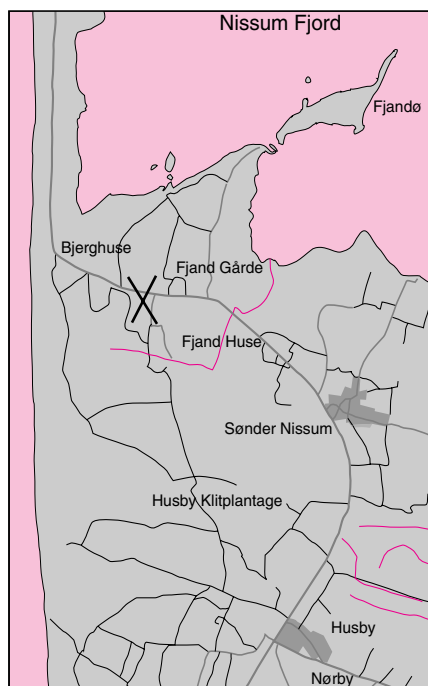


Agerbrug i vikingetiden - et studie af fosfor i jorden

Af geolog Per Mørch Christensen

En ager opdyrket i vikingetiden er blevet afdækket og undersøgt som et led i Ulfborgprojektet. Ulfborgprojektet er et bebyggelseshistorisk projekt med det formål at studere sammenspillet mellem mennesker og natur i Vestjylland i ældre tid. Arbejdet er lavet af geologer og historikere i samarbejde med arkæologer og kulturgeografer, og her anvendes geologiske metoder til at vurdere, hvilke landbrugsformer der blev brugt i vikingetiden.

De seneste år har Ringkøbing Museum foretaget en arkæologisk undersøgelse ved Fjand umiddelbart syd for Nissum Fjord i Ulfborg-Vemb kommune. Da vejstrækningen mellem Husby og Bjerghuse skulle reguleres i 1950'erne, fulgte lærer Jørgen Hanssen vejarbejdet nøje og gjorde mange iagttagelser af stor arkæologisk værdi. Hans optegnelser og fund blev afleveret til Ringkøbing Museum. Foranlediget af disse



Projektet foregår i Ulfborg ved Vestkysten. (Grafik: KB)



Udgravningen ved Fjand. Der er afdækket således, at toppen af vikingeaageren fremstår, som en horisontal flade, hvor det lyse flyvesand markerer plovfugerne i ageren. (Foto: K. Dalsgaard)

iagttagelser blev området ved Fjand overfløjet og fotograferet fra luften i 1992 og 1993. På disse billeder kunne der tydelig ses aftegninger af et langhus, som vender øst-vest.

Den første egentlige udgravning af denne tørrevægsbyggede gård fra 1200-tallet blev foretaget i foråret 1994. I 1995 fortsatte udgravningen, og man blev umiddelbart før afslutningen af denne opmærksom på en velbevaret pløjemark under hus-tomten. Træstykker fra dette pløjelag er blevet C-14-dateret og angiver dets alder til ca. 1000 år e. Kr. (780-1025). Denne datering sammen med kulturhistoriske vidnesbyrd placerer således pløjemarken i vikingetiden.

Geologiske metoder har vist, at husdyrgødning må have været anvendt af vikingerne, i mængder der i dag kan genfindes som en betydelig akkumulation af fosfor i datidens pløjelag. Akkumulationen tilsvarende det recente pløjelags fosforakkumulation, hvor kilderne i dag både er husdyrgødning og kunstgødning. Bag disse resultater ligger analyser, med fosfor som den vigtigste parameter, idet fosfor bliver bundet af jorden kort tid efter gødskningen.

Fosfor i jorden

Fosfor (P) findes i jorden på fast form og i opløst form i jordvæsken. På fast form findes fosfor på fire forskellige former som en del af mineraler, som adsorberet fosfor til ler og metaller, som okkluderet fosfor (indelukket i andre mineraler) og som organisk bundet fosfor.

Fosfor indgår i et kredsløb som det ses i figuren. Den ultimative kilde til alt fosfor i jorden er apatit. Som en konsekvens af forvitringen vil primære fosfater frigive opløselig fosfor, som kan udvaskes, udnyttes af planter og mikroorganismer, indgå i den labile fosforpulje (labil fosfor er den jordfosfor som er i ligevægt med fosfor i jordvæsken og som er plantetilgængelig) eller blive omdannet til sekundære fosformineraler.

