SSF Ingenieure
Domagkstraße 1a
D-80807 München
Tel.: 089 360400

# Instandsetzung Kalkofenweg

# Pullach im Isartal

# Machbarkeitsstudie

## - Technische Empfehlung zur Instandsetzung des Kalkofenweges -

Auftraggeber: Baugeologisches Büro Bauer GmbH
Domagkstraße 1 a
D-80807 München

Datum: 11.06.2019

Bearbeiter: Schmidt Jürgen, Mini Franziska

E-mail: jschmidt@ssf-ing.de, fmini@ssf-ing.de

**Inhaltsverzeichnis**

1. Allgemeines und Grundlagen ..... 3
2. Empfehlung zur Stabilisierung / Instandsetzung der Straße ..... 4
2.1 Variante 1: Bewehrtes Erdbauwerk ..... 5
2.2 Variante 2: Kombination aus bewehrtem Erdbauwerk und Gabionen ..... 7
2.3 Variante 3: Stützwand mit Mikropfählen ..... 8
2.4 Variante 4: Bohrträger mit Stahlbetonverschalung ..... 10
3. Zusammenfassung und Schlussbemerkung ..... 12
4. Anlagen ..... 15

**Anlagenverzeichnis**

Anlage 1: Ausschnitt aus Geologischer Karte, Teil Süd; Kalkofenweg (Quelle BBB)
Anlage 2: Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 1 (Quelle BBB)
Anlage 3: Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 2 (Quelle BBB)
Anlage 4: Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 3 (Quelle BBB)

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1 Ausschnitt aus Geologischer Karte, Teil Süd; Kalkofenweg, 3 Querschnitte und Lage der DPHs und KRBs von März und Mai 2019 (Quelle BBB) ..... 3
Abb. 2 Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 1 bis 3 (Quelle BBB) ..... 4
Abb. 3 Systemaufbau Erdbauwerk (Quelle BECO Bermüller) ..... 5
Abb. 4 Querprofil 1 - Variante 1 Bewehrtes Erdbauwerk ..... 6
Abb. 5 Querprofil 2 - Variante 2 Bewehrtes Erdbauwerk und Gabionen ..... 7
Abb.6 Querprofil 2 - Variante 3 Stützwand mit Mikropfählen ..... 8
Abb. 7 Schreitbagger mit Anbau-Bohreinheit für die Mikropfahlherstellung ..... 9
Abb. 8 Querprofil 3 - Variante 4 Bohrträger mit Betonverschalung ..... 10
Abb. 9 Zusammenfassung und Gegenüberstellung der verschiedenen Varianten ..... 12
Abb. 10 Kombination der Varianten über die Bauabschnitte ..... 13

## 1. Allgemeines und Grundlagen

In der folgenden Machbarkeitsstudie werden technisch-konstruktive Maßnahmen vorgestellt und diskutiert, um die Straßenschäden des Kalkofenweges aufgrund der deutlichen Hangsetzungen abzuschwächen bzw. zu stoppen. Die Studie basiert auf der Grundlage des Ingenieurgeologischen Berichts zur Instandsetzung des Kalkofenwegs in Pullach, der vom Baugeologischen Büro Bauer (BBB) aufgestellt worden ist.

Die Varianten wurden in Absprache mit BBB auf Grundlage von drei repräsentativen ingenieurgeologischen Querschnitten des Isarhangs erarbeitet. In Folgender Übersichtskarte ist die Lage der drei Profile und der Bauabschnitte abgebildet.

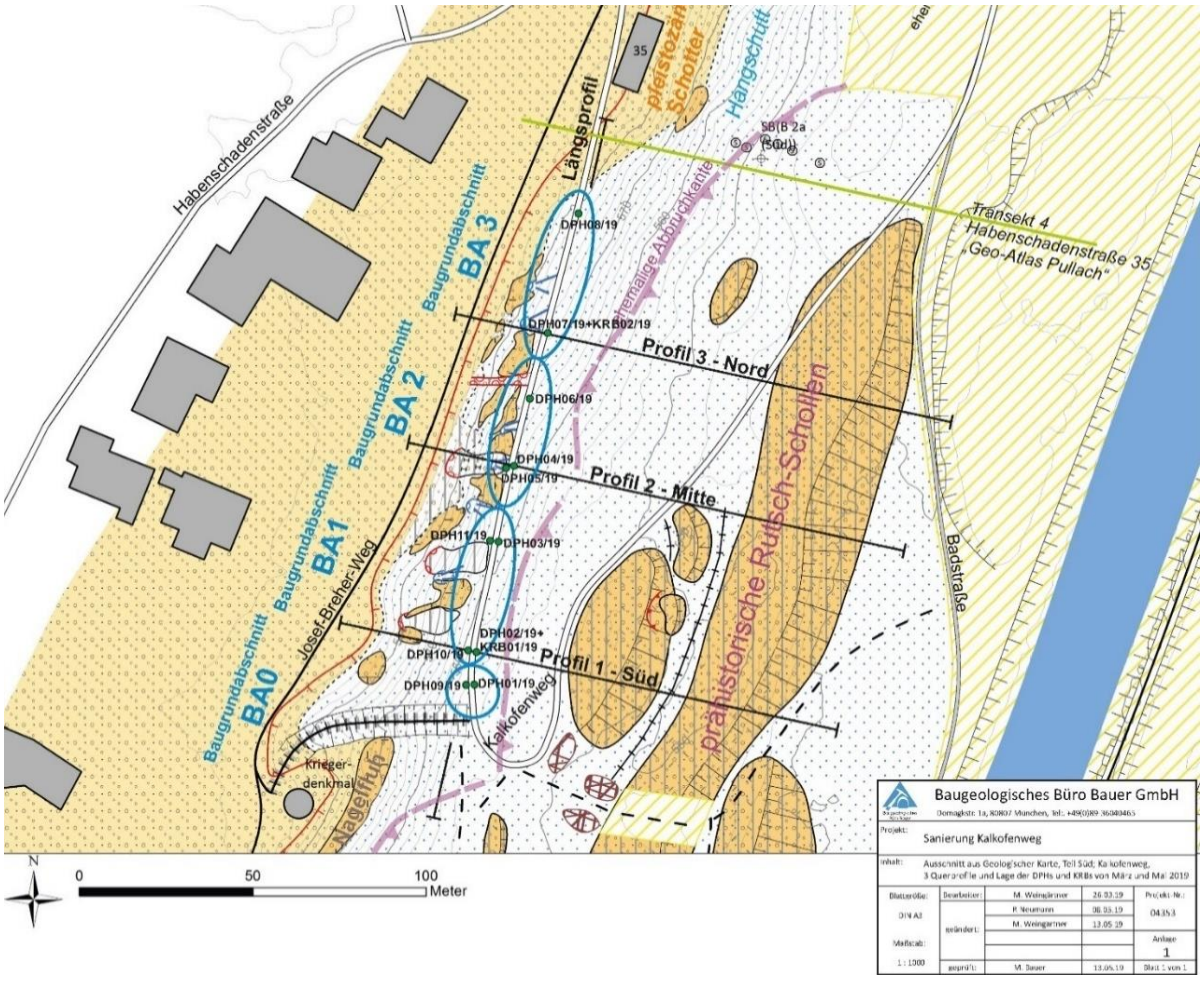



*Abbildung 1: Ausschnitt aus Geologischer Karte, Teil Süd; Kalkofenweg, 3 Querschnitte und Lage der DPHs und KRBs von März und Mai 2019 (Quelle BBB)*

