

Meteoritter med ægte stjernestøv - diamanter i rummet

Af astronom Anja C. Andersen (Nordisk Institut for Teoretisk Fysik (NORDITA))

Manchet

Mange har set et stjernesud, men kun få har set en meteorit falde. Der registreres i gennemsnit fem meteoritfald pr. år over hele jorden. En sjælden type af meteoritter, der er sortgrå og porøse, kaldes kulchondritter. De består af det oprindelige materiale, som Jorden og de andre indre planeter (Merkur, Venus og Mars) blev dannet af. I 1987 fik man fralokket kulchondritterne en velbevaret hemmelighed: De indeholder små mængder støv, der ikke er dannet i solsystemet, men fandtes i det interstellare støv allerede før solsystemets dannelse. Det har vist sig at stamme fra for længst uddøde stjerner, og det har givet astronomer en helt enestående chance for at studere stjernestøv direkte i laboratoriet.

Kulchondritter

Alle stjerner – inklusive vores egen Sol – er dannet ud fra de interstellare skyer, der findes i mælkevejssystemet. Disse skyer (se figur 1) indeholder gas og støv, og de

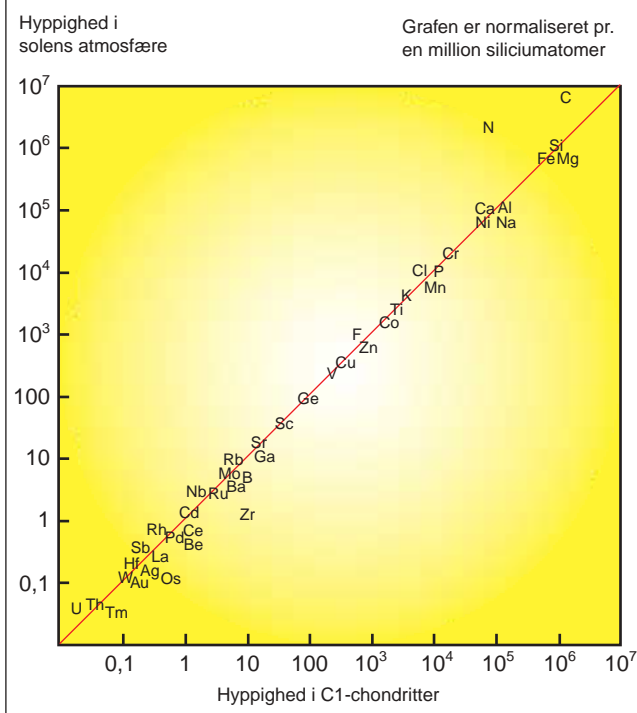
bliver hele tiden beriget med materiale fra gamle stjerner, der mister deres yderste lag eller eksploderer som supernovaer.



Interstellar sky (Lagoon Nebula). Skyen består af gas og støv og befinder sig i vores egen galakse Mælkevejen i en afstand fra Solen på 5.000 lysår. Det er i skyer som denne, at der dannes nye stjerner. Billedet er taget med Hubbel Rumteleskopet. (Foto: A. Caulet (fra ST-ECF, ESA) og NASA).

Grundstoffernes hyppighed i Solens atmosfære sammenlignet med grundstoffernes hyppighed i en bestemt type af kulchondritter kaldet C1-chondritter. Det, at grundstofferne falder på en ret linie, viser, at indholdet af de forskellige grundstoffer er det samme i C1-chondritterne som i Solen. Det betyder, at C1-chondritterne har præcis den samme grundstofsammensætning som Solen, og at chondritterne derfor ikke har været udsat for særligt store ændringer i form af varme, tryk eller anden påvirkning, siden solsystemet blev dannet. Brint-, helium-, kulstof- og kvælstofindholdet er lavere i meteoritterne som følge af, at de er på gasform, og derfor ikke så villigt lader sig indfange i sten. (Grafik: UVH Modificeret efter V. Buchwald, 1993, Meteoritter - Nøglen til jordens fortid)

Grundstoffernes hyppighed i Solens atmosfære sammenlignet med grundstoffernes hyppighed i C1-chondritter



Tidligere mente man, at solsystemet var dannet af en homogen masse, fordi stoffet både var blandet grundigt sammen og blevet kraftigt opvarmet. Man forestillede sig, at alle tidligere spor eller karakteristiske egenskaber, der kunne føres tilbage til de stjerner, som har bidraget med gas og støv til solsystemet, var blevet udsløkket i denne dannelsesproces.

