

# Variantenuntersuchung und Ausführungsplanung zur Stabilisierung eines Böschungskopfes mit oberliegender Straße bei felsigem Untergrund

Sebastian Pille

## Einleitung

Die Wartburg bei Eisenach ist ein bedeutendes Wahrzeichen des Thüringer Waldes. Die einzige Zufahrt zur Burg bildet die Wartburgallee, welche größtenteils am bewaldeten Nordosthang des Wartberges verläuft. Bergseitig ist die Straße in den Fels des Berges eingeschnitten, talseitig liegt sie auf einer Aufschüttung.

Unter anderem durch die hohe Verkehrsbelastung traten in den letzten Jahren Schäden in Form von zentimeterbreiten Fahrbahnlängsrissen, Fahrbahn- und Bankettabsenkungen von mehreren Zentimetern sowie Verdrehungen der Schutzplanken infolge von Böschungsrutschungen auf. Es sind daher umgehend Maßnahmen zur Hangsicherung zu ergreifen, um auch in Zukunft einen sicheren Verkehrsfluss von und zur Wartburg gewährleisten zu können.

Ziel dieser Arbeit war die Auswahl einer geeigneten Sicherungsmaßnahme.



Abb. 1: Die Wartburg bei Eisenach

## Geologie und Hydrologie

Für die Auswahl einer geeigneten Sicherungsmaßnahme ist eine genaue Analyse der vorliegenden geologischen und hydrologischen Verhältnisse unerlässlich.

### Bodenprofil und Grundwasser

Im Bereich der geplanten Hangsicherung wurden durch einen externen Gutachter diverse Baugrundaufschlüsse und Feldversuche durchgeführt, darunter Kleinbohrungen, Diamantkernbohrungen, Handschürfe und schwere Rammsondierungen. Die Auswertungen der Versuche sowie die morphologischen Verhältnisse lassen die Beschreibung des Baugrundes als 4-Schichtenmodell zu:

- Straßenoberbau (Schwarzdecke, Schotter)
- Auffüllung (Sand, Kies, Schluff)
- Hanglehm/Hangschutt
- Konglomerat (Fels, mäßig bis schwach verwittert)

Bei allen Baugrunderkundungen wurde kein Grundwasser angetroffen, was aufgrund der Hanglage der Straße plausibel ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass versickerndes Niederschlagswasser innerhalb der Auffüllungsschicht talwärts abläuft.

