

EurGeol Dr. rer. nat. Lutz Krakow

Modern raw materials for the Brick Industry Part 5: Greywacke from the High-Tech Seljestokken Quarry Moderne Rohstoffe für die Ziegelindustrie Teil 5: Grauwacke aus dem Hightech-Steinbruch Seljestokken

The raw materials industry must explore new avenues – otherwise, it cannot survive. The fully AI-controlled Seljestokken quarry on the coast of southwestern Norway is truly groundbreaking. As a secondary raw material from processing, clay-rich rock flour is also extracted for the brick industry.

Die Rohstoffindustrie muss neue Wege gehen – sonst kann sie nicht bestehen. Absolut bahnbrechend ist der komplett KI-gesteuerte Steinbruch Seljestokken an der Küste von Südwestnorwegen. Als Sekundärrohstoff der Aufbereitung wird tonmineralhaltiges Gesteinsmehl auch für die Ziegelindustrie gewonnen.

1 Geological Context and Location

Norway is one of the leading producers of natural stone in Europe. The industry is highly specialized and export-oriented. Major quarrying regions are located in western and southern Norway (»1). Gneisses, granites, and metamorphosed greywackes are primarily extracted here. Large quarries have direct access to

1 Geologischer Rahmen und Standort

Norwegen gehört zu den wichtigsten Produzenten von Naturstein in Europa. Die Branche ist stark spezialisiert und exportorientiert. Wichtige Steinbruch-Regionen liegen im Westen und Süden von Norwegen (»1). Hier werden vor allem Gneise und Granite sowie metamorph überprägte Grauwacken gefördert. Große Steinbrü-



»1: Extraction and processing of greywacke in the high-tech Seljestokken quarry

»1: Förderung und Aufbereitung von Grauwacke im Hightech-Steinbruch Seljestokken



STEER AS

»2: AI-controlled driverless dump truck between the quarry face and the primary crusher
 »2: KI-gesteuerter fahrerloser Dump-Truck zwischen Abbauwand und Vorbrecher



STEER AS

»3: Control of the dump trucks from the hydraulic excavator
 »3: Steuerung der Dump-Trucks vom Hydraulikbagger

the sea and can load ships directly without pre-shipment costs. This is also the case for the Seljestokken quarry north of Bergen.

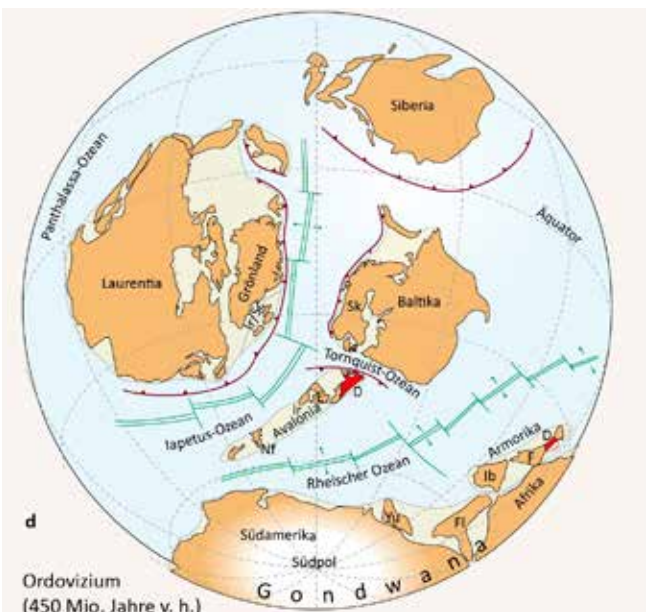
The quarry is operated by DC Industrial NV-SA / Group De Cloedt using driverless dump trucks. The trucks shuttle autonomously between the quarry face and the primary crusher. Control is handled either by the excavator operator or the operator in the office container. A groundbreaking transport technology offering high performance and low costs (»2 & »3).

Geotectonically, the Norwegian coastal region is characterized by the Caledonian Mountains, which are welded as a major tectonic unit to the Baltic Craton. Overall, this was a highly complex mountain-building process spanning from the Ordovician to the Devonian, with its main phase occurring in the Silurian 450 million years ago. The collision of the ancient continents Avalonia, Laurentia, and Baltica led to the formation of the supercontinent Laurussia (»4a, »4b). A massive high mountain range emerged in the collision zone, but over the course of hundreds of millions of years, it was largely eroded away. What remained

che haben freien Zugang zum Meer und verfügen über die Möglichkeit der direkten Schiffsverladung ohne Vorfachtkosten. So auch der Steinbruch Seljestokken nördlich von Bergen.

