

**Süderweiterung  
des Steinbruchs Plettenberg  
der  
HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH**

**Gutachten zu Fragen der  
Hangstabilität am Plettenberg**

November 2018

**Bearbeiter:**

Prof. Dr. Tomás M. Fernandez-Steeger,  
Dr. Anika Braun, Kristofer Marsch M.Sc.,  
Dipl.-Ing. René Thieme und Christoph Wernecke M.Sc.

Technische Universität Berlin  
Fachgebiet Ingenieurgeologie  
Ernst-Reuter Platz 1  
10587 Berlin

**Auftraggeber:**

HOLCIM (SÜDDEUTSCHLAND) GMBH  
Dormettinger Straße 23  
72359 Dotternhausen

## 7.8 Bewertung

Aus den Untersuchungen bestätigen sich die Geländebeobachtungen und Beschreibungen zu historischen Massenbewegungen am Plettenberg und in dessen Umgebung. Die Außenhänge weisen ein natürliches Rutschungspotential auf, das in der Vergangenheit und auch Zukunft immer wieder zu Massenbewegungen führen wird. Insbesondere in den flachen Hängen unterhalb der Steilstufe der Malm Kalke sind die Sicherheiten gering und bei Aufsättigung des Gebirges und/oder undrainierter Belastung durch zusätzliche Lasten wie Felssturzmaterial, kann es zur Aktivierung der alten Rutschmassen kommen.

Hinsichtlich der Erweiterung des Steinbruchs ist aus den Untersuchungen kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen den lokalen Versagensereignissen an den Außenhängen und der Änderung der Geometrie des Gebirgskörpers zu erkennen. Grundsätzlich ist eine Reduktion der Spannungen durch die Entfernung von Massen (hinsichtlich Auflockerung gilt Kapitel 10) und die zumindest oberhalb des Grundwassers potentiell günstigere Entwässerung des verkleinerten Gebirgskörpers in zwei Richtungen eher positiv hinsichtlich der Standfestigkeit zu werten. Im Hydrogeologischen und Ingenieurgeologischen Fachgutachten (Pommerening et al. 2018) wird hierzu festgestellt, dass aufgrund der Tatsache, dass der Abbau oberhalb der Grundwasseroberfläche stattfindet, es zu keiner relevanten Änderung in der Grundwasserneubildung und -strömung kommt. Da die Topographie vom Geländescheitel zu Traufkante hin keiner Veränderung unterliegt ist auch bei einer zwischenzeitlichen Erhöhung des oberflächlichen Abflusses kein erhöhter Andrang von Oberflächenwasser im Bereich der Außenböschungen zu erwarten. Entsprechend ist keine Erhöhung des Sickerwasseranfalls und der Wassermengen an den Außenhängen durch den Abbau zu erkennen und somit hier zunächst kein negativer Einfluss zu erwarten. Hinsichtlich der Auflockerung wird auf Kapitel 10 verwiesen. Weiterhin können zusätzliche dynamische Lasten durch Sprengungen eine Rolle bei Felsablösungen spielen, wobei durch die Sprengstoffmenge auch das Aktivierungspotential begrenzt wird.

Unabhängig von der Entwicklung des Steinbruchs scheinen die Drainagesituation bzw. der Einfluss des Wassers auf die tieferen Schichten (untere Impressamergel- und Ornatenton-Formation) der kritische Faktor hinsichtlich der Standsicherheit der Außenhänge am Plettenberg zu sein. Dabei ist sowohl die Veränderung der Hanggeometrie z.B. durch Rutschungen am Fuß der Steilhänge als Auslöser möglich, als auch ein Aufweichen bzw. Versagen der Mergelschichten an der Basis unter dem Einfluss des Wassers. Insofern ist der Drainagesituation an den Außenböschungen, insbesondere am Fuß der Steilstufen, unabhängig von der Steinbrucherweiterung

besondere Beachtung zu schenken. Für Felsablösungen aufgrund strukturellen Versagens gilt dies nur zum Teil. Diese sind dann allerdings auf isolierte lokale Bedingungen zurückzuführen.

kugelförmig vom Explosionsort ausgehend angenommen wird und durch die Dämpfung mit dem Abstand exponentiell abnimmt. Das bedeutet, dass die Energieeinwirkung bei unterschiedlichen Sprengungen auch jeweils anders ist. Zudem ist von zahlreichen großen Erdbeben bekannt, dass die Erhöhung der Rutschungsaktivität nach dem Ereignis durch Auflockerungen oder Schwächung des Gebirges nach 3 Jahren hinter das natürliche Niveau zurücktritt. Das bedeutet im Übertrag, dass ungleich zu zyklischen Belastungserscheinungen in geologischen Systemen z.B. durch Konsolidation und Spannungsumlagerung auch wieder ein höheres Stabilitätsniveau erreichen kann.