Inden for de senere år har det imidlertid vist sig, at dele af det oprindelige interstellare støv har overlevet uforandret under solsystemets dannelse. Man har fundet enkelte karakteristika, som afspejler nogle af de stjerner, der bidrog med støv til den interstellare sky, som solsystemet senere blev dannet af. Dette oprindelige interstellare støv er fundet i små mængder i de meteoritter, der kun har været udsat for meget ringe påvirkning under solsystemets dannelse. Den type af meteoritter, der er blevet mindst påvirket (dvs. udsat for mindst mulig opvarmning) siden solsystemets dannelse, er kulchondritterne. Kulchondritter har en alder på 4,57 milliarder år, og de har stort set den samme sammensætning af grundstoffer, som den sky, der blev til solsystemet, havde (se figuren ovenfor).

Omkring 6 % af alle meteoritter er kulchondritter, men indtil 1969 fandtes der mindre end 100 kg kulchondritter fordelt

på forskellige museer over hele Jorden. I 1969 faldt som manna fra himlen to kæmpemæssige stykker kulchondritter ned. Et nær byen Allende i Mexico, "Allende-meteoritten" (se figur 3), (meteoritter blev tidligere opkaldt efter det nærmeste postkontor) og et nær byen Murchison i Australien. "Murchison" var på 82 kg, og Allende blev anslået til at have været på omkring 4 tons, hvoraf de 2 tons er blevet indsamlet. Allende eksploderede i luften og spredtes over et stort område, så mindre nye stykker findes stadig nu og da. 1969 var også året, hvor amerikanerne arbejdede på højtryk med de forestående månelandinger, hvilket betød, at mange laboratorier var godt forberedte til at analysere stenmateriale fra Månen. De støvfrie laboratorier, og alt det udstyr der var beregnet til at sikre, at månestenene ikke blev forurenede med jordisk materiale, var imidlertid også som skabt til analyse af de to meteoritter (figur 4). I analysen af Murchison-meteoritten fandt man således 74 forskellige aminosyrer og nogle nukleotidbaser, som man med sikkerhed ved ikke skyldes jordisk forurening.

Grundstoffernes dannelse

De to kulchondritter har vist sig at være helt afgørende for vores nuværende forståelse af solsystemets dannelse, stjernernes udvikling og grundstoffernes dannelse.

Da universet blev dannet for 10-20 milliarder år siden i "Big Bang", blev der dannet H og He samt meget små mængder Li, B og Be. Alle de andre grundstoffer er dan-



Et stykke af kulchondritten Allende, der faldt i Chile, i 1969. Bemærk, at denne type af meteoritter er kendetegnet ved at være sortgrå og porøse. (Foto: Henning Haack, Geologisk Museum, KU).

net efter "Big Bang" i stjernernes indre.

H og He fusionerer i stjernens indre til nye grundstoffer. Det afhænger af stjernens masse, hvilke grundstoffer der kan udvikles i den enkelte stjerne. Lette stjerner som fx Solen kan danne en række bestemte grundstoffer, og når der ikke er mere brændstof, falder de sammen til hvide dværge og afskyder samtidig dele af de yderste lag og bliver til planetariske tåger (se figur 5). Herved beriges det interstellare rum med

nogle af de nydannede grundstoffer.

For tunge stjerner sker det hele hurtigere og mere effektivt. De lever kortere og producerer flere forskellige grundstoffer end de lette stjerner. Tunge stjerner ender med at kollapse i en supernovaeksplosion (se figur 6).

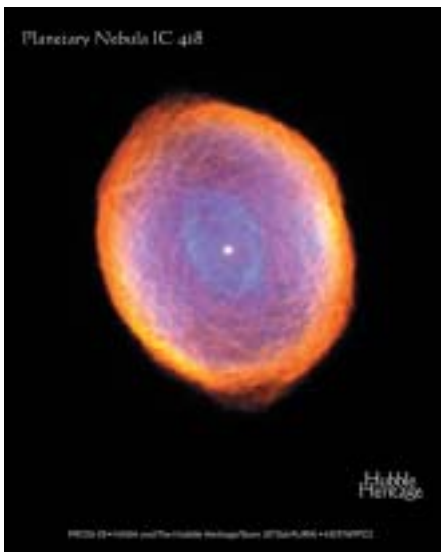
Det betyder, at forskellige isotoper er dannet i helt bestemte typer af stjerner. Det betyder også, at Mælkevejen hele tiden beriges med tungere grundstoffer. Sammensætningen af grundstoffer i Mælkevejen er derfor anderledes nu, end den var dengang, hvor solsystemet blev dannet for ca. 4,6 milliarder år siden. Og den vil også forsætte med at ændre sig fremover. Universet bliver så at sige hele tiden mere og mere forurenede med tungere grundstoffer. Pt. udgør andelen af grundstoffer tungere end helium ca. 1 % af den samlede synlige stofmængde i universet.