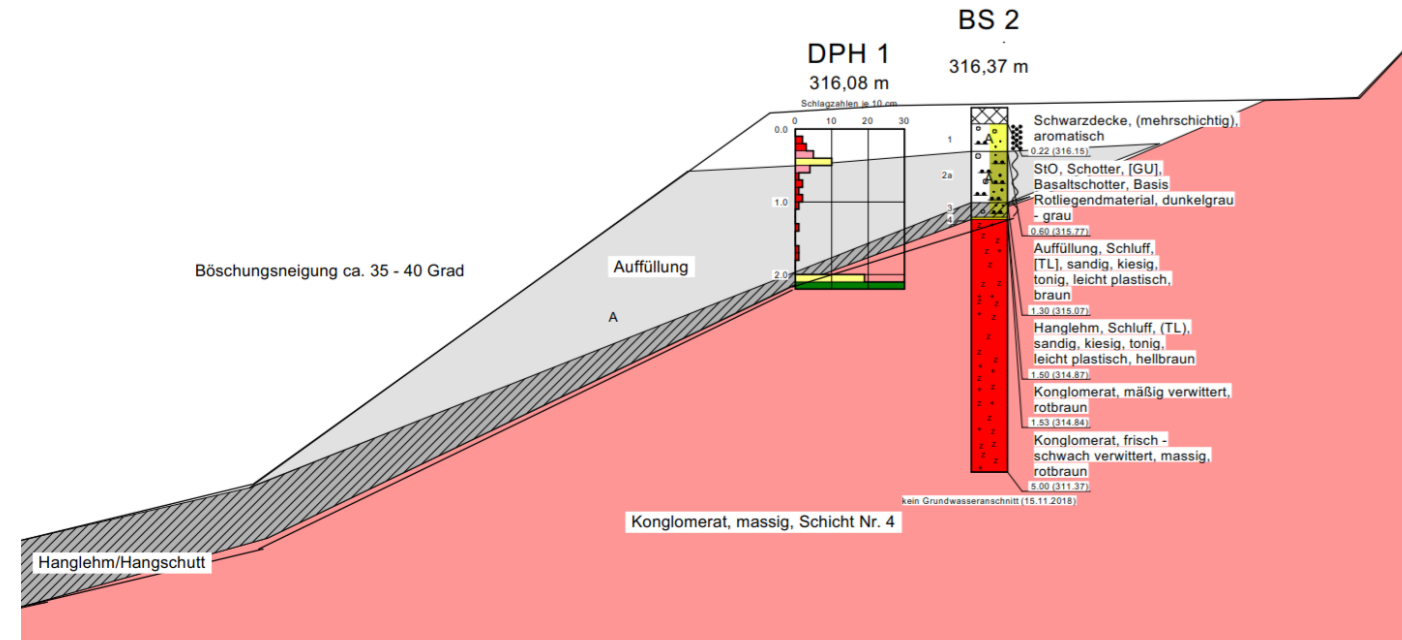


Abb. 2: Schichtverlauf quer zur Straßenachse

## Versagensmechanismen und -ursachen

Die Böschung wurde auf mögliche Versagensmechanismen untersucht. Ver- oder Entsorgungsleitungen sind im gesamten schadhafte Bereich nicht vorhanden. Basierend auf Erfahrungswerten konnten des Weiteren natürliche Rutschungen ausgeschlossen werden, da trotz zahlreicher Steilhänge im großräumigen Umfeld der Baumaßnahme mit Höhendifferenzen bis 100 m keinerlei Rutschungen bekannt sind. Die Ursache des Problems wurde daher ausschließlich oberhalb des Felshorizontes gesucht. Mittels Modellierung des Hangquerschnittes im Programm DC Böschung wurde ein Böschungsbruch mit Ausbildung eines Gleitkreises als Versagensursache identifiziert.