### **8.3 Bewertung der Einwirkung durch Erschütterungen und Erdbeben auf die Hänge am Plettenberg**

Der Abstand zwischen Abbaukante und Trauf am Plettenkeller hat sich gegenüber der ursprünglichen Planung deutlich vergrößert. Da die Dämpfung der Sprengeneinwirkungen, insbesondere die Beschleunigungen, die als zusätzliche Last wirken, können exponentiell wirkt, führt dies zu einer deutlichen Abmilderung der einwirkenden Lasten. Aufgrund der großen Distanz zwischen zukünftiger Emissionsquelle und derzeitigem Abbau lässt sich auch durch Messungen derzeit schwer abschätzen, wie die Dämpfung und damit die Einwirkungen an dem Außenhang sein werden. Abschätzungen anhand von empirischen Gleichungen, wie sie bei Erschütterungsprognosen für Gebäude und Einwirkungen auf Menschen verwendet werden, die auf dem Erschütterungszahl Verfahren basieren, zeigen, dass die Beschleunigungen bei dieser Distanz, Gestein und voller Ladung im Bereich kleiner 0,1 g liegen. Diese liegt unter dem Bereich der im Nationalen Anhang des Eurocode 8 (DIN EN 1998-1/NA) für die Erdbebenzonen 2 und 3 als natürliche zu erwartende Erdbebeneinwirkungen anzusetzen ist.

Unabhängig davon unterliegt der Außenhang, unabhängig vom Steinbruchbetrieb und dessen Erweiterung weiterhin den natürlichen Auflockerungs- und Verwitterungsvorgängen. Das bedeutet, dass es wie in der Vergangenheit immer wieder durch natürliche Vorgänge zu Steinschlägen und Felsablösungen kommen wird. Dabei ist zu beachten, dass die Energieeinwirkung durch die Sprengung eng zeitlich begrenzt ist und räumlich einer deutlichen Differenzierung durch die Dämpfung unterliegt. Basierend auf den Prognosen ist für die Distanzen von 250 m aufgrund des begrenzten Energieeintrages auch die Größe von mobilisierbaren Massen begrenzt und in diesem Fall von Massen kleiner 10 m<sup>3</sup> auszugehen.

Wie die Berechnungen zeigen ist bei den zu erwartenden Horizontalbeschleunigungen die Standsicherheit für das untersuchte Profil mit einem Globalen Sicherheitsbeiwert von  $> 1,5$  anzunehmen. Dies würde auch für einen 20% prozentigen Aufschlag für Topographieeffekte (nach DIN EN 1998-5:2010-12) durch Multiplikation des elastischen Antwortspektrum  $S_e$  mit dem Faktor 1,2 bei der Ermittlung von  $k_h$  gelten, wie diese bei Erdbeben an Klippen angenommen werden. Ob überhaupt mit Topographieeffekten in diesen Dimensionen aufgrund der Frequenzen, Distanzen und Energie zu rechnen ist, sei dahingestellt. Hinsichtlich der Standsicherheit ist auch anzumerken, dass der verwendete Berechnungsansatz nach dem pseudostatischen Verfahren von einer gleichbleibenden Einwirkung über den gesamten Gleitkörper hinweg ausgeht. Dies ist aufgrund der deutlich geringeren Abstände zum Emissionspunkt und auch höheren Frequenzen nicht zu erwarten. Das Dämpfungsverhalten der angenommenen radialsymmetrisch abgestrahlten Wellen wird schon innerhalb des potentiellen Gleitkörpers zu einer relevanten Reduktion der einwirkenden Beschleunigungskräfte führen. Zudem liegen die bei geringen Distanzen zu erwartenden dominanten Frequenzen außerhalb Anregungsfrequenz von natürlichen Gesteinen von 2 - 8 Hz bzw. 0,5 bis 10 Hz, welche bei seismisch induzierten Massenbewegungen oft beobachtet wird.

