



# KULFORSKNING PÅ GEUS

Henrik Ingermann Petersen

*Kul har stor betydning som brændsel i kraftværker og som en mulig "kildebjergart" til gas og olie. Forskning i kuls forbrændingstekniske egenskaber og kullags geologi har således, foruden den videnskabelige, stor samfundsmæssig betydning.*

## Hvad er kul og hvordan dannes det ?

"Sump" står der ofte ud for kullag og kulholdige lag på sedimentologiske profiler. Dette er ikke nødvendigvis forkert, men absolut en generalisering på linie med at skrive "flod", hvor der forekommer aflejring afsat af strømmende vand.

Et kullag består hovedsageligt af organisk materiale, og kullaget repræsenterer derfor et enestående aflejringstilstand, hvor tilførslen af mineralisk materiale (eksempelvis sand og ler) var minimal. Det organiske materiale hidrører hovedsageligt fra landplanter, som groede på stedet, og kullaget blev derfor oprindeligt afsat som et tørvelag. Et kullag vidner altså om et tørvedannende miljø og dermed om en væsentlig ændring af aflejringstilstandene i forhold til de betingelser, hvorunder de underliggende ler-/sandlag blev afsat. Bevaring og opkoncentrering af det omdannede plantemateriale blev begunstiget af en lang række særlige faktorer i det tørvedannende miljø. Samtidig viser selv et relativt tyndt kullag, at der herskede stabile aflejringstilstande over en betragtelig tidsperiode, idet tørvedannelse er en langsom og "følsom" proces.

Tørvedannende miljøer er meget forskellige, og derfor vil detaljerede kulpetrografiske analyser af kullag (undersøgelser af polerede kulprøver i reflekteret lys under mikroskopet) og bestemmelse af det oprindelige tørvedannende miljø være med til at øge vor viden om kulførende lagseriers geologiske historie.

## Kulpetrografi

Et kullags petrografiske sammensætning afhænger af vegetationen, næringsforholdene og iltforholdene i det oprindelige tørvedannende miljø, samt af den geologiske tidsperiode, hvor det blev dannet. En analyse af kullagets organiske enkeltbestanddele og af blandinger mellem de forskellige bestanddele giver derfor vigtige oplysninger om aflejringstilstandene. Endvidere kan omdannelsesgraden af det organiske materiale bestemmes.

Den proces, som fører til, at tørv gradvis omdannes til kul, kaldes "indkulning". Omdannelsen sker som følge af en tiltagende varmpåvirkning på grund af begravelse og indsykning i jordskorpen. Indkulingsprocessen giver ophav til kulrækken: tørv → brunkul → stenkul → anthracit.

Det organiske materiales omdannelsesgrad, kaldet "rang", bestemmes ved hjælp af reflektionsmålinger på en bestemt bestanddel i kullene (huminit/vitrinit). Denne bestanddel har nemlig den egenskab, at den øger sin evne til at reflektere indfaldende lys med stigende indkulingsgrad. Målingerne foretages under mikroskop på en poleret kulprøve. Metoden er siden overtaget af olieindustrien, hvor man måler på den samme komponent i partikulært organisk materiale, kaldet "kerogen", i sedimentære bjergarter.

Det kulfyrede  
Avedørekraftværk ved København

## Kullenes organiske bestanddele

På samme måde som uorganiske bjergarter er sammensat af mineraler, består kul af forskellige organiske komponenter, der som fælles benævnelse hedder "maceraler". Maceralerne danner altså bjergarten kul.

Maceralerne kan inddeles i tre grupper:

### • Huminit/vitrinit maceralgruppen

Denne gruppe omfatter maceraler, som hovedsagelig stammer fra bakteriel omdannelse af vædmaterialer under begrænset ilttilførsel. I brunkulsstadiet taler man om huminit, der i en polerprøve under mikroskopet og i reflekteret lys ses som grå partikler (Figur 1). Fra stenkulsstadiet taler man om "vitrinit" i stedet for huminit, idet den tiltagende indkulsning medfører en række processer, der resulterer i mere ensartet organisk materiale. Vitrinitgruppen indeholder derfor ikke så mange forskellige maceraler som huminitgruppen.