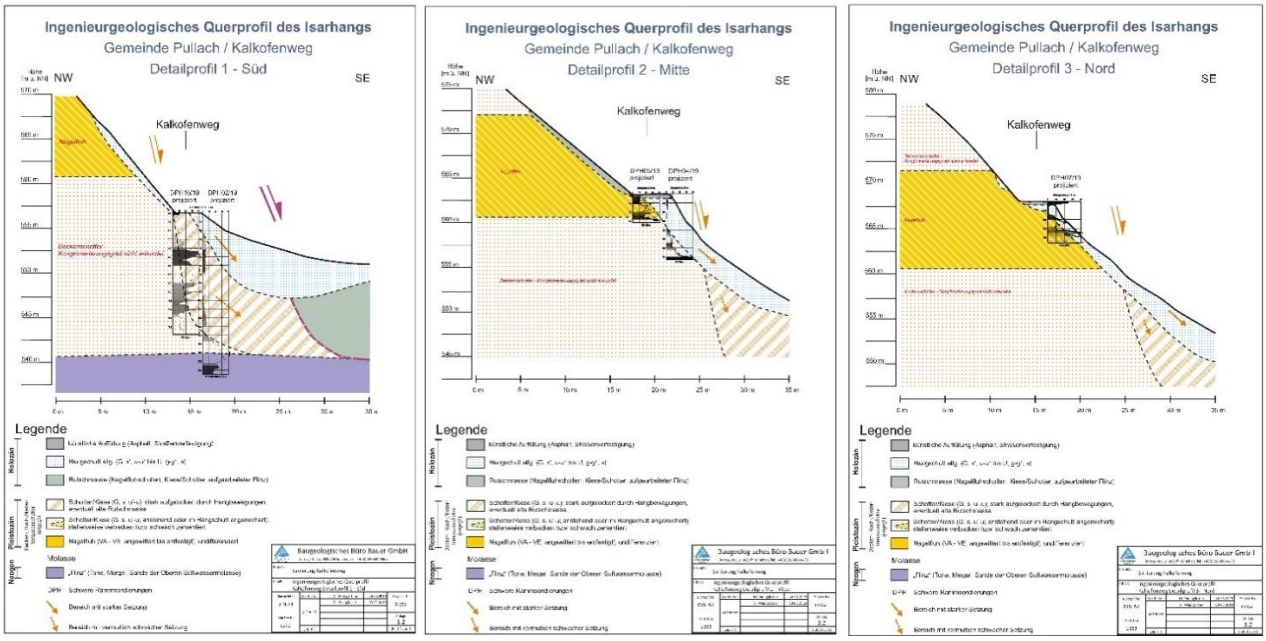



*Abbildung 2: Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 1 bis 3 (Quelle BBB)*

In den von BBB erarbeiteten Querprofilen (Abbildung 2) sind die Ergebnisse der durchgeführten Rammsondierungen und die daraus abgeleiteten Profile dargestellt. Die Abbildungen 1 und 2 sind in den Anlagen 1 bis 4 nochmal größer zu finden. Für die Erarbeitung der Maßnahmen zur Hangsicherung sind u.a. folgende Punkte maßgebend:

- Lockere kriechende Hangschuttmassen im Bereich des talseitigen Fahrbahnrandes
- Starke Asymmetrie des Baugrundes im BA 0 bis BA 2
- BA 3 befindet sich im Bereich einer Nagelfluhbank
- Die Neigung der abfallenden Hangseite nimmt im Verlauf vom BA 3 zum BA 0 ab

## 2. Empfehlung zur Stabilisierung / Instandsetzung der Straße

Im Folgenden werden die erarbeiteten Varianten für die Stabilisierung bzw. Instandsetzung des Kalkofenweges vorgestellt und diskutiert. Die Varianten stellen dabei Möglichkeiten zur Ausführung dar. Im Rahmen weiterer Planungsphasen müssen diese noch konkret geplant und optimiert werden. Wahrscheinlich ist die Anwendung verschiedener Varianten im Zuge der Instandsetzung des Kalkofenweges zu empfehlen.

Die nachfolgend beschriebenen Varianten haben folgende Punkte gemeinsam:

- Einbau einer Entwässerungsrinne zwischen Fahrbahnrand und aufgehendem Hang. Zum einen wird dadurch die Verschmutzung der Fahrbahn vermindert, zum anderen wird die Menge des eindringenden Oberflächenwasser in den Hang unter der Fahrbahn reduziert.
- Die unterschiedlichen Varianten zur Böschungssicherung werden breiter als die Fahrbahn konstruiert. Das Bankett zwischen Fahrbahnrand und abfallendem Hang ist somit breit genug, sodass sich im Fall einer Setzung zuerst das Bankett und erst dann die Fahrbahn verformt.
- Die beiden oben genannten Punkte ergeben eine Verbreiterung und Verlegung des Fahrweges.

### 2.1 Variante 1: Bewehrtes Erdbauwerk

Die Stabilisierung der Fahrbahn erfolgt mit Hilfe eines bewehrten Erdbauwerkes. Bei dieser Bauweise werden zunächst lockere kriechende Hangschuttmassen entfernt. Anschließend wird auf das hergestellte Planum ein Geogitter verlegt. Das darauf aufbauende, werkseitig vormontierte Stahldrahtgeflecht muss vor Ort nur aufgeklappt und verklammert werden. Für das Füllmaterial kann z.B. der ausgekofferte Kies, Liefermaterial oder RC-Material verwendet werden. Die Kombination aus Geogitter und Stahldrahtgeflecht wird terrassenartig aufgebaut, wodurch eine zusätzliche Verzahnung mit dem Baugrund erfolgt. Das dadurch bewehrte Erdbauwerk bewirkt, dass die eingetragenen Lasten gleichmäßig in den Untergrund verteilt werden. Daher kann einer einseitigen Setzung der Fahrbahn entgegengewirkt werden.

Folgende Abbildungen zeigen technische Beispiele für die beschriebene Bauweise:

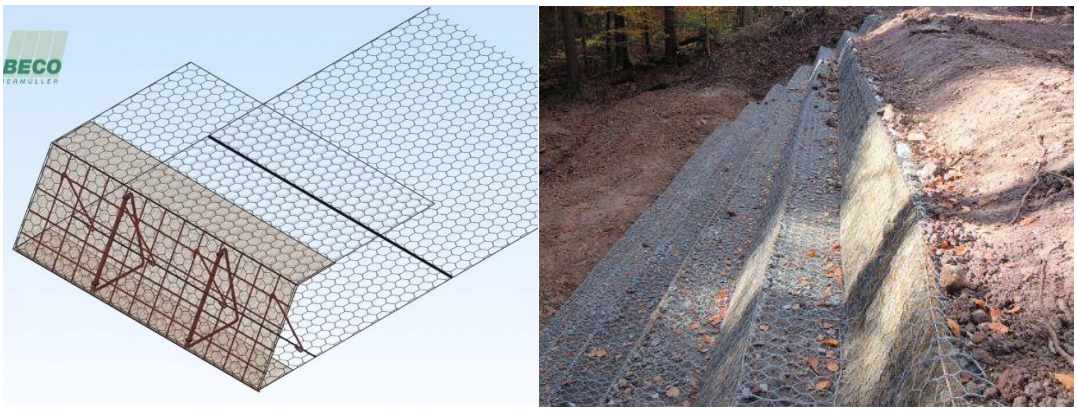



*Abbildung 3: Systemaufbau Erdbauwerk (Quelle BECO Bermüller)*

Die stabilisierende Wirkung der bewehrten Erde beruht auf folgenden Effekten:

- Abtragung der kriechenden Hangschuttmassen
- Das verdichtete eingebrachte Füllmaterial wird verzahnt und verkantet sich zwischen den Stäben des Geogitters, wodurch die innere Reibung erhöht wird
- Das Geogitter wirkt unter Belastung als Zugelement

Das bewehrte Erdbauwerk kann über die gesamte Länge des Fahrweges eingesetzt werden. In den BA 1 bis 2 sind aufgrund der steileren Hangneigung größere Erdbauarbeiten notwendig. Je nach Hersteller sind Neigungen bis 90° realisierbar. In nachfolgender Abbildung ist das System der bewehrten Erdbaukonstruktion beispielhaft am Querprofil 1 dargestellt.

