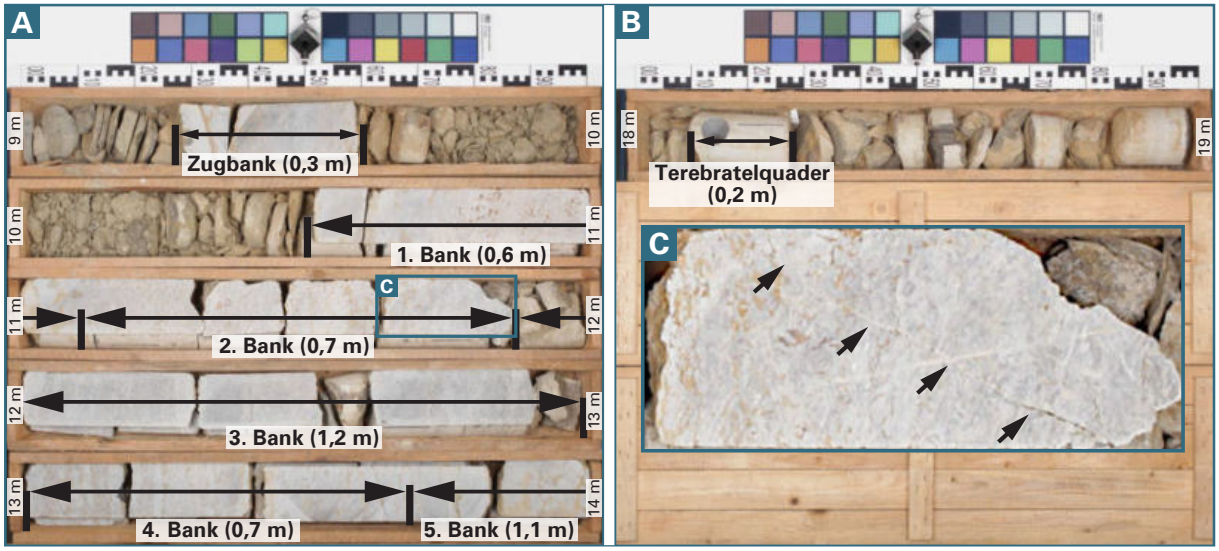

Abb. 60: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 1 (E 32 561.263:N 5.502.970)

Ki 2

Tab. 22: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 2 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Rotbank	1,1	-
2	Kernstein	1,2	-
3	Blaubank-Goldbank	0,6	-
4	Blaubank	0,5	-
5	Blaubank-Kernstein	0,4	-
6	Blaubank	0,3	-
7	Gelbflaserkalk	-	-

