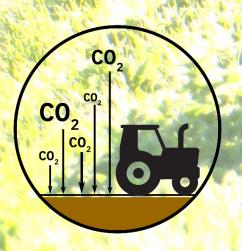
Der Boden als CO₂-Senke -Enhanced Rock Weathering

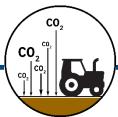
Thomas Lege, Elke Fries

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)





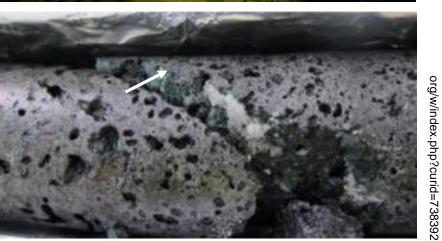
Ausgangspunkt: CarbFix-Vorhaben (Island/Geothermie)



• Hellisheiði: CO₂ wird verpresst und im isländischen Basaltgestein als stabile Karbonatminerale fixiert:

https://www.carbfix.com/ und https://www.carbfix.com/codaterminal





Durch in Basalt verpresstes CO₂ entsteht Calcit

"CarbFix" auf dem Acker, der Wiese oder im Wald?!





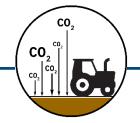


Gesteinsmehl in Böden fixiert atmosphärisches CO₂

- https://www.agrarheute.com/pflanze/getreide/faktencheck-basaltmehl-aeckern-klima-wirklich-retten-570884
- https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/schon-gewusst-steinmehl-als-co2-schlucker
- https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/ist-basaltgestein-der-ideale-duengersilikatduenger-sol-10903
- https://www.cen.uni-hamburg.de/about-cen/news/2014-01-23-enhanced-weathering.html
- https://www.theguardian.com/environment/2020/jul/08/spreading-rock-dust-on-fields-could-remove-vastamounts-of-co2-from-air
- https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/2020/07/08/spreading-rock-dust-ground-could-pullcarbon-air-researchers-say/
- https://www.nature.com/articles/d41586-020-02001-4



Prinzip: Natürliche chemische Gesteinsverwitterung



Bindung von CO₂ bei der Verwitterung von Magnesiumsilikaten (z.B. Olivin in Dunit) oder Calciumsilikaten (z.B. Anorthit in Basalt)

$$\begin{aligned} \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} &\rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3 + \text{Al}_2\text{SiO}_2^*(\text{O}_5)(\text{OH})_4 \\ &\qquad \qquad \text{Kaolinit} \end{aligned}$$
 Anorthit
$$\begin{aligned} \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3 &\rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$$

→ CO₂ wird als stabile Karbonatminerale fixiert

Enhanced Rock Weathering

Hybride Negativ-Emissionstechnologie (naturbasiert + technische Elemente) zum Entzug von atmosphärischem CO₂ zur Förderung der natürlichen Gesteinsverwitterung durch

- Auswahl des Gesteinsmehls
- Korngröße (reaktive Mineraloberflächen)
- Ausbringungsort (Temperatur, Niederschlag)



Abschätzung des Potenzials

- CO₂-Ausstoß BRD 2019: **0,81 Gt CO₂/a**
 - ca. 2% der globalen CO₂-Emissionen
- CO₂-Ausstoß Welt 2019: **37,9 Gt CO₂/a**
- Natürliche chemische Gesteinsverwitterung fixiert aktuell ca. **1,1 Gt CO₂/a**
- Das globale Potenzial der CO₂-Fixierung durch Gesteinsmehl auf landwirtschaftlichen Flächen wird geschätzt auf¹
 - 95 Gt CO₂/a für Dunit (> 90 % Olivin)
 - 4,9 Gt CO₂/a für Basalt (z.B. Anorthit)
- Wird derzeit als wirtschaftlich eingeschätzt¹





¹ Detaillierte Modellannahmen und Modellrechnungen sind publiziert in Strefler et al. (2018) Environ. Res. Lett. 13, 034010



Chancen und Risiken von Basaltmehl auf Böden

Chancen:

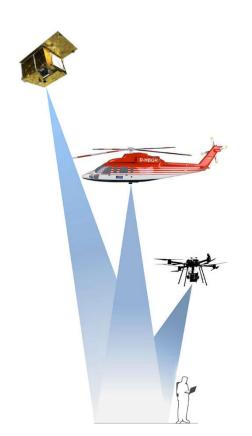
- Aktiver CO₂-Entzug aus der Atmosphäre
- Zusätzliche Nährstoffe
- Kalkarme Böden werden alkalischer
- Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit → Ertragssteigerung
- Verbesserung der physikalischen Struktur ("Krümelstruktur")
 - →Auflockerung des Bodens

Risiken:

- Feinstaubbelastung bei Ausbringung
- Eintrag und (veränderte) Toxizität von Metallen

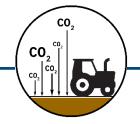
Basaltmehl auf Böden kann gleichzeitig den Boden verbessern und das Klima schützen!