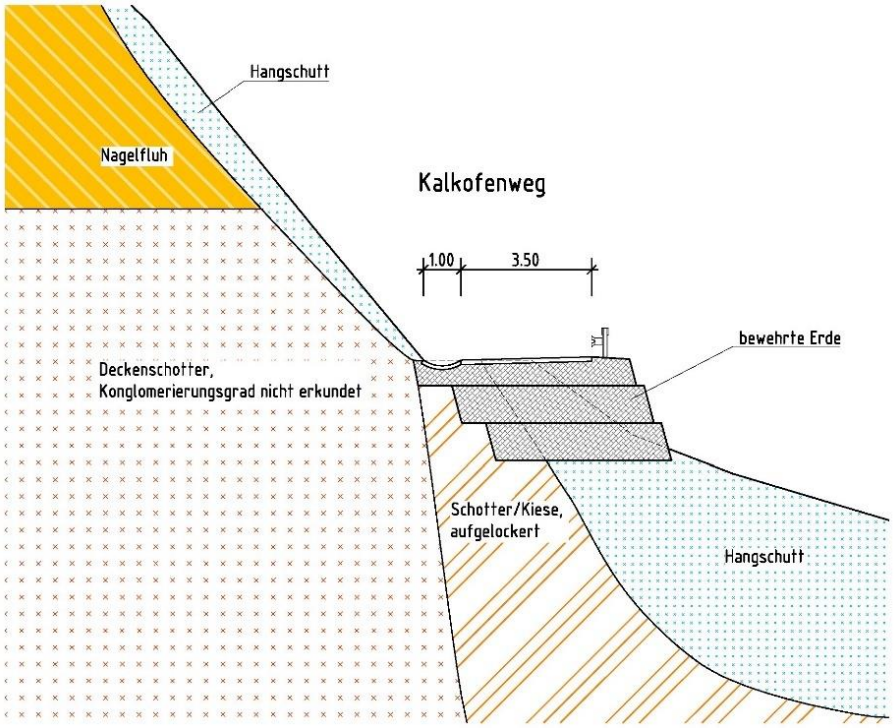



*Abbildung 4: Querprofil 1 - Variante 1 Bewehrtes Erdbauwerk*

- *Vorteile:*
    - Schnelle und einfache Verlegung durch werkseitig hergestellte Elemente
    - Keine schweren Geräte notwendig
    - Gleichmäßige Verteilung der Lasten in den Untergrund
    - Vergleichsweise geringer planerischer und konstruktiver Aufwand
    - Geringe Auswirkungen auf die Bevölkerung (lärm- und erschütterungsarm)
- *Nachteile:*
    - Die Setzungen werden voraussichtlich stark minimiert, können jedoch nicht vollständig gestoppt werden.
    - Teilweise aufwändige Erdarbeiten in schwer zugänglichem Gelände notwendig (BA 1 bis 2). Der Aushub kann ggf. wiedereingebaut werden.
- *Anforderungen:*
    - Erkundung der Aufstandsflächen des Erdbauwerks durch Rammsondierungen
    - Geotechnische Bemessung der Bewehrung und Gesamtstandsicherheitsnachweis im Rahmen eines geotechnischen Entwurfsberichts
    - Ausführungsplanung

## 2.2 Variante 2: Kombination aus bewehrtem Erdbauwerk und Gabionen

Diese Variante stellt eine Kombination aus dem bereits zuvor beschriebenen bewehrtem Erdbauwerk und rückverankerten Gabionen dar. Wie bei der ersten Variante werden bei dieser Bauweise zunächst lockere kriechende Hangschuttmassen entfernt. Daraufhin werden Gabionen zur Hangsicherung platziert, die in stabilen und dicht gelagerten Kiesen bzw. in die Nagelfluhbank rückverankert werden. In den Bereichen unter der Fahrbahn wird ein Erdbauwerk aus bewehrter Erde hergestellt, wie es in Kapitel 2.1 beschrieben ist.

Die Lösung bietet sich v.a. für die BA 1 bis 2, in denen aufgrund der steilen Hangneigung vergleichsweise ungünstige Verhältnisse für den Erdbau vorliegen. In nachfolgender Abbildung ist die Kombination aus bewehrter Erdbaukonstruktion und Gabionen beispielhaft am Querprofil 2 dargestellt.

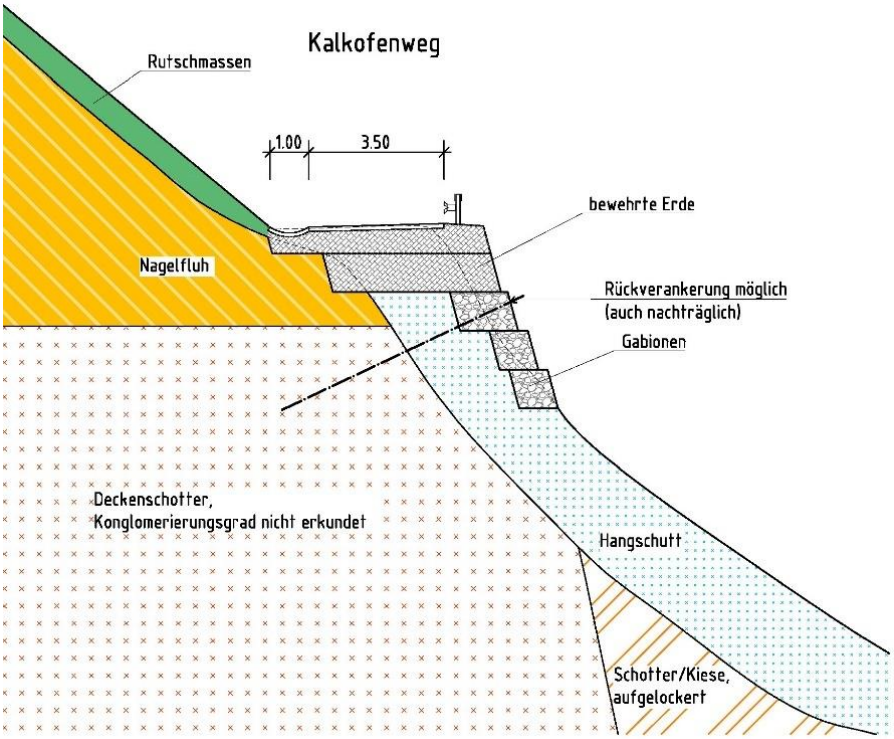



*Abbildung 5: Querprofil 2 - Variante 2 Bewehrtes Erdbauwerk und Gabionen*

- *Vorteile:*
    - Schnelle und einfache Verlegung durch werkseitig hergestellte Elemente
    - Gleichmäßige Verteilung der Lasten in den Untergrund
    - Vergleichsweise geringer planerischer und konstruktiver Aufwand
    - Nachträglich Rückverankerung der Gabionen möglich
    - Im Vergleich zur Variante 1 sind weniger aufwändige Erdarbeiten für die BA 1 bis 2 notwendig
    - Geringe Auswirkungen auf die Bevölkerung (lärm- und erschütterungsarm)

- *Nachteile:*
    - Die Setzungen werden voraussichtlich stark minimiert, können jedoch nicht vollständig gestoppt werden.
    - Schwere Geräte für die Rückverankerung der Gabionen notwendig
- *Anforderungen:*
    - Erkundung der Aufstandsflächen des Erdbauwerks durch Rammsondierungen
    - Geotechnische Bemessung der Bewehrung und Gesamtstandsicherheitsnachweis im Rahmen eines geotechnischen Entwurfsberichts
    - Ausführungsplanung

### 2.3 Variante 3: Stützwand mit Mikropfählen

Bei dieser Variante erfolgt die Stabilisierung der Fahrbahn mit Hilfe einer Stützwand die auf Mikropfählen gegründet und rückverankert wird. Die Mikropfähle binden in die vorhandenen stabilen und dicht gelagerten Kiese bzw. in die Nagelfluhbank ein. Der Bereich unter der Fahrbahn, in dem im Vorfeld die Hangschuttmassen entfernt wurden, wird mit ausgekoffertem Kies, Liefermaterial oder RC-Material verfüllt. Zur zusätzlichen Hangsicherung und Verlangsamung der Hangerosion, können vor dem Stützbauwerk Gabionen aufgestellt werden, die ggf. auch nachträglich rückverankert werden können. In nachfolgender Abbildung ist die Konstruktion am Querprofil 2 dargestellt:

