

SPORSTOFFER

Hg²⁰⁰ Sr Pb Zn Cr Mo Cu As Σ Cd

af K. Binzer

Hovedparten af jordklodens dyr, planter og alle bjergarternes mineraler består af kemiske forbindelser, der hovedsagelig opbygges af mindre end 20 grundstoffer. De vigtigste er ilt (O), silicium (Si), aluminium (Al), brint (H), jern (Fe), kalcium (Ca), natrium (Na), kalium (K) og magnesium (Mg). De udgør tilsammen mere end 99% af jordskorpens kemiske bestanddele. Foruden disse almindeligt forekommende grundstoffer, er der over 70 andre grundstoffer, der oftest optræder i så små mængder, at man bedst kan karakterisere deres forekomst som "spor" i dyret, planten eller det mineral, hvori det påvises. Det er kun i specielle tilfælde, at "sporstofferne" findes i så stor mængde i mineraler og bjergarter, at det kan betale sig at udvinde dem. Det gælder for eksempel de tunge metaller nikkel (Ni), zink (Zn), kobber (Cu), bly (Pb), kviksølv (Hg) og guld (Au).

Man kan finde sporstoffer i så at sige alle mineraler. Mineraliet kvarts består af silicium og ilt (SiO_2), men selv i klar krystallinsk kvarts er der påvist sporstoffer, for eksempel lithium (Li). Grunden er, at sporstoffer enten kan indtage nogle af silicium- eller iltatomernes pladser på det tidspunkt mineralet dannes, eller at de finder plads i hulrummene mellem de grundstoffer, der opbygger mineralet.

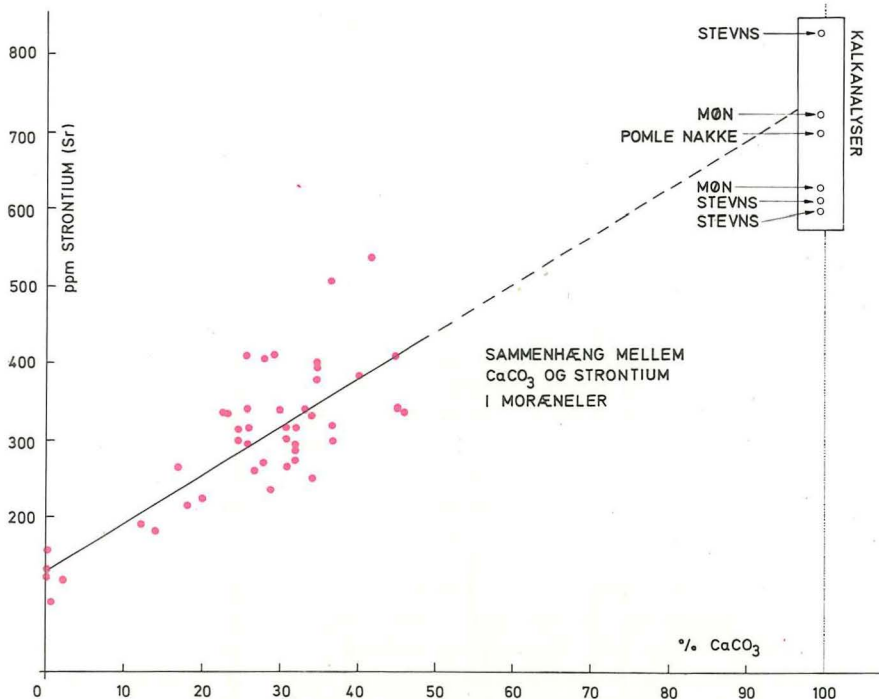
En række geologiske begivenheder fører til at sporstofferne bliver fordelt i bjergarter og mineraler og således deltager i deres kemiske kredsløb. Ved de indre geologiske processer, for eksempel vulkanisme, dannes nye bjergarter, som bliver nedbrudt og aflejret ved de ydre geologiske processer. Nedbrydningsprodukterne kan ved bjergkædefoldninger måske igen blive ført op til overfladen (se Varv 1965, 1).

