

# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·



<b>Rapport nr.:</b> 2020.002	<b>ISSN: 0800-3416 (trykt)</b> <b>ISSN: 2387-3515 (online)</b>	<b>Gradering:</b> Åpen	
<b>Tittel:</b> Berggrunn med avvikende kjemisk sammensetning: metode for å etablere nasjonale datasett			
<b>Forfatter:</b> Tom Heldal, Espen Torgersen		<b>Oppdragsgiver:</b> Artsdatabanken	
<b>Fylke:</b>		<b>Kommune:</b>	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b>		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b>	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b>		<b>Sidetall:</b> 23	<b>Pris:</b> 95
		<b>Kartbilag:</b>	
<b>Feltarbeid utført:</b>	<b>Rapportdato:</b> 20.01.2020	<b>Prosjektnr.:</b> 365800	<b>Ansvarlig:</b> Tom Heldal
<b>Sammendrag:</b> <p>I NiN defineres den lokale, komplekse miljøvariabelen «Berggrunn med avvikende kjemisk sammensetning» (BK) i fem trinn: Normal, Ultramafisk, Jernrikt (kis), kobber-rikt (kis) og lava. I denne rapporten går vi igjennom disse trinnene og drøfter datasett og metoder for å kunne fremstille landsdekkende kart. Unntak er lava(mark), som vi ikke tar opp i denne rapporten siden det ikke er relevant for fastlands-Norge. I tillegg ser vi på noen andre tema som per i dag ikke er tatt opp som relevant for miljøvariabelen, men som kan danne fremtidige trinn.</p> <p>Trinn 2 (ultramafisk) i BK er uproblematisk og kan trekkes ut fra geologiske kart i 1:250 000 skala (landsdekkende) og 1:50 000 (ca 65%). Vi foreslår i tillegg å ha mulighet til å sortere på olivin innenfor de ultramafiske bergartene. Trinn 3 og 4 foreslås endret til «Sulfidanrikning». I tillegg kan vi vurdere å bruke «Svakt forhøyet sulfidinnhold» og «Antropogen sulfidanrikning». Vi lanserer også muligheten til å etablere alunskifer som egen kategori. Andre tema som kan være aktuelle innenfor miljøvariabelen er fosforinnhold og kaliuminnhold. Førstnevnte er ganske uproblematisk, og det er mulig å etablere nasjonalt datasett basert på analyser og apatitt som viktigste mineral. Kaliuminnhold (bidrag fra nefelin og biotitt) krever litt mer tilpasning og utprøving, særlig i forhold til biotittinnhold.</p> <p>Vi foreslår at konklusjonene i denne rapporten drøftes i relevante grupper innenfor økologisk grunnkart før videre beslutninger tas.</p>			
<b>Emneord:</b>	Sulfider	Ultramafisk	
Berggrunn med avvikende kjemisk sammensetning.	Økologisk grunnkart		

## INNHold

### Innhold

1. Innledning .....	5
2. Forutsetninger og metoder .....	5
3. Datasett og analyser .....	6
4. Eksisterende BK NiN-klasser .....	8
4.1 Ultramafiske bergarter .....	8
4.2 Sulfider .....	10
5. Andre mulige tema.....	16
5.1 Fosfor.....	16
5.2 Kalium .....	17
6. Konklusjoner.....	19
7. Vedlegg.....	20

## FIGURER

Figur 1. Ultramafisk bergart, Rødøy i Nordland. Typisk oksidert overflate.....	8
Figur 2. ICP-AES analyser av Mg i hovedbergarter (ppm) .....	9
Figur 3. Tre typer opptreden av sulfider i norsk natur. ....	11
Figur 4. NGUs databaser har både punktobservasjoner, kartlagte flater og anrikete områder for ulike metalliske malmer.....	13
Figur 5. Raudsandhaugen, Rana kommune. Selv fattig sulfid-disseminasjon i skifer kan gi stor effekt.....	14
Figur 6. S og MgO i prøver fra LITO-programmet som inneholder detekterbar S.....	15
Figur 7. ICP-AES analyser av P i grupper av hovedbergarter (gjennomsnittall i ppm) .....	17
Figur 8. K-innhold i hovedbergarter (gjennomsnitt i ppm).....	19

## TABELLER

Tabell 1. Ny liste for sosi-standard for bergartstyper - Hovedbergarter. De tre siste i tabellen (blå tekst) er vanskelig å relatere til kjemisk sammensetting, men også svært uvanlige bergarter i Norge. ....	7
Tabell 2. Ultramafiske hovedbergarter, deres mineralinnhold og foreslått kategori til det økologiske grunnkartet. ....	10

## VEDLEGG

Vedlegg 1. Fordeling av LITO-prøver brukt i rapporten. ....	20
Vedlegg 2. Basemetaller (i stor grad sulfidmineraliseringer) og jernlegeringsmetaller (en viss andel sulfidmineraliseringer), fra NGUs malmdatabase. ....	21
Vedlegg 3. ICP-AES analyser av fosforinnhold i LITO-prøver. Mørk farge = høyere konsentrasjon. Merk konsentrasjoner i Vestfold, Sørvest-landet, deler av Vestlandet og Lofoten. ....	22
Vedlegg 4. ICP-AES analyser av kalium fra LITO-prøver. Mørk farge har høyere konsentrasjon. ....	23

## 1. Innledning

I NiN defineres den lokale, komplekse miljøvariabelen «[Berggrunn med avvikende kjemisk sammensetning](#)» (BK) på følgende måte:

«Identifiserer bergarter med systematisk avvikende grunnstoffsammensetning i forhold til «normalen», og som gir opphav til avvikende artssammensetning.»

BK defineres i dag av fem trinn:

- Normal: Berggrunn som ikke faller innenfor noen av klassene av berggrunn med avvikende kjemisk sammensetning
- Ultramafisk: Ultramafisk berggrunn er en samlebetegnelse for dypbergarter med høyt innhold av mafiske mineraler, det vil si mineraler med høy tetthet og høyt tungmetallinnhold
- Jern-rikt: sur berggrunn rik på kisbergarter (sulfidmineraler), typisk med høyt innhold av jern
- Kobber-rikt: mindre sur berggrunn rik på kisbergarter (sulfidmineraler), typisk med høyt innhold av kobber
- Lava: lavamark med mer eller mindre intakte avsetninger av lava, tefra og slagg

I denne rapporten går vi igjennom disse trinnene og drøfter datasett og metoder for å kunne fremstille et landsdekkende kart. Unntak er lava(mark), som vi ikke tar opp i denne rapporten siden det ikke er relevant for fastlands-Norge.

I tillegg ser vi på noen andre tema som per i dag ikke er tatt opp som relevant for miljøvariabelen, men som kan danne fremtidige trinn.

## 2. Forutsetninger og metoder

Vi har oppfattet mandat og bakgrunn for metodikken på en slik måte at vi tar utgangspunkt i de nasjonale datasett som eksisterer og som kan gi en rimelig god geografisk treffsikkerhet, altså berggrunnsgeologiske kart i skala 1:250 000 og landsdekkende geokjemiske analyser. Våren 2020 vil også 1:50 000 berggrunnskart være klargjort for bedre brukervennlighet.

Geokjemiske analyser av bergarter kan utføres med forskjellige metoder og utstyr. I hovedsak analyseres på pulver fra knust stein. Dette pulveret kan limes sammen til tabletter, eller smeltes med flux til å forme glasstabletter (begge for XRF-analyser) eller løses i syre for spektrometrisk eller spektroskopisk analyse. For oppløst materiale bruker NGU primært [ICP-AES](#) ("Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy"). Med mindre det brukes syre eller syrekombinasjoner som oppløser hele bergarten, vil det reagerte materialet inneholde uløselige rester. Med andre ord, det som analyseres er det som løses opp. Derfor brukes metoden i økende grad for å analysere tilgjengelige næringsstoffer i landbruksjord. NGU

benytter 7N HNO<sub>3</sub> for partiell ekstraksjon for å studere kjemisk tilskudd fra berggrunn til jordsmonn, siden vi mener det gir et mer realistisk bilde av næringsstoffer i bergartene som er/blir tilgjengelig for planter enn analyser av hele bergarten. For prospektering og miljøundersøkelser basert på faste prøver benytter NGU-Lab rutinemessig autoklavekstraksjon etter Norsk Standard NS-4770. Det er slike analyser fra LITO-prosjektet vi har benyttet i denne rapporten.