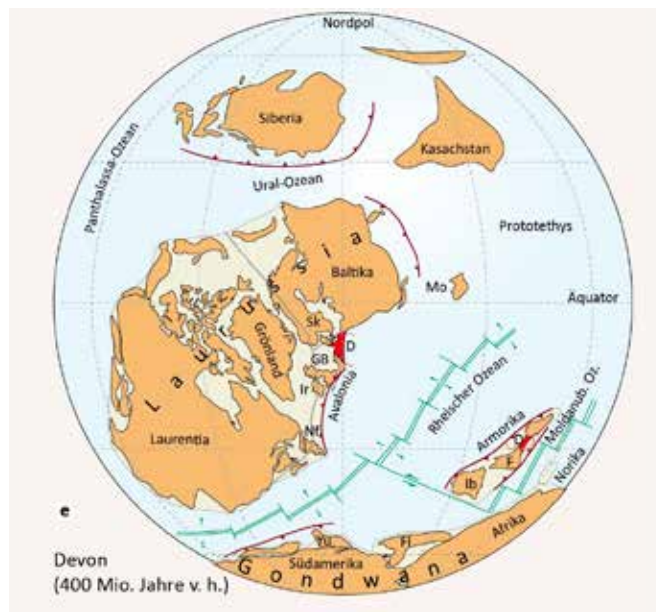
Der Steinbruch wird von der DC Industrial NV-SA / Group De Cloedt mit fahrerlosen Dumps-Trucks betrieben. Die Trucks pendeln autonom zwischen Abbauwand und Vorbrecher. Die Steuerung übernimmt wahlweise der Baggerfahrer oder der Operator im Bürocontainer. Eine bahnbrechende Transporttechnik mit hoher Leistung und geringen Kosten (»2 & »3).

Geotektonisch ist die norwegische Küstenregion durch das kaledonische Gebirge geprägt, das als tektonische Großeinheit an den Baltischen Kraton angeschweißt ist. Insgesamt ein hochkomplexer Gebirgsbildungsprozess vom Ordovizium bis zum Devon mit Hauptphase im Silur vor 450 Millionen Jahren. Durch Kollision der Urkontinente Avalonia, Laurentia und Baltika hat sich der Großkontinent Laurussia gebildet (»4a, 4b). In der Kollisionszone entstand ein gewaltiges Hochgebirge, das im Laufe von hunderten Millionen Jahren jedoch wieder weitgehend ab-



Martin Meschede

»4a: Simplified diagram of the Caledonian orogeny from [1]
 »4a: Vereinfachtes Schema der Kaledonischen Gebirgsbildung aus [1]



Martin Meschede

»4b: The gray dashed line marks the Caledonian Mountains
 »4b: Die grau gestrichelte Linie markiert das Kaledonische Gebirge



STEER AS

- »5: The Seljestokken quarry in the Scandinavian Massif
- »5: Der Steinbruch Seljestokken im skandinavischen Rumpfgebirge

was the Scandinavian mountain range with a crystalline basement. The landscape received its final shaping during the Quaternary ice ages. Mighty glaciers carved out trough valleys and fjords up to 200 kilometers long into the bedrock (»5).

2 Mineralogical and Chemical Composition

Greywacke is a clastic sedimentary rock composed primarily of phyllosilicates, quartz, feldspars, and rock fragments. Among the phyllosilicates/clay minerals, dioctahedral and/or trioctahedral micas predominate over chlorite. Carbonates in the form of calcite and dolomite may occur in minor amounts. Greywackes are also referred to as impure or poorly sorted sandstones. They represent typical flysch sediments and form during orogenesis from submarine turbidity currents.

The Seljestokken rock powder covers grain sizes ranging from clay to medium sand. The grain size maximum lies in the medium grain range of $d = 0.002 - 0.06$ mm. The fine grain fraction $d < 0.002$ mm amounts to 8 mass % (»6). Mineralogically, the Seljestokken rock flour is typically dominated by phyllosilicates, quartz, and feldspars, with the phyllosilicate content at 38 mass %. Due to diagenetic and early metamorphic alteration, kaolinite and intra-crystalline swelling phases are completely absent (»Table 1).