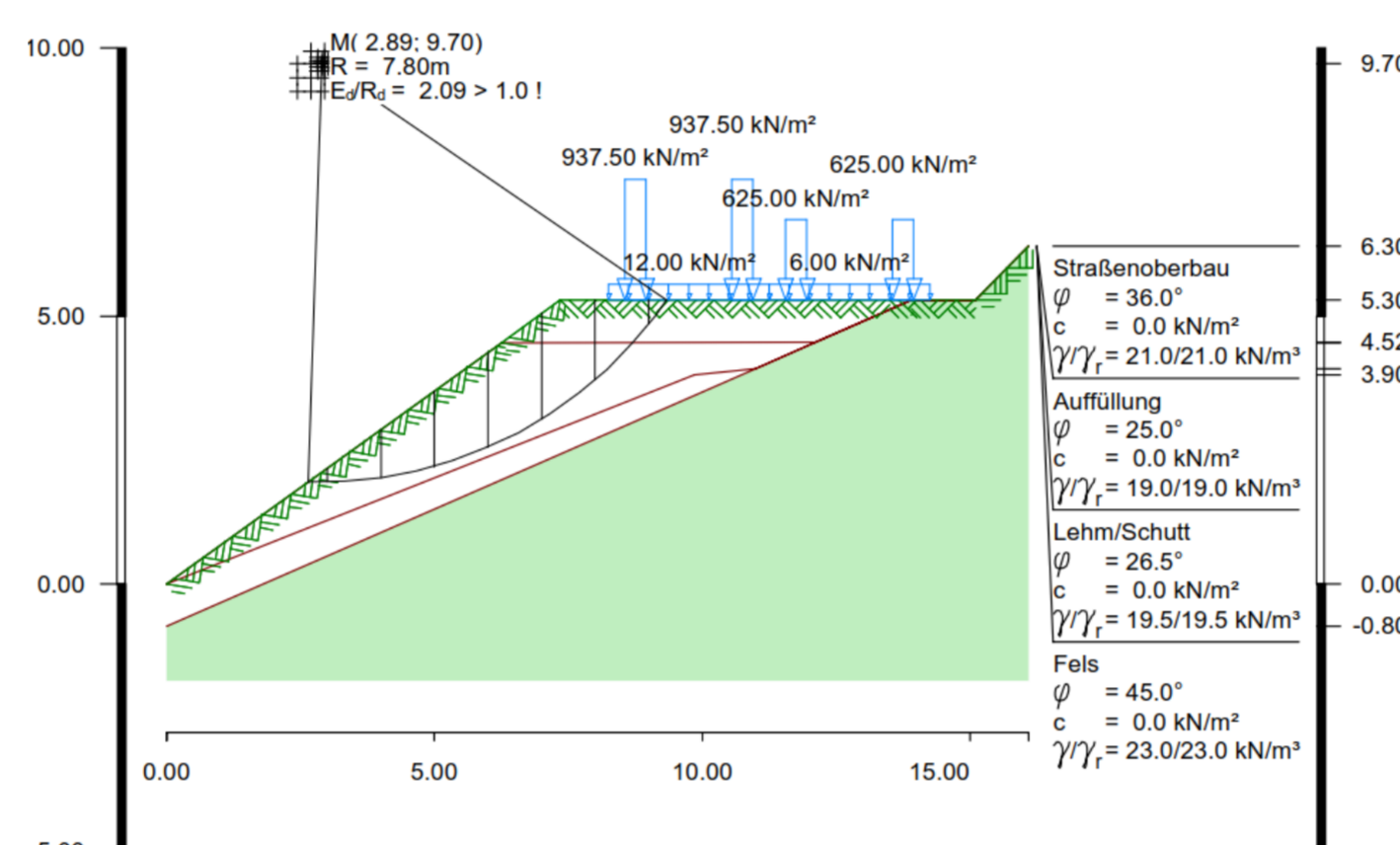


Abb. 3: iterativ ermittelter kritischster Gleitkreis

## Variantenuntersuchung

Es wurden die folgenden vier Varianten zur Sicherung der schadhafte Böschung untersucht:

- Variante 1: Abflachung der Böschung
- Variante 2: Winkelstützwand
- Variante 3: Stahlbetonbalken mit Rückverankerung
- Variante 4: Spundwandwand

Hauptkriterium bei der Auswahl einer Vorzugsvariante ist die Wirksamkeit. Ein weiteres Abrutschen der Böschung ist unbedingt zu verhindern. Die Sicherungswirkung der Maßnahme soll außerdem möglichst lange aufrechterhalten werden. Daher ist auch die Dauerhaftigkeit von entscheidender Bedeutung. Des Weiteren spielt die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle. Der finanzielle Aufwand ist so gering wie möglich zu halten. Ein wichtiges projektspezifisches Kriterium ist zudem die Befahrbarkeit der Wartburgallee während der Bauzeit. Aus der Auswertung der genannten Kriterien ergibt sich Variante 3 als beste Wahl, da sie wirksam und dauerhaft ist, vergleichsweise geringen Aufwand bedingt und keine Vollsperrung der Wartburgallee erfordert.