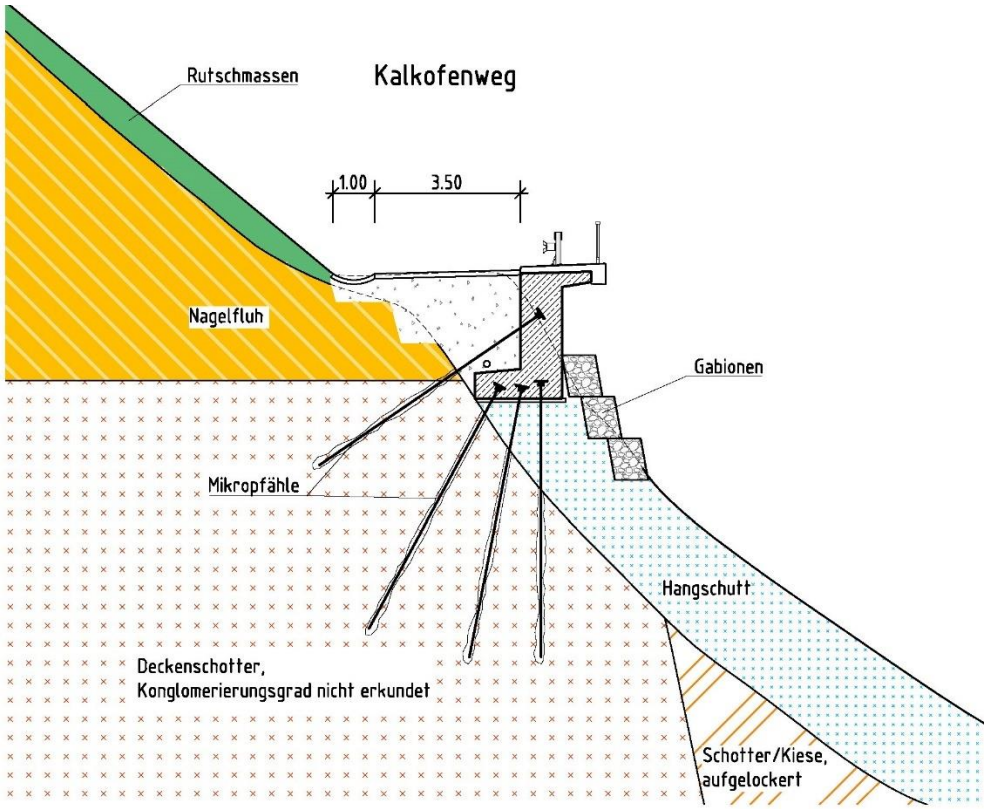



*Abbildung 6: Querprofil 2 - Variante 3 Stützwand mit Mikropfählen*

Im Vergleich zu den beiden vorherigen Varianten werden mit dieser Lösung die Setzungen nahezu vollständig gestoppt und weitere Fahrbahnschäden können weitestgehend ausgeschlossen werden. Es ist jedoch zu bedenken, dass für die Herstellung größere Erdbewegungen notwendig sind und die Konstruktion wesentlich aufwändiger ist (Herstellung eines Ingenieurbauwerks, zusätzlicher Erhaltungsaufwand). Für die Mikropfahlherstellung sind Probebohrungen und Belastungsversuche erforderlich. Für die Herstellung sind aufgrund der steilen Geländesituation Spezialfirmen zu beauftragen. In Abbildung 7 ist als Beispiel ein Schreitbagger mit einer Anbau-Bohreinheit für die Mikropfahlherstellung dargestellt.



*Abbildung 7: Schreitbagger mit Anbau-Bohreinheit für die Mikropfahlherstellung*

- *Vorteile:*
    - Die Setzungen können nahezu vollständig gestoppt werden.
- *Nachteile:*
    - Aufwändige Konstruktion (Ingenieurbauwerk), Unterhalt und Prüfung
    - Schwere Geräte notwendig (schwierige Zugänglichkeit für Baugeräte in schmalen Erdbaufeldern)
    - Beauftragen von Spezialfirmen
    - Vergleichsweise hoher planerischer und konstruktiver Aufwand
    - Aufwändige Erdarbeiten in schwer zugänglichem Gelände (BA 1 bis 2)
- *Anforderungen:*
    - Geotechnische Erkundung mit Rammsondierungen
    - Geotechnische Bemessung der Mikropfähle auf Zug- und Druckbeanspruchung, geotechnische Planung
    - Statik und Ausführungsplanung

## 2.4 Variante 4: Bohrträger mit Stahlbetonverschalung

Diese Variante wurde in Anlehnung an die bereits vorhandene Hangsicherung aus eingerammten Stahlträgern mit querliegenden Leitplanken in der oberen (nördlichen) Hälfte des Fahrweges entwickelt. Die Bauweise kann nur im BA 3 zur Anwendung kommen, da hier eine Nagelfluhbank vorhanden ist, auf dieser die Gründung der Konstruktion abgesetzt werden kann. In den BA 0 bis 2 ist diese Variante aus wirtschaftlichen und Gründen der Herstellung nicht geeignet, da dort keine vergleichbare Nagelfluhbank vorhanden ist.

Im Unterschied zur vorhandenen Konstruktion werden Bohrträger eingebracht. Die Träger bestehen aus Walzprofilen. In einem ersten Arbeitsschritt werden Bohrungen eingebracht, die Walzprofile eingestellt und danach das Fußauflager mit Beton verfüllt, wobei gleichzeitig das Bohrrohr gezogen wird. Die Ausfachung zwischen den Walzprofilen erfolgt mit einer Stahlbetonschale. Hierfür wird ein Arbeitsplanum hergestellt, die Schalung eingestellt und die Stahlbetonwand betoniert. Die Hinterfüllung erfolgt in mehreren Arbeitsschritten, wobei zur Stabilisierung der Wand diese mehrfach rückverankert wird. Neben der Funktion der Hangsicherung, schützt die Betonkonstruktion die Bohrträger vor Korrosion. In nachfolgender Abbildung ist die Variante 4 im Querprofil 3 dargestellt:

