

---

# Untersuchungsbericht

## zur Einschätzung der Standsicherheit der Ost- böschung im Steinbruch Jaeger, Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH, Reichshof

**Auftraggeber:**

**Günter Jaeger  
Steinbruchbetriebe GmbH**

Lüsberger Straße 2  
51580 Reichshof-Nespen

**bearbeitet von:**



Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner  
Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen  
Dipl.-Geol. D. Quante  
P. Fugmann, M.Sc.



Ingenieurbüro Gell & Partner GbR  
Hansmannstraße 19, 52080 Aachen Tel.: (0241) 955 94 80

Ingenieurbüro Gell & Partner GbR  
Dipl.-Ing. Jürgen Knops

Projekt-Nr.: 202414606

## Inhalt

1	Anlass und Zielsetzung	4
2	Unterlagen	5
3	Geologie der Lagerstätte	6
3.1	Geologischer Überblick	6
3.2	Gesteine und Tektonik in der Gewinnungsstätte	9
3.3	Dokumentation der Ortsbegehung am 27.06.2024	10
3.3.1	Gefügemessungen	10
3.3.2	Schichtung	11
3.3.3	Klüftung, Faltung und Störungen – Allgemeines	13
3.3.3.1	Klüftung – Ostböschung	18
4	Einschätzung der Standsicherheit	24
4.1	Allgemeines, Homogenbereiche	24
4.2	Raumstellung der Trennflächen	26
4.3	Standsicherheit im Abschnitt 2	27
4.4	Standsicherheit im Abschnitt 1	29
4.5	Standsicherheit im Abschnitt 3	30
4.6	Standsicherheit im Abschnitt 4	31
5	Schlussfolgerungen	33

## Anlagen

Anlage 1 *Lageplan mit Messpunkten und Schnittspuren, 1:2.000*

Anlage 2 *Schnitte 1 – 4*

*Anlage 2.1 Schnitt 1-1'*

*Anlage 2.2 Schnitt 2-2'*

*Anlage 2.3 Schnitt 3-3'*

*Anlage 2.4 Schnitt 4-4'*

Anlage 3 *Böschungsbruchsicherheit – Berechnungsquerschnitte*

*Anlage 3.1.1 Berechnungsquerschnitt 2-2' - Bemessungssituation BS-P*

*Anlage 3.1.2 Berechnungsquerschnitt 2-2' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 285 mNHN*

*Anlage 3.1.3 Berechnungsquerschnitt 2-2' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 323 mNHN*

*Anlage 3.2.1 Berechnungsquerschnitt 1-1' - Bemessungssituation BS-P*

*Anlage 3.2.2 Berechnungsquerschnitt 1-1' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 303 mNHN*

*Anlage 3.2.3 Berechnungsquerschnitt 1-1' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 323 mNHN*

*Anlage 3.2.4 Berechnungsquerschnitt 1a-1a' - Bemessungssituation BS-P*

*Anlage 3.2.5 Berechnungsquerschnitt 1a-1a' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 285 mNHN*

*Anlage 3.2.6 Berechnungsquerschnitt 1a-1a' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 323 mNHN*

*Anlage 3.3.1 Berechnungsquerschnitt 4-4' - Bemessungssituation BS-P*

*Anlage 3.3.2 Berechnungsquerschnitt 4-4' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 310 mNHN*

*Anlage 3.3.3 Berechnungsquerschnitt 4-4' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 323 mNHN*

*Anlage 3.4.1 Berechnungsquerschnitt 4-4' - Bemessungssituation BS-P*

*Anlage 3.4.2 Berechnungsquerschnitt 4-4' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 280 mNHN*

*Anlage 3.4.3 Berechnungsquerschnitt 4-4' - Bemessungssituation BS-P, Wasser = 323 mNHN*

## 1 Anlass und Zielsetzung

Die Firma Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH betreibt seit 1914/15 an der L 324 einen Grauwacken-Steinbruch zwischen Wildbergerhütte und Odenspiel. Hierbei ist der Abbauendstand für den östlichen und südöstlichen Teil des Steinbruchs erreicht worden. Für die Anlegung einer Rand- bzw. Endböschung in diesem Bereich ist laut Stellungnahme des Geologischen Dienstes NRW vom 04.07.2017 (Gesch.-Z. 31.140/4063/2017) und vom 22.01.2024 (Gesch.-Z. 31.140/5355/2023; mit Bezug auf den temporären Abraumschüttkegel an der Ostböschung) ein Nachweis für die dauerhafte Standsicherheit durch einen Sachverständigen für Geotechnik zu erbringen, da die Ostwand in Teilbereichen auf längere Distanz offen steil steht und somit Träger potentieller Georisiken ist.

Ein am verfasster bzw. eingereichter Untersuchungsbericht zum Trennflächengefüge dient hierbei als Grundlage für die Erstellung des Standsicherheitsnachweises für den südwestlichen und südlichen Steinbruchbereich, jedoch nicht für den Ostteil. Hierfür wurde am 27.06.2024 das Trennflächengefüge entlang der Ostböschung aufgenommen.

Die Stabilisierung der etwa 30 bis 55 m hohen Ostböschung soll – sofern erforderlich – mittels Vorschüttungen erreicht werden. Negative Auswirkungen auf die unmittelbar östlich der Betriebsgrenze verlaufende L 324 sollen somit ausgeschlossen werden. Es wurde bereits in Teilen eine Vorschüttung angelegt. Der bisher entstandene, temporäre Schüttkegel sollte laut Stellungnahme ebenfalls auf seine Standsicherheit untersucht werden.

Der vorliegende Untersuchungsbericht fasst die Forderung nach den Standsicherheitsnachweisen der Ostböschung und des bereits teilweise angelegten, temporären Schüttkegels unter Berücksichtigung der Böschungsgeometrien, der Materialzusammensetzung bzw. -beschaffenheit und der tektonischen Strukturen im Steinbruch zusammen. Zudem wird der Einfluss des steigenden Seewasserspiegels nach Ende der Sumpfungmaßnahmen auf die Standsicherheit der Böschungen bewertet.

## 2 Unterlagen

Zur Bearbeitung der vorliegenden Stellungnahme wurden die folgenden Unterlagen ausgewertet:

- [U01] Geologische Karte Blatt 5012 Eckenhagen, 1:25.000
- [U02] Streichlinienkarte Blatt 5012 Eckenhagen, 1:25.000
- [U03] Geologie im Rheinischen Schiefergebirge - Teil 3, Sauer- und Siegerland (2017)
- [U04] Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen (1998)
- [U05] FÜLLING, H.-P., 1994. Geologische/hydrogeologische Untersuchungen im Grauwacken-Steinbruch der Steinbruchbetriebe Jaeger GmbH & Co.KG, Reichshof-Nespen. H.-P. Fülling, Dipl.-Geologe, In der Krim, 42, 42369 Wuppertal. *Nicht veröffentlichtes Fachgutachten*
- [U06] Untersuchungsbericht zum Trennflächengefüge im Grauwacken-Steinbruch Jaeger, Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH, Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner mbH, Aachen, 12.08.2021

### 3 Geologie der Lagerstätte

#### 3.1 Geologischer Überblick

Der Steinbruch Jaeger befindet sich regionalgeologisch im rechtsrheinischen Schiefergebirge, im zentralen Bereich der geologischen Karte Blatt 5012 Eckenhagen (Maßstab 1:25.000, Krefeld, 1972) südwestlich des Ortes Nespen. Die Entstehung der im Bereich des heutigen Siegerlandes vorkommenden Gesteine beginnt im Unterdevon mit der (pro-)deltatischen Ablagerung von klastischen Sedimenten von Nordwesten her in einem schmalen Sedimentationstrog eines Flachmeerbereiches (Abbildung 1).

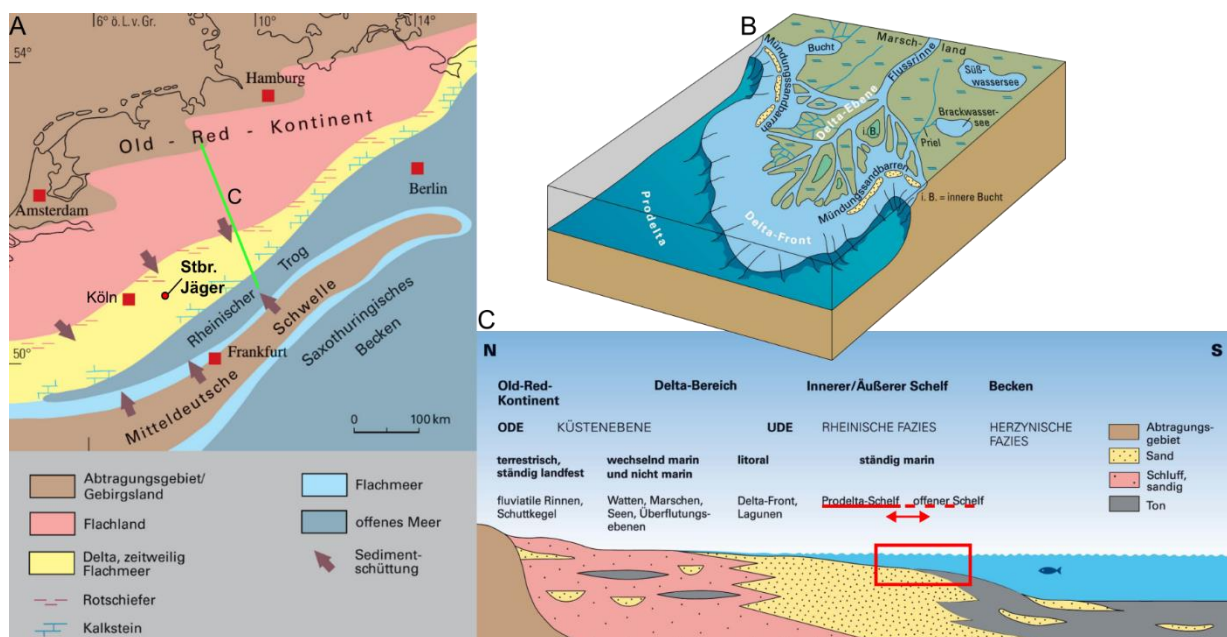


Abbildung 1, A: Vereinfachte paläographische Situation im Unterdevon mit Hervorhebung der Lage des Steinbruchs Jaeger am südlichen Rand des „Old-Red-Kontinents“. B: Übersichtsdarstellung eines fluvialen Deltas mit Sedimentation in einem (Flach-)Meer. C: Vereinfachter Querschnitt vom Festland des „Old-Red-Kontinents“ im Norden zum Rheinischen (Rhenoherynischen) Trog im Süden mit Hervorhebung der ungefähren Lage des Steinbruchs Jaeger während des Ablagerungszeitraums.

Im Zuge der späteren Auffaltung entstanden Sattel- und Muldenstrukturen, zunächst großräumig, später spezialgefaltet. Bedeutende NW-SE bis N-S streichende Quer- und Diagonalstörungen zerlegen die Sättel und Mulden antithetisch in Schollen. In der Querzone von Eckenhagen-Wildberg sind die Gesteine stark gestört und die Faltenachsen der Sattel- und Muldenstrukturen wechseln mehrfach ihre Abtauchrichtung (siehe Abbildung 2).