Det finnes svakheter med å benytte denne metoden alene, i hovedsak:

- Kjemisk forvitring av bergarter og jordsmonndannelse er ikke bestemt av bergartsgruppens egenskaper alene. Noen bergarter innen en gruppe forvitrer lettere enn andre, for eksempel fordi de er mer skifrig og oppsprukket. En gråvakke forvitrer som regel langsommere enn en fyllitt med omtrent samme mineralogi og kjemisk sammensetning, fordi skifriheten til sistnevnte fører til en raskere tilgjengeliggjøring av næringsstoffer gjennom hurtigere mekanisk forvitring.
- Tid er også en vesentlig faktor. I Norge er forvitring og jordsmonndannelse over store arealer ungt i geologisk forstand, det vil si etter siste istid. Men innimellom finnes jordsmonn som har overlevd alle istidene og til og med kan spores tilbake mer enn 100 millioner år til tropiske forhold. Slike soner kan avvike mye fra det vi kan betegne som normalen i Norge, og bør behandles som avvikende i denne sammenheng.
- Tilsvarende kan vi si at både kort- og langtransporterte løsmasser i Norge i en del tilfeller vil gi en annen geokjemisk signatur enn berggrunnen under. Slike aspekter bør behandles i en senere fase som integrerer ulike geologiske data.

### 3. Datasett og analyser

En ny sosi-standard for berggrunnsdata etablerer en ny og forlenget liste over grunntyper av bergarter (hovedbergarter, Tabell 1). Alle flater i digitale datasett som NGU publiserer om berggrunn skal inneholde hovedbergartsnavn. Hittil er denne transformasjonen utført i skala 1:250 000. Det vil ta lengre tid med 1:50 000 skala, blant annet siden det finnes omtrent 8000 unike tegnforklaringer som må oversettes og harmoniseres.

I tilfeller der en geologisk enhet inneholder flere hovedbergarter, vil inntil tre kolonner i datasettet være sekundære (underordnede bergarter). Det vil gi et større rom for en mer detaljert analyse av slike blandingssoner. I tillegg kan flater sorteres også på alder, metamorf grad og ulike enheter av skyvedekker. Det vil gi et stort rom for mer detaljert undersortering av datasettene.

I denne rapporten har vi kun benyttet dominerende hovedbergart og sett på variasjon nasjonalt.

Tabell 1. Ny liste for sosi-standard for bergartstyper - Hovedbergarter. De tre siste i tabellen (blå tekst) er vanskelig å relatere til kjemisk sammensetting, men også svært uvanlige bergarter i Norge.

<b>Plutonsk bergart</b>	Hornblenditt	Vulkansk breksje	Glimmerskifer	Kvartsdiorittisk gneis
Alkalifeltspatgranitt	Charnockitt	Lapillituff	Granatglimmerskifer	Monzonittisk gneis
Granitt	Mangeritt	Tuff	Kalkfyllitt	Diorittisk gneis
Granodioritt	Enderbitt	<b>Sedimentær bergart</b>	Kalkglimmerskifer	Ortopyrosengneis
Tonalitt	Anortositt	Leirstein	Skarn	Migmatitt
Trondhemitt	Karbonatitt	Slamstein	Aluminiumsilikatskifer	Øyegneis
Alkalifeltspatsyenitt	Mafisk gang (Diabas, Doleritt)	Siltstein	Amfibolskifer	Båndgneis
Syenitt	Lamprofyr	Sandstein	Grafittskifer	Grønnskifer
Monzonitt	Pegmatitt/aplitt	Gråvakke	Klorittskifer	Grønnstein
Monzodioritt	<b>Vulkansk bergart</b>	Arkose	Marmor	Amfibolitt
Larvikitt	Felsisk vulkansk bergart	Konglomerat	Dolomittmarmor	Granatamfibolitt
Kvartsdioritt	Ryolitt	Kvartsarenitt	Metasandstein	Metagabbro
Dioritt	Ryodacitt	Sedimentær breksje	Metagråvakke	Eklogitt
Gabbro	Dacitt	Tillitt	Meta-arkose	Serpentinitt
Noritt	Intermediær vulkansk bergart	Diamiktitt	Kvartsitt	Kleberstein
Kvartsmonzonitt	Trakyt	Mergelstein	Kvartsskifer	Albititt/Skapolititt
Nefelinførende bergart	Rombeporfyr	Kalkstein	Metakiselstein	Hydrotermalkvarts
Peridotitt	Latitt	Dolomittstein	Glimmergneis	Mylonitt
Dunitt	Andesitt	Kiselstein	Kalksilikatbergart	<a href="#">Kataklasitt</a>
Harzburgitt	Mafisk vulkansk bergart	Tuffitt	Aluminiumsilikatgneis	<a href="#">Tektonisk breksje</a>
Wehrlitt	Basalt	Båndet jernmalm	Amfibolgneis	<a href="#">Nedslagsbreksje</a>
Lherzolitt	Mg-rik lava (Komatiitt, Boninit)	<b>Metamorf bergart</b>	Granittisk gneis	
Websteritt	Nefelinførende lava	Leirskifer	Granodiorittisk gneis	
Pyroksenitt	Pyroklastisk bergart	Fyllitt	Tonalittisk gneis	

Geokjemiske analyser er gjennomført på bergarter innsamlet under [NGUs LITO-program](#). Programmet har samlet inn totalt ca 3500 prøver fra hele fastlandet. Alle prøver er registrert og logget, og vi forventer at alle prøvene er analysert i løpet av 2020/21.

I en del av eksemplene under har vi brukt de geokjemiske analysene (ICP-AES) som hittil har vært tilgjengelig fra LITO-prosjektet (Vedlegg 1). Totalt 1973 analyser ble benyttet i utgangspunktet. Noen ble forkastet fordi bergartstype/gruppe er dårlig definert eller vanskelig å oversette til hovedbergarter, noen fordi de ga ekstreme verdier (outliers) og noen fordi XRF-analysene viste avvikende verdier i forhold til klassifiseringen som er gitt (feil bergartsklassifisering under logging av LITO-kjerner). Selv om disse data er noe mangelfulle for en del bergartstyper, mener vi at de gir et godt metodisk underlag, mens vi venter på ett komplett LITO datasett.

For enkelte av temaene under er ikke LITO-prøver og berggrunnskart tilstrekkelig. I slike tilfeller ser vi på andre NGU datasett (mineralressurser) og drøfter muligheter og begrensninger med disse datasettene.

## 4. Eksisterende BK NiN-klasser

### 4.1 Ultramafiske bergarter

NiN definisjon:

*Ultramafisk berggrunn er en samlebetegnelse for dypbergarter med høyt innhold av mafiske mineraler, det vil si mineraler med høy tetthet og høyt tungmetallinnhold*

Vi vil legge til at det dreier seg om bergarter som er svært rike på jern (Figur 1) og magnesium, der magnesium fungerer som en geokjemisk tilnærming. Ultramafiske bergarter er fattige på silisium.

Magnesium er et vanlig element i mange mineraler, men det er kun enkelte bergarter som har høye verdier (Figur 2):

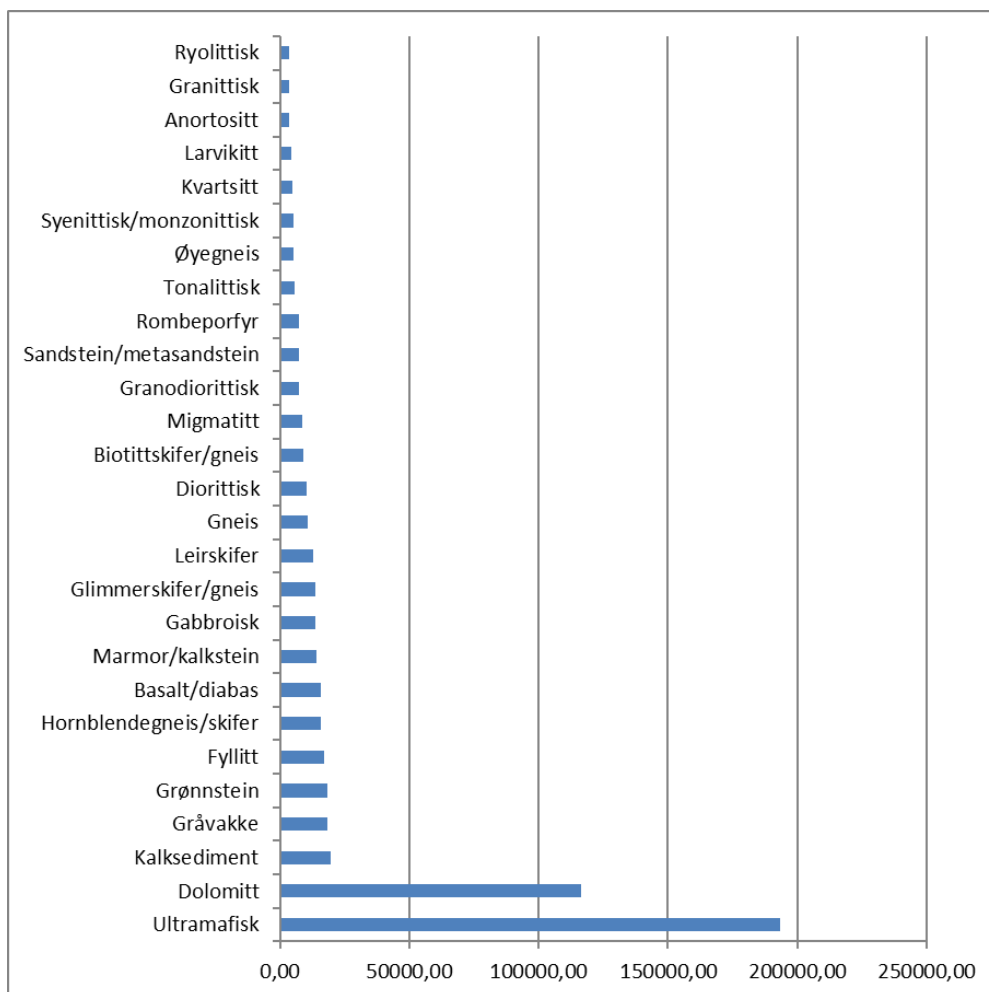
- Ultramafiske bergarter: peridotitt (dunitt, lherzolitt, harzburgitt), serpentinit, [Mg-rik lava](#) og kleberstein. Slike bergarter er vanlige i store deler av Norge.
- Dolomitt (dolostein og dolomittisk marmor). Vi finner slike bergarter i flere landsdeler.