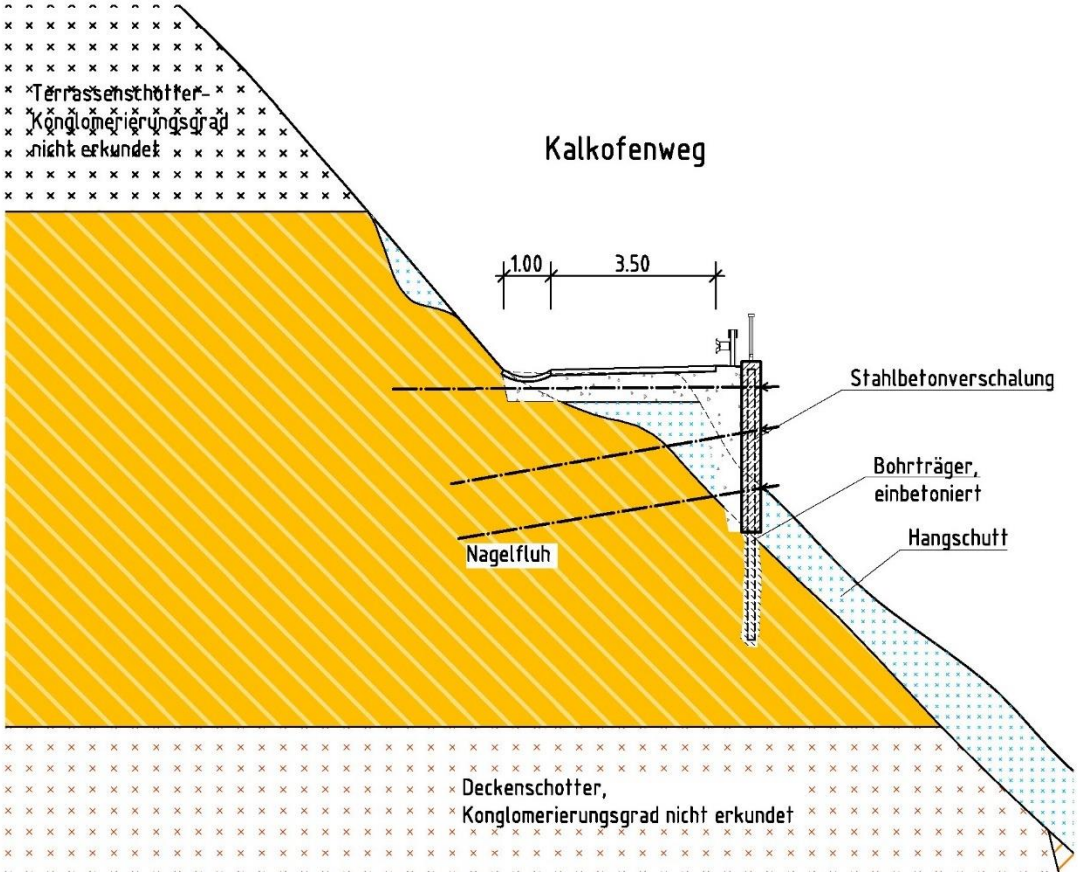



*Abbildung 8: Querprofil 3 - Variante 4 Bohrträger mit Betonverschalung*

- *Vorteile:*
    - Konstruktion hat sich bereits zur Hangsicherung im oberen (nördlichen) Bereich bewährt.
    - Robuste und einfache Konstruktion, die Setzungen nahezu vollständig ausschließt.
    - Lastabtragung im Nagelfluh
    - Weniger Materialeinsatz im Vergleich zu Variante 3
- *Nachteile:*
    - Schwere Geräte notwendig
    - Vergleichsweise hoher planerischer und konstruktiver Aufwand
    - Bauweise nur im BA 3 anwendbar
    - Aufwändige Erdarbeiten
- *Anforderungen:*
    - Erkundung der Bohrträgereinbindung
    - Statik und Ausführungsplanung

Um die Kosten zu reduzieren, können die Zwischenräume anstatt der Stahlbetonverschalung mit Fertigteilelementen ausgefacht werden. Nach dem Setzen der Bohrpfähle, erfolgt der Bodenaushub in geringerer Tiefe unter dem Fahrweg, sodass die Fertigteilelemente eingebracht werden können. Einerseits reduzieren sich der Materialeinsatz (unter anderem die Anzahl der Rückverankerungen) und die Erdbauarbeiten, andererseits verliert das System an Steifigkeit. Die Setzungen werden bei der kostengünstigeren Lösung nicht vollständig gestoppt.

## 3. Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Die genannten Varianten lassen sich wie folgt zusammenfassen und vergleichen (siehe auch Anlage°5). Außerdem enthält Abbildung 9 die Ergebnisse der kostenmäßigen Kalkulation der Möglichkeiten für die Instandsetzung des Kalkofenweges.

| Varianten | Variante 1<br>Erdbauwerk | Variante 2<br>Erdbauwerk und Gabionen | Variante 3<br>Stützwand mit Mikropfählen | Variante 4<br>Bohrträger mit Betonverschalung |
|---|---|---|---|---|
| **Setzungen** | Stark minimiert, aber nicht vollständig gestoppt | Stark minimiert, aber nicht vollständig gestoppt | Nahezu vollständig gestoppt | Nahezu vollständig gestoppt |
| **Herstellung / Konstruktion** | - Schnelle und einfache Verlegung<br>- Keine schweren Geräte notwendig<br>- Gleichmäßige Verteilung der Lasten in den Untergrund<br>- Lärm- und erschütterungsarm | - Schnelle und einfache Verlegung<br>- Schwere Geräte notwendig<br>- Gleichmäßige Verteilung der Lasten in den Untergrund<br>- Lärm- und erschütterungsarm<br>- Rückverankerung der Gabionen | - Aufwändige Konstruktion (Ingenieurbauwerk)<br>- Unterhalt und Prüfung<br>- Schwere Geräte notwendig<br>- Spzialfirma | - Robuste, einfache Konstruktion<br>- Unterhalt und Prüfung<br>- Schwere Geräte notwendig<br>- Weniger Materialeinsatz wie bei Variante 3<br>- Nur im BA 3 anwendbar<br>- Lastabtragung im Nagelfluh |
| **Erdbauarbeiten** | Aufwändige Erdarbeiten (BA 1 bis 2) | Im Vergleich zu Variante 1 weniger aufwändig (BA 1 bis 2) | Aufwändige Erdarbeiten | Aufwändige Erdarbeiten |
| **Planerischer Aufwand** | Gering | Gering | Hoch | Hoch |
| **Zusätzliche Anforderungen** | - Geotechnische Erdkundung<br>- Geotechnischer Entwurfsbericht<br>- Ausführungsplanung | - Geotechnische Erdkundung<br>- Geotechnischer Entwurfsbericht<br>- Ausführungsplanung | - Geotechnische Erdkundung<br>- Geotechnischer Entwurfsbericht<br>- Geotechnische Bemessung der Mikropfähle<br>- Ausführungsplanung<br>- Statik | - Geotechnische Erdkundung<br>- Erkundung der Bohrträgereinbindung<br>- Ausführungsplanung<br>- Statik |
| **Baukosten (Brutto)** | **4.600 €/Meter** | **5.500 €/Meter** | **17.500 €/Meter** | **6.600 €/Meter** |

*Abbildung 9: Zusammenfassung und Gegenüberstellung der verschiedenen Varianten*

Für die Instandsetzung des Kalkofenweges wurden die oben aufgezeigten technisch-konstruktiven Maßnahmen entwickelt und gegenübergestellt. Anzumerken ist, dass alle Varianten eine Verbreiterung und Verlegung des Fahrweges mit sich bringen. Die Setzungen werden lediglich bei Variante 3 und 4 nahezu vollständig gestoppt. Bei den anderen Varianten wird die Setzungsthematik stark minimiert.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Baukosten pro Meter angegeben werden. Der Grund hierfür ist, dass die Varianten über die Länge des Fahrweges miteinander kombiniert werden können bzw. nicht alle Varianten über den gesamten Kalkofenweg realisierbar sind. Die Kosten bewegen sich zwischen 4.600 €/Meter (Variante 1 – bewehrtes Erdbauwerk) bis 17.500 €/Meter (Variante 3 – Stützwand mit Mikropfählen). Die Preise geben ein repräsentatives Spektrum möglicher Baukosten wieder, Abweichungen nach oben und unten sind jedoch möglich. Die tatsächlichen Baukosten ergeben sich aus der auszuführenden Kombination der Varianten über die Baulänge.

Nachfolgend wird ein Vorschlag gemacht, welche Varianten im jeweiligen Bauabschnitt technisch und wirtschaftlich sinnvoll sind. Die Zuordnung wird auch aus der Abbildung 10 ersichtlich.

- *BA 0 und erster Teil von BA 1* (rot)

  Für diesen Bereich wird Variante 1 aufgrund der flachen Hangneigung, den daraus resultierenden vergleichsweise geringen Erdbauarbeiten sowie der schnellen und einfachen Verlegung durch Fertigteile empfohlen.

  Variante 2 findet erst in den BA 1 und 2 Anwendung, in denen die Hangneigung steiler wird. Varianten 3 und 4 sind aufgrund der vorhandenen Bodenverhältnisse (Hangschutt, aufgelockerte Schotter/Kiese) aus wirtschaftlichen und baulichen Gründen nicht zu empfehlen.

- *Zweiter Teil von BA 1 und BA 2* (grün)

  Für diesen Bereich sind die Varianten 1, 2 und 3 möglich. Bei Variante 3 wird im Vergleich zu den Varianten 1 und 2 ein Ingenieurbauwerk hergestellt, das einerseits die Setzungen nahezu stoppt, andererseits eine aufwändige Konstruktion darstellt. Im Vergleich zu Variante°2 sind für die Varianten 1 und 3 aufwändigere Erdarbeiten notwendig, da das Gelände in diesem Bereich steiler ist. Bei optimalem Bauablauf kann der Aus- und Einbau der Erdmassen jedoch vor Ort erfolgen. Die Baulogistik wird später geplant.

- *BA 3* (violett)

  Für diesen Abschnitt sind die Varianten 1, 3, 4 möglich. Die Gründung für die Varianten°3 und 4 kann auf der in diesem Bereich vorhandenen Nagelfluhbank abgesetzt werden. Im Vergleich zu den Varianten 3 und 4 stellt die Variante 1 eine weniger steife Lösung für diesen Bereich dar.