Insofern lässt sich aus den Berechnungen und Abschätzungen keine unmittelbare destabilisierende Wirkung auf den Gebirgskörper durch die Sprengwirkung, sprich den Energieeintrag durch die Explosion, erkennen. Aufgrund des exponentiellen Dämpfungsverhaltens sind v.a. die obersten Berme aufgrund der kürzeren Distanz hinsichtlich der Einwirkung besonders relevant. Hier ist aber auch anzumerken, dass die Abbaukante in der Vergangenheit bereits deutlich näher an die Traufkante herangereicht hat und er im Erweiterungsgebiet wieder weiter von den Traufkanten weg wandert. Wie oben erwähnt können aber kleinere herausgelöste oder freiliegende Gesteinskörper in labiler Lage mobilisiert werden. Dies geschieht allerdings auch heute bereits natürlich durch klimatische Effekte wie bei und nach Niederschlagsereignissen oder Stürmen zu beobachten ist. Ergänzend ist anzumerken, dass in dem genehmigten Abbau in der Vergangenheit auch kleinere Abstände zur Außenböschung gesprengt wurden. Verwendete Sprengstoffmengen, Sprengschema und Gebirgsqualität lassen ggf. auch Rückschlüsse auf die Langzeitwirkung und Stabilität zu.

## 9 Standsicherheitssituation an den geplanten Innenböschungen

Die geplanten Innenböschungen, die aus einer gegliederten Böschung mit Bermenthöhen von maximal 20 m, Bermentbreiten von 15 m, Böschungsneigungen an den Bermen von bis zu 70° und einer mittleren Hangneigung von 45° bestehen, sind vom Design als auch unter Berücksichtigung der oben dargestellten Berechnungen nach den internationalen Empfehlungen für den globalen Standsicherheitsfaktor an Felsböschungen nach dem vorliegenden Kenntnisstand standsicher. Dies gilt für die beobachteten Felsqualitäten. Sollte sich beim Erreichen der Endböschung zeigen, dass die Gebirgsqualität von den beschriebenen Werten (z.B. GSI oder Gesteinsart) abweicht, z.B. durch intensive Verkarstung, Antreffen einer Störungszone, lithologische Wechsel oder Zerlegung des Gebirges, muss die Geometrie der Endböschung im betreffenden Bereich an die Gegebenheiten angepasst werden.

Obwohl der Felskern der geplanten Böschungen standsicher ist, kann es trotzdem mit der Zeit durch Verwitterung und Auflockerung zu Steinschlägen und kleineren Felsablösungen kommen. Dazu gehört auch strukturelles Versagen durch Unterschneidung der Böschung an den steileren Bermenböschungen durch steilstehende Klüfte. Aufgrund der Dimensionen der Böschung, Gebirgsstruktur und Gefüge sind solche Erscheinungen aber begrenzt. Dies entspricht auch der natürlichen Entwicklung einer Felsböschung auf der Schwäbischen Alb und ist beabsichtigt, wenn ein naturnahes System nach Ende des Abbaus entstehen soll. Falls dies für bestimmte Situationen nicht hinnehmbar ist muss in dem betreffenden Bereich die Geometrie an die Anforderungen angepasst werden.

Aus ökologischer und landschaftsplanerischer Sicht ist eine heterogene vielfältige Böschung wünschenswert. Dabei sollen sowohl steile Felsabschnitte, als auch geköpfte Bermen und Schuttkegel auf Bermen und am Böschungsfuß zum Einsatz kommen. Dem Köpfen der Böschungen an den Bermen spricht aus ingenieurgeologischer Sicht nichts entgegen, solange die mittlere Böschungsneigung um ca. 45° gewahrt bleibt. Prinzipiell ist dies mit einem Reduzieren der Böschungsneigung an der jeweiligen Berme gleichzusetzen und kann sich dadurch sogar begünstigend auswirken.

Hinsichtlich der Überschüttung von Bermen und Schuttablagerungen aus Kalkstein auf den Bermen, sowie am Böschungsfuß ist anzumerken, dass dem prinzipiell nichts entgegen spricht. Diese können ggf. auch eine stützende Wirkung haben. Es ist aber anzumerken, dass diese besonders in der Anfangsphase als mobile Auflage anzusehen sind, in der Materialverlagerung durch Kriechen und oberflächliches Gleiten auftreten werden. Insbesondere in den ersten 3-5 Jahren nach der Erstellung