Chemically, silicon and aluminum clearly dominate over all other elements. Significant amounts of alkaline and alkaline

getragen wurde. Übrig blieb das skandinavische Rumpfgebirge mit kristallinem Sockel. Den letzten Schriff bekam die Landschaft durch die quartären Eiszeiten. Mächtige Gletscher haben bis zu 200 Kilometer lange Trogtäler und Fjorde in den Untergrund geschnitten (»5).

2 Mineralogisch-chemische Zusammensetzung

Grauwacke ist ein klastisches Sedimentgestein mit Hauptgemengteilen an Phyllosilikaten, Quarz, Feldspäten und Gesteinsbruchstücken. Bei den Phyllosilikaten/Tonmineralen dominieren dioctaedrische und/oder trioktaedrische Glimmer vor Chlorit. Untergeordnet können Karbonate in Form von Calcit und Dolomit auftreten. Grauwacken werden auch als unreine oder schlecht sortierte Sandsteine bezeichnet. Sie repräsentieren typische Flyschsedimente und entstehen bei der Orogenese aus submarinen Trübeströmen.

Der Gesteinsmehl Seljestokken deckt Korngrößen vom Tonkorn- bis zum Mittelsandbereich ab. Das Korngrößenmaxima liegt im Mittelkorn von $d = 0,002 - 0,06$ mm. Der Feinstkornanteil $d < 0,002$ mm beträgt 8 MA % (»6). Mineralogisch wird das Gesteinsmehl Seljestokken typischerweise von Phyllosilikaten, Quarz und Feldspäten dominiert, wobei der Phyllosilikatgehalt bei 38 MA % liegt. Aufgrund der diagenetischen und frühmetamorphen Überprägung fehlen Kaolinit und innerkristallin quellfähige Phasen vollständig (»Tabelle 1).

Mineral phases/Mineralphasen	Share [mass %]/Anteil [MA %]
Phyllosilicate/Phyllosilikate	38
Kaolinite/Kaolinit (n)	-
Kaolinite-D/Kaolinit-D (n)	-
Mica (dioctahedral)/Glimmer (dioktaedrisch) (n)	15
Mica (dioctahedral)/Glimmer (dioktaedrisch) (n)	10
Smectite/Smektit (q)	-
Chlorite/Chlorit (n)	13
Chlorite-Vermiculite/Chlorit-Vermikulit (q)	-
Quartz/Quarz	34
Albite / Potash felspar/Albit / Kalifeldspat	19 / 4
Calcite / Dolomite/Calcit / Dolomit	4 / < 1
Haematite/Hämatit	-
Anatase / Rutile/Anatas / Rutil	- / -
Goethite / Limonite/Goethit / Limonit	- / -
Pyrite / Marcasite/Pyrit / Markasit	- / -
Other/Sonstige	-

Dr. Krakow

»Table 1: Mineral phase analysis RDA/FTIR (mass %)

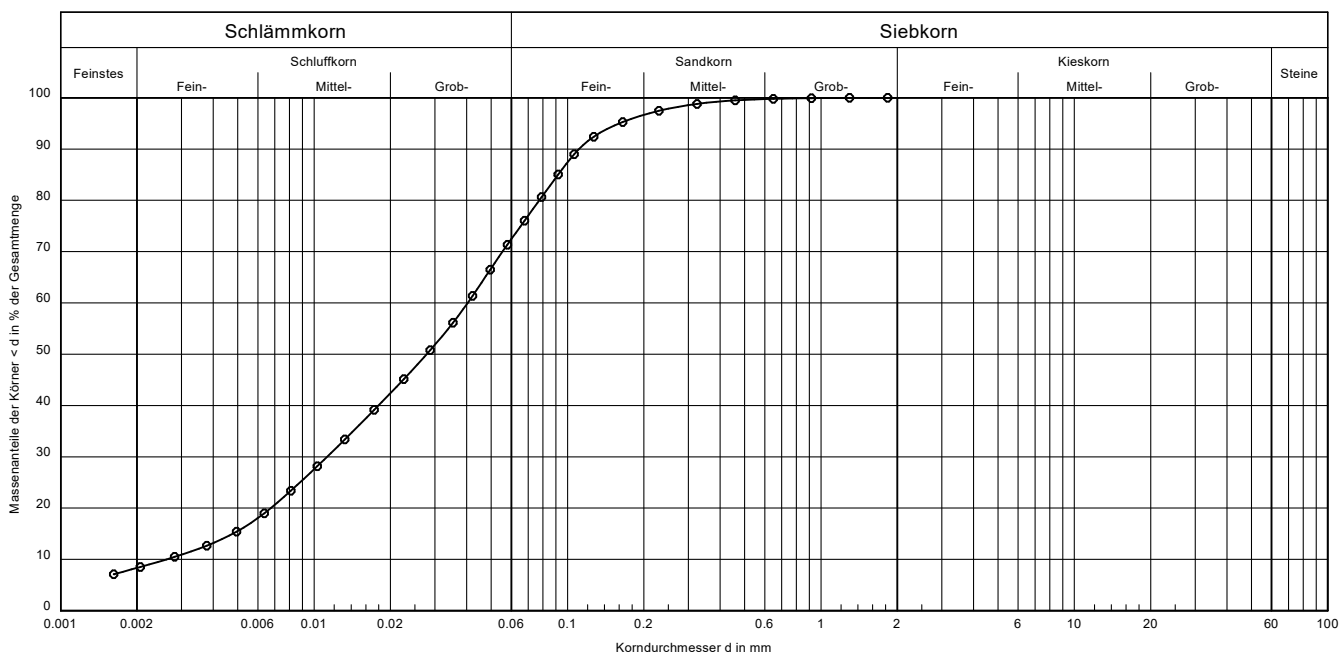
»Tabelle 1: Phasenanalyse RDA / FTIR (MA %)