Da reaktioner med sekundære fosformineraler er langsom, vil ligevægt imellem opløst fosfor og sekundære fosformineraler sjældent opnås. Derimod vil der hurtigt blive skabt ligevægt mellem puljerne af labil fosfor og opløst fosfor. Den labile pulje virker som en buffer. Når opløst fosfor fjernes ved planteoptagelse, dannelse af sekundære mineraler, eller udvaskning bliver der afgivet fosfor fra den labile pulje. Puljen bliver fyldt op igen ved over-

mætning af fosfor i opløsning. Denne fornyede tilgang af fosfor i opløsning sker ved forvitring af primære mineraler og sekundære fosformineraler, som bliver igangsat ved undermætning af fosfor i opløsning.

Den biologiske fosforcyklus er relativ hurtig med en varighed på ca. et år med planteoptagelse og genafgivelse af fosfor. Ikke-labile fosforkilder yder et ringe bidrag til fosfor i opløsning og til planter optagelse, da ligevægten mellem opløst fosfor og primær ikke-labil fosfor er stærkt forskudt imod ikke-labil fosfor.

Der er et stadigt tab fra systemet, ved at fosfor bliver omdannet til okkluderet fosfor. Den total omdannelse fra primære fosformineraler til okkluderet fosfor kræver dog en geologisk tidsskala, fra hundreder til tusinder af år.

Beliggenhed af ageren.

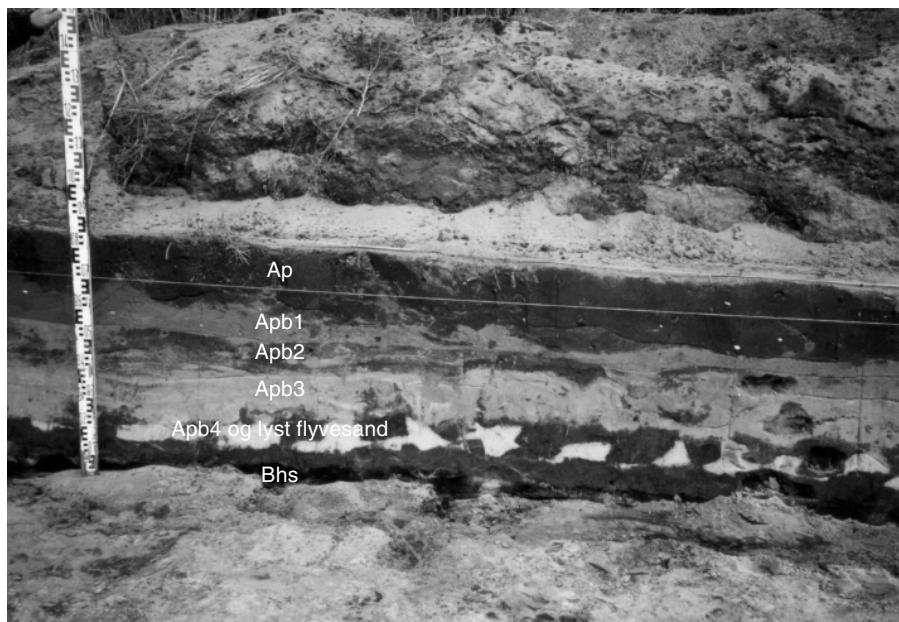
Den arkæologiske udgravning, hvor den undersøgte vikingeager er fundet, er placeret på en mark ca. 100 m syd for hovedvejen mellem Sønder Nisum og Torsminde, lige nordvest for Harbogårde. Udgravningen ligger vest for Skovbjerg Bakkeø og i den nordlige rand af et større flyvesandsområde, som ligger i et bælte langs Husby Klit, og udvider sig mod nord ind over Husby Klitplantage. Gennem hele sen- og postglacialtiden har vinden, især i de tidlige vegetationsløse tider umiddelbart efter istilbagetrækningen, dannet nye sandaflejringer.

To sandflugtsperioder

Som hovedregel gælder, at der findes to sandflugtsperioder. Den første og voldsomste i tundratiden, ved isens begyndende tilbagetrækning, den sidste sandsynligvis omkring jernalderen (500 år f.Kr. - 800 år e.Kr.). Den første sandflugtsperiode kan forklares ud fra naturforholdene, men den yngre må menneskene bære et stort ansvar for. Der var skov helt ud til vestkysten, men mennesket har drevet rovdrift på disse skove, og græsning, fældning og opdyrkning har gjort dem åbne og sårbare for vinden.

Flere steder langs Vestkysten, bl.a. i Alrum, i Stadil og her i Fjand ved Nisum Fjord, er der påvist agre og bopladser fra jernalderen, som er dækket af flyvesand. I skovtiden, fra 8000 år f.Kr. - 500 år e.Kr., dvs. fra stenalder til midt i jernalder, har der ikke været sandflugt. Det flyvesand, som er aflejret på Skovbjerg Bakkeø, er dateret til at være aflejret kort efter istilbagetrækningen på overgangen mellem Pleistocæn og Holocæn, hvorimod flyvesandet i havklitterne anses for at være aflejret i det 16. og 17. århundrede. Disse sandflugtsperioder genfindes også i profillet fra Ulfborg.

I bunden af profilet ses i grænsen mellem det begravede pløjelag fra vikingeti-



På billedet ses et profil med vikingeageren (sort/hvide lag midt i profilet). Ovenover ses tre andre begravede pløjelag (Apb1-3). I bunden af profilet er der et allag, der fremstår helt sort. (Foto: K. Dalsgaard)

den, Apb4, og allaget under, Bhs-horizonten, stedvist i toppen af allaget små smalle partier af lyst sand, hvilket sandsynligvis er resterne af et blegsandslag. Dette lag kaldes en E-horizont, og det er sammen med Bhs-horizonten resterne af en gammel podsol, der her ses. Denne jordbundsudvikling er sket, før marken blev dyrket, sandsynligvis under lyngen, som voksede på en tidligere eksisterende hede på stedet. Men sporene af E-horizonten er stort set blevet slettet som følge af pløjning og dyrkning af den daværende homogene Apb4-horizont.

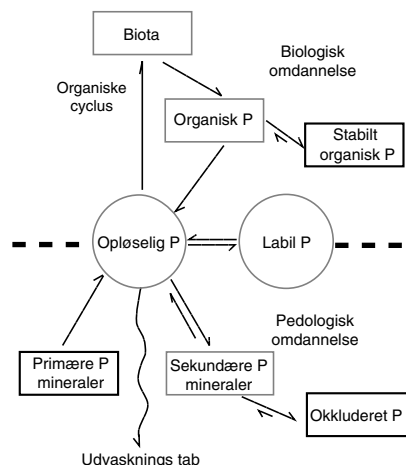
Kornstørrelsesanalyser viser, at udgangsmaterialet i ageren er groft flyvesand. Denne gamle ager er senere blevet helt dækket af lyst flyvesand. Vikingerne har tilsyneladende gjort et forsøg på at pløje det lyse sand ned og få den gamle

muld frem med en muldfjælsplov. Det er dog blevet ved dette ene forsøg, hvorfor kun et sæt spor af pløjefuger kan ses i profilet. Ovenover er successivt aflejret flyvesand, som har været dyrket mere eller mindre intensivt. Apb2 og Apb3 er mindre homogeniseret end Apb1 og det recente pløjelag, Ap. I Apb2-horizonten ses også mindre lerpartier, som var rester af et lerstampet gulv fra en middelaldergård på stedet, der ved en senere bearbejdning af jorden er blevet pløjet op.

Fosfor i jorden

Forskelle i fosforindholdet indikerer brugen af gødning. Fosforindholdet i jorden bliver normalt grupperet i tre typer: organisk fosfor (P-org.), uorganisk fosfor (P-uorg.) og den samlede total fosfor (P-total). På figuren kan det ses, hvorledes fosforen fordeler sig ned gennem profilet. P-total er i det recente pløjelag, Ap, relativt stort, hvilket må skyldes tilførelse af fosforholdigt kunstgødning. Under dette lag aftager fosforindholdet nedefter i profilet indtil Apb4 (top). Her sker der, i forhold til den overliggende Apb3-horizont, en stigning i P-total på 45 %. Indholdet af fosfor i det lyse sand og i Apb4(bund) er så atter lidt mindre for til sidst ikke uventet at stige kraftigt nederst i udfældningshorizonten Bhs.

Det kan på figuren ses, at den største andel af P-total er uorganisk bundet fosfor. Ap-horizonten er dog en undtagelse. Her er ca. 50% af fosforen organisk bundet, hvilket giver et resultat af tilført staldgødning. C/P_{org}-forholdet er for hele profilet mindre end 200, faktisk er kun Apb4 større end 100, hvilket medfører en netto-mineralisering af P_{org} til P_{uorg}. Dette forhold kan være medvirkende til at forklare den



Fosfor transformation i jord (Grafik: KB)

Fosfor i jord

Der findes mindst 206 fosforholdige mineraler. Næsten alt uorganisk fosfor i jordbunden findes i form af tungtopløselig orthofosfat, der omfatter forbindelser mellem fosfat (PO_4^{3-}) og metallerne Ca, Al og Fe. Frem for alt er det Fe- og Al-hydroxiderne og -oxider samt lermineraller med talrige (Al, Fe)-OH og OH_2 -grupper på overfladen, som kan adsorbere anioner, herunder en stærk adsorption af fosfat (PO_4^{3-}). Det første forklarer, hvorfor fosfat-indholdet er specielt udpræget i jorde med højt indhold af jernoxider som f.eks. podsollers B_s -horisont (al-lag).