Figur 1

Gråreflekterende

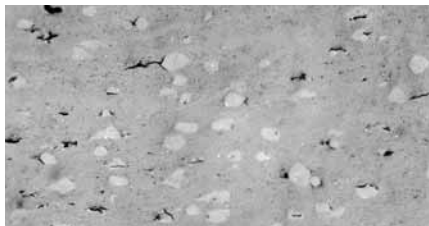
huminit fra en brunkul.

De ovale og noget mere lyse

partikler kaldes corpohuminit,

mens det øvrige materiale

kaldes euulminit.



### • Liptinit maceralgruppen

En række hydrogen-rige plantedele, som f.eks. sporer og pollen, cuticler fra blade m.v. og alger, er omfattet af denne gruppe. Disse maceraler er stort set sorte i reflekteret lys, men under ultraviolet lys vil de fluorescere i gul-orange farver (Figur 2).



Figur 2

Gul-orange fluorescerende sporinit, cutinit og resin i en vitrinitgrundmasse (mørkt).

### • Inertinit maceralgruppen

Den tredje hovedgruppe, inertinitgruppen, består af det mest kulstofholdige organiske materiale. Inertinit fremtræder mere eller mindre hvidt i reflekteret lys (Figur 3), og kemisk har inertinit en højere omdannelsesgrad end maceralerne i de to andre maceralgrupper. Inertinit maceralerne dannes ved atmosfærisk iltning af plantemateriale eller under tørvebrænde. Inertinitgruppens maceraler kan derfor i visse tilfælde sammenlignes med trækul.



Figur 3

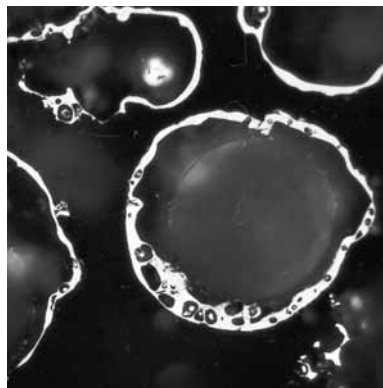
Det hvide materiale er inertinit. Det er i dette tilfælde overvejende tale om fusinit, som er karakteriseret ved cellevævsstruktur. Fusinit repræsenterer da også fossilt trækul, altså afbrændt væd.

### Praktisk anvendelse af kulpetrografi

Kulpetrografi anvendes i praksis til analyser af bl.a. kraftværkskul. Danmark er storimportør af kul fra så geografisk spredte områder som Sydamerika, Nordamerika, Sydafrika og Australien. Og med kuls komplekse petrografiske sammensætning *in mente*, er det derfor forståeligt, at de danske elkraftværker af miljømæssige, økonomiske, energimæssige og rent forbrændingstekniske grunde er engageret i kul-forskning.

Den store geografiske spredning af eksportlandene betyder, at de importerede kul aldersmæssigt, dannelsesmæssigt og petrografisk kan være meget forskellige; og ikke overraskende har kullene også forskellige forbrændingsegenskaber. Det er vigtigt at have et indgående kendskab til, hvordan kullene reagerer (forbrænder) i en kedel for at opnå optimal udbrænding, og derved udnytte kullene maksimalt og producere den størst mulige mængde energi med den mindst mulige mængde uforbrændt kulstof i flyveasken.

GEUS's viden om kuls sammensætning og dannelse samt ekspertise inden for karakterisering af kul har ind-draget instituttet i en forskning, der sigter mod en praktisk anvendelse af kulpetrologien, idet man prøver at finde hurtige og effektive metoder til beskrivelse af kuls forbrændingsegenskaber. Det kræver, at man mere detaljeret får klarlagt, hvordan den petrografiske sammensætning af kul og organisk geokemiske faktorer forholder sig til forbrændingen.



Figur 4: Restkoks dannet i kulstøvsfyret kedel.