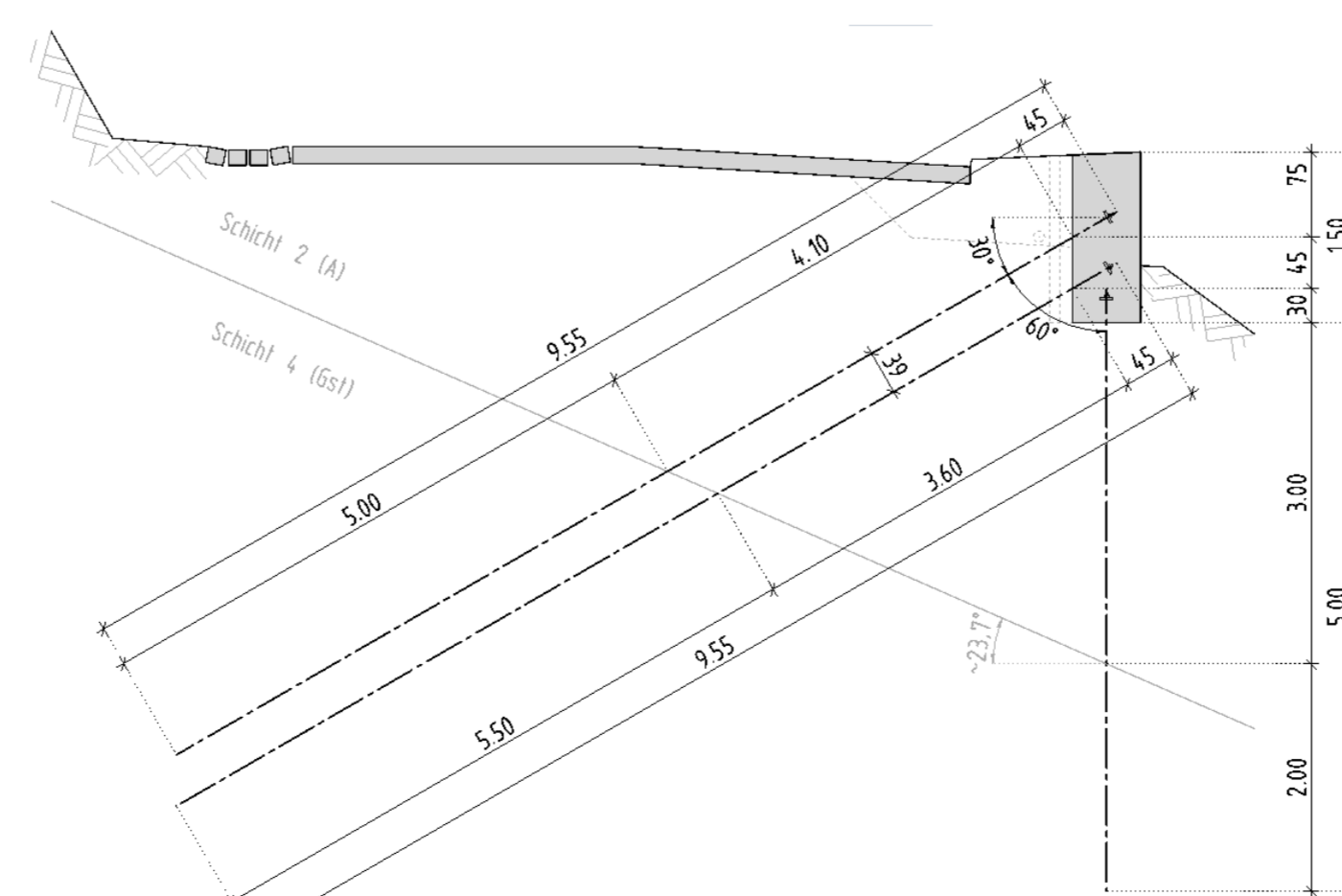


Abb. 4: Vorzugsvariante Stahlbetonbalken mit Rückverankerung

## Untersuchung und Planung der Vorzugsvariante

Die Vorzugsvariante wurde nach gängigem Normenwerk (i. A. DIN EN 1997-1 sowie DIN 1054 und DIN 4084) bemessen und nachgewiesen. Im Anschluss wurde der gesamte Hangausschnitt inklusive Ausgangs- und Bauzustand nach der Finite-Elemente-Methode (FEM) modelliert und die Ergebnisse bezüglich der Belastungen der Sicherungskonstruktion mit denen der vorangegangenen Bemessung zu vergleichen. Durch die unterschiedlichen Berechnungssysteme ergaben sich dabei deutliche Differenzen. Die Bemessung mittels rechnerischer Nachweisverfahren geht von einem starren, unverformten System aus, während die FEM-Bemessung Deformationen des Systems berücksichtigt. Die Nachweise der Sicherungskonstruktion konnten jedoch für beide Verfahren erbracht werden, womit ihre Wirksamkeit belegt werden konnte.

| Pfahl-Lage    | a [m] | N <sub>EC</sub> [kN] | N <sub>FEM</sub> [kN/m] | N <sub>FEM</sub> [kN] | Δ [kN] | Δ [%] |
|---------------|-------|----------------------|-------------------------|-----------------------|--------|-------|
| geneigt oben  | 2,00  | -24,72               | 17,88                   | 35,76                 | 42,6   | 245   |
| geneigt unten | 2,00  | 61,28                | 34,87                   | 69,74                 | -26,41 | 14    |
| senkrecht     | 1,00  | -46,36               | -67,53                  | -67,53                | -21,17 | 46    |