ICP-AES analyser av LITO prøver viser dette bildet – dolomitt og ultramafiske bergarter er de vanligste høy-Mg bergartene i Norge, og de avviker vesentlig fra andre analyserte bergarter. Merk at LITO-analysene foreløpig ikke inneholder eksempler på Mg-rik lava.



Figur 1. Ultramafisk bergart, Rødøy i Nordland. Typisk oksidert overflate.





Figur 2. ICP-AES analyser av Mg i hovedbergarter (ppm)

I [NiN-beskrivelsen](#) er det ultramafiske bergarter som fremheves. Det er i slike områder avvikende artsmangfold er observert, blant annet fordi dolomitt også fører mye kalsium. Ut ifra observert artsmangfold vet vi altså ikke helt om det er magnesium, i kombinasjonen med andre elementer eller løselighet av mineraler (særlig olivin), som representerer det kjemiske avviket.

I beskrivelser av NiN natursystemer er det flere som har navnet «*olivin*», for eksempel «[olivinskog](#)». Hvorvidt dette knyttes til reelt olivininnhold i bergartene eller om det også forekommer på andre ultramafiske bergarter, er noe usikkert.

Hvis vi ser på hvordan slike bergarter forekommer på det geologiske kartet, finner vi et ganske mangfoldig bilde. I noen tilfeller har bergarter ut ifra detaljerte observasjoner fått betegnelser som «*dunitt*», altså olivinstein som faktisk fører olivin. I andre tilfeller kan betegnelsen «*dunitt*» beskrive en bergart som faktisk er «*serpentinitt*», som er omdannet fra en *dunitt* og som ikke inneholder «*frisk*» olivin. Videre, «*serpentinitt*» kan være brukt om bergarter som fører vesentlig serpentin, men kan ha rester av olivin.

Årsaken til slike inkonsistente forekomster på det geologiske kartet er dels historisk (for eksempel kom «*harzburgitt*» inn på norske geologiske kart etter at ofiolittiske enheter ble definert på 1970-tallet), forskjellig kompetanse hos geologer og skala i kartlegging, samt at nærmest alle ultramafiske bergarter i Norge helt eller delvis er

omdannet til serpentinit. Her ser vi altså en terminologi som kan variere i tråd med grad av omdanning. I tillegg har det vært hensiktsmessig i en del kartlegging å angi betegnelse på hva bergartene ble dannet som (eks. dunitt) og ikke hva de faktisk er i dag (serpentinit). Derfor er inndeling av ultramafiske bergarter på Leka i stor grad knyttet til bergartenes opprinnelse, selv om de i dag stort sett er serpentinitter.

En annen bergart som ofte blir «glemt» i dette selskapet er Mg-rik (ultramafisk) lava. Det er en samlebetegnelse for (pikritt), komatiitt og bonninit. Slike bergarter finner vi først og fremst i den eldste delen av Norges berggrunn i Finnmark (blant annet [komatiitt](#)). Selv om komatiitt per definisjon inneholder olivin, er de norske variantene i Finnmark såpass omdannet at olivin har gått tapt til fordel for andre mineraler.

I første versjon av kart overlevert fra NGU til Artsdatabanken er alle ultramafiske bergarter (med unntak av Mg-rik lava) oppgitt som en enkelt klasse. Vi mener det kan være verdifullt å få frem en parameter til, og det er olivininnhold, i tillegg til å inkludere Mg-rik lava.

Vi foreslår derfor som gitt i Tabell 2, tre kategorier: Ultramafisk bergart, olivinførende; ultramafisk bergart, ikke olivinførende; og ultramafisk bergart, uspesifisert.

**Tabell 2. Ultramafiske hovedbergarter, deres mineralinnhold og foreslått kategori til det økologiske grunnkartet.**

Hovedbergart	Inneholder	Foreslått kategori
Peridotitt	Generell betegnelse for ultramafisk bergart som inneholder olivin	Ultramafisk bergart, olivinførende
Dunitt	Olivinstein	Ultramafisk bergart, olivinførende
Harzburgitt	Olivin og ortopyroksen	Ultramafisk bergart, olivinførende
Wehrlitt	Olivin og klinopyroksen	Ultramafisk bergart, olivinførende
Lherzolitt	Olivin, klimopyroksen og ortopyroksen	Ultramafisk bergart, olivinførende
Websteritt	Orto- og klimopyroksen	Ultramafisk bergart, ikke olivinførende
Pyroksenitt	Pyroksen	Ultramafisk bergart, ikke olivinførende
Serpentinit	Serpentin og Fe-Mg karbonat	Ultramafisk bergart, uspesifisert
Kleberstein	Talk, Fe-Mg karbonat, (kloritt)	Ultramafisk bergart, ikke olivinførende
Mg-rik lava	Olivin, pyroksen, anortitt	Ultramafisk bergart, ikke olivinførende

## 4.2 Sulfider

I NiN BK defineres to trinn for sulfider:

*Jern-rikt: sur berggrunn rik på kisbergarter (sulfidmineraler), typisk med høyt innhold av jern*

*Kobber-rikt: mindre sur berggrunn rik på kisbergarter (sulfidmineraler), typisk med høyt innhold av kobber*

Vi ønsker å gå litt nærmere inn på disse definisjonene: gir trinnene et riktig bilde av virkeligheten. Er det samvariasjon mellom kobber-rikt og mindre sur berggrunn, og jern-rikt og sur? Hvilke data og datasett kan brukes for å fremstille kart?

Sulfider er en mineralgruppe som består av ett eller flere metaller i kombinasjon med svovel. De fleste kjenner til svovelkis (pyritt) med formel  $\text{FeS}_2$ . Eller magnetkis ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ) og kobberkis ( $\text{CuFeS}_2$ ). Det finnes videre en rekke andre sulfidmineraler som i større eller mindre grad danner sulfidmalmer. I Norge har vi i tillegg til «kobber-rikt og jern-rikt» også kismalmer som domineres av bly, sink, nikkel og/eller arsen.

Tilknyttet sulfidmineraler kan vi også ha en rekke omvandlingsprodukter fra slike, hvorav sulfatet jarositt ( $\text{KFe}^{3+}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ ) er ett eksempel.

Noen sulfider oksideres lettere enn andre, og gir følgelig et betydelig større bidrag til sure løsninger knyttet til forvitring og avrenning. Magnetkis og svovelkis, i nevnte rekkefølge, har trolig størst påvirkning. Disse jernsulfidene er også de mest vanlige.

Opptreden av sulfidmineraler i berggrunn er ikke nødvendigvis knyttet til spesifikke bergartstyper som kan modelleres i et nasjonalt datasett. Som vist i Figur 3, kan vi grovt sett dele forekomster av sulfider i tre:

1. Konsentrasjoner i sulfidmalmer
2. Disseminert i bergartsenheter
3. Antropogene konsentrasjoner (gruveavgang)

Med unntak av alunskifer, vil ingen av disse entydig korrelere med bergarter på det geologiske kartet.



Figur 3. Tre typer opptreden av sulfider i norsk natur.