Disse problemstillinger har endvidere medført, at GEUS har involveret sig kraftigt i karakteriseringen af restkoks (Figur 4). Restkoks er de partikler, som dannes i kraftværkskedlerne, når kullene har afgasset. Studier af restkokspartiklerne er vigtige, idet deres morfologi (udseende og form) hænger sammen med udgangskullens sammensætning, og morfologien antages at være bestemmende for reaktiviteten i det sene udbrændingsforløb.

For at udrede disse komplicerede forhold udfører GEUS kulforskningsprojekter i samarbejde med nationale og internationale partnere.

En petrografisk analyse til dette formål kræver, at man anskuer kullene ud fra andre kriterier, end det er tilfældet, når kul-lagets oprindelige aflejningsmiljø skal tolkes.

Maceralgrupperne kan inddeles efter varierende reaktivitet eller brændbarhed; således anser man de hydrogenrige komponenter fra liptinitgruppen for, alt andet lige, at være mest

reaktive, mens inertinitgruppens maceraler anses for at være de mindst reaktive. Vitrinitgruppen placerer sig midt imellem. Dette er naturligvis en simplificering, idet rangen (brunkul, stenkul), maceralassociationerne og indholdet af uorganisk materiale også har betydning.

Kompleksiteten kan anskueliggøres ved at sammenligne kul fra den sydlige halvkugle, de såkaldte Gondwanakul, med kul fra den nordlige halvkugle.

Gondwanakullene i Australien og Sydafrika blev aflejret i Karbon-Perm tiden i et efteristidslandskab

under subpolare til koldtempererede klimatiske forhold. Tørveakkumulationen fandt sted i indlandsbassiner, hvor den specielle vegetation, klimaet og grundvandsspejlet i høj grad satte sit præg på den resulterende kul.

Dette står i skarp kontrast til de store kulforekomster fra Karbontiden på den nordlige halvkugle, hvor tørvene dannes i vidtstrakte tropiske sumpe i forbindelse med indsyningsområder. Disse kul er meget vitrinitrige, mens Gondwanakullene ofte er særdeles inertinitrige.

Ikke desto mindre har Gondwanakullene udmærkede forbrændingsegenskaber. Kodeordet er "semi-inert", det vil sige at en betragtelig del af inertiniten kemisk set er aktiv (indgår i kemiske reaktioner) og langt fra er kemisk inaktiv, "inert". Desuden har inertiniten en refleksion, der ligger mellem refleksionerne for henholdsvis vitrinit og højt reflekterende inertinit.

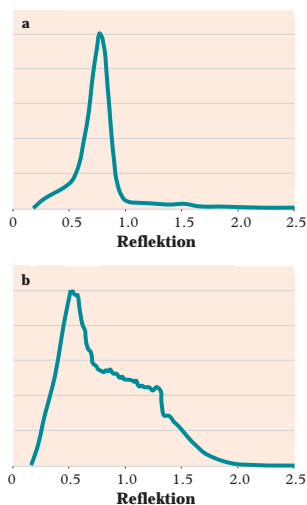
Den semi-inerte bestanddel anses altså for at være reaktiv og er dermed en væsentlig årsag til langt bedre forbrændingsegenskaber, end man ellers skulle forvente ud fra den traditionelle inddeling af maceralgrupperne.

Figur 5 viser to totalreflektogrammer, det vil sige, at den totale refleksion er målt fra det lavest reflekterende til det højest reflekterende i kulprøven.

(A) er typisk for karbone kul fra den nordlige halvkugle. Den høje top viser groft sagt vitrinit-delen, mens kurven til venstre herfor angiver liptinit-/mineral-delen og til højre andelen af inertinit.

(B) viser en kul fra den sydlige halvkugle. Det ses tydeligt, at vitrinit-maximumet ikke er så veldefineret, idet kurven til venstre for maximumet danner et knæk og flader ud. Dette kurveforløb antyder et højt indhold af semiinerte bestanddele.

Figur 5  
Totalreflektogrammer for to kul. (a) viser refleksionsfordelingen for en typisk Karbon kul fra den nordlige halvkugle, mens (b) viser refleksionsfordelingen for en Gondwanakul fra den sydlige halvkugle.