Wie kann großflächiges Monitoring der Basaltverwitterung auf Böden erreicht werden?





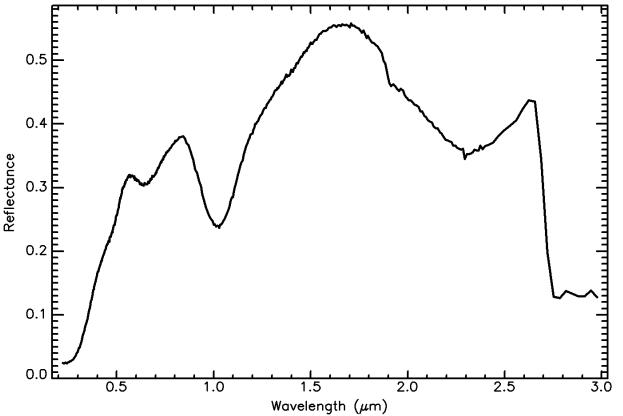
Reflexionsgrad eines Basaltminerals (Augit)



Augite WS592 Pyroxene BECKb AREF (splib07a rec=1733)

Formula=(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)₂O₆

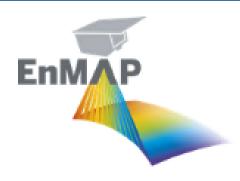
Mineral=Augite (Pyroxene Group, was listed as Diopside) Type=Inosilicate Spectral Purity=b



Citation: Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., and Klein, A.J., 2017, USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 61 p., https://doi.org/10.3133/ds1035

ASCII data=splib07a_Augite_WS592_Pyroxene_BECKb_AREF.txt

HTML metadata=Augite_WS592_Pyroxene_BECKb_AREF.txt



Geringere Reflektanz bei 1100 nm ist ein Merkmal von **Fe**²⁺.

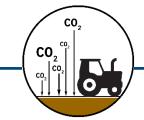
Und: Geringere Reflektanz bei 700 nm ist ein Merkmal von **Fe**³⁺,

Eisenreiches Pyroxen, wie Augit, zeigt beide Absorptionsbanden.

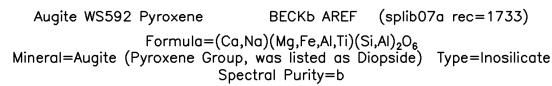


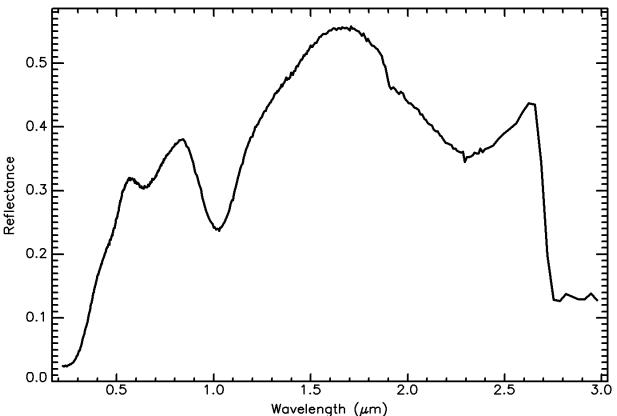


Reflexionsgrade von Augit und Bodenproben



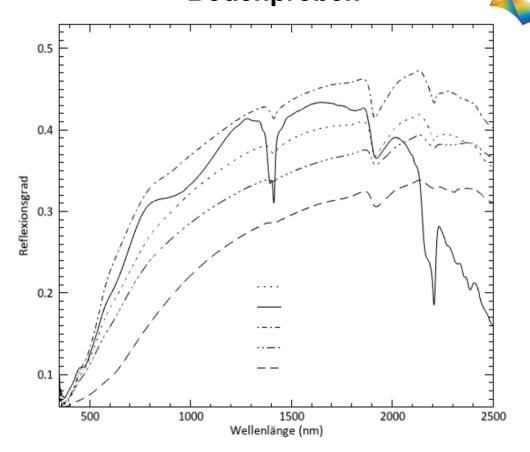
EnM A





Citation: Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., and Klein, A.J., 2017, USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 61 p., https://doi.org/10.3133/ds1035 ASCII data=splib07a_Augite_WS592_Pyroxene_BECKb_AREF.txt HTML metadata=Augite_WS592_Pyroxene_BECKb_AREF.html