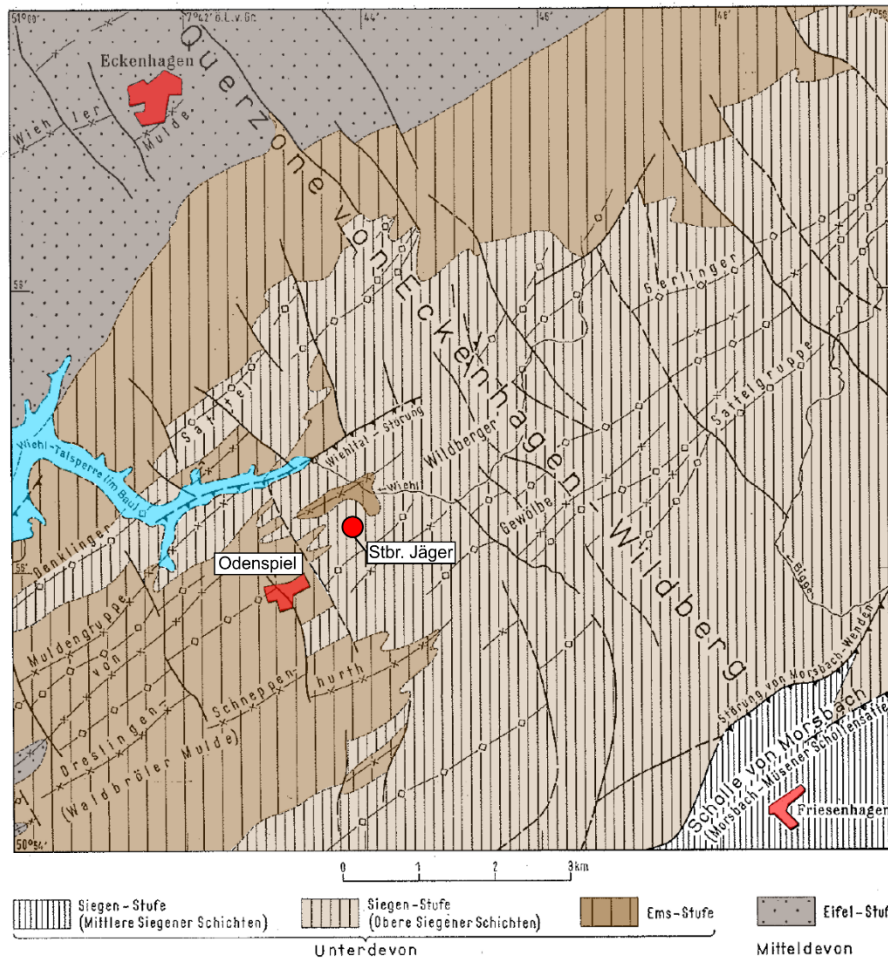


Abbildung 2: Tektonische Baueinheiten im Blattgebiet (Verändert nach: Blatt 5012, Eckenhagen)

Als bedeutendste Großstrukturen sind die Gerlinger Sattelgruppe und die nördlich gelegene Wiehler Mulde zu nennen. An die Achsenaufwölbung des Odenspieler Sattels bei Wildberger Hütte, die von bedeutenden NW-SE-Störungen begleitet wird, schließt sich südwestlich eine Achsendepression an. In diesem Gebiet liegt das Typusgebiet der Odenspiel-Schichten. Der Steinbruch Jaeger und die geplante Erweiterungsfläche liegen im Bereich der Gerlinger Sattelgruppe, die nach SW spezialgefaltet ist, am Nordflügel des Odenspieler Sattels.

Die Odenspiel-Schichten aus dem Oberen Siegen des Unterdevons werden aus einem überwiegend mittel- bis blaugrauen, feinkörnigen, kieselig zementierten, siltigen Sandstein in bankiger bis plattiger Ausprägung mit eingeschalteten blättrigen bis plattigen Lagen von siltigen Ton-schiefern gebildet. Nach GRABERT & HILDEN (1972) haben Quarz, Feldspäte und Schwerminerale einen Anteil von 73%, Illit-Serizit und Chlorit einen Anteil von 25%. Der Rest besteht aus kieseligem, z.T. auch ankeritischem Bindemittel. Das Gebiet im Umgriff des Steinbruchs wird vom Grundsatz her durch folgenden Schichtaufbau charakterisiert (vom Hangenden zum Liegenden; vgl. Abbildung 3):



- Quartäre Deckschichten (i. W. lockere Fließerden)
- Bensberg-Schichten (ehem. *Külbacher Schichten*; i. W. Tonschiefer-, Sandstein und Quarzit-Abfolgen; Unterdevon, Ems)
- Odenspiel-Schichten (ehem. *Odenspieler Grauwacke*; Unterdevon, Obere Siegener Schichten)
- Frohnenberg-Tonschiefer (Unterdevon, Obere Siegener Schichten)

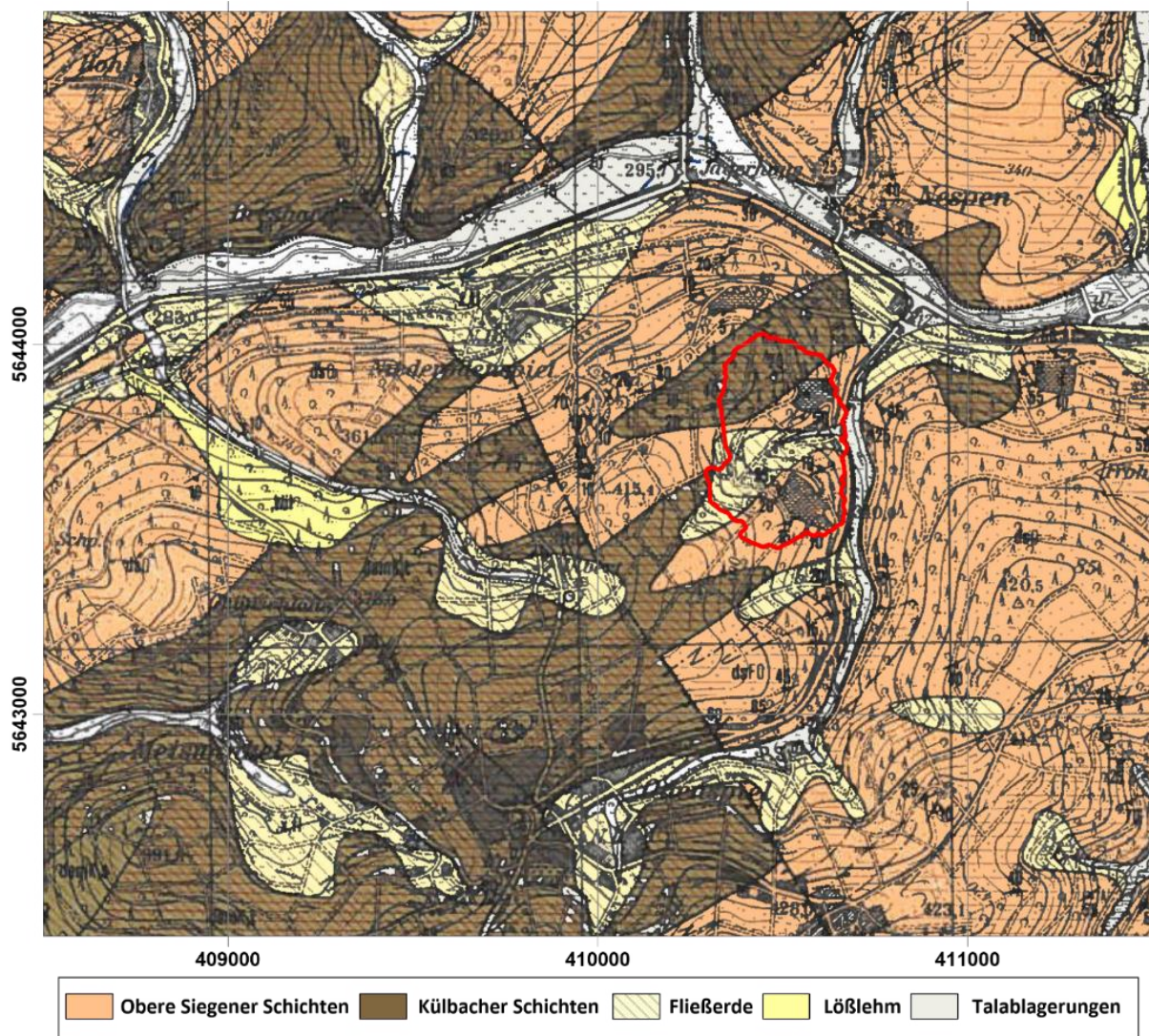


Abbildung 3: Auszug aus der geologischen Karte, Blatt 5012 Eckenhagen

Die **quartären Deckschichten** bestehen aus gelbbraunem, schwach humosem, feinsandigem, steinigem Schluff. Dieser auch als steiniger Hanglehm (Hangschutt) bezeichnete Boden ist bis ca. 2,0 m mächtig.

Es folgen die **Bensberg-Schichten**, die im Bereich des Steinbruchs als Tonschiefer-Folge vorliegen. Diese setzt sich aus meist schräggeschichteten, dunkel- bis grüngrauen, siltig-feinsandigen Tonschiefern in Wechsellagerung mit dunkelgrauen Siltsteinen, feinkörnigen Sandsteinen und teils roten Tonschiefern („Rotschiefer“) zusammen. Die Mächtigkeiten im Raum Odenspiel schwanken zwischen 100 m und 250 m.

Es folgen im Liegenden die **Odenspiel-Schichten** (Obere Siegener Schichten des Unterdevons). Diese können als eine deutlich geschichtete Wechselfolge aus hellgrauen bis braunen, fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen und dunkelgrauen tonig-sandigen Siltsteinen beschrieben werden. Eingeschaltet sind Tonstein- und tonige Siltsteinlagen unterschiedlicher Mächtigkeit (cm bis mehrere m). Die Sandsteinlagen sind überwiegend bankig und nur selten plattig. Häufig sind Schräg- und Kreuzschichtungen (teils auch horizontale Lamination), Rippelmarken, Fließwülste, Kolkmarken und Aufarbeitungslagen zu erkennen. Die Sandsteine und Siltsteine sind deutlich, regelmäßig, z.T. schichtübergreifend geklüftet (orthogonales Kluftsystem). Die Odenspiel-Schichten sind im Steinbruchbereich ca. 80 m - 100 m mächtig.

Die **Frohenberg-Tonschiefer** stellen das Liegende der Odenspieler Grauwacke im Steinbruch dar. Sie werden aus feinsandigen und siltigen Tonschiefern, Siltsteinen und Sandsteinen in Wechsellagerung gebildet.

Die Mächtigkeiten der Oberen Siegener Schichten nehmen im Blattgebiet Eckenhagen insgesamt von Norden nach Süden zu. Die Südostflanken der Spezialfalten sind daher zumeist stärker ausgebildet. In den Sätteln bilden die Frohenberger Tonschiefer und die Odenspieler-Schichten die Sattelkerne (GRABERT, HILDEN, 1972).

### **3.2 Gesteine und Tektonik in der Gewinnungsstätte**

Der derzeit aktive Steinbruchbereich, der sich Richtung Südwesten und Westen bis an die bestehenden Abbaugrenzen entwickelt hat, ist insgesamt durch eine südwestvergente Sattel- und Muldenstruktur gekennzeichnet, die durch eine Vielzahl von kleineren Störungen mit einzelnen Versätzen durchzogen ist. Entlang der südlichen Abbauwand konnten die Störungen als Abschiebungen mit geringen Versatzhöhen klassifiziert werden. Harnische auf den Schicht- bzw. Scherflächen zeigen eine SSW-gerichtete Abschiebungsrichtung an, welche einerseits kohärent

zur Abschiebungsrichtung der nördlich gelegenen Wiehltal-Störung ist (vgl. Abbildung 2), andererseits der Gleitfläche der gefalteten Schichtpakete entspricht (Biege-Gleitfaltung).

Die Gesteine der Ostböschung (Odenspiel-Schichten) fallen i. d. R. mit relativ flachen Winkeln zwischen  $7^\circ$  und  $20^\circ$  nach Süd bis Südost ein. Lokal wurden Einfallwinkel zwischen  $30 - 48^\circ$  gemessen. Im nördlichsten Teil ist eine Umbiegung der Lagerung nach Nord-Nordost feststellbar, welche durch eine hier monokline Sattelstruktur erklärt wird. Weiter südlich dieser konstruierten Sattelachse dominiert das Einfallen in südöstliche Richtung, bevor im südlichsten Teil eine südliche bis südsüdöstliche Richtung dominiert. Auch hier sind die lokalen Spezialfaltungen und wahrscheinlich ebenfalls die Abschiebungen als Ursache heranzuziehen.

### **3.3 Dokumentation der Ortsbegehung am 27.06.2024**

#### **3.3.1 Gefügemessungen**

Zur Einschätzung der Standsicherheit wurden am 27.06.2024 Gefügemessungen an der östlichen ehemaligen Abbauwand vorgenommen. Die einzelnen Messpunkte können der Abbildung 4 und dem Anhang 1 entnommen werden. Neben der Schichtung S wurden die Klufscharen Q (Querklüftung), L (Längsklüftung) und  $D_1/D_2$  (Diagonalklüftung) aufgenommen. Maßgebend für die Standsicherheit der Ostböschung sind vor allem die nach Süd-Südost einfallenden Schichtflächen sowie die nach Westen orientierten Klufflächen.

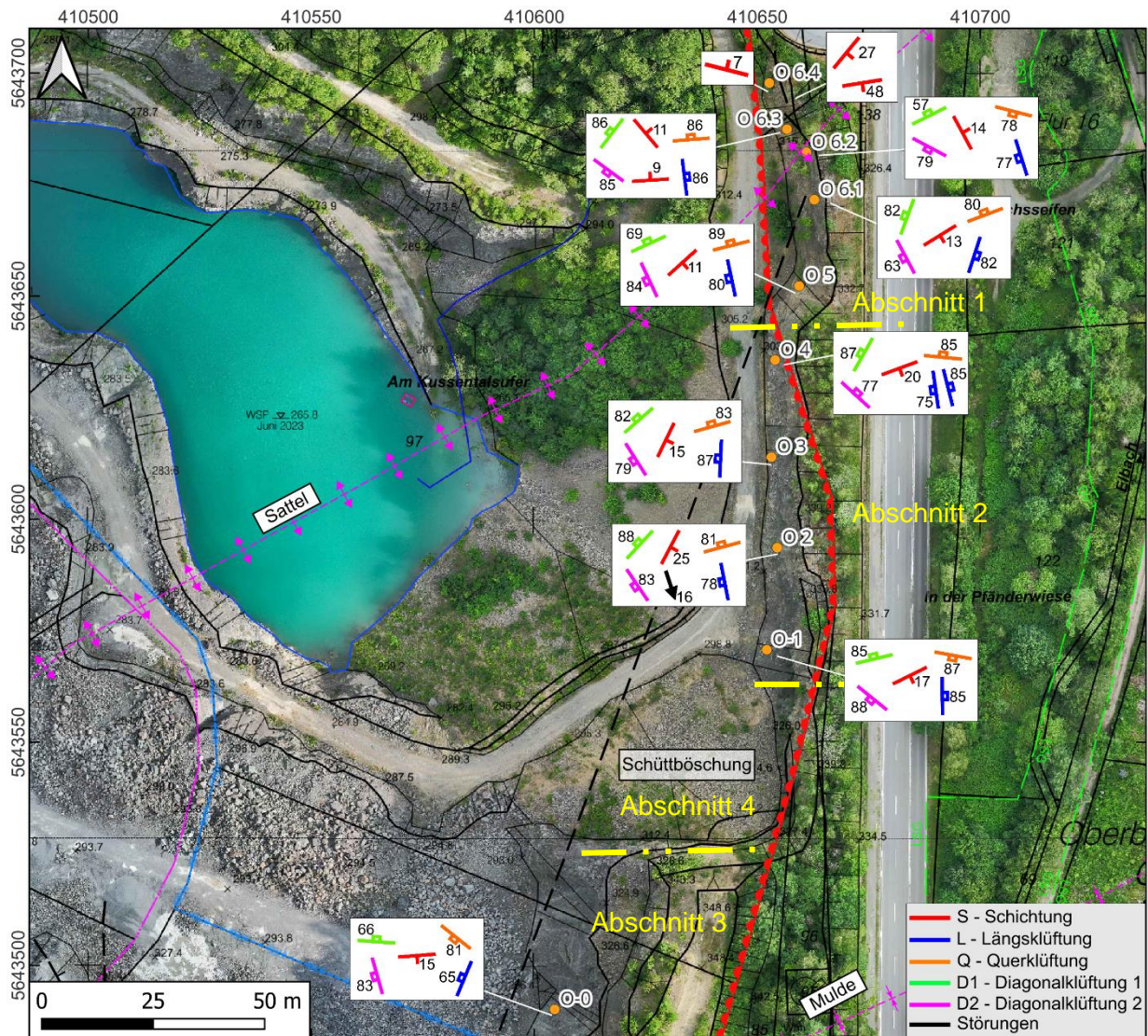


Abbildung 4: Übersichtskarte der eingemessenen Aufschlüsse (O-0 bis O-6.4) entlang der Ostwand. Zwischen O-0 und O-1 befindet sich die Schüttböschung. Die Schichten fallen meist flach nach Südosten ein. Im nördlichsten Bereich ist eine Umbiegung der Schichten nach Nordost zu erkennen. Zudem ist dort eine Winkeldiskordanz zu erkennen, bei dem die hangenden Schichtpakete steiler nach Südost einfallen.

### 3.3.2 Schichtung

Die sehr gut zementierten Fein- bis Mittelsand- und Siltsteine sind i.d.R. subhorizontal geschichtet und dünn- bis sehr dickbankig ausgeprägt (einige cm bis ca. 10 m). Die Bankung hängt hierbei meist mit einer Körngrößenabnahme oder einem lithologischen Wechsel zusammen. Zwischengelagerte Schichten aus Silt- und Tonsteinen sind oft dünnbankig bis plattig ausgeprägt. Neben horizontaler Lamination sind auch häufig Schrägschichtungen in den Gesteinen erkennbar. Rippelstrukturen und vereinzelte Sohlmarken deuten auf teils mittel- bis

hochenergetische Erosions- und Ablagerungsverhältnisse hin. Die gemessenen Schichtwerte sind in der Abbildung 5 grafisch dargestellt und in Tabelle 1 numerisch zusammengefasst.

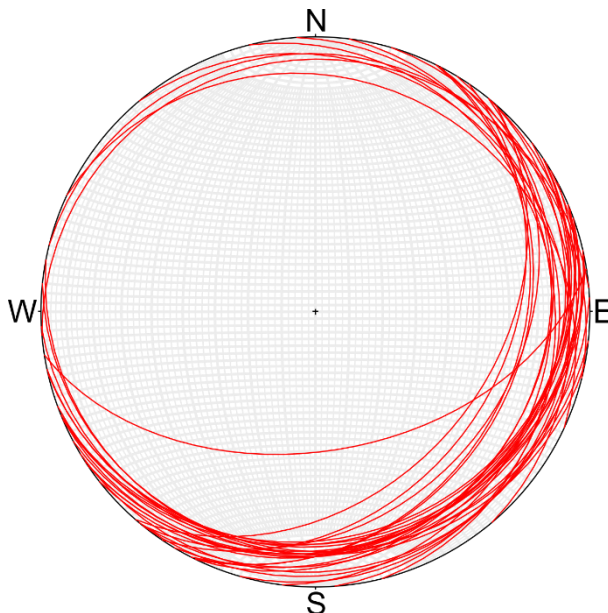


Abbildung 5: Alle eingemessenen Schichtflächen entlang der Ostwand. Im nördlichsten Teil der Ostwand (Aufschluss O-6.3) erfolgt ein Umbiegen der Schichtung nach NE.

Tabelle 1: Mess- und Mittelwerte der Einfallwinkel, -richtung und der Streichrichtung der Schichtflächen entlang der Ostwand. Kursive Werte sind nicht in der Mittelwertberechnung

Aufschluss	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]
<i>O-6.4</i>	7	<i>014</i>	284
<i>O-6.4</i>	48	171	081
<i>O-6.4</i>	27	129	039
<b>Mittelwert</b>	38	150	060
<i>O-6.3</i>	9	<i>355</i>	265
<i>O-6.3</i>	11	050	320
<b>Mittelwert</b>	10	203	113
<i>O-6.2</i>	16	025	295
<i>O-6.2</i>	14	076	346
<i>O-6.2</i>	12	086	356
<b>Mittelwert</b>	14	062	332
<i>O-6.1</i>	15	152	062
<i>O-6.1</i>	7	149	059
<i>O-6.1</i>	16	146	056
<b>Mittelwert</b>	13	149	059
<i>O-5</i>	15	147	057
<i>O-5</i>	7	129	039
<b>Mittelwert</b>	11	138	048
<i>O-4</i>	35	131	041
<i>O-4</i>	13	157	067
<i>O-4</i>	13	191	101
<b>Mittelwert</b>	20	160	070
<i>O-3</i>	15	097	007
<i>O-3</i>	17	121	031
<i>O-3</i>	13	130	040
<b>Mittelwert</b>	15	116	026
<i>O-2</i>	31	124	034
<i>O-2</i>	17	116	026
<i>O-2</i>	25	117	027
<i>O-2</i>	26	116	026
<b>Mittelwert</b>	25	118	028

Aufschluss	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]
O-1	18	157	067
O-1	15	142	052
O-1	19	158	068
O-1	15	160	070
<b>Mittelwert</b>	<b>17</b>	<b>154</b>	<b>064</b>
O-0	16	168	078
O-0	14	186	096
O-0	17	167	077
O-0	13	177	087
<b>Mittelwert</b>	<b>15</b>	<b>175</b>	<b>085</b>

### 3.3.3 Klüftung, Faltung und Störungen – Allgemeines

Die Längs- und Querklüfte bilden im Rheinischen Schiefergebirge zusammen mit der Schichtung ein orthogonales Trennflächensystem, d.h., die Quer- und Längsklüfte stehen generell näherungsweise senkrecht auf den Schichtflächen. Während die Längsklüfte ungefähr parallel zur Schichtung streichen, verläuft die Streichrichtung der Querklüfte näherungsweise senkrecht zur Schichtung und zu den Längsklüften (vgl. Abbildung 6).

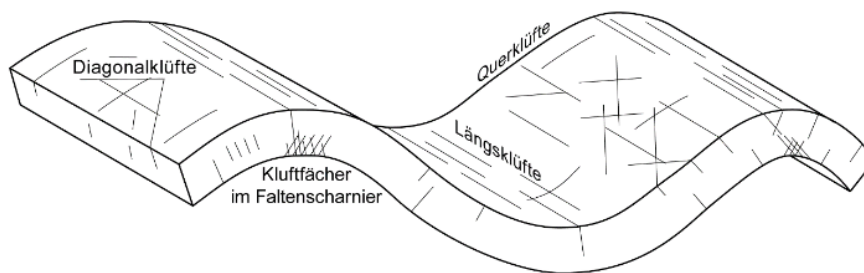


Abbildung 6: Exemplarische Darstellung von Klüftarten in Verbindung mit Faltung.

Die Faltenform im Untersuchungsbereich weist generell auf eine seitliche Einengung hin, bei der die Gesteinsschichten wellenartig verformt wurden. Entlang von Schichtflächen findet dabei eine Verschiebung der einzelnen Schichten gegeneinander statt (vgl. Abbildung 7), welche teils eingemessen wurden und eine Bewegung nach Südsüdost anzeigen. Die Faltenachsen verlaufen generell NW-SO und fallen flach mit ca. 5 bis max. 20° nach SW oder NE ein.

Die Raumstellung der diversen Klüftungen (NW, NE, O; vgl. Abbildung 8) entlang der Ostwand des Steinbruchs sind teils stark beeinflusst vom Verlauf der Faltenachsen (ca. NE-SW) als auch von dem relativ dichten Störungsnetzwerk (Ab- und kleinere Überschiebungen; vgl. Abbildung 9, oft mit Scherung entlang der Schichtflächen verbunden; Einflüsse von Sprengungen) mit unterschiedlichen Orientierungen. Die Klüftabstände liegen bei ca. 0,1 – 1,5 m (im Mittel ca. 0,3 m).

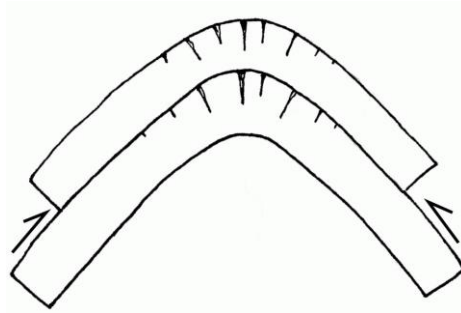


Abbildung 7: Vereinfachte Darstellung einer antiklinalen Biege-(Gleit)-Falte, dem Faltentyp im Steinbruch Jaeger. Die Bewegungsbahnen bei der tektonischen Einengung befinden sich entlang der Schichtflächen bzw. -grenzen und können anhand von Harnischen dokumentiert werden (vgl. Abbildung 14).

Die korrespondierenden Kluftscharen entlang der Ostwand sind in den Abbildungen 10 und 11 sowie in den Tabellen 2 (Q, L) und 3 ( $D_1$ ,  $D_2$ ) zusammengefasst dargestellt. Tabelle 4 in Kap. 4 fasst die Gefügemessungen für die Einschätzung der Standsicherheit zusammen. Generell sind zwei Hauptkluftrichtungen erkennbar, welche ebenfalls bereits von FÜLLING (1994) beschrieben wurden. Im Steinbruch lassen sich die Hauptklüftungen meist mehrere Meter verfolgen. Die Einfallrichtungen dieser Hauptkluftscharen sind überwiegend nach ESE bzw. WNW und nach NNE bzw. SSW orientiert. Die Einfallwinkel betragen überwiegend ca. 70-90°, sie können jedoch auch in einigen Bereichen flacher auftreten. Erkennbar ist eine gewisse Streuung der Daten, welche u. a. auf die o. g. Einflüsse zurückzuführen ist.

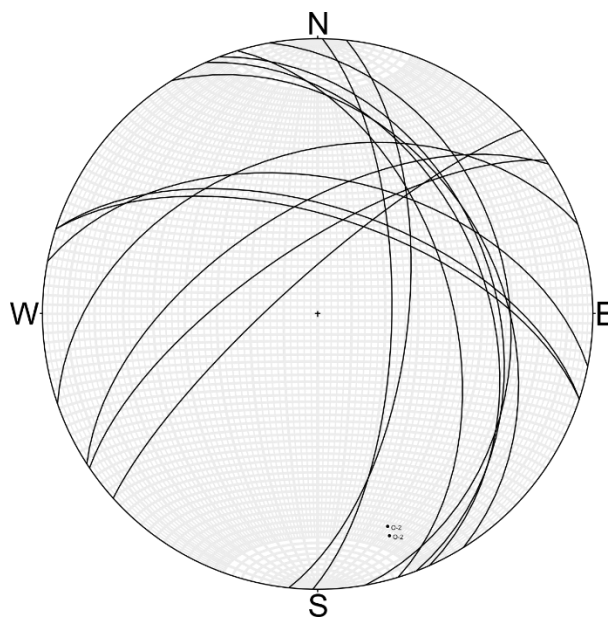


Abbildung 8: Zusammenfassung aller eingemessenen Störungsflächen, einschließlich derer entlang der Südwand des Steinbruchs.



Abbildung 9: Störungen entlang der südlichen Abbauwand des Steinbruchs.



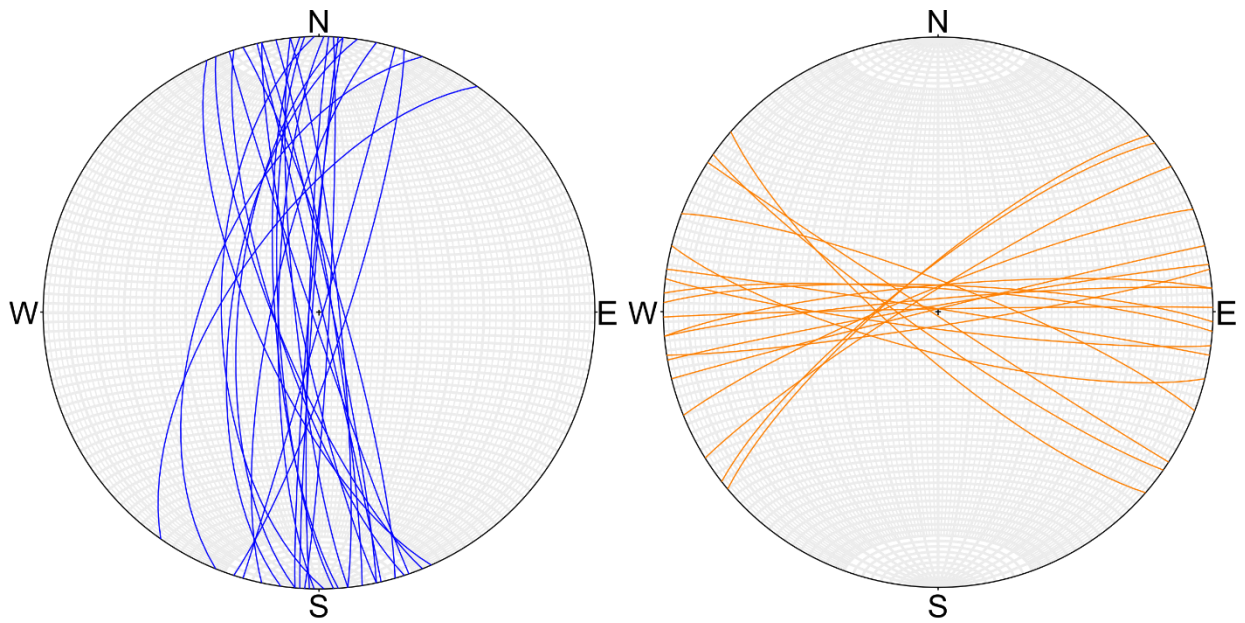


Abbildung 10: Zusammenfassung aller eingemessenen Klüfte. Hauptklüfte: Längsklüftung (blau), Querklüftung (orange).

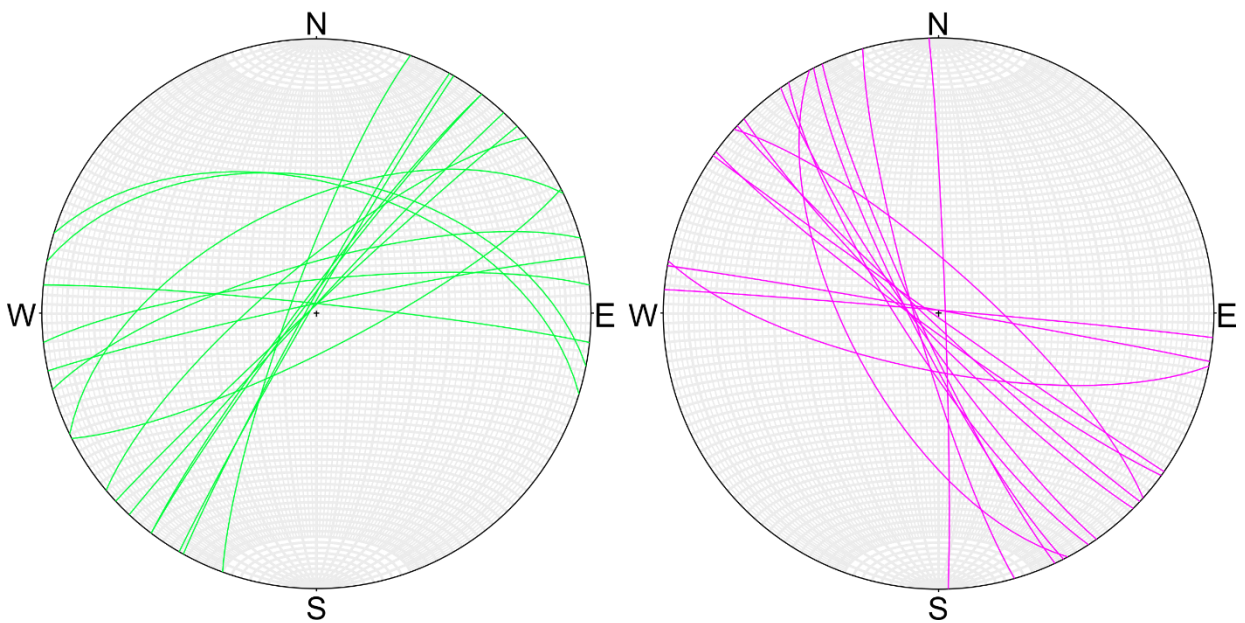


Abbildung 11: Zusammenfassung aller eingemessenen Klüfte. Sekundärklüfte: Diagonalklüftung 1 (grün) und Diagonalklüftung 2 (Magenta).

Tabelle 2: Mess- und Mittelwerte der Einfallwinkel, -richtung und der Streichrichtung der Hauptklüftflächen (L und Q) entlang der Ostwand.

Aufschluss	Querklüftung (Q)			Längsklüftung (L)		
	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]
O-6.3	86	355	265	86	081	351
O-6.2	78	194	104	77	252	162
O-6.1	83	338	248	82	108	018
	41	341	251			
Mittelwert	80	340	250	-	-	-
O-5	89	346	256	85	212	122
				87	275	185
				64	278	188
				78	267	177
Mittelwert	-	-	-	79	258	168
O-4	81	021	291	83	264	174
	82	355	265	77	248	158
	89	359	269	88	251	161
	89	009	279	66	275	185
				61	269	179
Mittelwert	85	006	276	75	261	171
O-4	-	-	-	83	074	344
				86	078	348
Mittelwert	-	-	-	85	076	346
O-3	83	004	274	87	272	182
	88	350	260	88	274	184
	78	320	230			
Mittelwert	83	345	255	88	273	183
O-2	82	002	272	78	271	181
	78	322	232	71	246	156
	84	328	238	84	258	168
Mittelwert	81	337	247	78	258	168
O-1	86	171	081	84	084	354
	85	187	097	89	106	016
	89	213	123	89	77	347
				87	093	003
Mittelwert	87	190	100	87	090	180
O-0	83	215	125	76	282	192
	78	221	131	56	292	202
				64	305	215
Mittelwert	81	218	128	65	293	203

Tabelle 3: Mess- und Mittelwerte der Einfallwinkel, -richtung und der Streichrichtung der Sekundärklüftflächen (D<sub>1</sub> und D<sub>2</sub>) entlang der Ostwand.

Aufschluss	Diagonalklüftung 1 (D <sub>1</sub> )			Diagonalklüftung 2 (D <sub>2</sub> )		
	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]
O-6.3	86	307	217	85	216	126
O-6.2	57	334	244	84	225	135
O-6.1	82	290	200	73	191	101
O-5	49	011	281	84	245	155
	88	300	210			
Mittelwert	69	336	246	-	-	-
O-4	87	299	209	77	042	312
O-3	76	320	230	79	237	147
	88	317	227			
Mittelwert	82	319	229	-	-	-

Aufschluss	Diagonalklüftung 1 (D <sub>1</sub> )			Diagonalklüftung 2 (D <sub>2</sub> )		
	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]	Einfallwinkel [°]	Einfallrichtung [°]	Streichrichtung [°]
O-2	88	313	223	83	235	145
O-1	87	348	258	87	223	133
	75	344	254			
	87	006	276			
	85	307	217	89	215	125
	89	010	280			
Mittelwert	85	347	257	88	219	129
O-0	51	017	287	83	254	164
	80	354	264	88	088	358
Mittelwert	66	006	276	-	-	-

### 3.3.3.1 Klüftung – Ostböschung

#### O-0

Aufschluss O-0 befindet sich im südlichsten Teil der Ostböschung, hinter dem noch existierenden Felsvorsprung (vgl. Abbildung 4). Der Bereich ist generell stark von abbaubedingten Abbruchkanten geprägt, welche teilweise die primären Klüftmuster überprägen. Die Schichtung verläuft annähernd E-W.

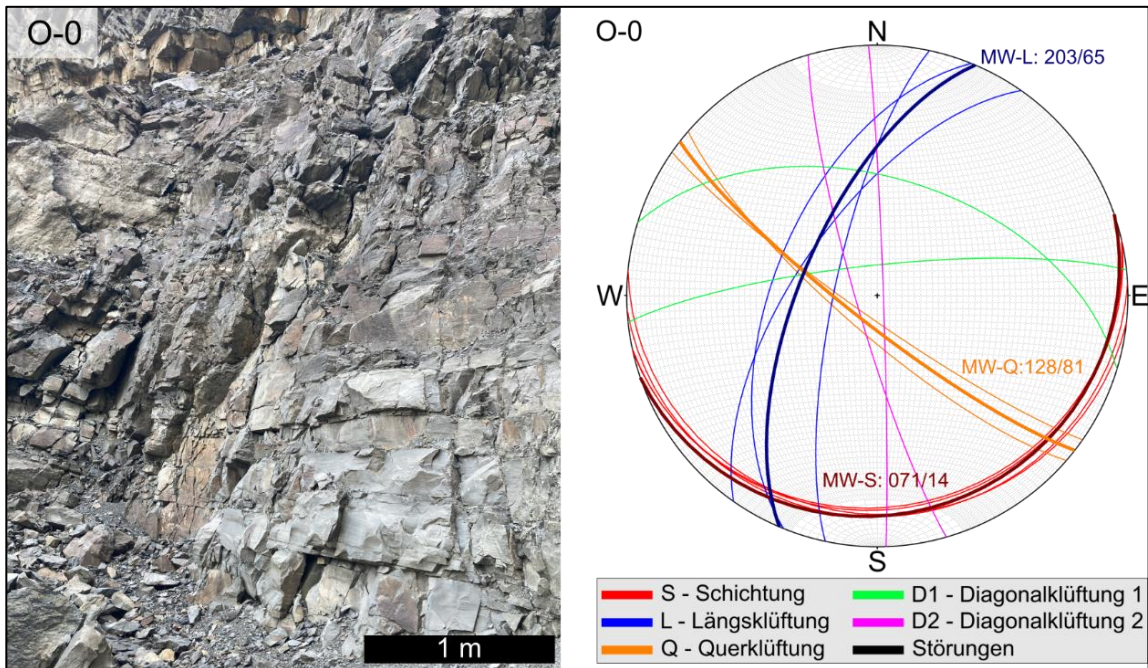


Abbildung 12: Messpunkt O-0 und stereographische Projektion der Messwerte.

**O-1**

Aufschluss O-1 befindet sich am Nordrand des Schüttkegels (vgl. Abbildung 4). Die Schichtung dreht leicht nach ENE-WSW.

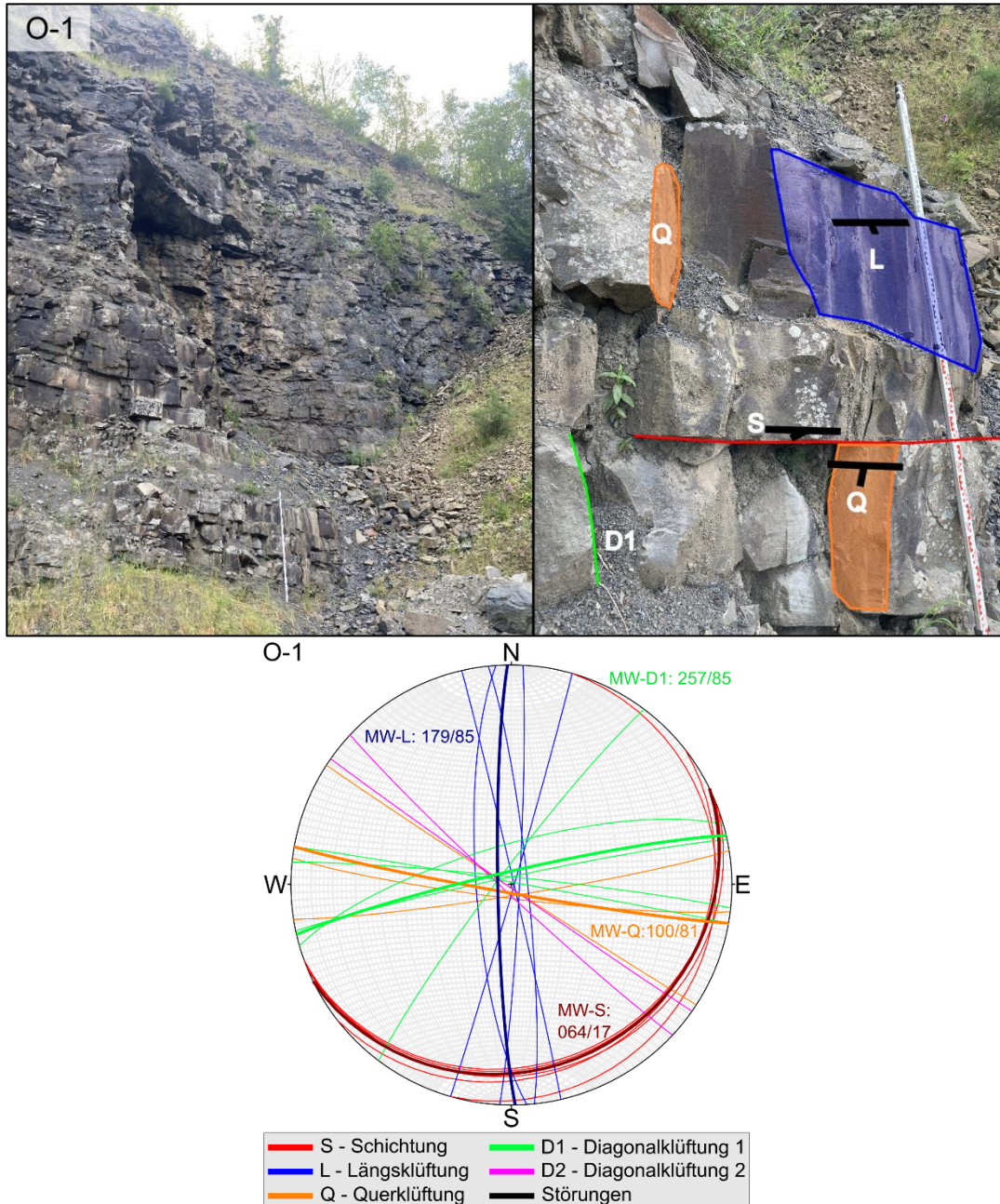


Abbildung 13: Messpunkt O-1 und stereographische Projektion der Messwerte.

**O-2**

Aufschluss O-2 befindet sich ca. 20 m nördlich von O-1 (vgl. Abbildung 4). Die Schichtung dreht weiter und verläuft NE-SW. Auf den Schichtflächen wurden Bewegungsschrammen (Harnische) als Lineare eingemessen. Die schichtparallelen Verwerfungsflächen weisen eine relative Bewegung nach SSE auf.

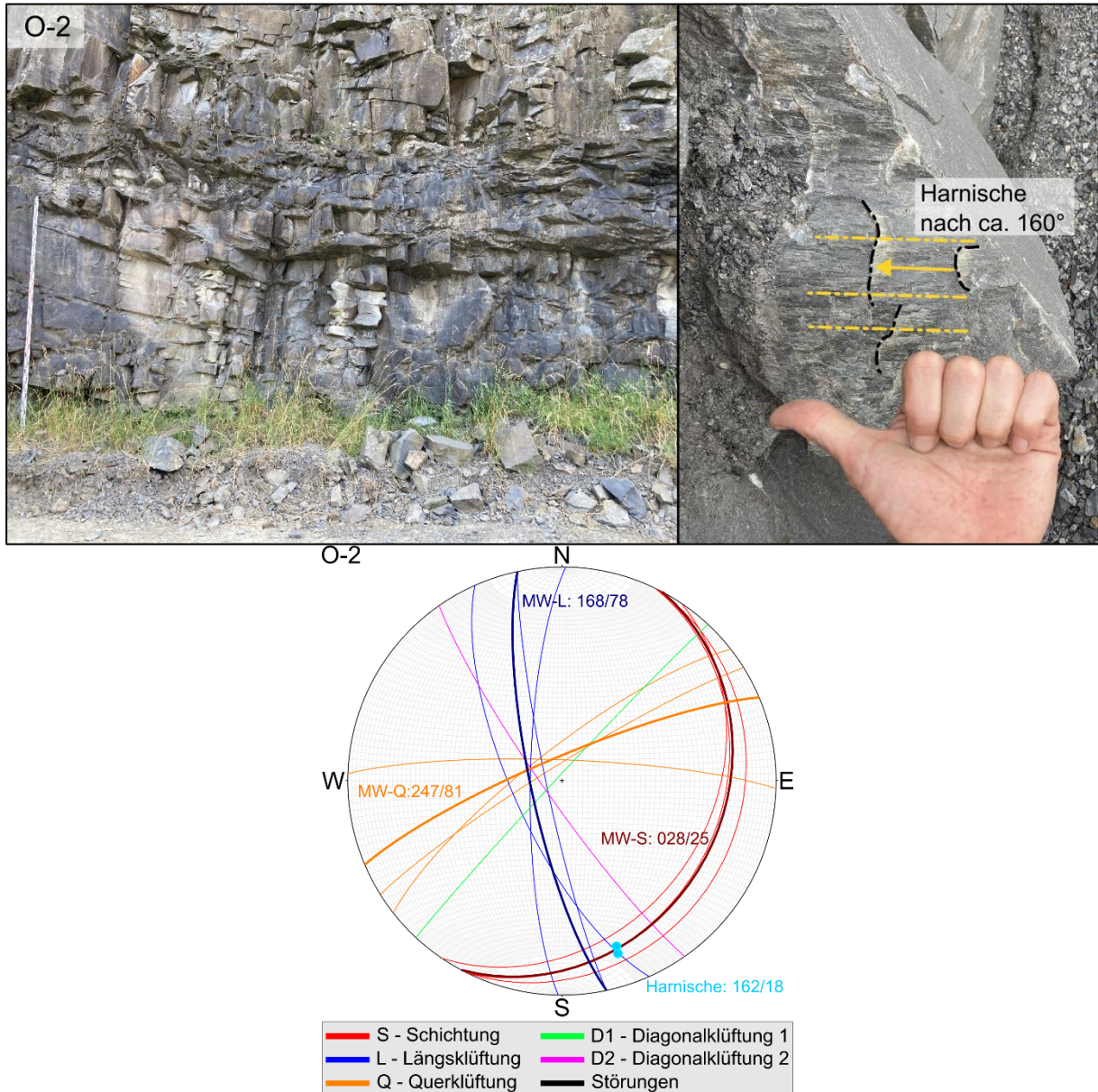


Abbildung 14: Messpunkt O-2 und stereographische Projektion der Messwerte.

**O-3**

Messpunkt O-3 liegt ca. 20 m nördlich von O-2 (vgl. Abbildung 4). Die Schichtung bleibt NE-SW-gerichtet.

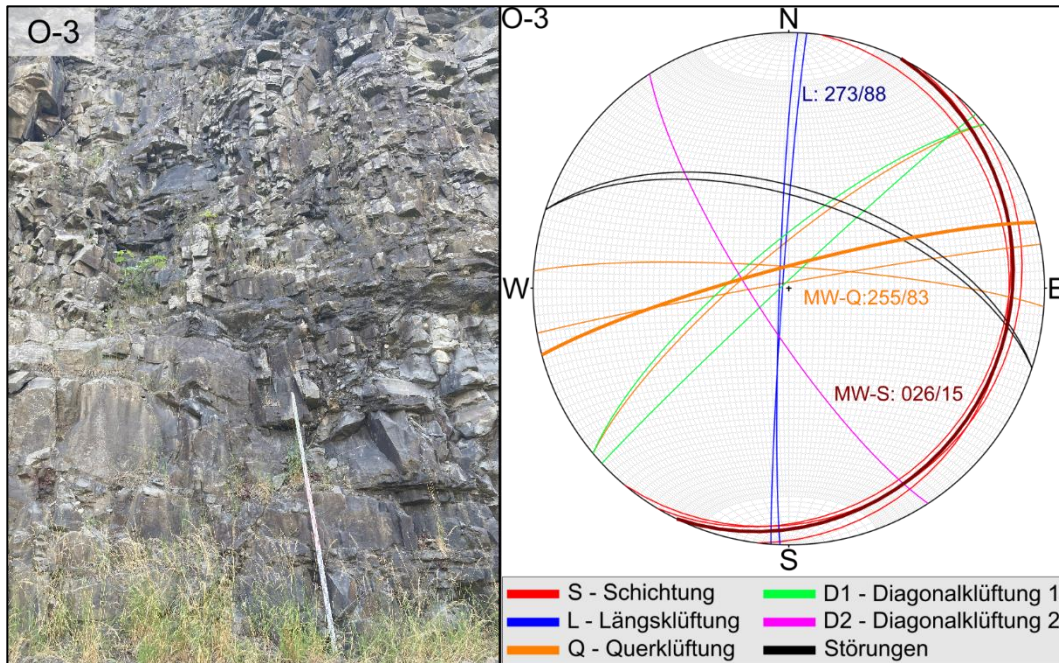


Abbildung 15: Messpunkt O-3 und stereographische Projektion der Messwerte.

**O-4**

Aufschluss O-4 liegt ca. 20 m nördlich von O-3 (vgl. Abbildung 4). Die Schichtung bleibt NE-SW-gerichtet. Eine Störung verläuft annähernd parallel zur generellen Streichrichtung, was zu einzelnen Streuwerten in den Messdaten führt.



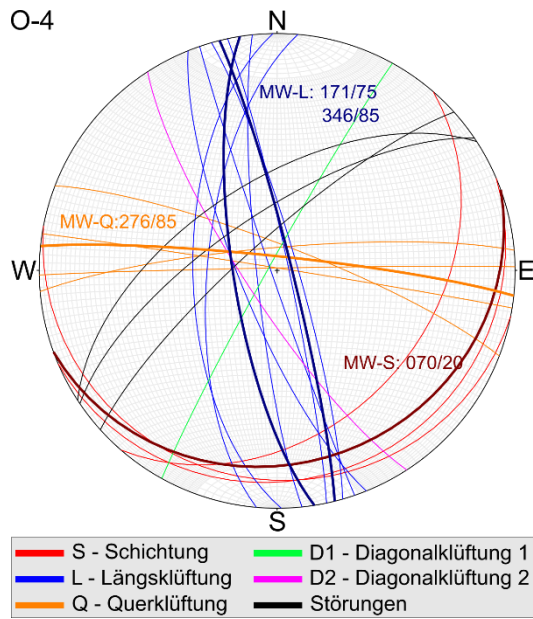


Abbildung 16: Messpunkt O-4 (vorherige Seite) und stereographische Projektion der Messwerte.

### O-5

Aufschluss O-5 liegt ca. 17 m nördlich von O-4 (vgl. Abbildung 4). Die Schichtung bleibt NE-SW-gerichtetet.

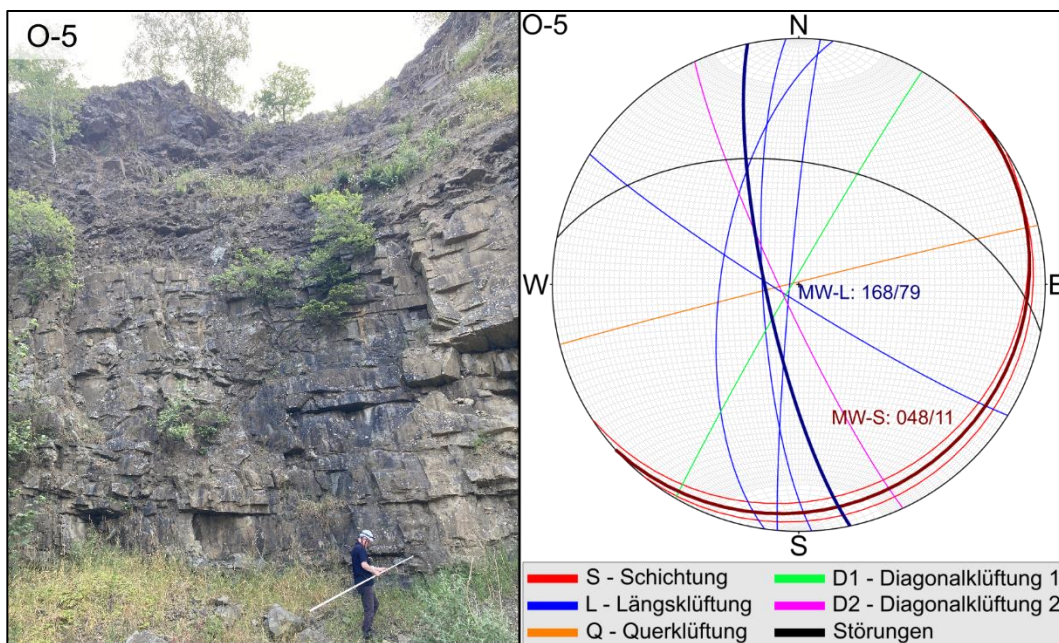


Abbildung 17: Messpunkt O-5 und stereographische Projektion der Messwerte.

**O-6.1 bis 6.4**

Aufschluss O-6, ca. 20 m nördlich von O-5 (vgl. Abbildung 4), ist in vier Unterabschnitte (O-6.1 bis O-6.4) aufgrund seiner strukturellen Unterschiede aufgeteilt (vgl. Abbildung 18). Innerhalb des etwa 20 m breiten Bereichs dreht die flach einfallende Schichtung (7-11°) von NE-SW (O-6.1) über NNW-SSE (O-6.2) nach etwa WNW-ESE (O-6.3 und t. w. O-6.4; vgl. Abbildung 19). Zwischen O-6.2 und O-6.3 wird daher eine (monoklinale) Sattelachse vermutet. Zudem ist eine Winkeldiskordanz zu erkennen, bei der die flach geschichteten Gesteine durch eine steiler nach Süden gelagerte (27-48°) und stärker zerklüftete Abfolge überlagert wird. Der schichtparallele Kontakt wird als Störung interpretiert.

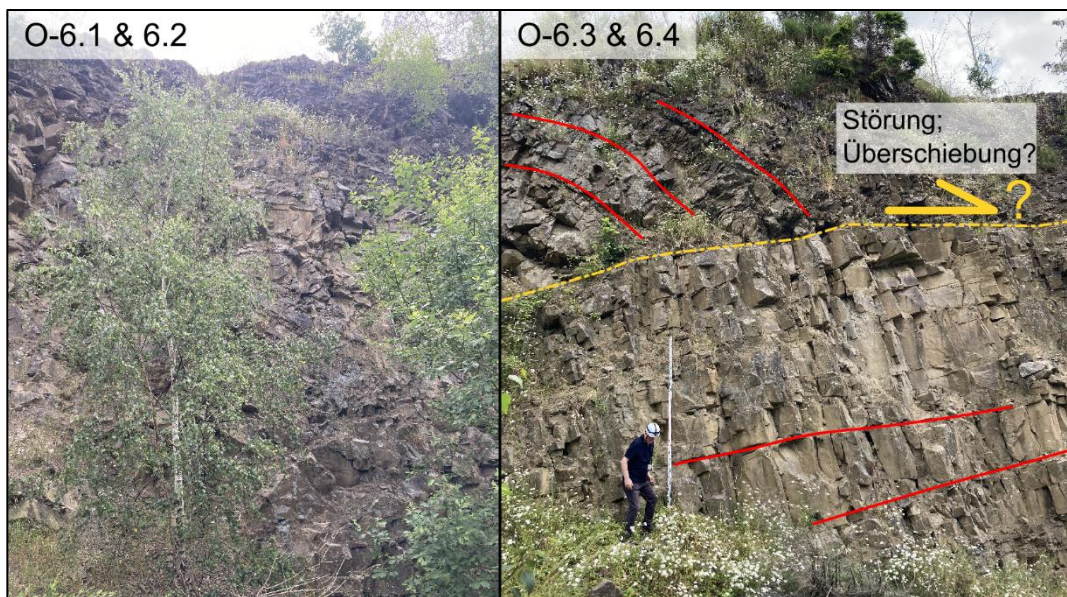
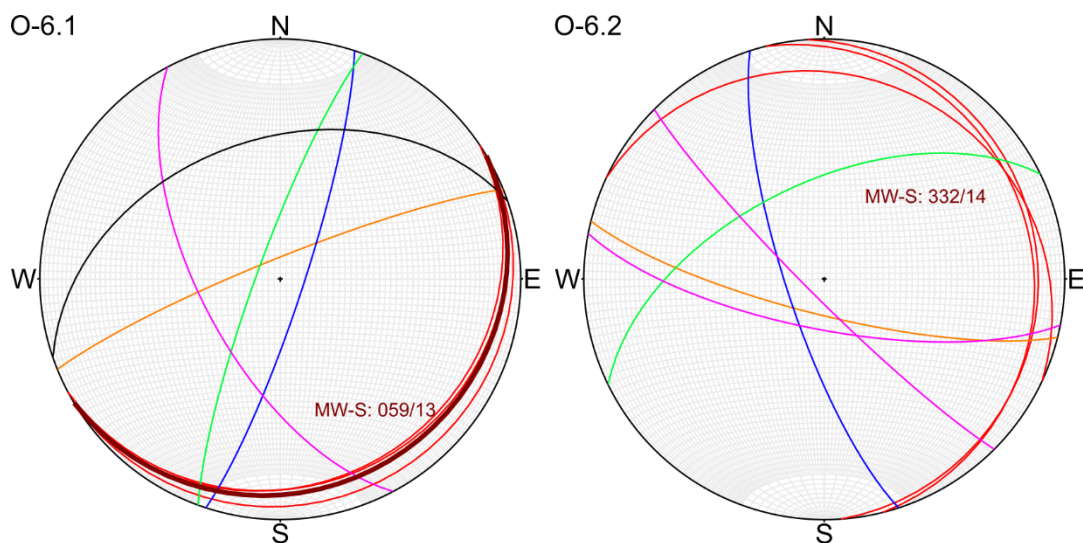


Abbildung 18: Aufschlüsse der Messpunkte 6.1 bis 6.4.





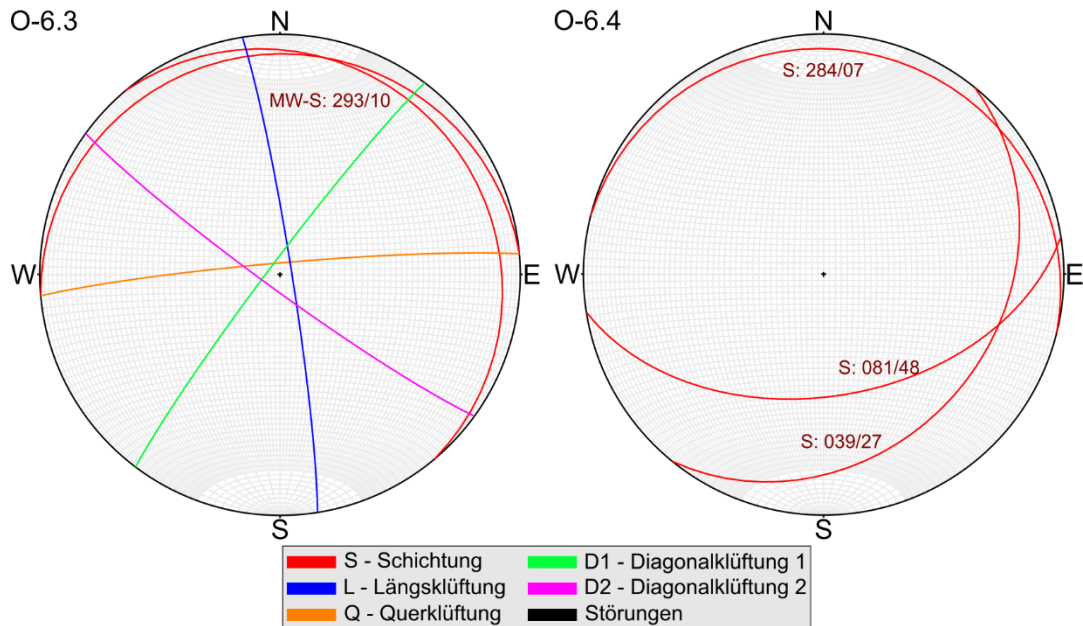


Abbildung 19: Stereographische Projektionen der Messwerte an den Messpunkten O-6.1 und O-6.2 (vorherige Seite) sowie O-6.3 und O-6.4.

## 4 Einschätzung der Standsicherheit

### 4.1 Allgemeines, Homogenbereiche

Zur Einschätzung der Standsicherheit wird die Ostböschung in vier Abschnitte bzw. Homogenbereiche unterteilt (siehe u.a. Abbildung 4):

- Der nördliche Abschnitt 1 wird durch die Schnitte 1-1' und 1a-1a' senkrecht zur L 324 beschrieben (siehe Anlage 2.1 und Anlage 2.1a). Hier befinden sich die Untersuchungspunkte O-5 und O-6. Die Endböschung ist im Festgestein weniger als 25 m hoch und unter 1:n = im Mittel 1:0,4 geneigt. Die Höhe der Lockergesteinsvorschüttung mit der Zufahrtsrampe beträgt max. rd. 40 m und deren Neigung variiert zwischen 1:n = ca. 1:1,4 ( $\beta \approx 35,5^\circ$ ) und 1:n = ca. 1:1,6 ( $\beta \approx 32^\circ$ ). Die L 324 ist etwa 10 – 15 m vom Steinbruchrand entfernt.
- Im mittleren Abschnitt 2 liegen die Messpunkte O-1 bis O-4. Die Höhe der parallel zur L 324 verlaufenden Festgesteinsböschung mit einer Neigung von 1:n = im Mittel 1:0,2 kann aus dem Berechnungsquerschnitt 2-2' zu rd. 40 m abgelesen werden, der Abstand zur L 324 zu ungefähr 18 m (siehe Anlage 2.2). Die Vorschüttung aus Lockergestein ist etwas höher als 35 m und besitzt eine Neigung von etwa 1:n = 1:1,4 ( $\beta \approx 35,5^\circ$ ). Der Fuß der Vorschüttung befindet sich unterhalb des aktuellen Seewasserspiegels. Der Seewasserspiegel wird von ca. 266,4 mNHN im Betriebs- auf ca. 323 mNHN im Endzustand ansteigen.

- Im südlichen Abschnitt 3 verspringt die Felsböschung in das Betriebsgelände. Der Abstand der Böschungskante bis zur L 324 kann aus dem Lageplan zu  $> 30$  m abgegriffen werden (siehe Anlage 2.3). Die Höhe der Felsböschung mit einer Neigung von  $1:n =$  im Mittel  $1:0,35$  beträgt rd. 54 m. Am Fuß befindet sich die Sohle 296 mNHN. Die Raumstellung der Trennflächen wurde am Punkt O-0 eingemessen (s. Kap. 3.3.3.1).
- Im Bereich des Versprungs der Ostböschung zwischen den Abschnitten 2 und 3 wurde oberhalb der Zufahrtsrampe in den Steinbruch eine temporäre Vorschüttung angelegt. Die Schüttböden wurden nachrichtlich von oben herabgekippt, sodass die Neigung der etwa 25 m hohen Böschung ungefähr dem Winkel der inneren Reibung des Schüttguts entsprechen dürfte:  $\beta \approx 33^\circ$  (siehe Anlage 2.4). Der Schüttkörper steht auf der rd. 36 m hohen und unter  $1:n = 1:1,4$  bzw.  $\beta \approx 35,5^\circ$  geneigten Vorschüttung mit der Zufahrtsrampe auf, deren Fuß sich, wie bereits erwähnt, im Grundwasser befindet.

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen Ansichten der Ostwand mit den vier Abschnitten bzw. Homogenbereichen.



Abbildung 20: Ostwand mit den Homogenbereichen 1 und 2.



Abbildung 21: Ostwand mit den Homogenbereichen 3 und 4.

#### 4.2 Raumstellung der Trennflächen

Tabelle 4 enthält eine Zusammenfassung der Gefügemessungen. Die Ostböschung des Steinbruchs streicht wie die L 324 ungefähr Nord-Süd (Einfallrichtung = ca. 270°). Somit ist die flach unter  $\beta = 10 - 25^\circ$  nach Süd bis Südost einfallende Schichtung (Einfallrichtung = 175 – 115°) für die Beurteilung der Standsicherheit von untergeordneter Bedeutung. Ein besonderes Augenmerk ist vielmehr auf die Längsklüfte L (Hauptklufte) mit einer Einfallrichtung von ungefähr 250° bis 290° zu richten, die steil in den Steinbruch hinein einfallen (siehe Abbildung 22). Daneben sind auch die untergeordneten Diagonalklüfte D2 zu bewerten (Einfallrichtung = 235 – 255°).

Tabelle 4: Zusammenfassung der Gefügemessungen.

Trennfläche	Homogenbereiche									
	Abschnitt 3	Abschnitt 2				Abschnitt 1				
	Messpunkte									
	O-0	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5	O-6.1	O-6.2	O-6.3	O-6.4
<b>S</b>	175   15	154   17	118   25	116   15	160   20	138   11	149   13	( 62   14)	( 50   11)	150   38
<b>Q</b>	218   81	190   87	337   81	345   83	6   85	346   89	340   80	194   78	355   86	-
<b>L</b>	293   65	266   77	258   78	273   88	261   75	258   79	108   82	252   77	81   86	-
<b>D1</b>	5   66	347   85	313   88	319   82	299   87	300   88	290   82	( 334   57)	307   86	-
<b>D2</b>	254   83	219   88	235   83	237   79	42   77	245   84	242   63	225   84	216   85	-



Abbildung 22: Orthogonales Trennflächengefüge mit fast söhliger Schichtung (Punkt O-1).

Die Messungen mit dem Gefügekompass wurden an der Zufahrtsrampe in den Steinbruch bzw. auf der Sohle 296 mNHN (Punkt O-0) durchgeführt. Ergebnisse von einer Vermessungsdrohne aus den höheren Wandabschnitten standen nicht zur Verfügung.

### 4.3 Standsicherheit im Abschnitt 2

Im Abschnitt 2 ist die **Felsböschung**, wie bereits erwähnt, rd. 40 m hoch und unter 1:n = im Mittel 1:0,2 bzw.  $\beta = \text{ca. } 77^\circ$  geneigt (siehe Anlage 2.2). Die Einfallwinkel der Längsklüfte L variieren an den Untersuchungspunkten O-1 bis O-4 zwischen im Mittel  $75^\circ$  und  $88^\circ$  nach Westen bzw. sind durchweg steiler als  $80^\circ$  nach Osten (s. Tabelle 4). Die Diagonalklüfte D2 fallen an den Punkten O-1 bis O-4 unter im Mittel  $79 - 88^\circ$  nach Westen (O-1 bis O-3) bzw. unter  $77^\circ$  nach Osten (O-4) ein.

Demnach wurden die beiden kritischen Trennflächenscharen bei der Profilierung der Endböschung im Fels nicht unterschritten. Die globale Standsicherheit ist gegeben: Gemäß den vorliegenden Erkundungsergebnissen ist nicht damit zu rechnen, dass große (bis über die Betriebsplangrenze hinaus bzw. bis zur L 324 reichende) Felskeile abrutschen.

Aufgrund der sehr guten Durchtrennung des Gebirges werden aber immer wieder einzelne oder auch mehrere Blöcke aus der Ostwand herausbrechen. Das geschieht insbesondere in Nasszeiten bzw. bei Frosteinwirkung. Außerdem besteht grundsätzlich Steinschlaggefahr. Abbildung 23 zeigt einen nachbruchgefährdeten Überhang,



Abbildung 23: Ostwand, nachbruchgefährdeter Überhang im Abschnitt 2.

Die bis zu etwa 35 m hohe **Lockergesteins-Vorschüttung** wurde lagenweise aus einem gemischtkörnigen Abraum hergestellt. Durch den Einsatz einer Raupe beim Einbau und das anschließende Überfahren dürften die Schüttböden zumindest mäßig verdichtet worden sein. Die Wichte wird in dem Nachweis gegen Böschungsbruch zu  $\gamma_k / \gamma_k' = 19/10 \text{ kN/m}^3$  und die Scherfestigkeit zu  $\varphi_k = 35^\circ$  und  $c_k = 2 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Die Seewasserspiegelhöhen schwanken zwischen ca. 266 mNHN im Betriebs- und 323 mNHN im Endzustand. Es wird davon ausgegangen, dass keine Sprengerschütterungen berücksichtigt werden müssen. Der Steinbruch liegt nicht in einem Erdbebengebiet.

Die Böschungsbruchberechnungen erfolgen mit dem Programm GGU-Stability in der Version 14.24. Auf dem Fahrweg und auf der L 324 wird eine Ersatzflächenlast von  $q_k = 33,3 \text{ kN/m}^2$

(SLW 60) angesetzt. Die Ergebnisplots sind in Anlage 3.1 abgelegt. Danach beträgt der Ausnutzungsgrad der Sicherheit gegen Böschungsbruch

- $\mu = 1,13 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 266,4 mNHN)
- $\mu = 1,20 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 285 mNHN, haltende Lamellen unter Auftrieb)
- $\mu = 1,06 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 323 mNHN)

In allen Fällen wird zwar der zulässige Ausnutzungsgrad überschritten, ist aber noch eine „Restsicherheit“ vorhanden (eine Berechnung nach dem alten globalen Sicherheitskonzept liefert für den ungünstigsten Seewasserspiegel als Sicherheit  $\eta = 1,05$ ).

#### 4.4 Standsicherheit im Abschnitt 1

Die Verhältnisse im Abschnitt 1 sind günstiger als im Abschnitt 2. Die **Felswand** ist hier weniger als 25 m hoch und mit  $\beta =$  im Mittel  $68^\circ$  etwas flacher geneigt (siehe Anlage 2.1). Für die Längsklüfte L konnten Einfallwinkel von  $77^\circ$  bzw.  $79^\circ$  nach Westen (O-5 und O-6.2) und  $82^\circ$  bzw.  $86^\circ$  nach Osten eingemessen werden (O-6.1 und O-6.3, siehe Tabelle 4). Die Diagonalklüfte D2 fallen in der Regel steiler als unter  $80^\circ$  ein.

Zur Einschätzung der Standsicherheit der Felsböschung sei auf das Kapitel „*Standsicherheit im Abschnitt 2*“ verwiesen. Das gilt auch für die Gefahr eines Stein- oder Blockschlags (siehe Abbildung 24).

Die max. 40 m hohe **Lockergesteins-Vorschüttung** reicht derzeit im Abschnitt 1 nicht bis in das Grundwasser (siehe Anlage 2.1 und Anlage 2.1a). Ansonsten werden die Berechnungsannahmen für den Abschnitt 2 übernommen. Die Sicherheit gegen Böschungsbruch errechnet sich damit zu (siehe Anlage 3.2)

- $\mu = 1,08 / 1,04 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Schnitt 1-1', Anlage 3.2.1 / Schnitt 1a-1a', Anlage 3.2.4)
- $\mu = 1,14 / 1,11 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 303 mNHN / 285 mNHN, Schnitt 1-1', Anlage 3.2.2 / Schnitt 1a-1a', Anlage 3.2.5)
- $\mu = 0,99 / 0,99 \leq \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 323 mNHN, Schnitt 1-1', Anlage 3.2.3 / Schnitt 1a-1a', Anlage 3.2.6)

Lediglich im Endzustand mit einem Seewasserspiegel auf 323 mNHN ergibt sich eine ausreichende Sicherheit. Im ungünstigsten Fall beträgt das globale Sicherheitsniveau nur noch  $\eta = 1,09$  (Schnitt 1-1' mit Seewasserspiegel = 303 mNHN).



Abbildung 24: Ostwand, nachbruchgefährdete Kluffkörper (Steine und Blöcke) im Abschnitt 1.

#### 4.5 Standsicherheit im Abschnitt 3

Der Abstand zwischen Böschungskante und Betriebsplangrenze bzw. L 324 ist im Abschnitt 3 deutlich größer als in den beiden anderen Homogenbereichen. Außerdem ist die Generalneigung der ca. 54 m hohen **Felswand** mit  $1:n = 1:0,35$  ( $\beta = \text{ca. } 71^\circ$ ) etwas geringer als nördlich des Versprungs (siehe Anlage 2.3).

Abbildung 22 zeigt, dass der Abbau im Abschnitt 3 in der Regel bis gegen die Längskluffflächen erfolgte bzw. die Ostwand hier von Längskluffflächen gebildet wird. Dort, wo die Streichrichtung der Abbauwand von der Streichrichtung der Längsklüfte L abweicht, ist das Gefüge durch den Abbau gestört (s. Abbildung 25). In solchen Bereichen ist die Gefahr des Stein- bzw. Blockschlags deutlich erhöht. Insbesondere dann, wenn sie örtlich unterschritten werden, können auch mehrere aufeinander stehende Kluffkörper gleichzeitig abrutschen oder aus der Wand herauskippen.

Die Felswand im Abschnitt 3 steht, wie bereits erwähnt, auf der Sohle 296 mNHN auf. Hier existiert keine **Lockergesteins-Vorschüttung**.



Abbildung 25: Ostwand, nachbruchgefährdete Kluftkörper (Steine und Blöcke) im Abschnitt 3.

#### 4.6 Standsicherheit im Abschnitt 4

Anlage 2.4 zeigt die verbleibende etwa 17 m hohe ungefähr West-Ost streichende **Felsböschung** oberhalb der temporären Vorschüttung auf der Steinbruchzufahrt. Die Neigung beträgt  $1:n = \text{ca. } 1:0,3$  bzw.  $\beta = 73^\circ$ .

Hinsichtlich der Einschätzung der Standsicherheit sind hier vorrangig die West-Ost streichenden und nach Norden einfallenden Querklüfte Q zu überprüfen (Einfallrichtung =  $360^\circ$  bzw.  $0^\circ$ ). Die Schichtung fällt in den Berg hinein ein.

An den nahegelegenen Untersuchungspunkten O-0 und O-1 wurden folgende Raumstellungen gemessen (siehe auch Tabelle 4):

- die Querklüfte Q fallen günstig unter  $81^\circ$  bzw.  $87^\circ$  nach Süden ein
- die Diagonalklüfte D1 fallen unter  $66^\circ$  (!) bzw.  $85^\circ$  nach Norden ein



Ein lokales Versagen auf einer Diagonalkluft (Raumstellung  $5^\circ \mid 66^\circ$ ) kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden: der Einfallwinkel ist deutlich flacher als die Böschungsneigung; die Klufflächen werden demzufolge unterschritten; Kluftkörper können abrutschen (der Reibungswinkel auf der Kluffläche ist deutlich kleiner als der Einfallwinkel).

Eine vertiefende Begutachtung der Felsböschung ist nur mittels Drohne möglich. Allerdings werden sich mögliche Rutschungen nicht über das Betriebsgelände hinaus erstrecken.

Die ca. 25 m hohe temporäre **Lockergesteins-Vorschüttung auf der Steinbruchzufahrt** wurde nachrichtlich von oben geschüttet (siehe Anlage 2.4). Dem unverdichteten (locker gelagerten) Schüttgut kann dementsprechend in erster Näherung nur ein Reibungswinkel in der Größe des Böschungswinkels  $\beta = \varphi_k = 33^\circ$  zugewiesen werden. Die Böschung steht demzufolge im Grenzgleichgewicht ( $\eta \approx 1,0$  gemäß dem alten globalen Sicherheitskonzept).



Abbildung 26: Böschungsfuß der temporären Vorschüttung auf der Steinbruchzufahrt im Abschnitt 4.

Das Risswerk aus 2014 zeigt, dass die Steinbruchzufahrt seinerzeit in der Kurve vor dem Versprung verbreitert wurde (siehe Abbildung 27). Die temporäre Vorschüttung steht demzufolge vollflächig auf der **zumindest mäßig verdichteten unteren Vorschüttung (= Steinbruchzufahrt)** auf.

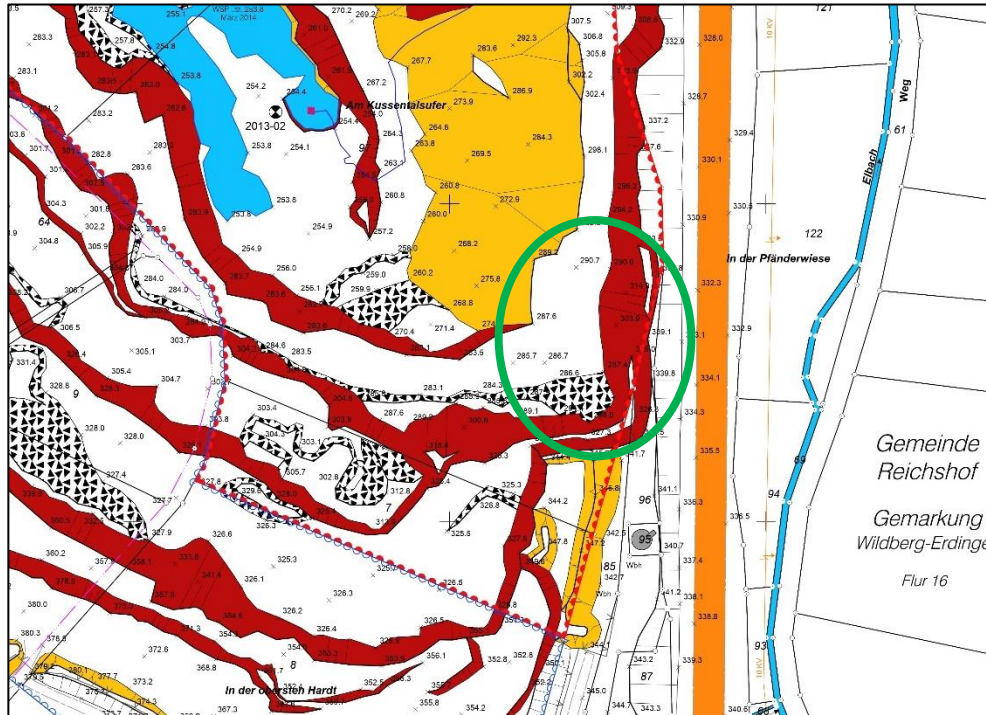


Abbildung 27 (vorherige Seite): Der Ausschnitt aus dem Risswerk (2014) zeigt die Ostböschung vor Entstehung des temporären Anschüttkegels.

Für den ca. 36 m hohen und unter  $\beta \approx 35^\circ$  geneigten unteren Schüttkörper werden die charakteristischen Kennwerte aus Schnitt 2-2' übernommen. Das Gleiche gilt für die Seewasserspiegelhöhen und die Verkehrslasten. In den nachfolgenden Berechnungen werden keine Sprengerschütterungen berücksichtigt. Der Knick in der Schnittspur wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

Der Ausnutzungsgrad der Sicherheit gegen Böschungsbruch errechnet sich zu (siehe Anlage 3.3)

- $\mu = 1,20 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 266,4 mNHN)
- $\mu = 1,27 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 280 mNHN, haltende Lamellen unter Auftrieb)
- $\mu = 1,12 > \text{zul } \mu = 1,0$  (Seewasserspiegel = 323 mNHN)

In keinem Fall ergibt sich ein Ausnutzungsgrad, der unterhalb des zulässigen Wertes liegt.

## 5 Schlussfolgerungen

Zur Einschätzung der Standsicherheit wurde zunächst die Raumstellung der Trennflächen entlang der Ostböschung eingemessen. Das aufgenommene orthogonale Kluft- und Störungssystem kann den tektonischen Strukturen des Rheinischen Schiefergebirges zugeordnet werden. Als kritische Trennflächen treten hierbei die ungefähr parallel zur Ostwand streichenden Längsklüfte sowie eine Diagonalkluftchar heraus.

Mit Blick auf die Höhe und Neigung der Teilböschungen im Fels und im vorgeschütteten Lockergestein kann die Ostböschung in vier Abschnitte bzw. Homogenbereiche unterteilt werden.

Die Datenauswertung zeigt, dass ein Felssturz mit mehreren 100 m<sup>3</sup> Gesteinsmassen mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich Rutschkörper bis zur nahen L 324 erstrecken, ist als äußerst gering zu betrachten.

In einem Steinbruch besteht aber grundsätzlich Steinschlaggefahr. Im vorliegenden Fall können örtlich einzelne oder mehrere größere Klufkörper infolge physikalischer Verwitterungseinflüsse (z.B. durch Frostsprengung) oder, weil das Gefüge beim Abbau gestört wurde bzw. kleinere Überhänge verblieben sind, aus der Ostwand herauskippen oder abrutschen. Dadurch wird aber die Gesamtstandsicherheit nicht beeinträchtigt.

Entlang der Ostwand verläuft auf einer Vorschüttung eine alte Zufahrt in den Steinbruch. Den Schüttböden wird ein Reibungswinkel  $\varphi_k = 35^\circ$  und eine Kohäsion  $c_k = 2 \text{ kN/m}^2$  zugewiesen, die am unteren Rand des Streubereichs liegen dürften. Damit lässt sich in keinem Homogenbereich unabhängig vom Seewasserspiegel eine ausreichende Sicherheit gegen Böschungsbruch nachweisen. Der temporäre Schüttkegel auf der Vorschüttung im Homogenbereich 4 dürfte sogar nur annähernd im Grenzgleichgewicht stehen.

Es wird empfohlen, die Zufahrtsrampe oben an der Zufahrt und im Homogenbereich 3 mit Knäppern zu sperren und zu gegebener Zeit die Lockergesteinsböschungen abzuflachen. Alternativ kann auch die Scherfestigkeit der Schüttböden ermittelt werden. Dazu wären aber aufwendige Feldversuche erforderlich, mit ungewissen Ergebnissen.

Ein mögliches Teilversagen einer Lockergesteinsböschung hat nach den vorliegenden Erkenntnissen keine Auswirkung auf die Standsicherheit der östlichen Felswand.

Aachen, den 28.10.2024



Paul Fugmann, M.Sc.  
(SST Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner  
Ingenieurgesellschaft mbH)



Dipl.-Ing. Jürgen Knops  
(Ingenieurbüro Gell & Partner GbR)