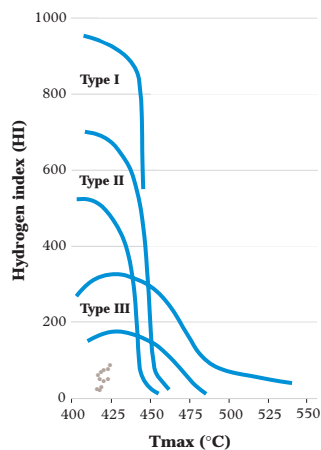


### Kul i en geologisk sammenhæng

Inden for det danske rige findes der kulførende lagserier fra Jura-, Kridt- og Tertiærtiden. De tertiære kul i Danmark forekommer hovedsageligt i Midtjylland i Søby-Fasterholt området, mens de jurassiske kul findes på Bornholm, i Øresundområdet og i Nordsøen. Kullene i Nordsøen har opnået stenkulsrang, mens de øvrige forekomster er brunkul. Kullene på Færøerne findes mellem nederste og mellemste basaltserie og er fra Tertiærtiden, mens jurassiske og kretassiske kul findes i henholdsvis Østgrønland og Vestgrønland.

GEUS har foruden forskning i de grønlandske kul gennem en årrække gennemført forskning, der fokuserer på en petrografisk og organisk geokemisk analyse af nedre og mellem jurassiske kullag fra den Fennoskandiske Randzone og den danske del af Central Graven. Man ønsker at opnå en detaljeret viden om kullenes sammensætning og aflejningsmiljø samt for kullene i Central Gravens vedkommende også kil-

### Øresund - 5 & 7 boringerne



Figur 6  
Hydrogen Index  
som funktion af  
Tmax.  
Plottet viser, at kul-  
lene har et lavt indhold  
af hydrogenholdige  
komponenter, og at  
der er tale om  
lavrangskul.

debjergartspotentialet. Hermed vil man få en langt bedre helhedsopfattelse af disse kulførende lagserier. Brugen af traditionelle kulpetrografiske analysemetoder, kombineret med avancerede organisk geokemiske teknikker udviklet til olieindustrien, giver mulighed for at få en detaljeret viden om kullene.

Eksempler på resultater af petrografiske analyser på kul fra Øresund er vist i figur 6-8.

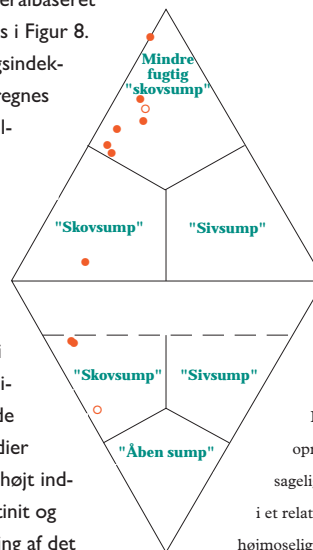
Figur 6 viser et Tmax vs. Hydrogen Index (HI) plot for kulprøver fra Øresund-5 og -7 boringerne. Tmax og HI fås ved at benytte en rutine pyrolyse metode. Tmax er relateret til kullenes rang, mens HI groft sagt hænger sammen med maceralsammensætningen. De lave Tmax værdier tyder på

lavrangskul, mens de meget lave HI værdier tydeligt understreger, at det organiske materiale er domineret af inertinit. HI værdierne på < 100 viser desuden, at kullene har en ringe kapacitet til at danne gas/olie.

Et plot baseret på aflejningsrelaterede grupper af maceralassocierationer er vist i Figur 7 for kulprøverne fra Øresund-5 og -7 boringerne. Plottet antyder, at de oprindelige tørv hovedsageligt blev aflejret i et relativt tørt miljø, hvor et svingende grundvandsspejl betingede periodevis udtørring af tørveoverfladen. Kullene består af store mængder kantet usorteret inertinit med varierende reflektans (gråtoner), hvilket stemmer godt overens med de lave HI værdier (Figur 6).