Okkluderet fosfor er den del af fosforen, som er fysisk indkapslet af mineraler, der ikke selv indeholder fosfor. Denne okkluderede fosfor er således fysisk afskærmet fra vekselvirkning med andre former for fosfor. Det er som regel Fe-oxider, hæmatit og goethit, der på denne måde indkapsler fosfor. Fosfor opløst i jordvæsken forekommer som fosforsyre H_3PO_4 . For de pH-regimer, der normalt hersker i jorden, vil de korresponderende ioner til H_3PO_4 være H_2PO_4^- og HPO_4^{2-} . Fosfor kan tillige danne opløselige komplekser med en række metalioner. Disse kan være Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} eller Fe^{3+} .

Fosfor optages i jordbunden.

Opløst fosfor (fosfat-fosfor) i jordvæsken udgør i gennemsnit mindre end 0.01 % af

en jordbunds totale fosforindhold. Denne minimale fosforudvaskning er forklaringen på, hvorfor fosforkoncentrationen, selv i intensivt gødet jorde, i de dybere jordhorisonter er meget lille, fra 0.003 til 0.1 mg P/l.

Størrelsen af fosfortransport med vandet er afhængig af koncentrationen af fosfor i jordvæsken og størrelsen af vandgennemstrømningen. Da fosforkoncentrationen i jordvæsken er lav, vil den transporterede mængde fosfor således oftest være ubetydelig. Jordbunden anses derfor normalt ikke at miste fosfor ved udvaskning, selv om det rent faktisk sker i geologisk tidsskala.

C/P_{org.} forholdet

Om organisk fosfor er omdannet til mineralisk fosfor (til den labile pulje), kan ses i forholdet mellem kulstof og organisk fosfor C/P_{org.}.

Almindeligvis antager man, at er C/P_{org.}-forhold mindre end 200, så er der sket en netto-mineralisering af organisk fosfor. Modsat, er forholdet større end 300, er der sket en netto-omdannelse af mineralisk fosfor til organisk fosfor i jorden.

Mineraliseringen af organisk fosfor sker via enzymer afgivet af planterødder. Ved et lavt indhold af labilt fosfor i jorden stiger enzymernes omdannelse af organisk fosfor til mineralisk labilt fosfor.

gødsning, eftersom fosforindholdet er 10 gange det lyse flyvesand.

Bhs-horisonten kan være medvirkende til den øgede mængde fosfat i ageren fra vikingetiden (Apb4). Ved at blande mere end 4 cm af allaget, der er fosforholdigt, op i det lyse sand bliver indholdet i pløjemarken fra vikingetiden på samme niveau som en gødet jord, vel at mærke uden brug af gødning.

Man kunne dog i felten nogen steder se rester af den gamle E-horisont (udvasket horisont) over Bhs (allaget) i grænselaget



Jordprofilen studeres nøje. (Foto udlånt af Kristian Dalsgaard)

mellem Apb4 og Bhs, hvilket tyder på, at der i givet fald ikke er pløjet særlig langt ned i Bhs. Men Bhs kan ikke afvises som kilden til fosfor i Apb4.

Endnu et fænomen taler for, at den gamle ager har været gødet. Apb4 var i felten meget homogen, og man kunne derfor forestille sig, at indholdet af horisontens fosfor også er rimeligt jævnt fordelt. Dette er bare ikke tilfældet. Koncentrationen af P-total i toppen Apb4 (564 ppm) er næsten 200 ppm større end i bunden. Dette kan næppe skyldes et bidrag fra Bhs, men er nærmere et udtryk for en fosfortilførsel ovenfra.

store andel af $\text{P}_{\text{uorg.}}$ i P-total. Det relative store indhold af $\text{P}_{\text{uorg.}}$ og $\text{P}_{\text{org.}}$ i Bhs-horisonten skyldes udfældningen af organisk stof samt jern- og aluminiumforbindelser, hvortil fosfor er bundet.