Tab. 1: Gegenüberstellung der berechneten Normalkräfte in den Bauwerkspfählen

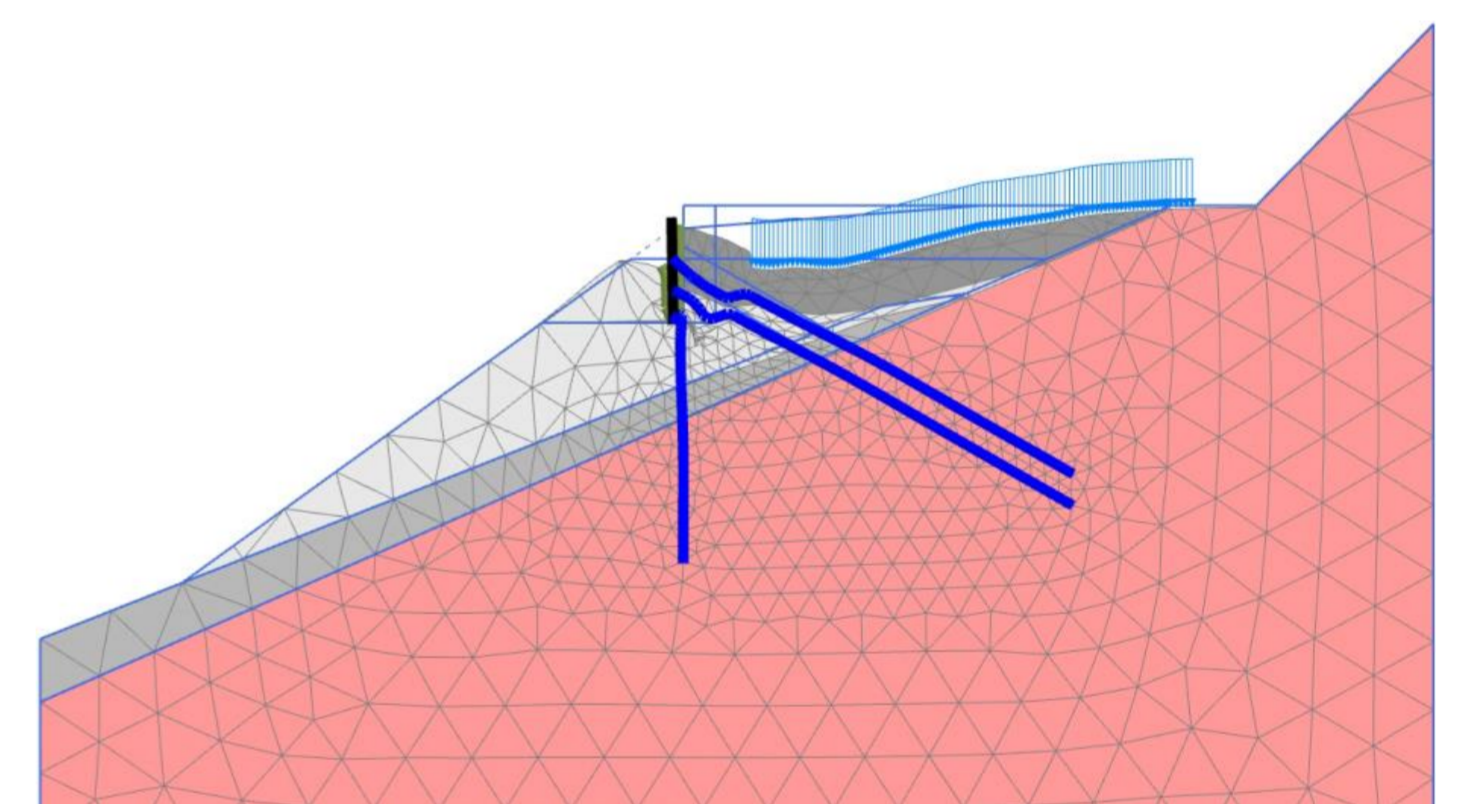


Abb. 5: Verformungen als Ergebnis der FEM-Berechnung, Darstellung 50x überhöht

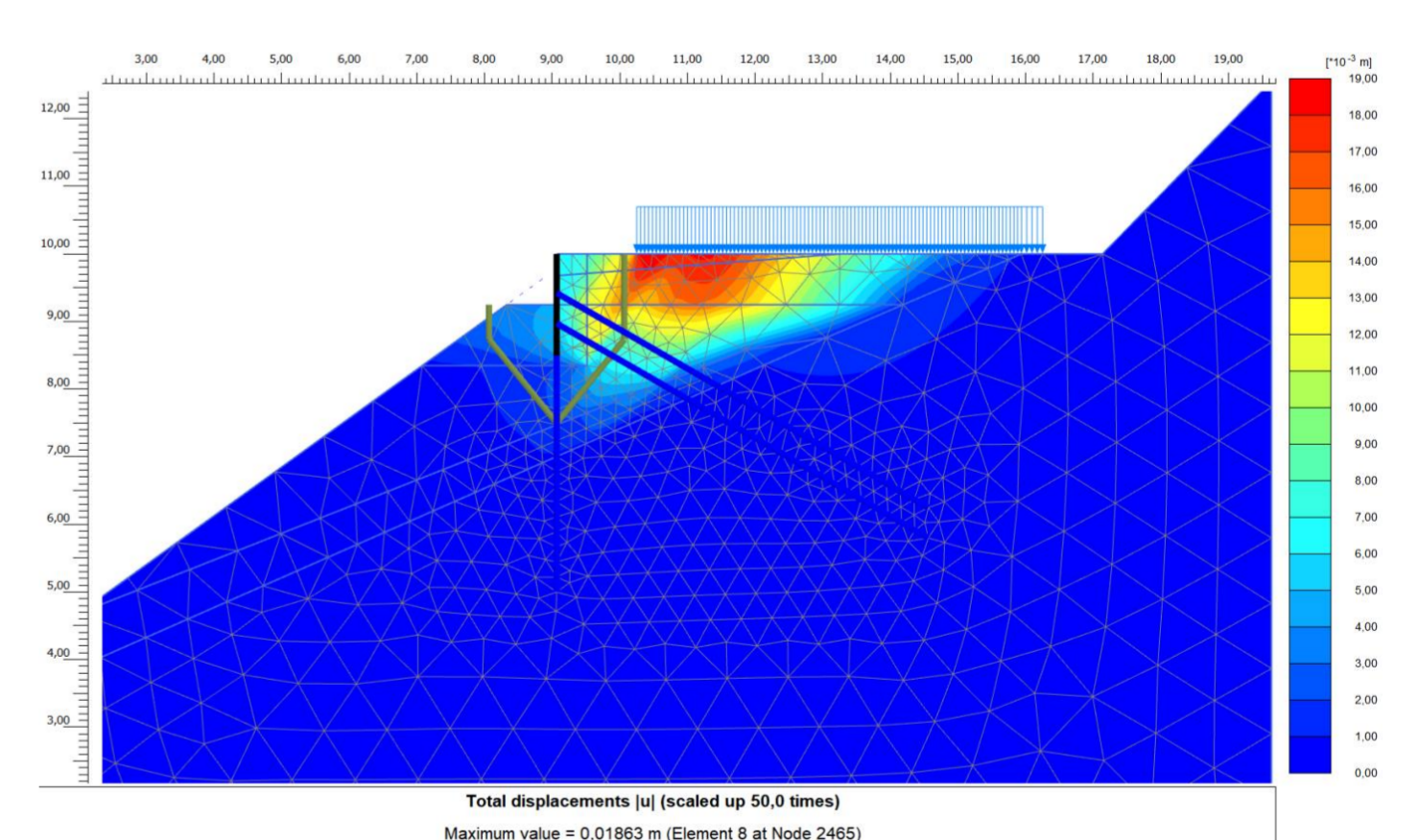


Abb. 6: Verformungen als Ergebnis der FEM-Berechnung

**Projekt**  
Projektarbeit

**Hochschullehrer**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

**Wissenschaftliche Betreuung**  
Dr.-Ing. Kornelia Nitzsche

**Abgabe**  
Mai 2021