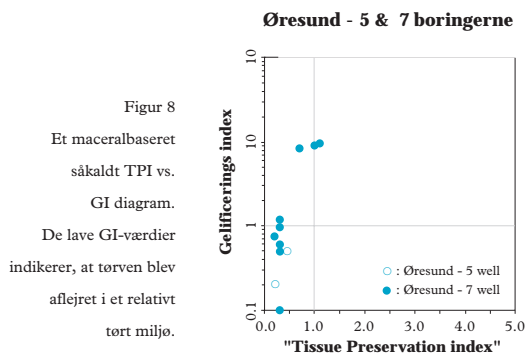
Tolkningen støttes endvidere af et maceralbaseret plot, som ses i Figur 8.

"Gelificeringsindekset" (GI, beregnes ud fra forholdet mellem huminit og inertinit) afspejler iltningsforholdene i den oprindelige tørv, og de lave GI-værdier peger på et højt indhold af inertinit og dermed iltning af det organiske materiale.



Figur 7  
Diagram baseret på grupper af maceralassocierationer.  
Plottet antyder, at den oprindelige tørv hovedsageligt blev aflejret i et relativt tørt højmoselignende miljø.

Organisk geokemiske analyser, ved hjælp af f.eks. gaschromatografi (GC) og gaschromatografi/massespektrometri (GC/MS) kan bruges til yderligere at belyse kullenes aflejningsmiljø og rang. Foruden vigtig detaljeret viden om det oprindelige sumpmiljø, kan det være formålstjenligt at benytte bestemte geokemiske stoffer, såkaldte "biomarkere", for at muliggøre bestemmelse af rangforskelle i lavrangskul, hvor reflektansmålinger er behæftet med for stor usikkerhed.

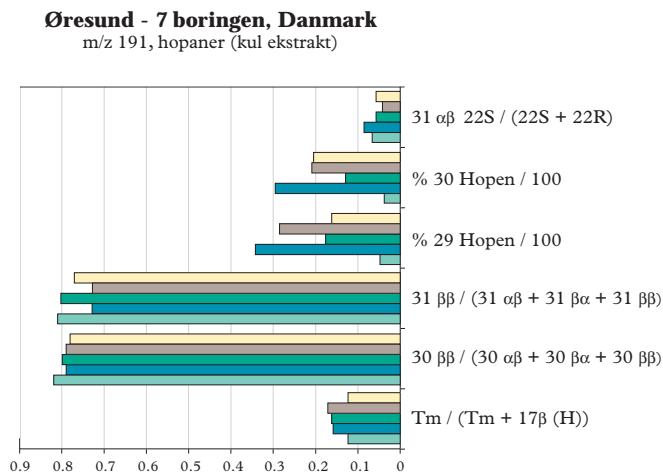


Figur 9 illustrerer brugen af hopan (biomarker) som rangindikator. Hopanerne omdannes hurtigt i den tidlige indkullningsfase, og tilstedeværelsen af for eksempel de ustabile hopen-former og  $\beta\beta$ -former viser, at kullene er af meget lav rang.

Kulpetrologi er altså knap så eksotisk, som det måske lyder. En stor del af den teoretiske baggrund for olie-/gasdannelsen og adskillige analyseteknikker anvendt i olieefterforskningen

har dybe rødder i kulpetrografen. Omvendt er typiske geokemiske analyser fra olieindustrien overtaget af kulpetrografen. Olie- og kulgeologien er derfor på mange måder tæt forbundne, og der er ingen tvivl om, at "symbiosen" mellem de to forskningsområder vil fortsætte i fremtiden. Endvidere har det forhold, at kullag ofte viser et radikalt og vigtigt skift i aflejningsmiljøet i forhold til de underlejrende sedimenter betydning for andre geologiske discipliner, f.eks sekvensstratigrafi.

Et indgående kendskab til kul er derfor væsentlig i mange sammenhænge.



Figur 9: Forskellige hopan-forhold brugt som indikatorer for kullenes rang.