Spektrales Verhalten von Bodenproben

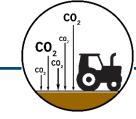


Grafik: BA Alin Villiger





BGR-LUH-Machbarkeitsstudie



Ziel: Fernerkundliche Differenzierbarkeit von Basaltstaub in Böden

Systematische Untersuchung von 160 verschiedenen Mischungen Boden/Basaltmehl





Alin Villiger & Michel Meyer unter Betreuung von

M. Frei, M. Schodlok, D. Rückamp, F. Stange, A. Lamparter, G. Guggenberger, S. Chabrillat



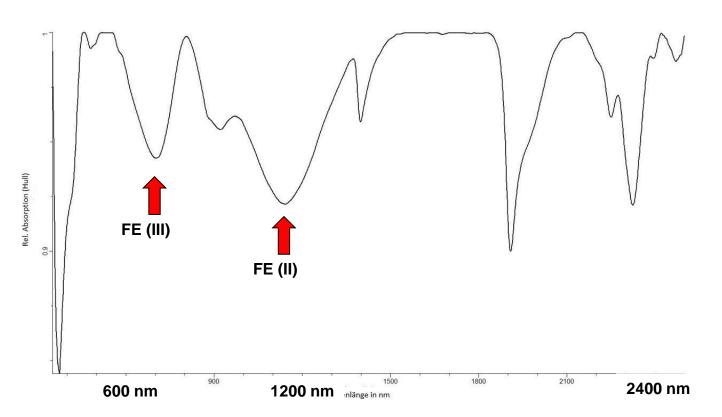


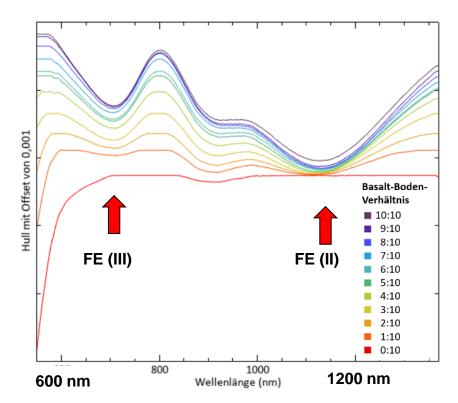
Reflexionsgrade von Basalt und Mischproben

Spektrales Verhalten eines Basalts

Spektrales Verhalten einer Basalt-Bodenmischung







Grafik verändert nach BA Alin Villiger



Ergebnisse

(1) Basaltstaub auf Böden ist im Labor hyperspektral nachweisbar

Überschlagsrechnungen zum fernerkundlichen, satellitengestütztem Monitoring im Feldmaßstab:



Je nach Bodenart, Einarbeitungstiefe, Porenvolumen und ggf. weiteren Randbedingungen kann für die hyperspektrale Nachweisbarkeit einer Basaltaufbringung auf einem bewuchslosen Acker eine Masse zwischen ca. 50 und 200 t/ha abgeschätzt werden.

Für genauere Aussagen sind Feldversuche in realistischen Größenordnungen erforderlich. Zur Nachweisbarkeit mit z.B. EnMAP wäre eine Mindestflächengröße von 2 ha Ausbringungsfläche anzustreben.

(2) Basaltstaub verbessert die Benetzbarkeit von Böden





Fazit und Ausblick

- Basaltmehl in Böden ist hyperspektral differenzierbar
- Fernerkundungsmethoden können vielversprechende Monitoringmethoden auf Feldskala sein
- Basaltmehl in Böden verbessert ihre Wasserspeicherfähigkeit
- Potenzielle Anwendungsgebiete sind Ackerflächen in feuchtwarmen (rote Bereiche) und in feucht-gemäßigten (grüne Bereiche) Klimazonen mit jeweils unterschiedlichen Verwitterungsraten (bilaterale Klimapartnerschaften It. Koalitionsvertrag)
- Nächste Schritte: Bodenkundliche Untersuchung in der Praxis und Methodenentwicklungen für das Monitoring mit Drohnen und Satelliten schaffen **Datengrundlagen** für mögliche Anwenderszenarien (Kombinationen verschiedener Gesteinsmehle, Böden, Klimabereiche, Pflanzen, ...).

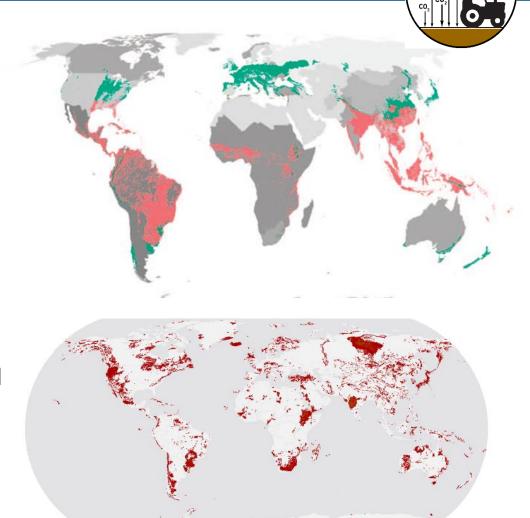


Fig. L-1 Appearance of potential source rocks (red). Data taken from the global lithological map GLiM (24), classes vb and pb, basic volcanics and plutonics respectively. Coverage may appear large than actual observations due to scaling effects for the figure.

Beide Abb. aus: Strefler, J., Amann, T, Bauer, N., Kriegler, E, Hartmann, J. (2018) Environ. Res. Lett. 13, 034010; https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa9c4