**Den første gruppen** (konsentrasjoner av sulfidmalmer) er i første rekke mineraliserte soner innenfor:

- Vulkanske bergarter, både mafiske og felsiske
- Enkelte sedimentære bergarter
- Mafiske og ultramafiske magmatiske bergarter
- (Metamorfe varianter av disse bergartene)

De fleste slike soner er knyttet til forekomster av basemetaller (kobber, sink, bly), jernsulfider (svovelkis og magnetkis) og enkelte jernlegeringsmetaller (nikkel, kobolt) samt et fåtall til edelmetaller. Disse finnes der enkelte typer bergarter er påvirket av for eksempel hydrotermale prosesser som har oppkonsentrert sulfider i begrensede soner. Et slikt eksempel er hydrotermale prosesser på havbunnen langs spredningsrygger og i vulkanske øybuer (VMS-forekomster). Slike prosesser foregår i dag langs den Midtatlantiske Rygg. I norsk berggrunn er det imidlertid forekomster fra tidligere tiders havbunnskorpe som dannet grunnlag for en rekke gruver.

Selv om grønnstein ofte er vert for slike mineraliseringer, er det ikke mulig å generalisere dem til «all grønnstein». Vi kan altså ikke benytte det geologiske kartet systematisk for å modellere denne variasjonen i norsk berggrunn.

Det beste datasettet vi har for å fange opp slike mineraliseringer er NGUs malmdatabase (Vedlegg 2) der punktobservasjoner av ulike typer sulfidmalmer danner regionale konsentrasjoner. Det finnes også et økende antall flater som viser kartlagte forekomster og anrikete områder (Figur 4). Det er mulig å trekke en rekke detaljer fra datatabellene, inklusive analyser og detaljert mineralogi.

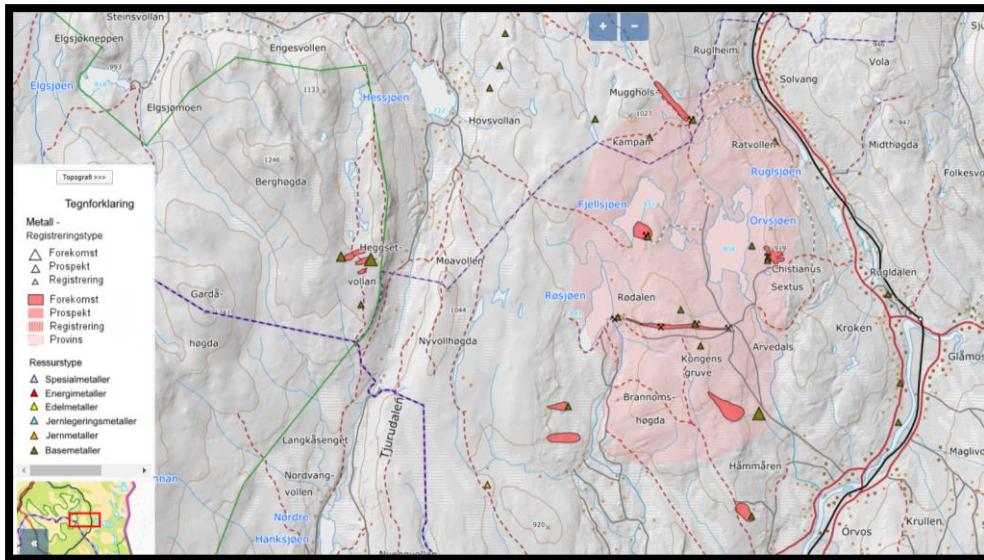
Vi foreslår at det etableres et nasjonalt datasett «sulfidanrikning» med uttrekk av punkt fra NGUs malmdatabase. Det vil også være mulig å bruke kartlagte arealer med mineraliseringer og/eller generere arealer knyttet til punktene, for eksempel ved å slå en sirkel med definert diameter rundt enkeltpunkt og binde sammen tettsittende punkt i større polygoner.

Vi er noe mer usikre på om det er lurt eller mulig å definere trinnene i NiN nærmere gjennom kartinnsyn; selv om det finnes «rene» jernsulfidforekomster i malmdatabasen (svovelkis var en ettertraktet malm på slutten av 1800-tallet) er som regel jern- og andre metallsulfider så intimt sammenvevd at det å sette en grense mellom det ene og det andre vil være en meget vanskelig eller umulig oppgave, og anbefales ikke.

Et annet spørsmål er hvorvidt det vil være mulig å koble sulfidkonsentrasjoner mot henholdsvis «sure» og «basiske» bergarter via berggrunnskart. Som nevnt over, er det ikke direkte korrelasjon mellom bergartsnavn og sulfidinnhold, selv om sulfider «liker seg» bedre i noen bergarter enn andre. Selv om det praktisk er mulig å gjøre koblinger mellom sulfidmineraliseringer og de bergarter de opptrer i på 1:50 000 eller 1:250 000 skala, og for eksempel relatere punkt til kalkgradient, er vi litt i tvil om nytteverdien og om det faktisk gir et korrekt bilde.

Ett problem er at mineraliseringene kan opptre i så smale bergartsenheter at de ikke fremkommer på de geologiske kartene, for eksempel basiske ganger og årer inne i en sur bergart. Et annet problem er mineraliseringer som opptrer langs forkastninger og skjærsoner, eller har blitt dannet i kontakten mellom ulike bergarter. Vi foreslår at

disse problemstillingene drøftes innenfor direktoratgruppe for økologiske grunnkart før det foretas beslutninger om hvilke data som skal benyttes og hvordan.



Figur 4. NGUs databaser har både punktobservasjoner, kartlagte flater og anrikete områder for ulike metalliske malmer.

**Den andre gruppen** sulfider har vi per i dag mye mindre kunnskap om – Disseminerte sulfider i bergartsenheter. Dette er sulfider som er mer jevnt fordelt i enkelte bergartsenheter, og er knyttet til ulike geologiske prosesser. Noen steder kan slike disseminerte soner ha betydelig innvirkning på biologisk mangfold (Figur 5). Vi finner slike disseminerte sulfider i magmatiske berger, men de kan også være forbundet med store sedimentbassenger der det har forekommet reduserende forhold gjennom vår geologiske historie. For eksempel er ordoviciske sandsteiner (gråvakter) og fyllitter i Trøndelag forbundet med ganske jevnt fordelt svovelkis (pyritt). Dette utgjør ganske store deler av Trøndelags geologi. I disse hovedbergartene, i enheter i Trøndelag, vil vi altså finne svovelkis. Det trenger ikke være riktig for tilsvarende hovedbergarter andre steder.

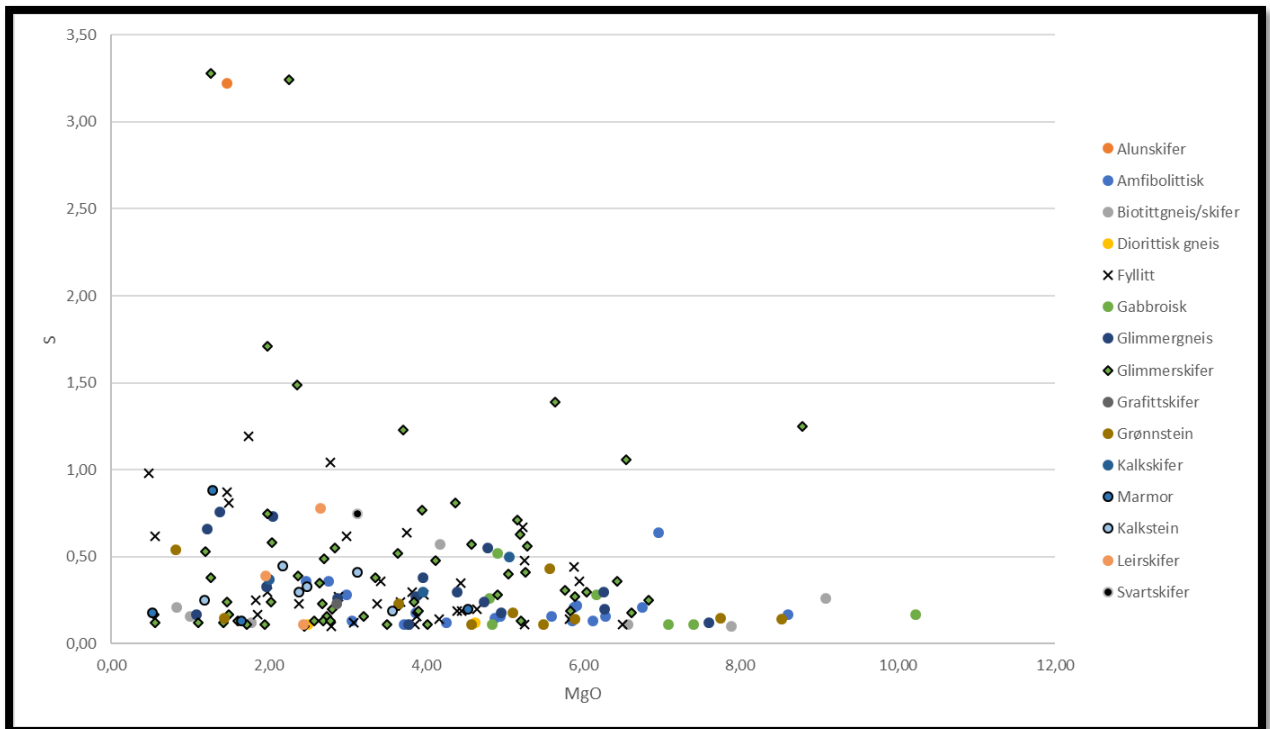


Figur 5. Raudsandhaugen, Rana kommune. Selv fattig sulfid-disseminasjon i skifer kan gi stor effekt.