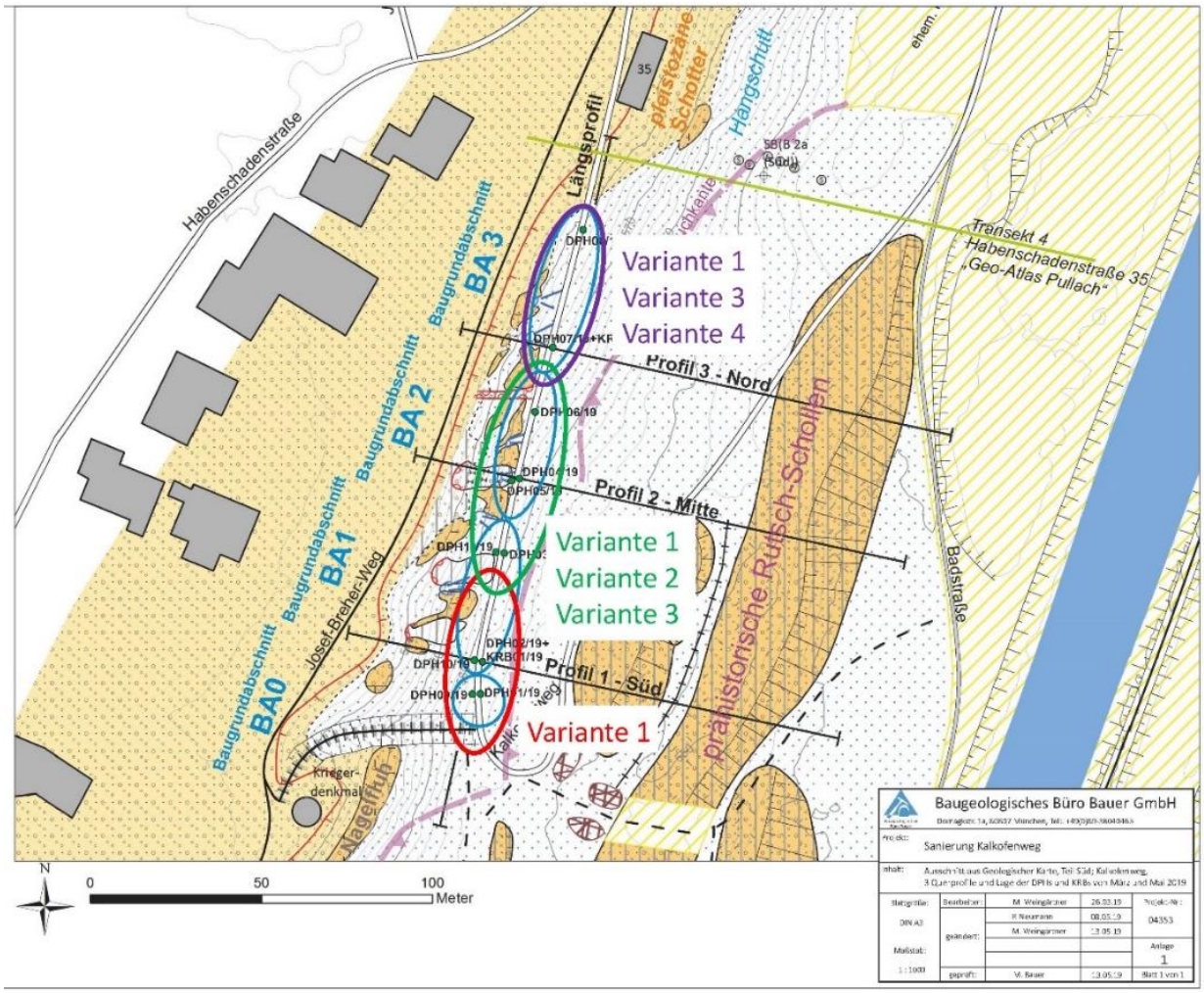


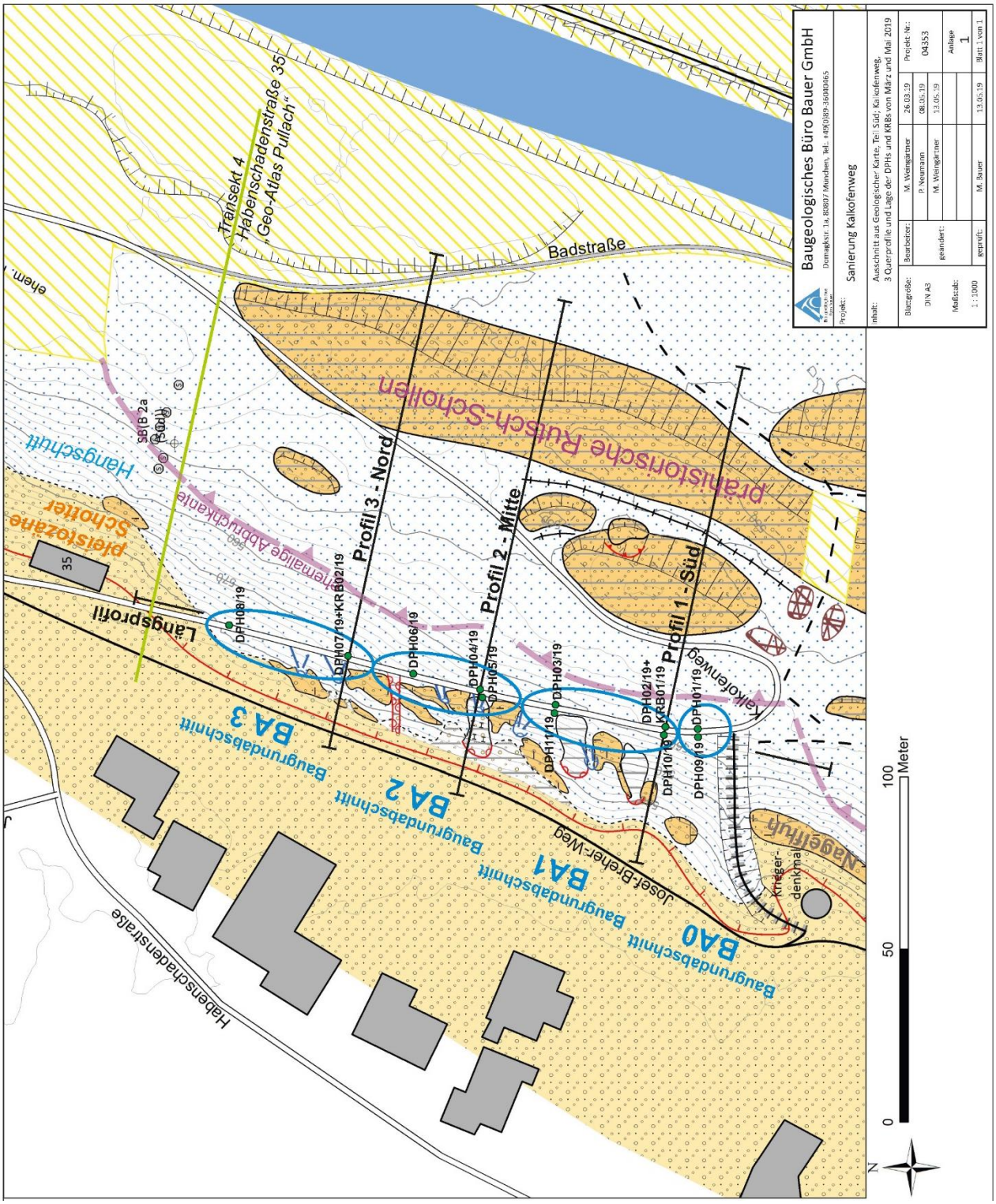

*Abbildung 10: Kombination der Varianten über die Bauabschnitte*

Die Varianten können als „Bausteine“ angesehen werden, die über die Länge des Fahrweges miteinander kombiniert werden können. Zum Beispiel bietet sich die Kombination der Varianten 1 und 2 als eine mögliche Lösung für die Instandsetzung des Kalkofenweges an. Für den BA 0 findet das bewehrte Erdbauwerk (Variante 1) aus den bereits aufgezeigten Gründen Anwendung. In den steileren Abschnitten (BA 1 und 2) erfolgt der Übergang auf Variante 2 (Kombination aus bewehrter Erde und rückverankerten Gabionen). Variante 2 bietet die Möglichkeit sich an die vorhandene Geländesituation anzupassen und je nach Notwendigkeit die Gabionen zum Beispiel in mehreren Lagen (auch nachträglich) zu verankern. In BA°3 empfiehlt sich im Hinblick auf die vorherigen Bauabschnitte wieder die Anwendung der Variante°1. Mit dieser Lösung wird über die gesamte Länge des Fahrweges ein kostengünstiges System mit geringerer Steifigkeit verwendet. Die Setzungen werden nur stark minimiert, aber nicht vollständig gestoppt. Die Kosten für diese Lösung belaufen sich insgesamt auf ca. 700.000 € (Brutto). Natürlich ist auch eine Kombination mit den anderen Varianten möglich.