werden diese Prozesse intensiv auftreten und über die Zeit durch Konsolidationsvorgänge langsam abnehmen. Hinsichtlich der sich einstellenden Hangneigungen auf den Schuttkegeln ist anzumerken, dass hier zumindest anfänglich flachere Neigungen von  $35^\circ$  und weniger zu erwarten sind. An den Renaturierungsböschungen im Norden des Steinbruchs wurden Böschungsneigungen von im Mittel  $32^\circ$  ( $28 - 36^\circ$ ) in den Böschungen aus Kalksteinschutt beobachtet. Das bedeutet, dass bei den geplanten Böschungsformen dadurch eine differenzierte Hangform entsteht mit einem stabilen Felskern und zumindest in der Anfangsphase mobilen Auflagen aus Kalksteinschutt, sowie wechselnden Hangneigungen. Darüber hinaus wird der Vegetationsaufwuchs und die Ausbildung einer natürlichen Vegetation zu einer zusätzlichen Stabilisierung der oberflächennahen Schichten führen und stellt auch eine wirksame Erosionskontrolle dar. Hochvegetationen (Bäume) an Böschungskanten können dort auflockernd wirken, allerdings ist dieser Effekt auch ein Teil des natürlichen Systems. Insgesamt verbessert die Ausbildung einer Mischvegetation mit Gras und Busch-/Baumvegetation auch den Wasserhaushalt im System und wirkt dämpfend auf die Ausbildung von extremen hydraulischen Zuständen. Hinsichtlich der Langzeitsicherheit und Stabilität ist anzumerken, dass diese sich mit der Zeit denen der natürlichen Außenhänge angleichen wird.

Hinsichtlich der geplanten Rampe zur nordöstlichen Hochfläche ist anzumerken, dass diese als Sporn eine künstliche zum Steinbruch hin ausgerichtete Böschung und eine natürliche, nicht beeinflusste, nach außen orientierte Böschung aufweist. Zur Qualität der nach außen orientierten Böschung liegen aufgrund der Aufschlussituation keine Informationen vor. Falls diese von der prognostizierten Gebirgsqualität abweicht muss ggf. die Geometrie der Rampe angepasst werden.

Grundsätzlich gilt für die Endböschungen, dass bei relevanten Abweichungen der betroffenen Gebirgsqualitäten von den prognostizierten im Bereich der Endböschungen die Böschungsgeometrie an die Gegebenheiten angepasst werden muss. Beim Anschluss der Innenböschungen an die Außenböschungen sollte darauf geachtet werden, dass der Übergang so gestaltet werden kann, dass die Vorgaben für die Innenböschungen, insbesondere die mittlere Hangneigung, eingehalten werden können. Bei Abweichungen von der prognostizierten Gebirgsqualität muss auch hier ggf. die Geometrie der Böschungen bzw. des Anschlusses angepasst werden.

## **10 Abstand der Böschungskante von der natürlichen Hangkante bzw. Trauflinie**

Ein generell gültiger sicherer Mindestabstand kann bei den Dimensionen und der Heterogenität der natürlichen Hänge nicht ohne weiteres definiert werden, da auch lokale Einwirkungen eine Rolle spielen. Dennoch lassen sich ein paar generelle Regeln ableiten. Auch in diesem Fall ist zunächst die Stabilität der Böschung bzw. des Hanges entscheidend. Je geringer die Lasten sind die auf die Böschung wirken desto geringer ist die Verformung und Auflösung. Zudem wirkt unabhängig vom Abstand der Böschungen zum Trauf die Verwitterung auf allen freiliegenden Felsflächen dauerhaft.

Hinsichtlich der Stabilität und Auflösung sind zunächst zwei Effekte von Bedeutung, die Stabilität der Böschungen und Hänge an den Flanken und die Reichweite bzw. mögliche Überschneidung der Auflockerungsbereiche. Wenn die Flanken eine ausreichende Sicherheit aufweisen und der Gebirgskern somit standfest ist sowie die Auflockerungsbereiche sich nicht überschneiden, ist der absolute Traufabstand aus ingenieurgeologischer Sicht nicht entscheidend. Insofern sollte bei standfesten Hängen die Mächtigkeit der Auflockerungszone plus ein Sicherheitsaufschlag berücksichtigt werden.

Am Plettenberg ist die geplante Endböschung im Steinbruch entsprechend der oben dargestellten Untersuchungen grundsätzlich als sicher anzusehen, während manche der Hänge, insbesondere an der Plettenburg und dem Plettenkeller aufgrund ihrer Gebirgsqualität, Böschungs- bzw. Hanghöhe und Neigung eher geringe Reserven aufweisen. Dies zeigen auch die Felsaufnahmen oben bzw. im Anhang. Hier sind je nach Gebirgsqualität und Wandhöhe größere Abstände sinnvoll als in Bereichen die eine günstigere Morphologie und/oder Gebirgsqualität aufweisen. Bei den Untersuchungen wurden sehr ungünstige Gebirgsbedingungen hinsichtlich der Mächtigkeit der Auflockerungszone mit 20 m und dem Grad der oberflächlichen Auflockerung angesetzt. In allen untersuchten Fällen wurden keine negativen Einwirkungen der geplanten Böschungsabstände festgestellt.