Identifikation af stjernestøvet

Når materialet fra en kulchondrit opvarmes til mellem 400 °C - 1000 °C, ændres sammensætningen af isotoper i den gas, der frigives. Ved de fleste temperaturer er sammensætningen af isotoper den samme som den normale sammensætning i solsystemet (dvs. en blanding af de kilder, der findes i solsystemet for det pågældende grundstof, fx oprindelig, kosmisk stråling, solvinden osv.) (figur 2). Men ved specifikke temperaturer ses pludseligt et spring i sammensætningen af isotoperne til en sammensætning, der adskiller sig markant fra, hvad der ellers findes i solsystemet (figur 7). Man konkluderer derfor, at støvet må indeholde mineraler, der frigiver eventuelle inklusioner af gas ved den pågældende temperatur, og at mineralerne pga. sammensætningen af den frigivede gas ikke kan være dannet i solsystemet. Da disse

Foto??????????

Laboratoriet... af Allende-meteoritten. (Foto: Lunar and Planetary Institute/ NASA S78-32478).



Den planetariske tåge IC418. I midten ses stjernens kerne, som er blevet til en hvid dværg. Udenom ses alt det materiale, som stjernen har kastet af sig i den sidste fase af sit liv. Solen vil også udvikle sig til en planetarisk tåge om ca. 5 mia. år. (Foto: NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)).

mineraler er blandet op i en meteorit, der aldrig har været omstruktureret siden solsystemets dannelse, må de være dannet før solsystemet og være blandet op med solsystemsskyen under dannelsesfasen eller (mere sandsynligt) i den interstellare sky, der senere kollapsede og blev til solsystemsskyen. Disse mineraler, der er dannet uden for solsystemet, før solsystemet eksisterede, repræsenterer således uforandret stjernestøv.

Ved at opløse kulchondriten i syrer og baser, udtage bundfaldet eller overvæsken, separere støvkornene efter størrelse eller gennemføre lignende kemiske og fysiske udvælgelsesprocesser på materialet, har man fået frembragt stadig mere rene prøver af disse mineraler. Igennem 1970'erne og 1980'erne fik man derved til stadighed indkredset mineralernes indentitet mere og mere, uden dog nogen sinde at være i stand til præcist at sige, hvad det var for et materiale, støvkornene bestod af.

Efter omtrent 20 års søgen lykkedes det i 1987 endelig for en forskergruppe i Chicago at isolere den støvtype, som indeholdt de karakteristiske gasser. Det viste sig at være bitte små diamanter med en størrelse på ca. 2 nm, dvs. hver diamant består af rundt regnet 1.200 kulstofatomer, så der er i virkeligheden nærmere tale om diamantrøg end om diamanstøv!

Diamanterne

Det var noget af en overraskelse, at kornene viste sig at være nano-diamanter. På jorden er grafit jo den mest almindelige form, som kulstof antager, eksempelvis som sod. Derfor var man overrasket over at finde nano-diamanter i meteoritterne i



Supernova-resten kaldet Krabbetågen. Tågen er resterne af en tung stjerne, der eksploderede for 900 år siden. Denne supernova-rest befinder sig 7.000 lysår borte i stjernebillede Tyren. Det er bl.a. sådanne eksplosioner, der er med til at berige universet med tungere grundstoffer og nydannede støvkorn. Billedet er taget med Hubbel Rumteleskopet. (Foto: ESA).

stedet for grafit; man havde regnet med, at grafit også var den mest almindelige form for kulstof i resten af universet.

Diamant er jo som bekendt opbygget af kulstof, men de indeholder visse mængder af urenheder i form af kvælstof, neon og xenon. Kvælstofatomer kan erstatte kulstofatomer i diamantens krystalstruktur, mens neon og xenon sidder som enkeltatomer fanget i diamantkrystallen.

Jordiske diamanter dannes under højt tryk. De steder i universet, hvor man finder de kraftigste trykbølger, er i den chokfront, der opstår efter en supernova-eksplosion. Derfor var den første teori om de små diamanter oprindelse netop, at de blev dannet, når små grafitpartikler mødte en chokfront efter en supernova-eksplosion.

Der opstod dog hurtigt indvendinger imod denne teori, idet man også ville forvente at finde noget af den grafit i meteoritterne, som havde undgået at møde en chokfront fra en supernova. Fra Allende-meteoritten, som har den højeste mængde diamanter per gram, kan man udvinde 1 milligram diamanter per 10 gram meteorit, men man finder mindre end en titusindedel gram grafit i den samme prøve, og grafitkornene er meget store i forhold til diamanterne typisk 0,3-20 micrometer i diameter. Det virker derfor ikke umiddelbart plausibelt, at der har været så mange supernova-eksplosioner i tidligere tider, at alle grafitkornene er blevet omdannet til diamanter.

Ny teori om diamanternes dannelse

Der opstod derfor hurtigt en nye teori om, hvor diamanterne kunne være dannet. Denne teori tog udgangspunkt i, at man i industrien var begyndt at fabrikere nano-

Bøger ...



Geologisk set Fyn og Øerne

Forfatter: geolog Gunnar Larsen, Fyns Amt

Nu er Fyn og de fynske øer også dækket i denne værdifulde håndbogsserie, som beskriver lokaliteter af national geologisk interesse.

144 sider, fuldt farveillustreret. 225 kr.

Serien omfatter desuden:

Det nordlige Jylland. 208 s. 200 kr.

Det mellemste Jylland. 272 s. 275 kr.

Bornholm. 208 s. 200 kr.

Danske landskaber – billedatlas

Forfattere: Knud Binzer og Ib Marcussen

Fotos: Peter Warna-Moors

En flot bog, som i smukke fotos og en let tilgængelig tekst beskriver de danske landskabstyper.

Se anmeldelsen i Geologisk Nyt 1/2002. 80 sider. Indbundet. 125 kr.

Bogen er udgivet af GEUS, og forhandles kun af Geografforlaget.

Djurslands Geologi

Forfattere: Stig A. Schack Pedersen og Kaj Strand Petersen

Omfattende bog om Djurslands geologiske historie.

Med bilag: Stort geologisk kort, 1:50.000. Fuldt farveillustreret med fotos, detaljkort og instruktive tegninger.

Indbundet. 225 kr.



GEOGRAFFORLAGET
5464 BRENDERUP · 6344 1683

... fra GEOGRAFFORLAGET

Ordforklaringer

Big bang: Big Bang er en model af Universets dannelse og historie. Ifølge modellen blev Universet skabt for mellem 12 og 15 milliarder år siden i en form af en eksplosion kaldet the Big Bang. Siden hen blev der dannet galakser, stjerner og planeter. I selve eksplosionen blev der stort set kun dannet de to letteste grundstoffer, nemlig hydrogen og helium.

Interstellar sky: En interstellar sky er en sky af støv og gas, der befinder sig mellem stjernerne i en galakse. Hestehovedtågen er en interstellar sky, der befinder sig i stjernebilledet Orion.

Rød kæmpestjerne: I slutfasen af deres liv udvikler stjerner, der har en masse, der er mindre end ca. 8 gange solens masse, sig til røde kæmpestjerner. Denne fase er kortvarig og er forstadiet til, at stjernen bliver en planetarisk tåge. Når Solen om

ca. 5 mia. år bliver til en rød kæmpestjerne, vil den udvide sig ud til omkring Jordens bane. Røde kæmpestjerner er således store stjerner med forholdsvis lav overfladetemperatur (ca. 2000 K) deraf navnet.

Chondrit: Den almindeligste type stenmeteorit. Chondritter kendes på, at de indeholder chondrulter på omtrent 1 mm i diameter. Chondritterne indeholder også små metalkorn. Resten af materialet – den finkornede bjergart mellem chondrulterne og metalkornene kaldes matrix. Kulchondritter er en primitiv underklasse af chondritterne.

Hvid dværg: En hvid dværg er en meget lille, ekstremt tæt stjerne. Atomerne i den hvide dværg er spaltet i deres bestanddele og presset så tæt sammen, at en teskefuld stof fra en hvid dværg vejer mange tons.

En hvid dværg repræsenterer det sidste stadium i en let stjernes liv.

Planetarisk tåge: En planetarisk tåge består af en hvid dværg omgivet af en "skal" af stærkt fortyndet gas. I stjernens sidste livsfase udsender den store mængder af gas og støv. I en kikkert med lille forstørrelse vil en planetarisk tåge se ud som en planet – deraf navnet. Solen vil blive til en planetarisk tåge om ca. 5 millioner år.

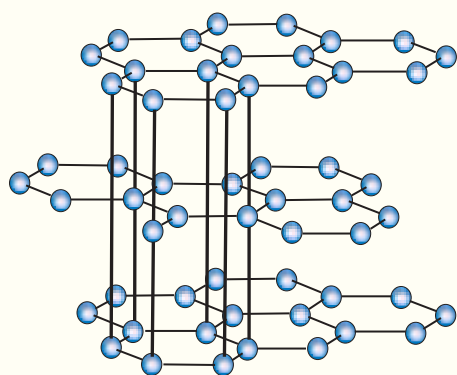
Supernova: En supernova er en stjerne med en masse på mere end 8 gange Solens masse, der eksploderer og derved kaster store dele af sin masse ud i rummet. I en supernova-eksplosion eksploderer hele stjernen på få minutter. I en uges tid herefter udsendes lige så meget lys som en hel galakses stjerner tilsammen.

diamanter under lave tryk. Man opdagede, at man kunne få diamanter til at udkrystallisere i en kulstof-gas ved lave tryk, blot der er brint tilstede. Tilstedeværelsen af brint forhindrer dannelsen af grafit. Man kunne derfor koncentrere sig om at undersøge steder i universet, hvor kulstofkoncentrationen var høj, mens trykket godt måtte være lavt. Der er primært to steder, hvor dette findes, nemlig i de yderste atmosfærelag af gamle, kolde, røde (~2000

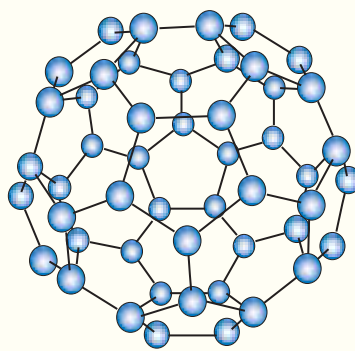
°C), kulstofrige kæmpestjerner og i gassen fra en ekspanderende supernova, som ifølge teorien skulle indeholde et kulstofrigt område. Ud fra målingerne på diamanterne er det ikke entydigt, hvorvidt de primært dannes i røde kulstofrige kæmpestjerner, som er slutstadiet i et livsforløb for en let stjerne, eller i resterne fra en supernovaeksplosion, som er slutstadiet for en tung stjerne. Selve forholdet mellem C-

12 og C-13, som man måler i diamanterne, tyder på, at de er dannet i røde kulstofrige kæmpestjerner, mens den xenon og neon, der også er målt fra diamanterne, er et direkte fingeraftryk fra en supernova (oven i købet mindst to forskellige supernova-episoder). Så når man skal prøve at forstå dannelsen af nanodiamanter i universet, skal man have for øje, at der nok er mere end blot en type stjerner, der er i stand til at

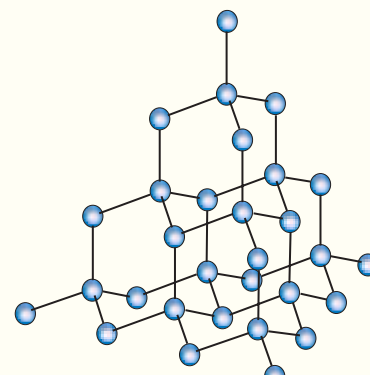
Tre former af krystallinsk kulstof



Grafit

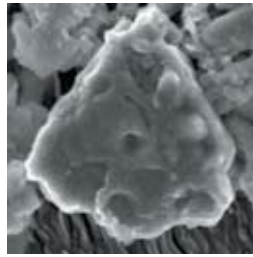
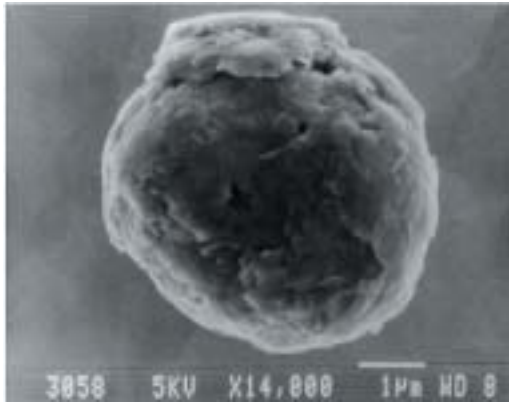