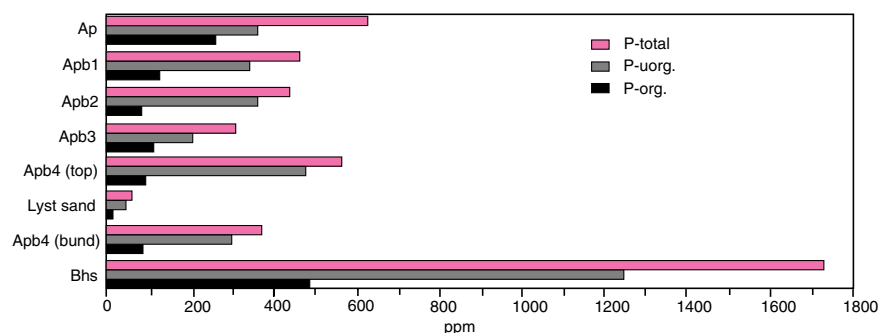
Gødsningen i vikingetiden

Der eksisterer en bred enighed om, at der i jorden sker en minimal udvaskning af fosfor, og at dyrkning af jorden med anvendelse af gødning afstedkommer en nettoakkumulation af fosfor, på trods af at der bliver fjernet fosfor med afgrøden. Denne viden bliver bl.a. brugt til at konstatere tidligere agre og til påvisning af gammel bebyggelse.

I udyrkede danske sandjorde er det naturlige fosforindhold på 100 mg/kg og dyrkning af jorden kan medføre en tidobling af fosforindholdet i pløjelaget. De øverste 4 horisonter har et fosforindhold på ca 5-10 gange det lyse sands indhold, der er udyrket flyvesand, og derfor kan betragtes som et udgangsmateriale. Horisonterne Ap og Apb1 er ganske givet gødet, og i det nutidige pløjelag ses netop en tidobling af P-total i forhold til det lyse sand. Det relative store fosforindhold i Apb2 og Apb3,

som fremstod mindre homogene, kunne måske udover at være et resultat af gødning, også skyldes organisk affald i forbindelse med gårdbebyggelsen fra middelalderen.

Udgangsmaterialet for Apb4 er af en lidt anden karakter end de overliggende horisonter ifølge partikelstørrelsesfordelingen, og kan have indeholdt mere apatit. Men denne horisont er ganske givet også blevet dyrket og altså tilført fosfor i form af



Gennemsnitlig fosfor-fraktionsfordeling ned gennem profilet. (Grafik: Forfatteren og KB)

Agerens historie

Hvis vi antager, at den tilvækst på 200 ppm P-total fra Apb4's bund til top er den del af den med gødningen tilførte mængde P-total, som er blevet tilbageholdt i jorden, er det muligt at gisne om, hvor længe ageren blev dyrket. I det følgende lille regneeksempel vil de 200 ppm P-total blive betragtet som en tilvækst for hele Apb4-horisonten.

I 1978 blev der i Danmark gennemsnitlig tilført 17 kg P/ha/år naturgødning og 19

kg P/ha/år handelsgødning. Af denne mængde tilført fosfor fjernes de 20 kg P/ha/år med afgrøden, og de 16 kg P/ha/år bindes i jordbunden. Med grove tal vil det sige, at ca. halvdelen af den tilførte

fosfor bliver bundet i jorden. I Danmark blev der i alt i 1978 tilført ca. 65 000 tons fosfor med naturgødning. I år 1900 var dette tal ca. 15 000 tons, altså kun ca. 1/4 af 1978-mængden. Hvis vi ser bort fra, at fosfor i mineral- og naturgødning har forskellig opløselighed, at graden af hvor plantetilgængelig det er, ikke er ens etc., så ville det sige, at der i år 1900 i gennemsnit kun blev bundet ca. 4 kg P/ha/år. I vikingetid, som Apb4-horisonten menes at tilhøre, kunne man forestille sig, at produktionen

af gødning var mindre (færre dyr), og at det sammen med den større byrde ved distributionen, faktisk ville føre til endnu mindre fosfor, som blev bundet i jorden, end de 4 kg P/ha/år i år 1900. Men lad os tænke stort og bevare den værdi. De 200 ppm svarer til, med en "volumenvægt" på 250 kg/m², en tilvækst i indholdet af P-total på 500 kg P-total/ha. Dvs. at ud fra denne teoretiske betragtning har den gamle pløjemark været dyrket i ca. 125 år, inden den omkring år 1000 måtte opgives. ■