Når bjergarter og mineraler nedbrydes vil der, foruden de almindeligt forekommende grundstoffer, blive frigjort sporstoffer. Nogle af dem for eksempel strontium (Sr) og kalcium (Ca), kan opløses i vand, blive ført bort og ende i havet. Måske vil de senere blive aflejret på havbunden som dele af organismer, hvori de er blevet indbygget - således kan strontium indgå i kalkskallede organismer. Andre stoffer vil være tilbøjelige til at blive på land, fordi de er mere eller mindre kraftigt bundet til jordens lerjordarter - men kan alligevel ende i havet, hvis lerpartiklerne af floder bliver transporteret derud.

SPORSTOFFER I DANSKE BJERGARTER

Bjergarterne i det danske område består overvejende af finkornede sedimenter, som ler-, sand- eller kalkaflejringer. Kun på Bornholm, ikke i det øvrige land træffes krystalline bjergarter, som granit og gnejs. Blandt de yngste sedimenter er istidsbjergarterne. Morænemateriale er et isafsat sediment, der består af alle mulige bjergarter med alle mulige kornstørrelser. Disse bestanddele er blevet taget op, blandet og transporteret af gletschere i istiderne, og bestanddelene stammer fra de steder, som isen har bevæget sig henover. Foruden fremmede bjergarter fra det skandinaviske område indeholder moræner således i vid udstrækning finkornede sedimenter fra den danske undergrund. Sporstofindholdet i moræner må derfor opfattes som "arvegods" fra flere generationer af ældre aflejringer, der er blevet taget op og blandet sammen af isen. Til illustration af dette kan man bruge tilstedeværelsen af Kridttidssedimenter (for eksempel skrivekridt) i moræner. Kemiske analyser af kalksedimenter fra Kridttiden viser, at der foruden det dominerende calciumkarbonat (CaCO_3)-indhold tillige er forskellige sporstoffer, blandt andet strontium, se tabellen. Grunden til, at strontium er særlig hyppig i kridt, er, at det meget let kan erstatte calcium i mineralet kalkspat (calciumkarbonat). I næsten alle danske moræner-aflejringer udgør calciumkarbonat en ikke ringe del af bjergarten, i visse tilfælde op til 50% eller mere. Dog kan det ske, at regnvandet har vasket kalken ud. Hvis calciumkarbonat i moræner stammer fra den danske undergrunds Kridtaflejringer, må man vente, at strontium-indholdet vil øges når calciumkarbonat-indholdet stiger (se figuren). Figuren viser sammenhængen mellem calciumkarbonat-indhold og strontium-indhold i moræner. Hver prik repræsenterer en analyse af moræner. Man ser, at strontium-indholdet stiger sammen med calcium-indholdet. Indholdet af strontium i moræner kommer ikke udelukkende fra kalkspat, men kan stamme fra feldspat. Calciumkarbonat kan også komme fra forskellige kalkbjergarter i undergrunden. Det kan forklare, at punkterne på figuren er forrykket og ikke ligger på en ret linie. Punkternes beliggenhed omkring en linie, der forbinder calciumkarbonatanalyserne (i rammen på figuren) med morænersanalyserne, viser, at hovedparten af strontium i moræner sandsynligvis stammer fra kalkspat i undergrundens kalkaflejringer. Sammenhængen mellem strontium og calcium i moræner og undergrundens kalkbjergarter er relativ simpel at påvise, idet kalkbjergarterne i undergrunden næsten udelukkende er opbygget af kalkspat, og fordi strontium så let indtager calciums plads heri.

Forsøg på at påvise lignende sammenhæng mellem andre sporstoffer og bjergarter i den danske undergrund er meget vanskelige og derfor knap nok gjort endnu. Det der komplicerer forholdene er, at de fleste andre bjergarter i undergrunden består af mange flere mineraler end kalkbjerg-



arterne. Således vil det være endnu vanskeligere at vise sammenhæng mellem for eksempel bjergarter i det norske område og indholdet af sporstoffer i moræneler. En inddeling af landet i "sporstofprovinser", der viser forskelle mellem istidsaflejringer med meget norsk materiale og istidsaflejringer med meget materiale fra Østersøområdet, hører således fremtiden til.

Tabel over sporstofindholdet i forskellige danske bjergarter:

(mængderne i ppm)	Li	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Sr
Gennemsnit for moræneler	38	92	680	15	45	41	105	300
Miocæn, ler	60	90	200	18	41	19	83	122
Eocæn, plastisk ler	65	68	3832	52	171	80	231	299
Paleocæn, mergel	64	93	377	39	116	50	198	750
Skrivekridt	1	5	95	5	5	6	16	630
Jura, ler	77	114	98	20	37	15	69	97
Jordskorpegennemsnit (efter Mason)	20	100	950	25	75	55	70	375

Tabellen viser indholdet af en række sporstoffer i forskellige danske bjergarter. Mængderne er angivet i ppm (parts per million. 1% = 10000 ppm). Man ser, at der i analyserne af de bjergarter, der er ældre end moræner, altid er nogle, hvor sporstofindholdet er større. Skrivekridt danner dog en undtagelse, idet kun strontium-indholdet er højere. Det ser altså ud til, at der i den danske undergrund findes sedimenter med så stort sporstofindhold, at det kan forklare tilstedeværelsen af sporstoffer i moræneleret i "fortyndet" mængde. Endvidere viser tabellen, at forskellen mellem værdierne for moræner og gennemsnittet for jordskorpen gennemgående er mindre end forskellen mellem moræner og analyserne af de ældre bjergarter.



Slamudlægning på agerjord i Danmark, Trørød. Slam fra spildevandsrens anlæg.

SPORSTOFFER SOM PLANTENÆRINGSSTOFFER

Man har længe været klar over, at sporstoffer som kobber, molybdæn, kobolt og mangan i små mængder er af betydning for planterne. Hvis de sporstoffer, de såkaldte mikronæringsstoffer, ikke er til stede i tilstrækkelig mængde og i en form, der er tilgængelig for planterne, vil det medføre mangelsygdomme hos dem. Jordens mineralbeholdning er en vigtig sporstofkilde. Forvitring er den geologiske proces, der betyder mest for frigørelse af sporstofferne. Sålænge frigørelsen af sporstoffer holder trit med forbruget er alt godt. Dog kan balancen ændres på mange måder. Mineraler, der er kilde for sporstofferne kan "slippe op", eller man kan, ved ensidig dyrkning af bestemte planter, forbruge mere sporstof, end forvit-

ringen kan følge med til at danne. Forvitringen kan forøges, for eksempel hvis regnvandet bliver mere surt, således at der sker en øget frigørelse af plantetilgængelige sporstoffer. Det kan iøvrigt medføre, at vigtige sporstoffer bliver skyllet bort, før de kommer planterne til gode. Det kan også bevirke, at koncentrationen af sporstoffer bliver så stor, at de virker som gift for planterne. For eksempel er kobbermangel årsagen til "guldspidssygen" hos korn. Manganmangel fremkalder hos nogle planter "lysplet-syge", mens et for højt manganindhold virker giftigt på andre planter. Ved agerdyrkning er det derfor vigtigt at have kendskab til jordens beholdning af sporstoffer. Derved sikrer man sig mulighed for at imødegå en uheldig fordeling af mikronæringsstoffer.

SPORSTOFFER SOM MILJØGIFTE

I den stående debat om forureningen af vore omgivelser og af os selv, er sporstofferne også blevet indblandet. Den moderne teknik har medført et stadig stigende forbrug af metaller — ikke mindst af tunge metaller. Forarbejdningsprocesser på fabrikkerne og det almindelige forbrug har medført en ophobning af sporstoffer i luft, vand og jord. I mange tilfælde kan naturen ikke længere overkomme at befordre alle de frigjorte sporstoffer videre i deres naturlige, ofte langsomme kredsløb, fordi koncentrationerne er blevet for store. Derfor er mange sporstoffer begyndt at vise sig i ret store mængder i andre kemiske kredsløb, som man ikke tidligere havde kendskab til, og som kan have uheldige virkninger for de levende organismer, der deltager i kredsløbet. Et velkendt eksempel er bly fra benzin i jorden langs landeveje.

Opmærksomheden har specielt været rettet mod de tunge metaller blandt sporstofferne og særlig mod kviksølv, bly og kadmium (Cd). Disse stoffer er overordentlig giftige i visse kemiske forbindelser endog i meget små koncentrationer. Nogle af stofferne, for eksempel kviksølv, bliver koncentreret gennem fødekæden, således at det sidste led i kæden (rovdyr og mennesker) får den største og skadelige dosis. Den akutte giftvirkning af sporstoffer har man i de fleste tilfælde længe været klar over. Men problemets overvældende omfang blev man først rigtig opmærksom på, da man opdagede, at forgiftning med disse stoffer, ofte kommer snigende ad uventede veje på uventede steder, og først viser sig længe efter at forgiftningen har fundet sted.

I naturen kan der under sedimentation af ler- og slampartikler ske en ophobning af sporstoffer. De naturlige koncentrationer af specielt tunge metaller i slambjergarter virker mærkeligt nok ikke som en gift på omgivelserne. Det er fordi naturen har sørget for, at stofferne sidder fastbundet i meget tungtopløselige forbindelser, som gør dem uskadelige. Sådanne naturlige "tungmetalfiltre" findes i havområder, hvor bundvandet er iltfattigt, og hvor bunden er dækket af slam, der er rigt på organisk stof.

I slamaflejninger af den art dannes ofte svovlbrinte. Sporstoffer, der sammen med de fine partikler sedimenteres på bunden, vil under indvirkning af svovlbrinte blive bundet til svovl og udfældes som tungtopløselige "sulfider", som for eksempel zinksulfid (ZnS). Eksempler på slambjergarter med ekstremt høje koncentrationer af tunge metaller kendes fra "Kupferschiefer" i Tyskland eller fra vort hjemlige "fiskeler" på Stevns. Kunstige slambjergarter findes for eksempel i spildevandsslam fra renseanlæg. Slam fra sådanne renseanlæg kan indeholde metaller i mængder, der i nogle tilfælde overgår de naturlige slambjergarters indhold (se tabellen).

Tabel over metalindholdet i forskellige ler- eller slambjergarter:
(mængderne i ppm)

	Cr	Mn	Ni	Co	Zn	Cd	Cu	Pb	Hg
Kupferschiefer (Wedepohl, 1964)			300	160	10000	500	20000	5000	9
Fiskeler (A. Simonsen, 1973)	405	265	2700	80	1013	5	88	100	
Spildevandsslam (H. Pauly, 1973)	40	350	25	6	2000	8	300	350	6
Moræneler	92	680	45	15	105		41	25	

Tabellen viser, at nogle sporstoffer findes i spildevandsslam med koncentrationer, der er væsentlig højere end i moræneler. For at slippe af med de voksende mængder af slam, der efterhånden ophobes i renseanlæggene, har man fundet på at udlægge slammet på jorden som jordforbedringsmiddel. Dermed tilfører man jorden en række stoffer, der kan være nyttige for planterne. Men samtidig er der risiko for, at jorden kan blive forurettet med stoffer, der er skadelige for planter, dyr eller mennesker, hvis man ikke nøjagtigt ved, hvad og i hvilke mængder, de tilføres. I vurderingen af forureningen af jord er det derfor nødvendigt at vide, på hvilket niveau sporstofindholdet var, før mennesket på en eller anden måde greb ind i - det eller de kredsløb, som alle stoffer, også sporstofferne, deltager i.

Knut Binsen

Cr (krom), Mn (mangan), Ni (nikkel), Co (kobolt), Zn (zink), Cd (kadmium), Cu (kobber), Pb (bly), Hg (kviksølv), Li (lithium), Sr (strontium).