C₆₀



Diamant

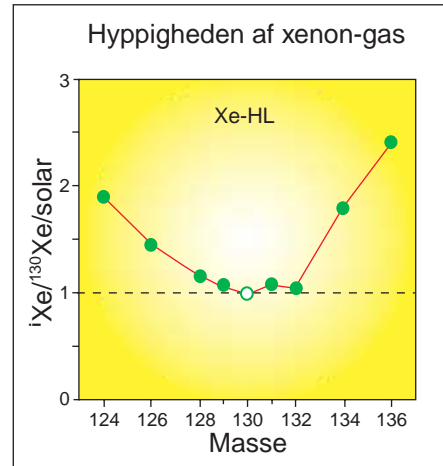
De tre forskellige former af krystallinsk kulstof. Kulstofatomerne kan sidde bundet til hinanden på forskellig vis og på denne måde danne grafit, C-60 eller diamant. (Grafik: UVH)



Scanningelektronmikroskopbillede af grafit (venstre) og siliciumcarbid (højre). Disse korn indeholder også store isotopanomalier, som indikerer, at de må være dannet et andet sted end i solsystemet. Grafitkornet er omkring 4 micrometer, mens SiC-kornet er omkring 0,5 micrometer. (Foto: ??????????)

danne diamantstøv. Dette er også logisk, set i den sammenhæng, at hele 3 % af det kulstof, der var til rådighed dengang solsystemet blev dannet, har været i form af nano-diamanter.

Hvor store mængder diamanter, som disse to scenarier hver især kan producere, vil have stor betydning for den fremtidige forståelse af, hvilken type af stjerner der er den primære bidrager til de kulstofatomer, som vi hver især består af.



Figur 7: Figurtekst: Hyppigheden af xenon-gassen, som den er blevet målt i nanodiamanterne fra Allende-meteoritten. Den relative hyppighed (HL) er blevet normaliseret til hyppigheden i Solens atmosfære, og sat til 1 for Xe-130. Xe-124/Xe-130 og Xe-136/Xe-130 forholdet i diamanterne er markant højere end i Solen. Det er denne forskellighed, der indikerer, at diamanterne ikke er dannet i solsystemet, men må være stjernestøv, der har overlevet solsystemets dannelse. (Grafik: UVH modificeret efter Anders & Zinner, 1993, Meteoritics 28, 490)).



Et transmissionselektronmikroskopbillede af nano-diamanter fra Allende-meteoritten, hver klump indeholder ca. 1.000 diamanter, og hver diamant består af ca. 1.200 kulstofatomer. Hver klump af nanodiamanter er ca. 0.0001 mm i diameter. (Foto: ??????????)

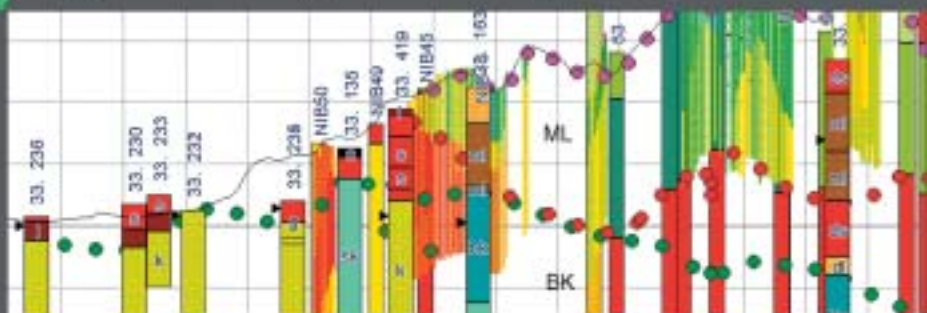


Ingen indsatsplan uden geologi!

I WaterTech sammenstiller vi:

- Geofysiske data
- Boredata
- Topografiske data
- Hydrauliske data
- Geokemiske data

til GIS-baserede geologiske modeller, hvor forståelsen af den geologiske opbygning er i fokus!



Søndergade 53 - 8000 Århus C - 8732 2020
Lønderstræde 5B - 4000 Roskilde - 4638 1970
www.watertech.dk