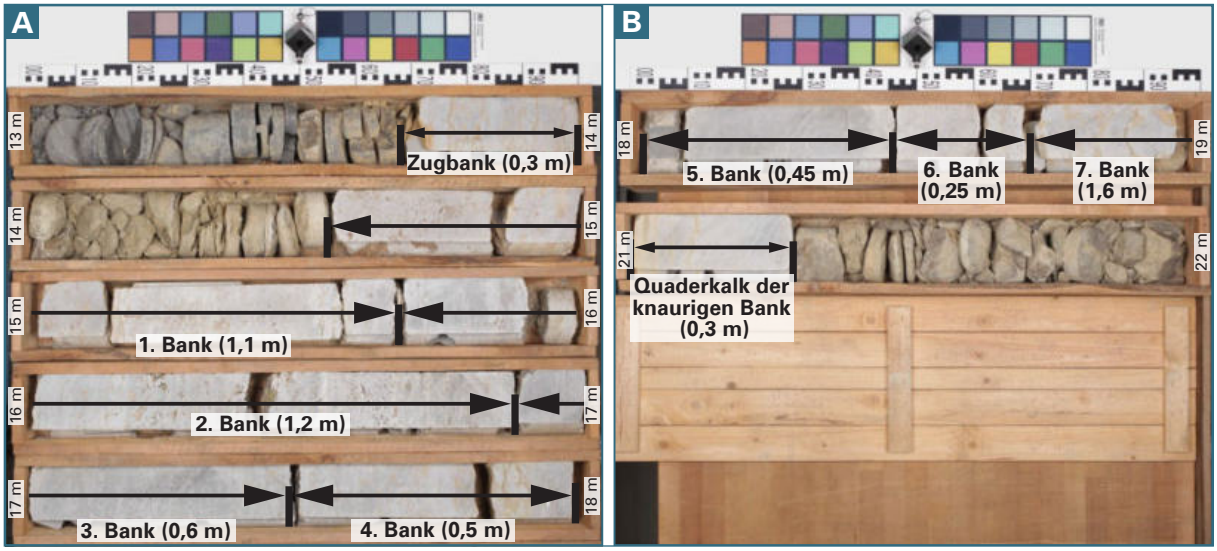

Abb. 61: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 2 (E 32 561.562:N 5.501.918)

Ki 7

Tab. 23: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 7 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Rotbank	0,6	-
2	Dichter Schillkalkstein	-	0,2
3	Rotbank	0,8	-
4	Blaubank	0,1	-
5	Rotbank	1,0	-
6	Gelbflaserkalk	-	-

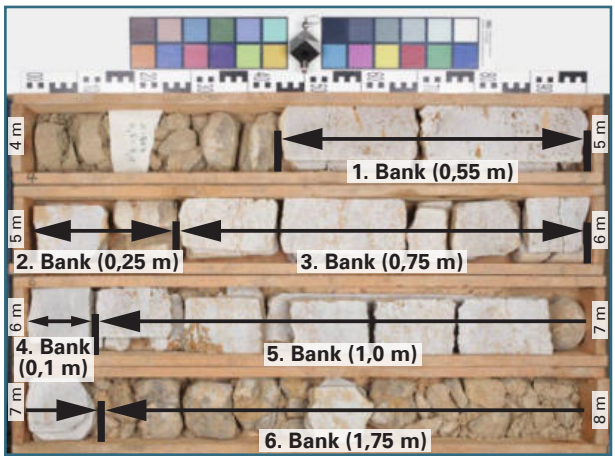

Abb. 62: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 7 (E 32 561.005:N 5.502.363)

Ki 12

Tab. 24: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 12 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	Blaubank-Rotbank	-	0,5
2	Blaubank-Kernstein	-	0,4
3	Kernstein-Blaubank	-	0,3
4	Gelbflaserkalk	-	-

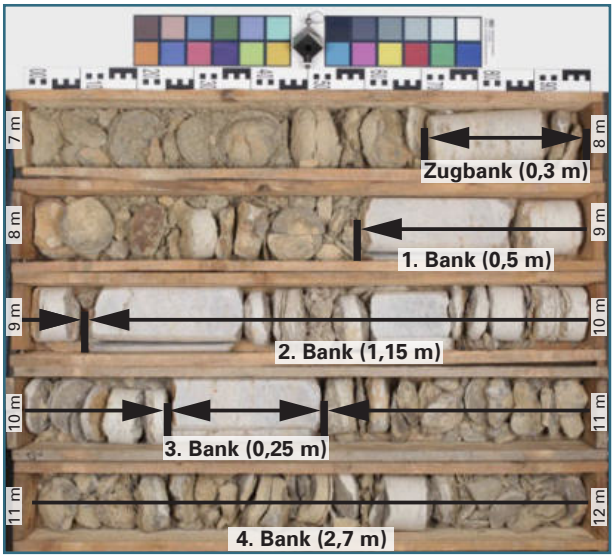

Abb. 63: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 12 (E 32 560.576:N 5.503.999)

Ki 15

Tab. 25: Rohstoffgeologische Einteilung des Oberen Hauptquaderkalks der Kernbohrung Ki 15 (LfU 2019)

Einheit	Beschreibung	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in Werksteinqualität (m)	Nutzbare Mächtigkeiten des OHQ in GaLa-Bau-Qualität (m)
1	OHQ, verkarstet	-	-

Abb. 64: Rohstoffhöffige Bereiche der Kernbohrung Ki 15 (E 32 560.640:N 5.502.822)

Eine Behörde im Geschäftsbereich

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz