

## Anisotrope Eigenschaften von Gneisen

Anne Simmank

### Einleitung

Die Eigenschaften des Untergrundes zu kennen, ist für die Erstellung von Bauwerken eine Grundlage. Dies trifft auch auf Fels zu, bei dem die Schichtung und dessen Ausrichtung des Gefüges eine zentrale Rolle spielt. Im Folgenden wurde Gneis aus dem Erzgebirge untersucht, welcher etwa 75 % der Oberfläche des Gebirges ausmacht.

### Gneis als Metamorphit

Gneis entsteht aus Sedimentiten, Magmatiten oder anderen Metamorphiten unter Einwirkung von hohem Druck und hoher Temperatur. Dabei verändert sich das Ausgangsgestein chemisch, mineralogisch und strukturell ohne zu schmelzen. Die entsprechenden Temperatur- und Druckverhältnisse finden sich bei der Subduktion an tektonischen Plattengrenzen. Dabei taucht der feste Teil der Erdkruste und des oberen Erdmantels einer tektonischen Platte in den darunter liegenden Teil des Erdmantels der anderen Platte. Für die hier vorliegenden Gneise des Erzgebirges werden Grauwacken und Granodiorite in etwa 35 km Tiefe, also bei etwa 750 °C und 1,2 GPa, umgewandelt.

Eine wichtige Eigenschaft, welche sich infolge der tektonischen Plattenbewegungen ausbildet, ist die Foliation, deren Entstehung in Abbildung 1 dargestellt ist. Aufgrund dieses schichtweisen Aufbaues wird angenommen, dass die Eigenschaften von Gneis richtungsabhängig sind. Die Anisotropie von Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit wird im Folgenden untersucht.

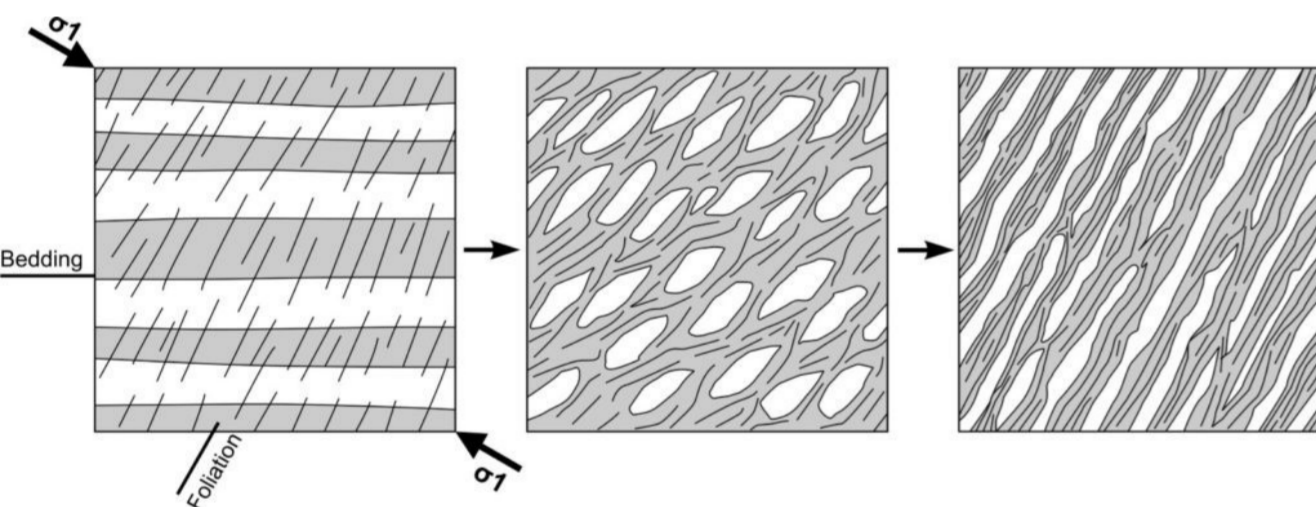


Abb. 1: Foliation in Gesteinen gebildet durch gerichteten Druck [1].

### Bohrkerne

Die Proben zur Untersuchung der Anisotropie wurden aus Bohrkernen aus dem Osterzgebirge gewonnen. Zunächst wurden diese fünf Bohrkern (BK) dokumentiert. Dabei erfolgte eine Foto- und Farbdokumentation (vgl. Abbildung 2), eine Aufnahme der Trennflächen sowie die Bestimmung der Dichte und der Wasseraufnahme.

Dabei zeigte sich eine geringe Wasseraufnahme (0,08 bis 0,26 Masse-%) der Bohrkern, welche auch bei einer Veränderung des Oberflächen-Volumen-Verhältnisses niedrig bleibt. Die Trockendichten schwanken zwischen 2,60 und 2,74 g/cm<sup>3</sup>.



Abb. 2: Rötlichgrauer Gneis „mit Augen“ aus einer Tiefe von 262,38 m unter GOK (d = 10,0 cm, l = 48,6 cm)

### Einaxiale Druckfestigkeit

Die einaxiale Druckfestigkeit wird in Abhängigkeit des Winkels zur Foliation untersucht. Dabei werden einaxiale Druckversuche und Punktlastversuche durchgeführt. Die hier untersuchten Winkel zur Foliation sind 0, 30, 60 und 90 Grad.

Die Proben beim einaxialen Druckversuch haben einen Durchmesser von 30 mm und ein d/l-Verhältnis von 1:2. Neben der Druckfestigkeit werden die Dehnung, der Erstbelastungsmodul, Imperfektionen und der Schallpegel beim Bruchzustand untersucht.

### Einaxialer Druckversuch

Für die einaxiale Druckfestigkeit, siehe Abbildung 3, zeigt sich keine klare Winkelabhängigkeit.

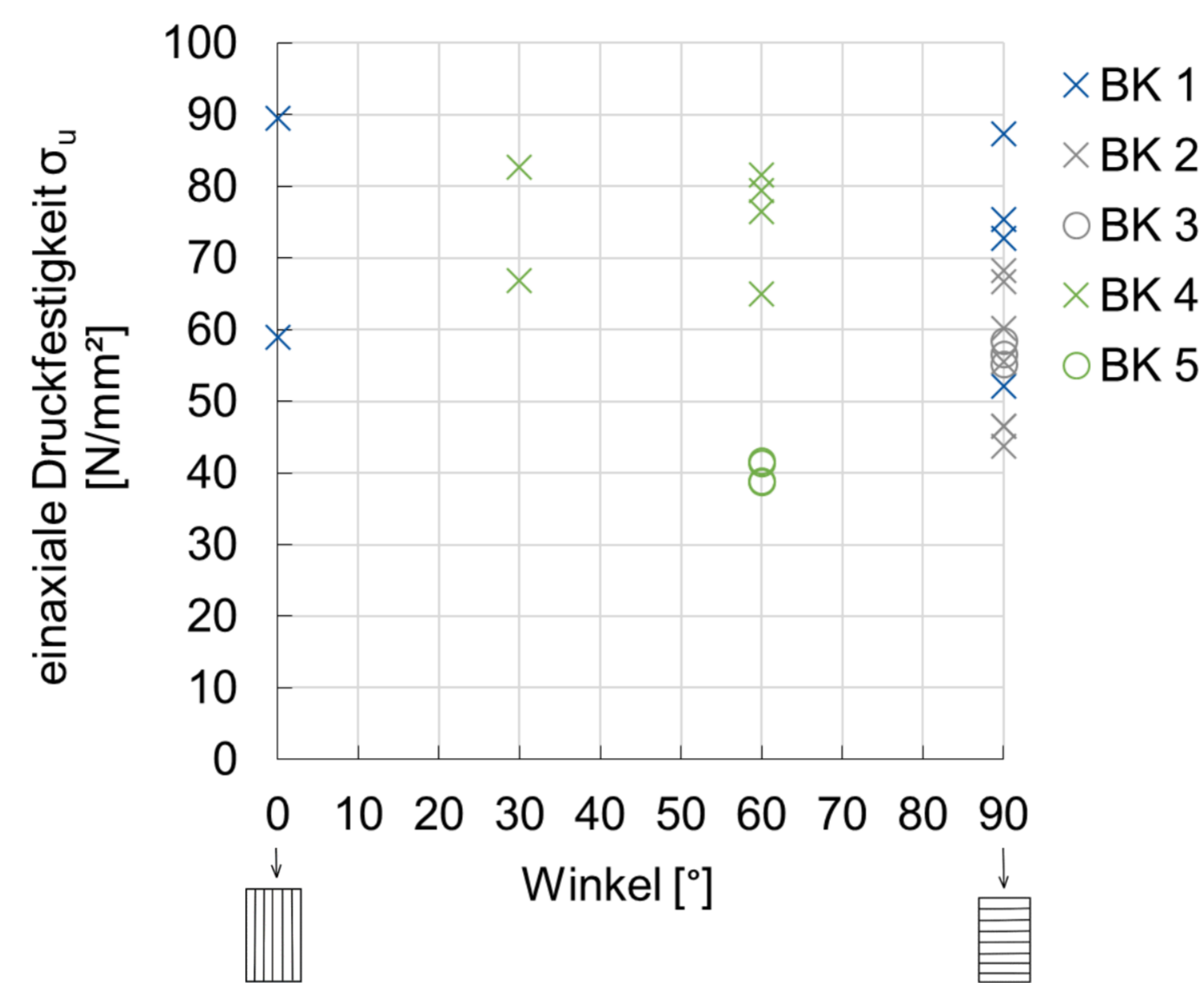


Abb. 3: einaxiale Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Winkels.

Als Steifigkeit wird der Erstbelastungsmodul, als linearer Anstieg zwischen dem 0,4 und 0,6-fachen der Bruchspannung und den zugehörigen Dehnungen definiert:

$$V_{40-60} = \frac{0,6 \cdot \sigma_u - 0,4 \cdot \sigma_u}{\varepsilon_u(0,6 \cdot \sigma_u) - \varepsilon_u(0,4 \cdot \sigma_u)}$$

Dabei zeigt sich keine klare Anisotropie. Die berechneten Werte weisen für jeden Winkel in etwa das Maximum von 30.000 N/mm<sup>2</sup> auf. Das Minimum beträgt 12.000 N/mm<sup>2</sup>.

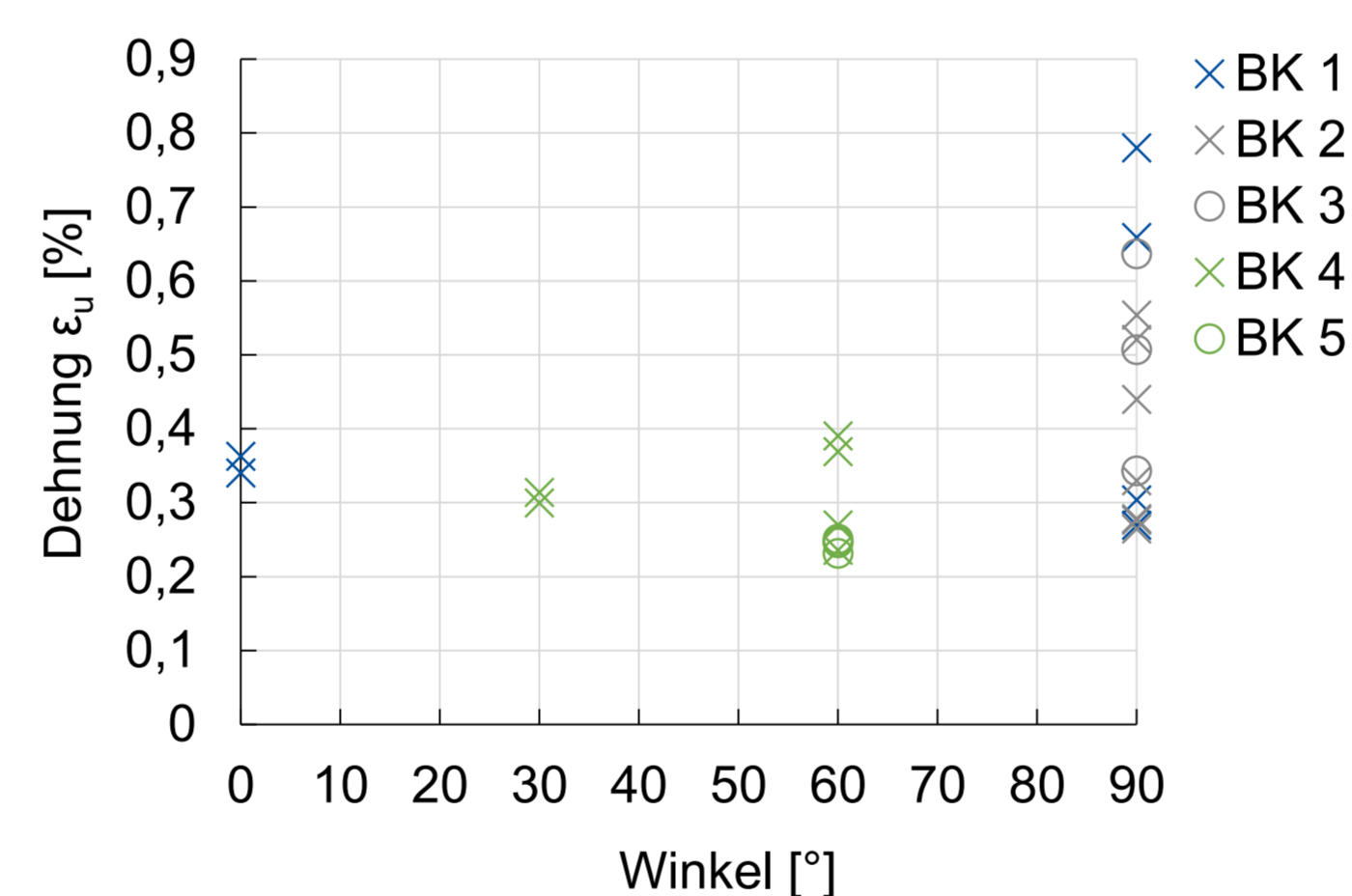


Abb. 4: Bruchdehnung in Abhängigkeit des Winkels.

Die Bruchdehnung weist eine Richtungsabhängigkeit auf. Dabei erfolgt die größte Dehnung von 0,78 % bei einem Winkel von 90° zur Foliation. Das Minimum findet sich bei etwa 60° mit 0,26 %.

Der Schallpegel beim Bruch zeigt keine Abhängigkeit von der Lage zur Foliation. Allerdings konnte festgestellt werden, dass der Bruch bei höheren einaxialen Druckfestigkeiten lauter ist.

### Punktlastversuch

Im Punktlastversuch wurden Proben in Winkeln von 0 und 90 Grad zur Foliation untersucht. Die Proben (d = 100 mm, h = 50 mm) wurden als Scheiben von Bohrkern 6, einem Stiftgneis, abgetrennt.

Aus dem Punktlastversuch ergibt sich der Punktlastindex  $i_{s(50)}$ , aus dem über einen materialabhängigen Umrechnungsfaktor  $c$  die einaxiale Druckfestigkeit abgeschätzt werden kann.

$$\sigma_u = c \cdot i_{s(50)}$$

Hier erfolgte über die bekannten einaxialen Druckfestigkeiten  $\sigma_u$  aus dem einaxialen Druckversuch die Bestimmung des materialabhängigen, richtungsabhängigen Umrechnungsfaktors  $c$ .

Dabei zeigt sich beim Punktlastversuch eine klare Richtungsabhängigkeit. Der Umrechnungsfaktor  $c$  ist bei 90 Grad zur Foliation mit 18,2 etwa doppelt so hoch wie parallel zur Foliation ( $c = 9,3$ ).

Weiterhin ist zu erkennen, dass die Ergebnisse aus dem Punktlastversuch wesentlich größere Streuungen als die des einaxialen Druckversuchs aufweisen.

### Anisotropie der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit des Foliationswinkels wird an drei Proben untersucht. Weiterhin wird geprüft, ob die Probengröße einen Einfluss hat. Dabei wurden die Probenparameter wie folgt variiert:

- Probenhöhe von 10 cm, 90° Foliationswinkel (1\_10\_90)
- Probenhöhe von 10 cm, 40° Foliationswinkel (5\_10\_40)
- Probenhöhe von 20 cm, 90° Foliationswinkel (1\_20\_90)

Für diese wurden im Versuchsstand jeweils drei Temperaturstufen (-5°C, 20°C, 65°C) untersucht und daraus Wärmeleitfähigkeiten berechnet. Es ergeben sich also insgesamt neun Messwerte.

Die bestimmten Wärmeleitfähigkeiten, welche in Abbildung 5 gezeigt sind, liegen zwischen 1,84 und 3,18 W/(mK). Eine Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Foliationswinkel ist aufgrund der geringen Probenanzahl nicht eindeutig bestimmbar.

In der Literatur [2] zeigt sich für vergleichbaren Gneis, dass die Wärmeleitfähigkeit parallel zur Foliation (0°) höher als senkrecht zur Foliation ist. Dabei sind die hier bestimmten Werte senkrecht zur Foliation im Bereich der Literaturwerte.

Weiterhin ist zu erkennen, dass der Einfluss der mittleren Temperatur in der Probe, hier 4, 35 und 47°C, in einer ähnlichen Größenordnung wie der infolge der Probenausrichtung liegt.

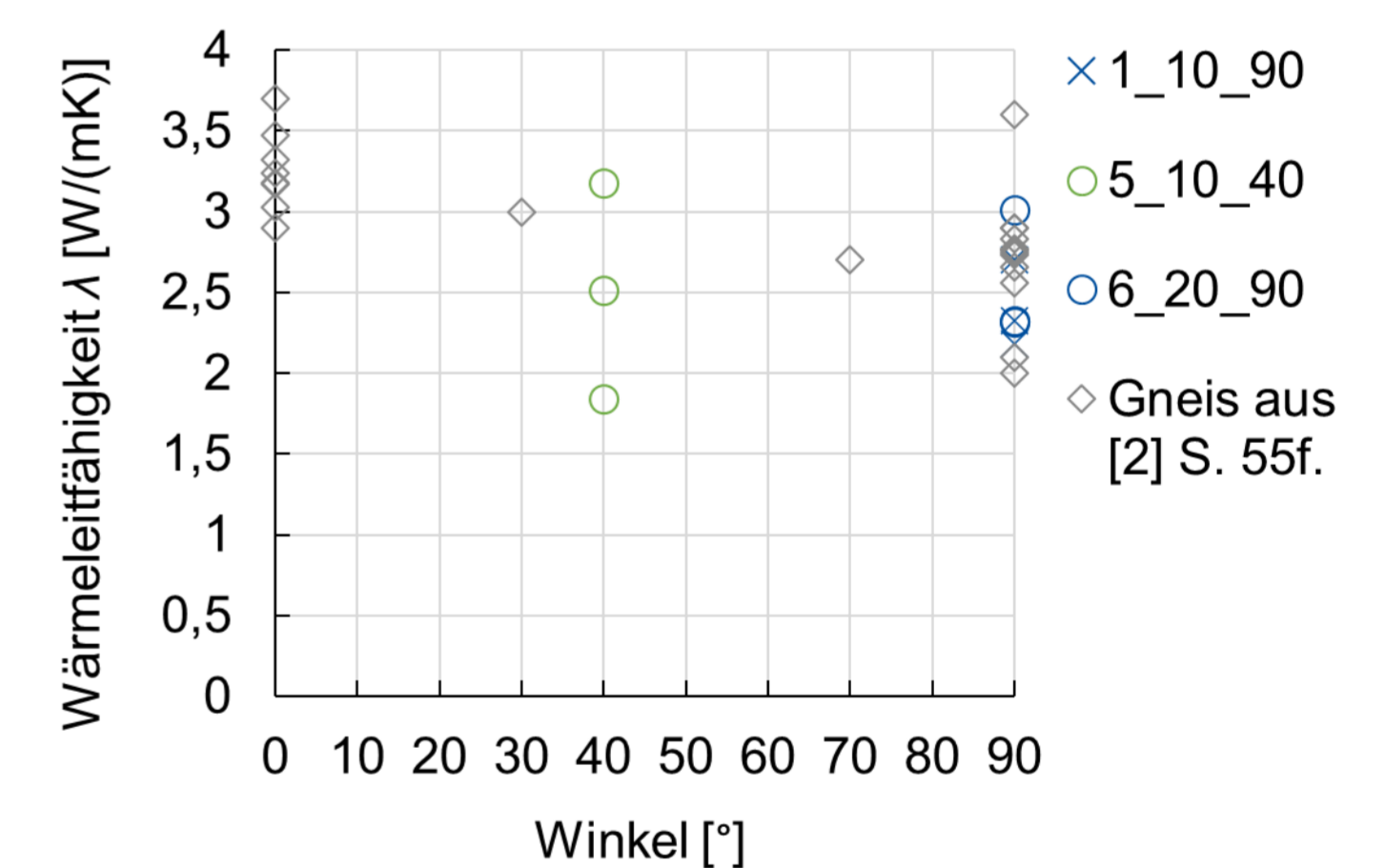


Abb. 5: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit des Winkels.

### Quellen

[1] Features from the field: Foliation <https://blogs.egu.eu/divisions/ts/2019/08/30/features-from-the-field-foliation/>

[2] Tiefengeothermie Sachsen, Schriftreihe Heft 9/2011, Forschungsverbund Tiefengeothermie Sachsen

### Danksagung

Mein besonderer Dank bei der Versuchsdurchführung und Organisation gilt Silvio Gesellmann. Weiterhin sei René Schubert (StB) und Fabian Israel (ifb) für die Probenbearbeitung sowie dem anonymen Probenspender gedankt.

### Projekt

Projektarbeit

### Hochschullehrer

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

### Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

### Abgabe

März 2024