Elements/Elemente	Share [mass %]/Anteil [MA %]
SiO2	64,80
Al2O3	12,46
Fe2O3	5,27
BaO	0,067
MnO	0,100
TiO2	0,730
V2O5	0,018
CaO	4,73
MgO	2,63
K2O	2,48
Na2O	2,39
SO3	< 0,04
GLV 1.025 °C	3,97

Dr. Krakow

»Table 2: Chemical composition DIN ISO 12 677 (mass %)

»Tabelle 2: Chemische Analyse DIN EN ISO 12 677 (MA %)

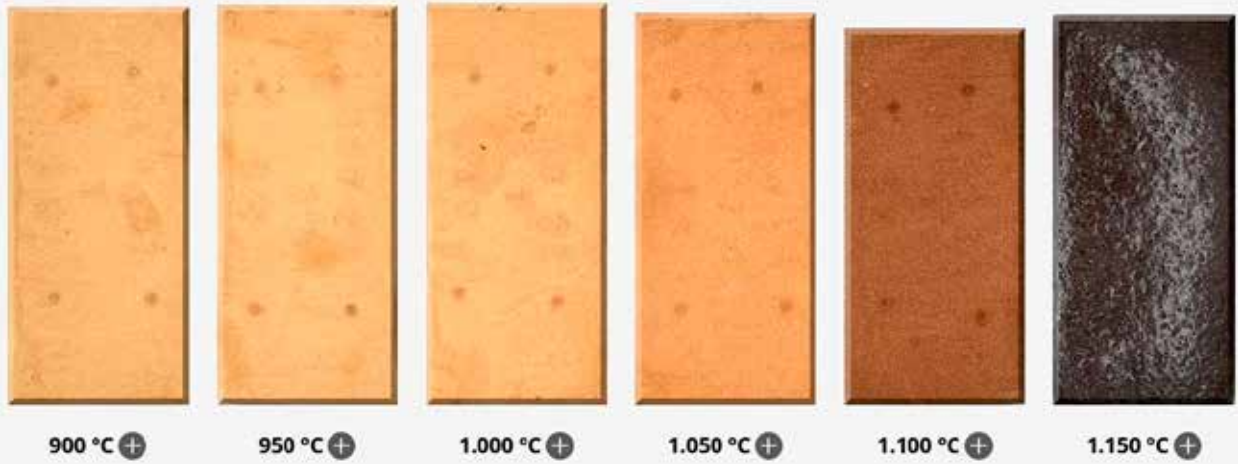


Dr. Krakow

»6: Grain size distribution of Seljestocken rock powder according to DIN 18 123

»6: Kornverteilung Gesteinsmehl Seljestocken nach DIN 18 123

Brennproben in oxidierender Atmosphäre



Dr. Krakow

- »7: Firing tests in the temperature range from 900 °C to 1,150 °C
- »7: Brennproben im Temperaturbereich von 900 °C bis 1.150 °C



Dr. Krakow

- »8: In-house ship loading facility at the Seljestoppen quarry
- »8: Werkseigener Schiffsanlager am Steinbruch Seljestoppen