Ved økende metamorfose vil gråvakker med svovelkis omdannes til paragneis (gneis dannet fra sedimentære bergarter) med magnetkis, slik vi ser på deler av Sørlandet og Østlandet. Men også her er det slik at vi kan ikke benytte det geologiske kartet blindt; for det første er sulfidinnholdet en funksjon av hvordan en paragneis er dannet, for det andre er begrepet «paragneis» ikke konsekvent benyttet i norsk geologi, siden det viser til gneisens opprinnelse og ikke hvordan den fremstår i dag. Noen geologer kan ha benyttet andre termer, for eksempel «glimmergneis». For det tredje er ikke «paragneis» en term som benyttes eller er ønskelig i forhold til ny sosi-standard nettopp fordi den går på bergartenes genetiske opphav og ikke hva de er i dag.

Det vi *kan* si, er at slike disseminerte sulfider i vesentlig grad er svovelkis og/eller magnetkis. Selv om slikt lavt kisinnhold i bergarter har vært lite i fokus før, så er det en økende oppmerksomhet rundt det. Særlig er dette knyttet til uttak, bruk og deponering av masser fra utbygging. Det har vært flere eksempler på miljøfarlig avrenning fra slike sprengte masser, selv om innholdet av kis er lavt. For byggeråstoffer opereres med [grenseverdier](#) for svovel på 0,1% hvis det er magnetkis, og 1% for svovelkis.

I hvilken grad kisførende bergarter har en effekt i forhold til naturmangfold utover det bergartstypen i seg selv skulle ha, er noe uklart og lite undersøkt. En kisførende gråvakke har for eksempel et visst kalkinnhold og kan følgelig ha «selvbufrende» egenskaper. På den andre siden kan en «surere» gneis med lavt innhold av kis forsterke allerede dårlige bufferegenskaper. Samme sulfidinnhold kan altså ha ulike effekter i ulike bergarter. Her kan det være mulig å benytte LITO-analyser (Figur 6) kombinert med mer spesifikk forståelse av mineralogi i ulike geologiske enheter, og gradvis bygge opp et datasett for «svakt forhøyet sulfidinnhold».



Figur 6. S og MgO i prøver fra LITO-programmet som inneholder detekterbar S.

**Den tredje gruppen** sulfider er antropogene anrikninger. Dette inkluderer i første rekke avgang fra historiske sulfidgruver. De fleste norske sulfidgruver ble utilstrekkelig utnyttet gjennom store deler av driftsperioden, slik at haugene med avgang har høyt sulfidinnhold. Det har ført til store miljøpåvirkninger rundt en rekke historiske gruveanlegg. En rapport fra 2010<sup>1</sup> gir eksempler på slike områder. I regi av Direktoratet for Mineralforvaltning (DMF) er det utført detaljerte undersøkelser i noen gruveområder<sup>2</sup>

Det finnes per i dag ikke harmoniserte, nasjonale datasett for gruveavgang. Arbeidet med å få en slik oversikt er påbegynt, blant annet gjennom EU-prosjektet [ProSUM](#). NGU har levert punktdata over rundt 130 forekomster rundt om i Norge.

Mange av avgangshaugene er også avmerket på kartverket sine produkter (industriområde eller steintipp), og ved å kombinere ulike typer data er det mulig å etablere et landsdekkende datasett «antropogen sulfidanrikning». Det krever en del utviklingsarbeid og samtolkning av datasett.

**I tillegg til de tre gruppene** bør vurderes om alunskifer skal være en egen gruppe; det er uproblematisk å fremstille alunskifer som eget karttema.

<sup>1</sup> [Bergverk og avgangsdeponering](#): status, miljøutfordringer og kunnskapsbehov. Klima- og forurensningsdirektoratet, TA 2715, 2010

<sup>2</sup> [For eksempel, Løkken gruveområde – Tiltaksplan](#), 2013

## 5. Andre mulige tema

### 5.1 Fosfor

I norsk berggrunn er det først og fremst fosfatmineralet apatitt som gir naturlig fosfortilskudd til grunnen (Vedlegg 3). Vi vet ganske lite om hvor mye det tilskuddet er og hvilken effekt det har. Det har vært mer forskningsmessig fokus på overflod av tilført fosfor gjennom gjødsling og for (eksempel «[Fosfor må brukes smartere](#)»).

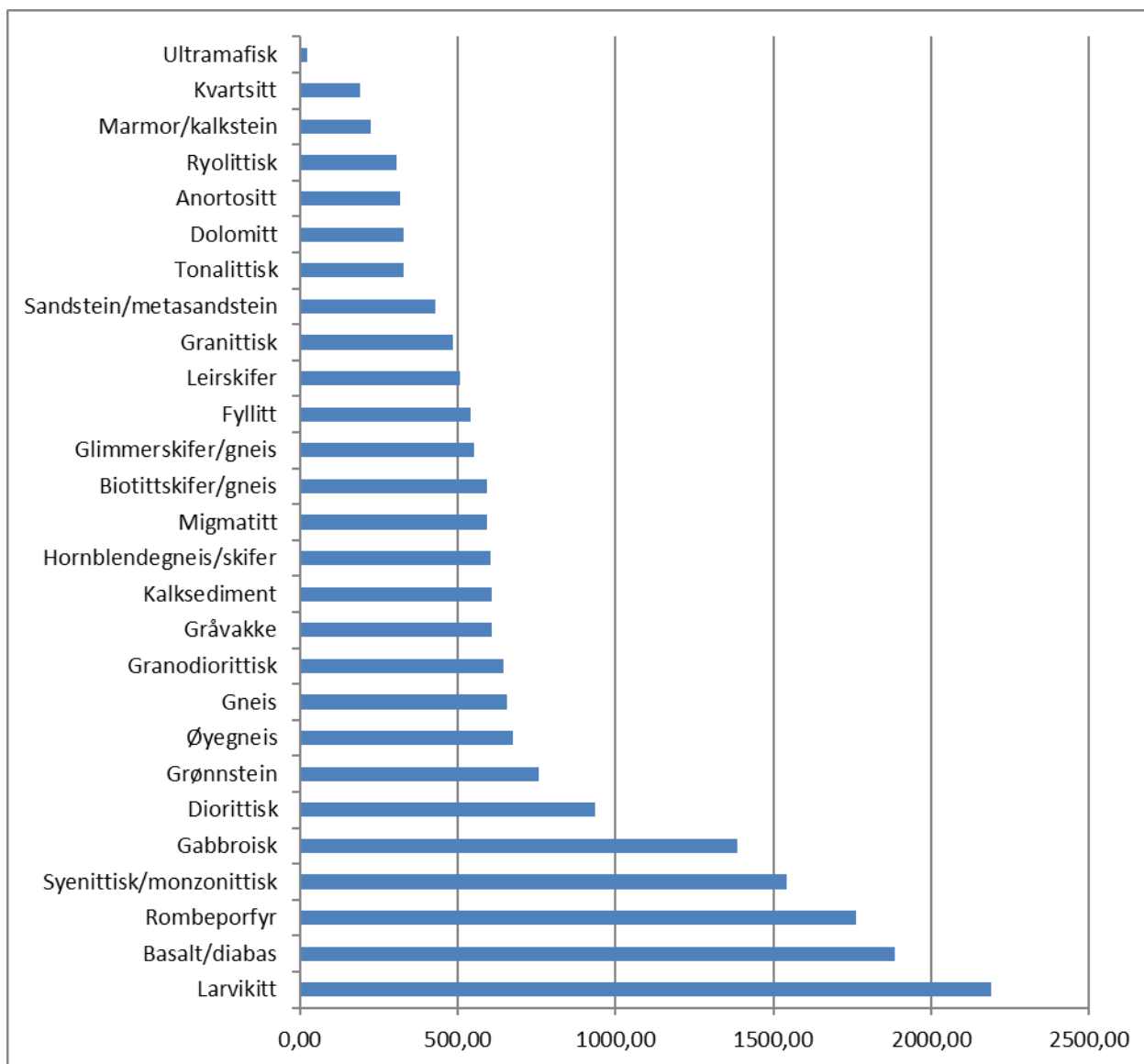
Fra ICP-AES-analysene ser vi at gjennomsnittet av ulike hovedbergarter gir en grov tredeling (Figur 7): lav for såkalte sure bergarter, noe høyere for en stor gruppe av intermediære til metamorfe bergarter, og høy for en del dypbergarter og vulkanske bergarter (gabbro, basalt, larvikitt, syenitt/monzonitt og rombeporfyr). Merk at vi hittil ikke har analyser for bergarten karbonatitt, som kan være sterkt anrikt av apatitt.