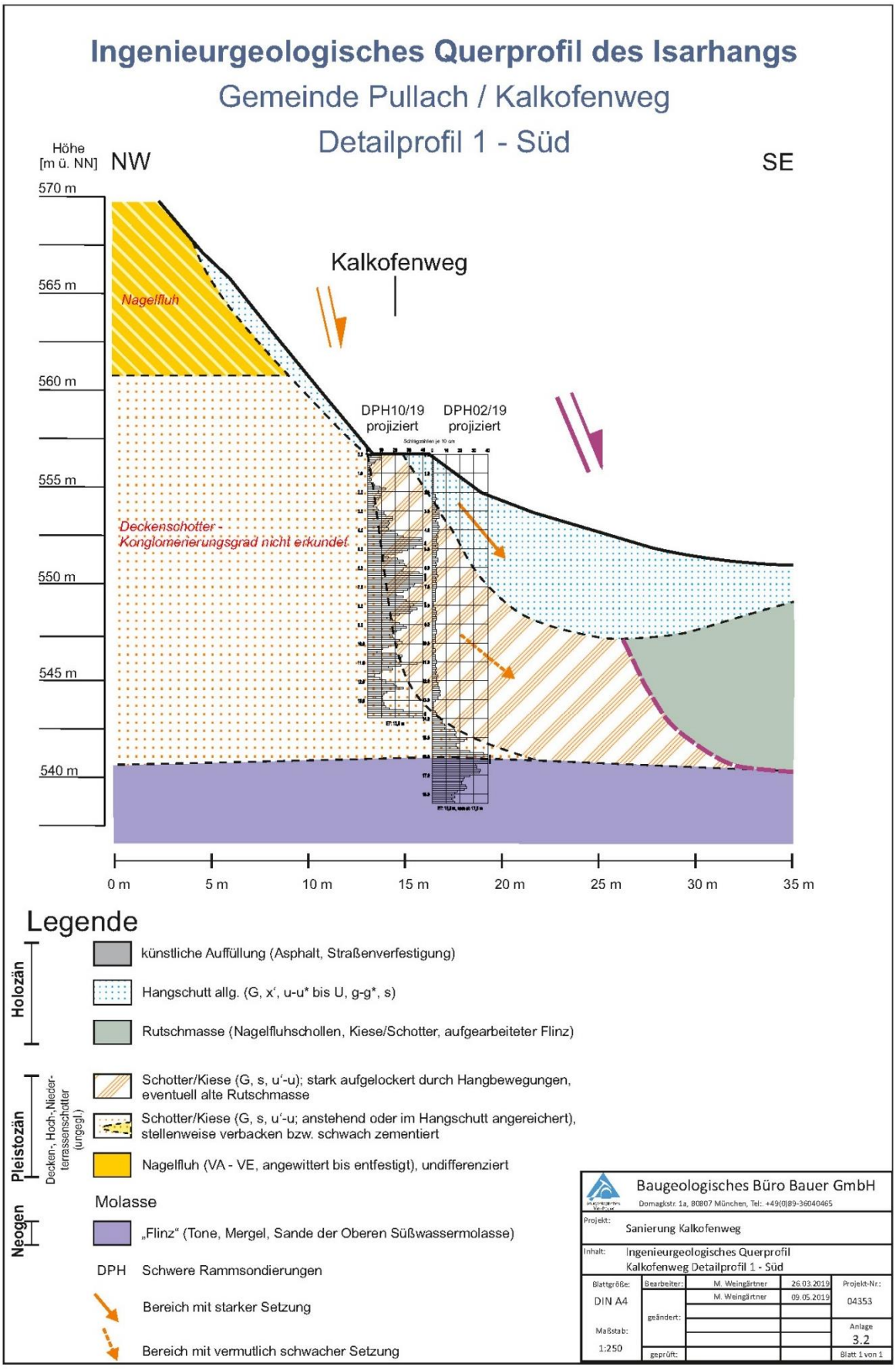
Aus technisch-konstruktiver Sicht sind verschiedene Kombinationen der vorgestellten Varianten für die Instandsetzung des Kalkofenweges möglich. Die Maßnahmen sind davon abhängig, ob die Straßenschäden nur minimiert oder nahezu vollständig gestoppt werden sollen. Außerdem müssen die möglichen finanziellen Mittel und die vorgesehene zukünftige Nutzung des Fahrweges berücksichtigt werden.

## 4. Anlagen

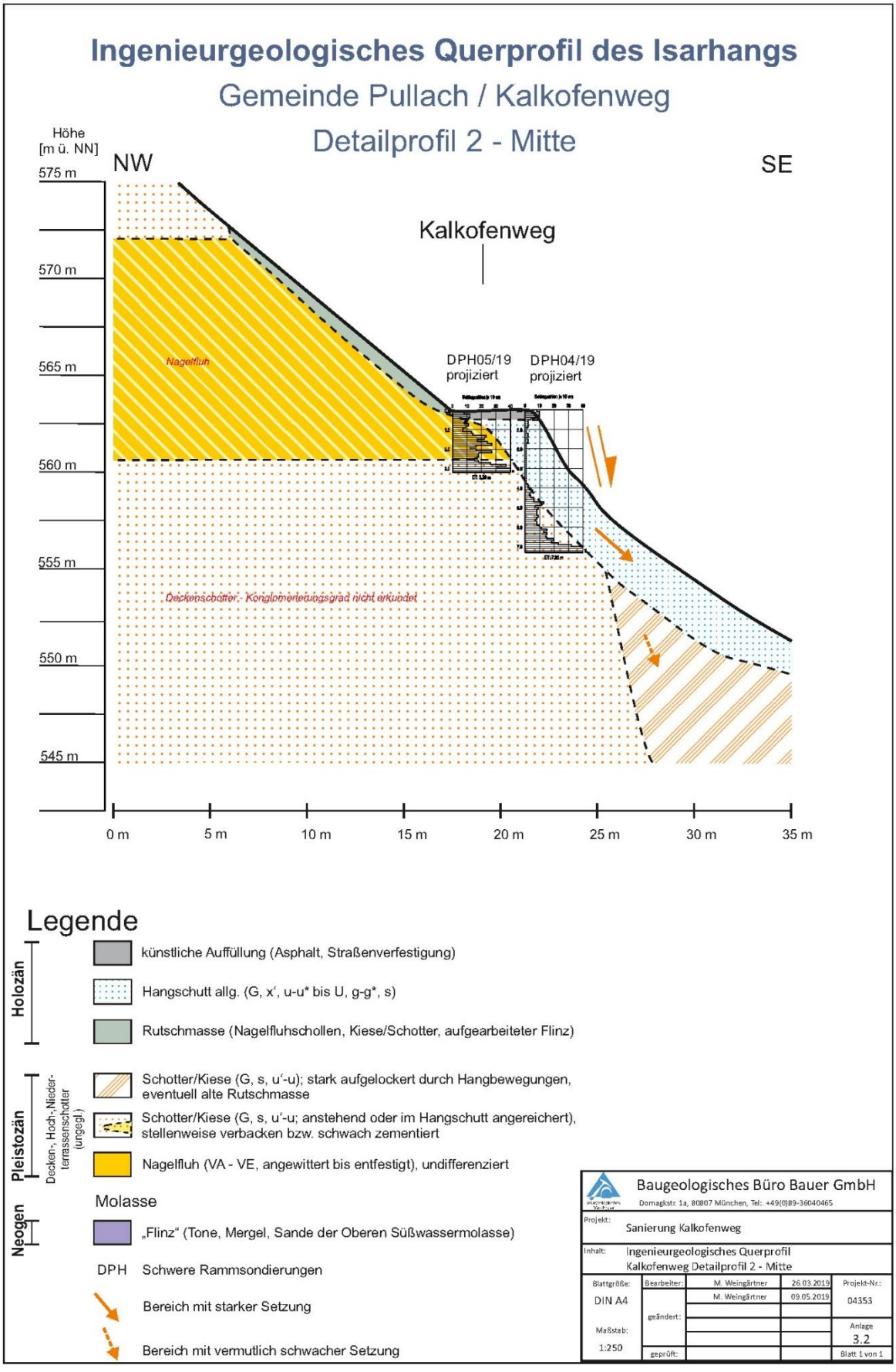
### Anlage 1: Ausschnitt aus Geologischer Karte, Teil Süd; Kalkofenweg (Quelle BBB)