Dry shrinkage/Trockenschwindung [%]	
100 °C	1,6
Firing Shrinkage/Brennschwindung [%]	
900 °C	-1,0
950 °C	-1,0
1000 °C	-1,0
1050 °C	-0,5
1100 °C	5,4
1150 °C	n.b.
Water absorption/Wasseraufnahme [MA %]	
900 °C	20,9
950 °C	20,6
1000 °C	20,3
1050 °C	18,3
1100 °C	5,7
1150 °C	0,4
Body density/Scherbenrohddichte [g/cm ³]	
900 °C	1,66
950 °C	1,67
1000 °C	1,67
1050 °C	1,72
1100 °C	2,11
1150 °C	2,17

Dr. Krakow

»Table 3: Ceramic technological parameters according to DKG guidelines
 »Tabelle 3: Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien

earth fluxes are primarily contributed by the micas and feldspars. Iron does not occur as a separate mineral phase but is incorporated into the crystal lattice of the clay minerals at 5.27 mass %. Interfering elements such as sulfur and organic matter are minimal and lie within the RFA detection limit (»Table 2).

3 Ceramic Technological Characteristics

Seljestokken rock flour is classified as a particularly energy- and resource-efficient plasticizer (»Table 3). Due to its optimal particle size, the material does not require energy-intensive grinding but only needs to be homogeneously mixed with the other batch components. The material is ideally suited to substitute traditional shale clays and thereby reduce the consumption of primary raw materials.

As a fine-grained additive, the material is universally applicable in the brick industry. Within the temperature range of 900 – 1,050 °C, the material is characterized by a very broad and stable sintering range with high porosity. This improves the degassing of bodies with a high organic carbon content. At higher firing temperatures, rapid dense firing occurs. The firing colors vary depending on the firing temperature, ranging from light yellow to dark brown (»7).

4 Quantity Availability and Concluding Remarks

The Seljestokken quarry has large geological reserves of greywacke and mining permits valid for decades. It also has direct access to the sea and its own boat dock with no pre-shipment costs (»8). Acknowledgments and Image Credits: We thank Managing Director Njål Gjermundshau of STEER AS in Oslo, Norway, for his kind support and for providing the images (Photos 1, 2, 3, 5).

Chemisch dominieren Silizium und Aluminium deutlich vor allen übrigen Elementen. Deutliche Gehalte an alkalischen und erdalkalischen Flussmitteln werden vor allem über die Glimmer und Feldspäte eingetragen. Eisen tritt nicht als separate Mineralphase auf, sondern ist mit 5,27 MA % im Kristallgitter der Tonminerale eingebaut. Störende Elemente wie Schwefel und organische Substanz sind minimal und liegen im Bereich der RFA-Nachweisgrenze (»Tabelle 2).


3 Keramtechnologische Charakteristik

Das Gesteinsmehl Seljestokken ist als besonders energie- und ressourceneffizienter Magerungsstoff zu klassifizieren (»Tabelle 3). Aufgrund der optimalen Korngröße muss das Material nicht energieintensiv zerkleinert, sondern nur homogen mit den übrigen Massekomponenten gemischt werden. Das Material ist prädestiniert, traditionelle Schiefertone zu substituieren und auf diese Weise den Verbrauch an Primärrohstoffen zu senken.

Als feinteiliger Zusatzstoff ist das Material universell in der Ziegelindustrie einsetzbar. Das Material ist im Temperaturintervall von 900 – 1.050 Grad C durch ein sehr breites und stabiles Sinterintervall mit hoher Porosität gekennzeichnet. Das verbessert die Entgasung von Massen mit hohem Anteil an organischem Kohlenstoff. Bei höheren Brenntemperaturen schlagartiges Dichtbrennen. Die Brennfärbungen variieren in Abhängigkeit von der Brenntemperatur von hellgelb bis dunkelbraun (»7).

4 Mengenverfügbarkeit und Schlussbemerkungen

Der Steinbruch Seljestokken verfügt über große geologische Reserven an Grauwacke und Abbaugenehmigungen über Jahrzehnte. Ebenso über freien Zugang zum Meer und einen eigenen Schiffsanleger ohne Vorfrachtkosten (»8).

Danksagung und Bildnachweis: Für die freundliche Unterstützung und die Stellung von Bildmaterial (Fotos 1, 2, 3, 5) danken wir dem Geschäftsführer Njål Gjermundshau von der Firma STEER AS in Oslo/Norwegen. 

References / Literatur

[1] Meschede, M. (2015): Geologie Deutschlands. – 249 S., Springer Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-662-45297-4.