Hinsichtlich der Böschungsabstände muss auch angemerkt werden, dass eine Vergrößerung der Abstände zwischen Außen- und Innenböschung nicht generell positiv sein muss. Aufgrund des geologischen Aufbaus des Gebirges mit unter Wassereinfluss erweichbaren Schichten an der Basis der Kalksteine, kann die Auflast auf diese erweichbaren Schichten in den Randbereichen eine Rolle spielen. Wenn die Schichten an der Basis gegenüber den oben gemachten Betrachtungen weicher sind bzw. erweichen und ein seitliches Ausweichen auftreten kann, wird die Auflast hinsichtlich



einer Mobilisierung bzw. der Verformung entscheidend. Das bedeutet je mehr Gebirge, sprich Last auf die erweichten Schichten wirkt, desto geringer wird die Sicherheit. Dieser Effekt kann zusätzlich verstärkt werden, da in einem größeren Gebirgsvolumen sich auch mehr Wasser temporär sammeln kann, welches sowohl als zusätzliche Last einwirken kann, als auch durch den Aufbau von Porenwasserdrücken und Quellvorgängen einem Erweichen der tonig-mergeligen Schichten an der Basis Vorschub leisten kann.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass aufgrund der Situation am Plettenberg nicht der Traufabstand, sondern die Situation an den natürlichen Außenhängen für die Standsicherheit an diesen entscheidend ist. In verschiedenen Lagen stehen am Plettenberg bereits seit Jahren Böschungen, die geringere Traufabstände aufweisen als die in der Planung der Erweiterungsfläche vorgesehenen. Die vorliegenden Berechnungen zeigen für die vorgeschlagenen Geometrien und Abstände unter Berücksichtigung der aktuellen Situation, keine negative Beeinträchtigung der Standsicherheit gegenüber der Ausgangssituation.

### 13 Zusammenfassung

Aus den Untersuchungen bestätigt sich, dass am Plettenberg eine Rutschungsdisposition besteht, die in der Vergangenheit, aber auch in der Zukunft, zu Massenbewegungen führte bzw. führen wird. Der steuernde Faktor dieser Prozesse ist, wie historische Daten aber auch die Untersuchungen zeigen das Klima bzw. die Einwirkung von Wasser auf die einzelnen Hangeinheiten.

Aus den Untersuchungen ist kein grundsätzlich negativer Einfluss der Änderung der Hanggeometrie durch den Steinbruch zu erkennen. Prinzipiell sind die zu erwartende Entlastung durch Massenentnahme und eine verbesserte Drainage des Gebirgskörpers eher leicht positiv zu werten.

Hinsichtlich der Sprengerschütterungen, ist anzumerken, dass trotz der angesetzten hohen maximalen Sprengstoffmengen die Hänge in der Vergangenheit durch Erdbeben bereits größeren Belastungen ausgesetzt waren. Grundsätzlich sind die Sprengwirkungen kein Hindernis für die Erweiterung. In ungünstigen Situationen bzw. Stellen, an denen besondere Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und möglicher Einwirkungen gelten, muss das Sprengschema ggf. angepasst werden um die Einwirkungen zu reduzieren (s. hierzu auch Empfehlungen unter Kap. 12.2). Wichtig ist dabei anzumerken, dass die Sprengungen eine zeitlich eng begrenzte Einwirkung darstellen, bei der ein unmittelbares Ursache Wirkungsprinzip besteht.

Nach den Berechnungen und Beobachtungen im Steinbruch ist die geplanten Böschungsgeometrie für die prognostizierten Gebirgsqualitäten geeignet. Bei einer lokalen Verschlechterung kann mit einer weiteren Untergliederung, Abflachungen oder Vorschüttungen reagiert werden.

Die Untersuchungen zeigen bei den prognostizierten Gebirgsqualitäten für die geplanten Abstände keinen Einfluss der Traufabstände auf die Standsicherheit.

Berlin, den 20.11.2018



Prof. Dr. Tomás M. Fernandez-Steeger