Samtidig vet vi fra undersøkelser av apatittforekomster ved NGU at variasjonen kan være stor innenfor hovedbergartene med høyt fosforinnhold i Figur 7. Siden apatitt i lang tid har vært et viktig mål i NGUs ressurskartlegging, har vi ganske god kontroll over hvilke geologiske provinser det finnes anrikninger.

Vi foreslår følgende metode for fremstilling av «fosforanrikt berggrunn»:

1. utvalg av flater med gabbroiske, alkaline og monzonittiske bergarter, samt basalt, diabas, rombeporfyr, karbonatitt, larvikitt og bergarter spesielt rike på jernoksid.
2. Utvalg av disse flater som er innenfor kjente områder for forhøyet apatittinnhold (forekomstområder)
3. Kontrollere og kalibrere valgte flater mot kjemiske analyser fra disse områdene
4. = berggrunn med avvikende kjemisk sammensetning - fosfor





Figur 7. ICP-AES analyser av P i grupper av hovedbergarter (gjennomsnittall i ppm)

## 5.2 Kalium

Kalium er et viktig næringsstoff, og det finnes flere studier som viser til naturlige, mineralske kilder som alternativ til gjødsling. De viktigste «vanlige» mineralene som fører kalium er kalifeltspat, biotitt, lys glimmer (muskovitt), hornblende og nefelin. I mengde er kalium størst i kalifeltspat, som er et vanlig mineral i for eksempel granittiske bergarter. Samtidig er kalifeltspat svært lite løselig. Manning (2010)<sup>3</sup> påpeker likevel at jordsmonn i granittiske områder kan gi viktige K-tilskudd som mineraljord, særlig når vi snakker om dypforvittringsprofiler i tropiske/subtropiske områder. Det er ikke særlig relevant i våre breddegrader, med unntak av anomale, mesozoiske forvittringssoner.

<sup>3</sup> Manning, D. A. C. 2010. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30(2), DO - 10.1051/agro/2009023, JO - <http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009023>

I Norge har det foregått en del forskning i forhold til bruk av steinmel med forhøyet kalium i økologisk landbruk. Gautneb og Bakken (1995)<sup>4</sup> utførte vekstforsøk med steinmel over flere sesonger, og konkluderte med at mineralene nefelin og biotitt var dem som ga merkbar effekt, i nevnte rekkefølge. Selv om innholdet av kalium er lavere enn i kalifeltspat, er det løseligheten til disse mineralene som gir effekt.

ICP-AES analyser av hovedbergarter (Figur 8) (Vedlegg 4) viser en gradvis økning fra nesten intet og oppover for hovedbergarter. Trenden i analysene kan antyde en gradient i stedet for avvikende kjemisk sammensetning, men vi vil oppfordre til litt forsiktighet på dette området.

I toppen av skalaen ligger typisk biotittførende bergarter; biotittskifer, biotittgneis, glimmerskifer, glimmergneis, migmatitt og hornblendeskifer og hornblendegneis. Det er typisk at skifer- og gneistyper grupperer høyere enn magmatiske bergarter som inneholder biotitt (som for eksempel tonalitt), siden skifrige og båndete bergarter er mer mottakelig for kjemisk forvitring enn massive. I Vedlegg 4 kan vi se en tilsynelatende tilfeldig fordeling av K, stort sett fordelt i biotittrike soner i metamorfe bergarter av forskjellig slag. Merk at ingen nefelinsyenitter er med i dette datasettet.

I diagrammet er det vanskelig å se en effekt av kalifeltspat, siden granitt havner lavere på skalaen enn mer kalifeltspatfattige dypbergarter slik som gabbro.

Hvis vi forholder oss til at det i første rekke er nefelin og deretter biotitt som her gir et bidrag, er det teoretisk mulig å fremstille et datasett for høy-kalium bidrag fra berggrunnen. Imidlertid vil vi her slite med unøyaktige tegnforklaringer; nefelinbergarter er godt avmerket på det geologiske kartet, men det er verre med biotittrike. Noen ganger er biotitt spesifisert, andre ganger er det skjult i «glimmer».

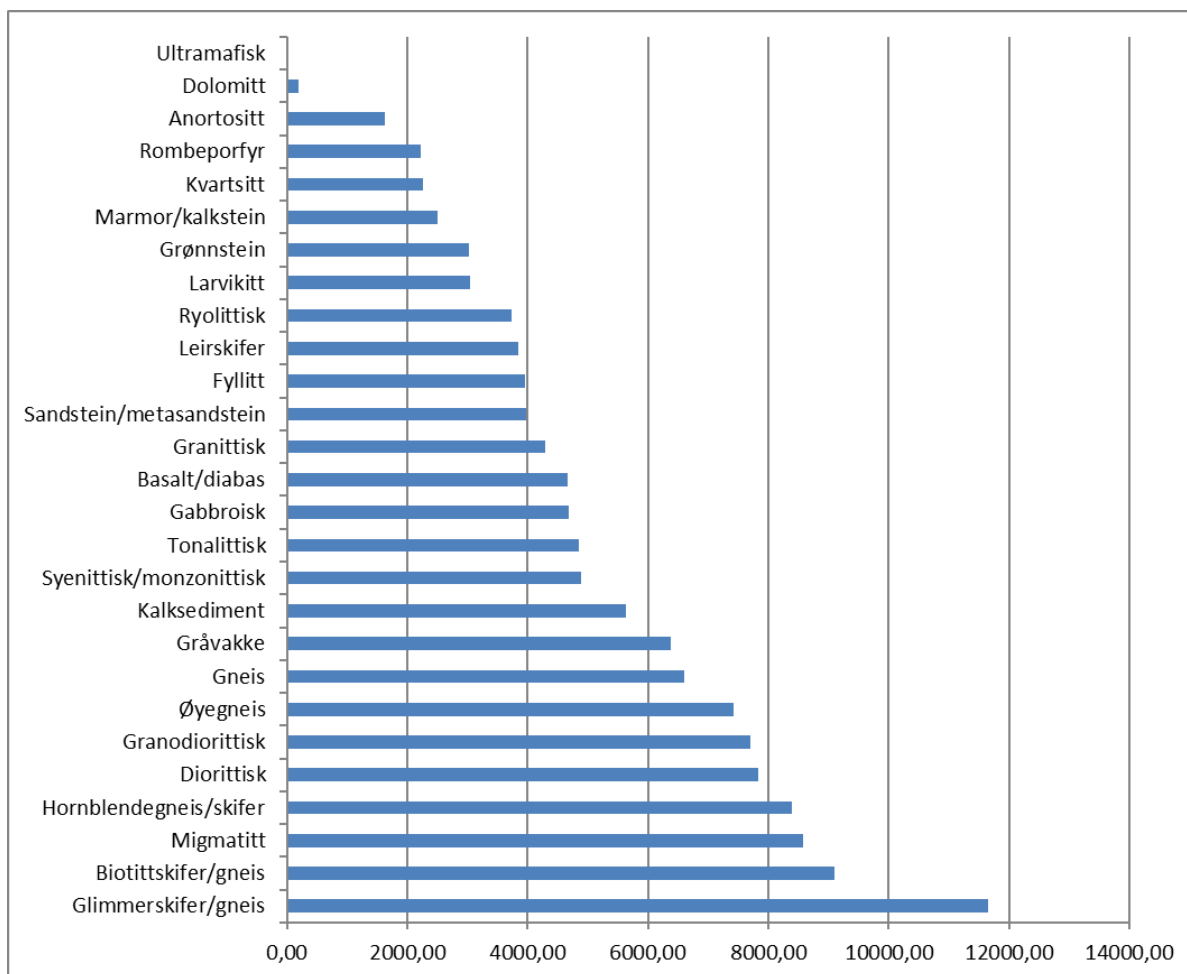
En versjon 1.0 for kaliumtilskudd vil derfor måtte starte med de områder der vi har tydelig informasjon og analyser, og bygges gradvis ut etter hvert.

Vi vil foreslå følgende metode:

- Alle nefelinførende bergarter antas å tilhøre høy-K berggrunn. Disse er kartlagt og utgjør små områder i Norge.
- Biotittrike bergarter antas å tilhøre høy-K berggrunn. *Hvor* biotittrik er imidlertid ikke så lett å fastsette. En nærmere gjennomgang av tegnforklaringer og analyser fra et fullført LITO datasett vil være nødvendig for å vurdere grenseoppgang mellom biotittførende bergarter av ulik karakter og eventuelle minimumsverdier er nødvendig.