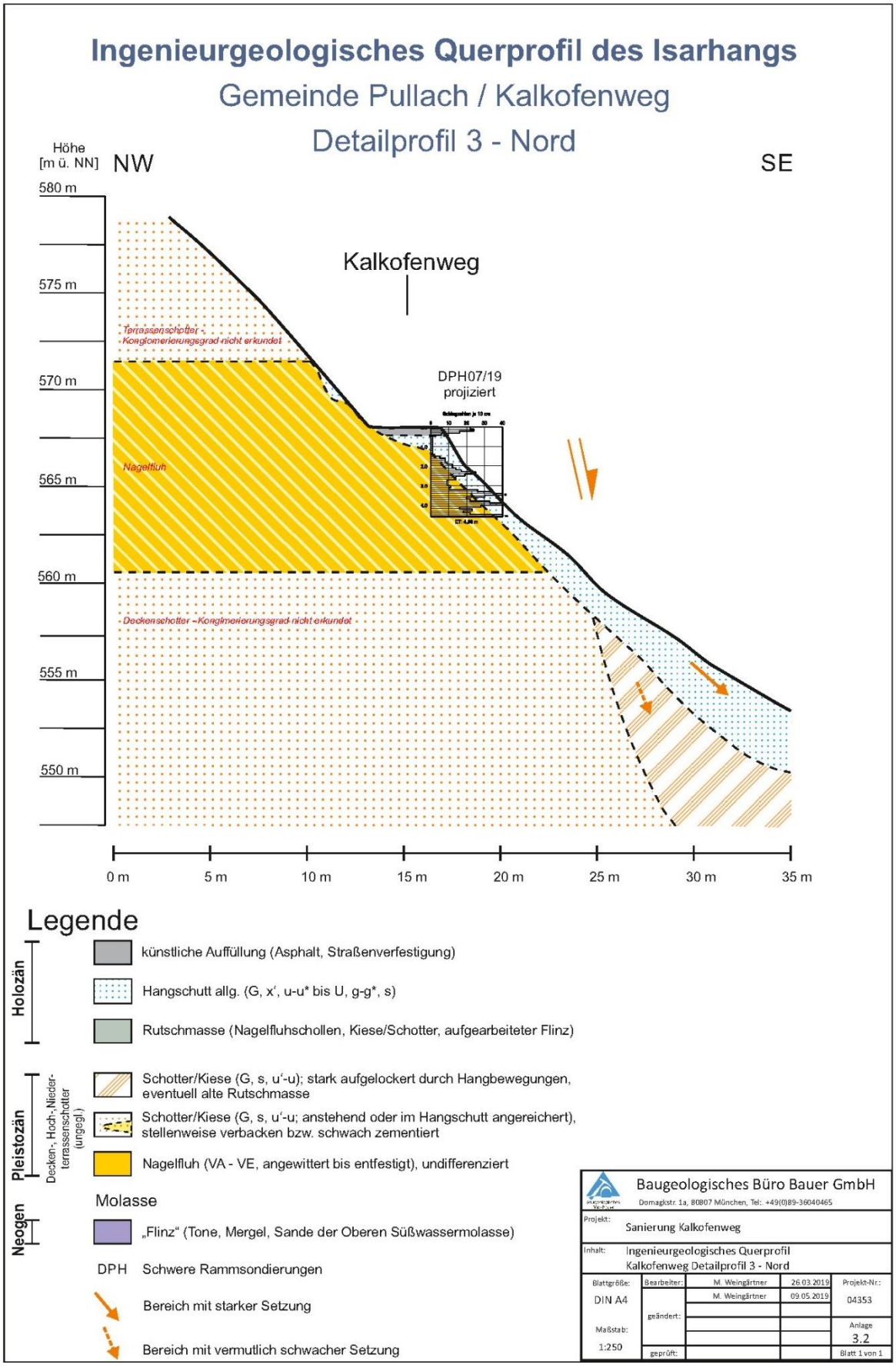
**Anlage 2: Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 1 (Quelle BBB)**



**Anlage 3: Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 2 (Quelle BBB)**



**Anlage 4: Ingenieurgeologisches Querprofil Kalkofenweg, Detailprofil 3 (Quelle BBB)**



**Anlage 5: Zusammenfassung und Gegenüberstellung der verschiedenen Varianten**

| Varianten | Variante 1<br>Erdbauwerk | Variante 2<br>Erdbauwerk und Gabionen | Variante 3<br>Stützwand mit Mikropfählen | Variante 4<br>Bohrträger mit Betonverschalung |
|---|---|---|---|---|
| **Setzungen** | Stark minimiert, aber nicht vollständig gestoppt | Stark minimiert, aber nicht vollständig gestoppt | Nahezu vollständig gestoppt | Nahezu vollständig gestoppt |
| **Herstellung / Konstruktion** | - Schnelle und einfache Verlegung<br>- Keine schweren Geräte notwendig<br>- Gleichmäßige Verteilung der Lasten in den Untergrund<br>- Lärm- und erschütterungsarm | - Schnelle und einfache Verlegung<br>- Schwere Geräte notwendig<br>- Gleichmäßige Verteilung der Lasten in den Untergrund<br>- Lärm- und erschütterungsarm<br>- Rückverankerung der Gabionen | - Aufwändige Konstruktion (Ingenieurbauwerk)<br>- Unterhalt und Prüfung<br>- Schwere Geräte notwendig<br>- Spzialfirma | - Robuste, einfache Konstruktion<br>- Unterhalt und Prüfung<br>- Schwere Geräte notwendig<br>- Weniger Materialeinsatz wie bei Variante 3<br>- Nur im BA 3 anwendbar<br>- Lastabtragung im Nagelfluh |
| **Erdbauarbeiten** | Aufwändige Erdarbeiten (BA 1 bis 2) | Im Vergleich zu Variante 1 weniger aufwändig (BA 1 bis 2) | Aufwändige Erdarbeiten | Aufwändige Erdarbeiten |
| **Planerischer Aufwand** | Gering | Gering | Hoch | Hoch |
| **Zusätzliche Anforderungen** | - Geotechnische Erdkundung<br>- Geotechnischer Entwurfsbericht<br>- Ausführungsplanung | - Geotechnische Erdkundung<br>- Geotechnischer Entwurfsbericht<br>- Ausführungsplanung | - Geotechnische Erdkundung<br>- Geotechnischer Entwurfsbericht<br>- Geotechnische Bemessung der Mikropfähle<br>- Ausführungsplanung<br>- Statik | - Geotechnische Erdkundung<br>- Erkundung der Bohrträgereinbindung<br>- Ausführungsplanung<br>- Statik |
| **Baukosten (Brutto)** | **4.600 €/Meter** | **5.500 €/Meter** | **17.500 €/Meter** | **6.600 €/Meter** |