---

<sup>4</sup> Gautneb, H. og Bakken, A. K. 1995. Crushed rocks, minerals and mine tailings as sources of potassium in agriculture, NGU Bulletin 427, 119-122



Figur 8. K-innhold i hovedbergarter (gjennomsnitt i ppm)

## 6. Konklusjoner

Vi har gjennomgått datagrunnlag for miljøvariabelen «Berggrunn med avvikende kjemisk sammensetning» (BK) slik den fremstår i dag.

Trinn 2 (ultramafisk) er uproblematisk og kan trekkes ut fra geologiske kart i 1:250 000 skala (landsdekkende) og 1:50 000 (ca 65%). Vi foreslår i tillegg å ha mulighet til å sortere på olivin innenfor de ultramafiske bergartene.

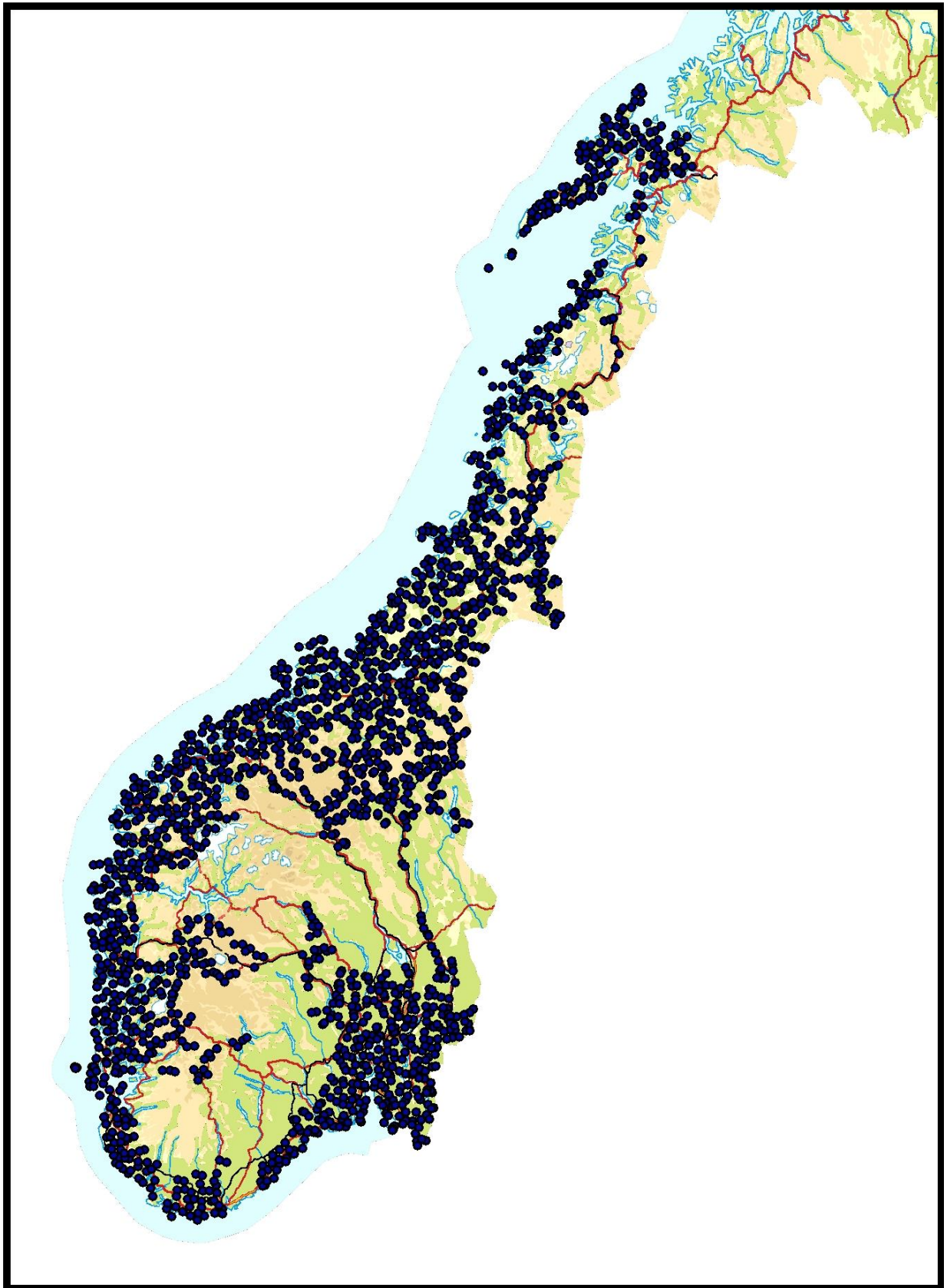
Trinn 3 og 4 foreslås endret til «Sulfidrikning». I tillegg kan vi vurdere å bruke «Svakt forhøyet sulfidinnhold» og «Antropogen sulfidrikning». Vi lanserer også muligheten til å etablere alunskifer som egen kategori.

Andre tema som kan være aktuelle innenfor miljøvariabelen er fosforinnhold og kaliuminnhold. Førstnevnte er ganske uproblematisk, og det er mulig å etablere nasjonalt datasett basert på analyser og apatitt som viktigste mineral. Kaliuminnhold (bidrag fra nefelin og biotitt) krever litt mer tilpasning og utprøving, særlig i forhold til biotittinnhold.

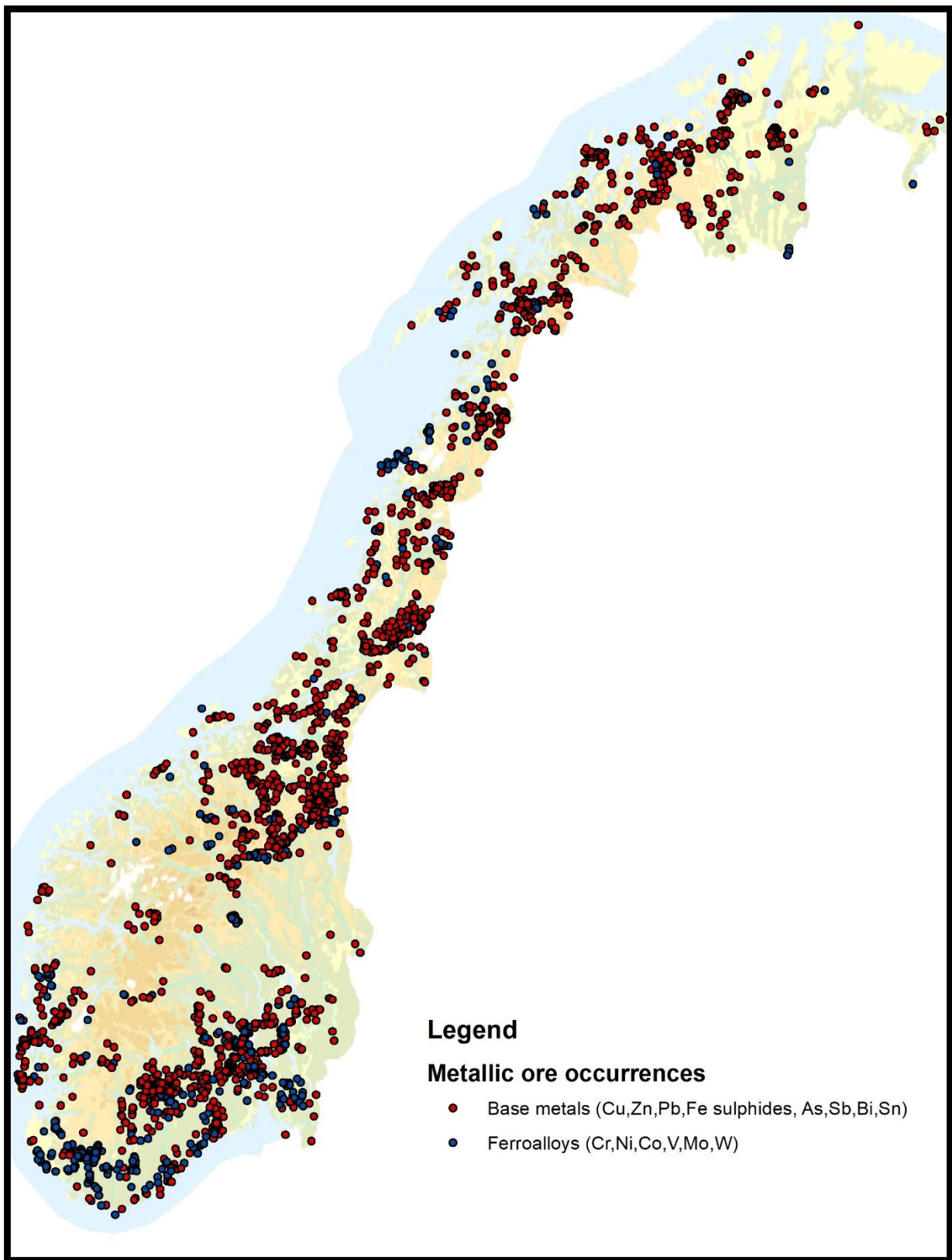
Vi foreslår at konklusjonene i denne rapporten drøftes i relevante grupper innenfor økologisk grunnkart før videre beslutninger tas.

## 7. Vedlegg

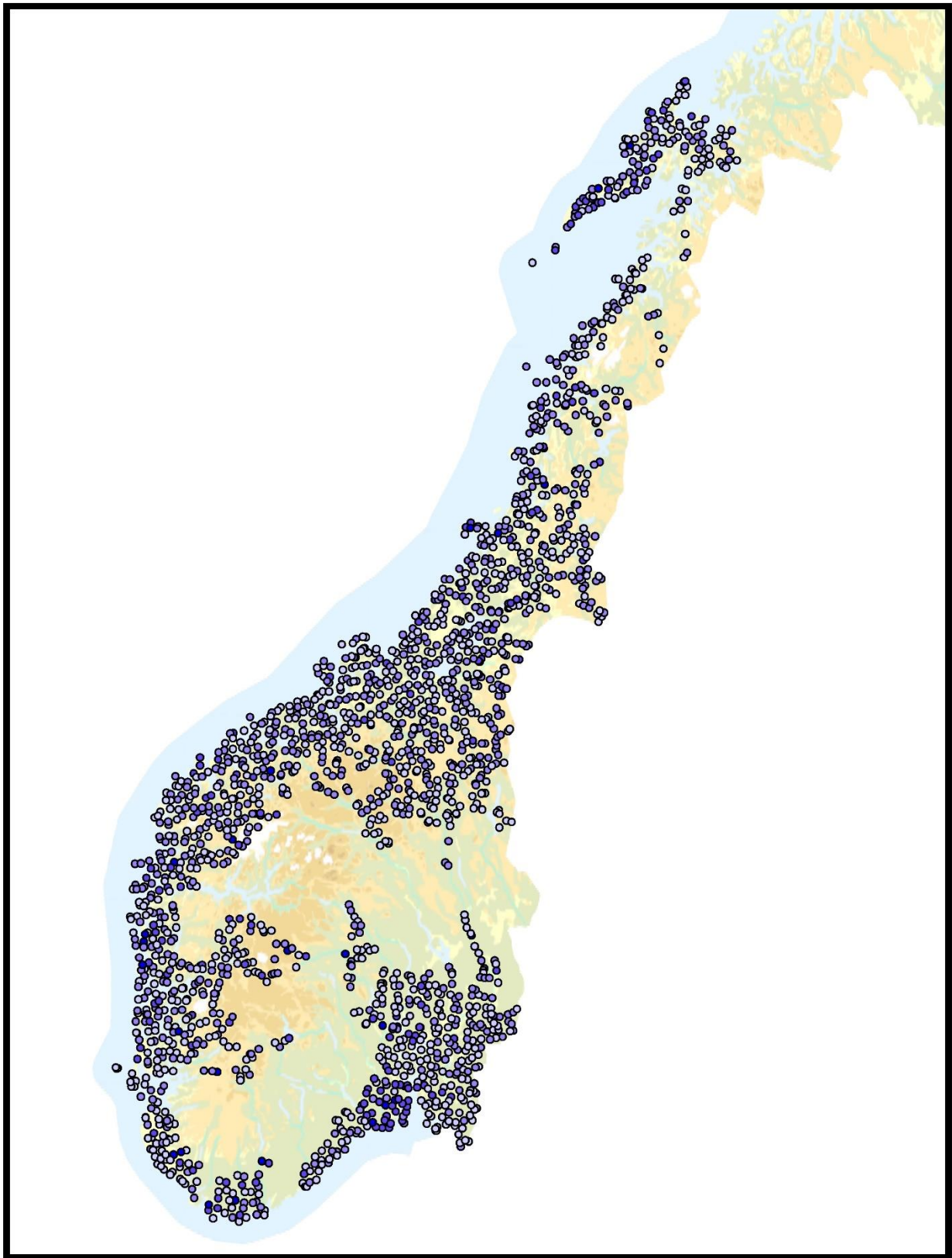
Under følger noen karteksempler på fordeling av analyser



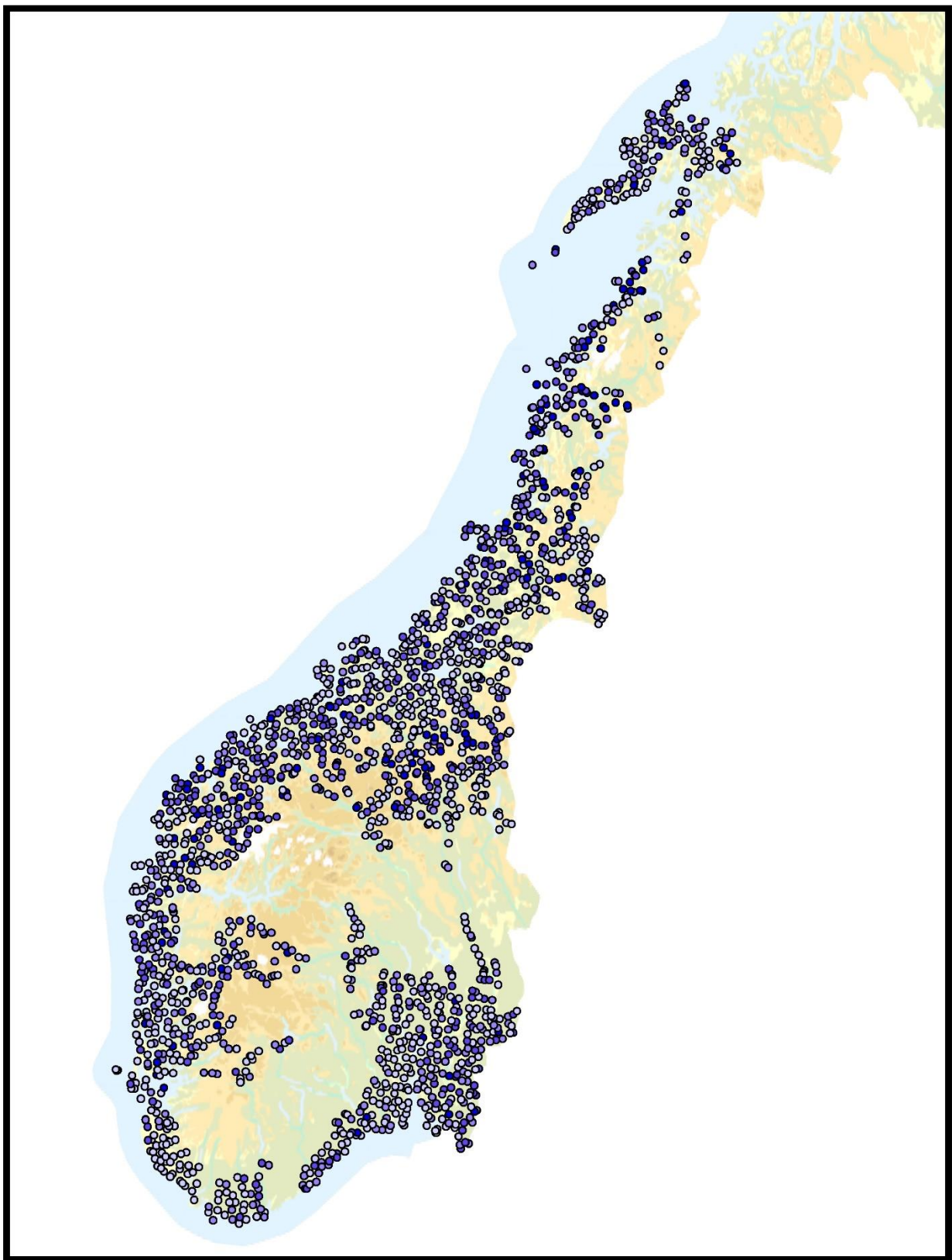
Vedlegg 1. Fordeling av LITO-prøver brukt i rapporten.



Vedlegg 2. Basemetaller (i stor grad sulfidmineraliseringer) og jernlegeringsmetaller (en viss andel sulfidmineraliseringer), fra NGUs malmdatabase.



Vedlegg 3. ICP-AES analyser av fosforinnhold i LITO-prøver. Mørk farge = høyere konsentrasjon. Merk konsentrasjoner i Vestfold, Sørvest-landet, deler av Vestlandet og Lofoten.



Vedlegg 4. ICP-AES analyser av kalium fra LITO-prøver. Mørk farge har høyere konsentrasjon.



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)