

## Bilag 7: Sammenhænge mellem simple jordegenskaber

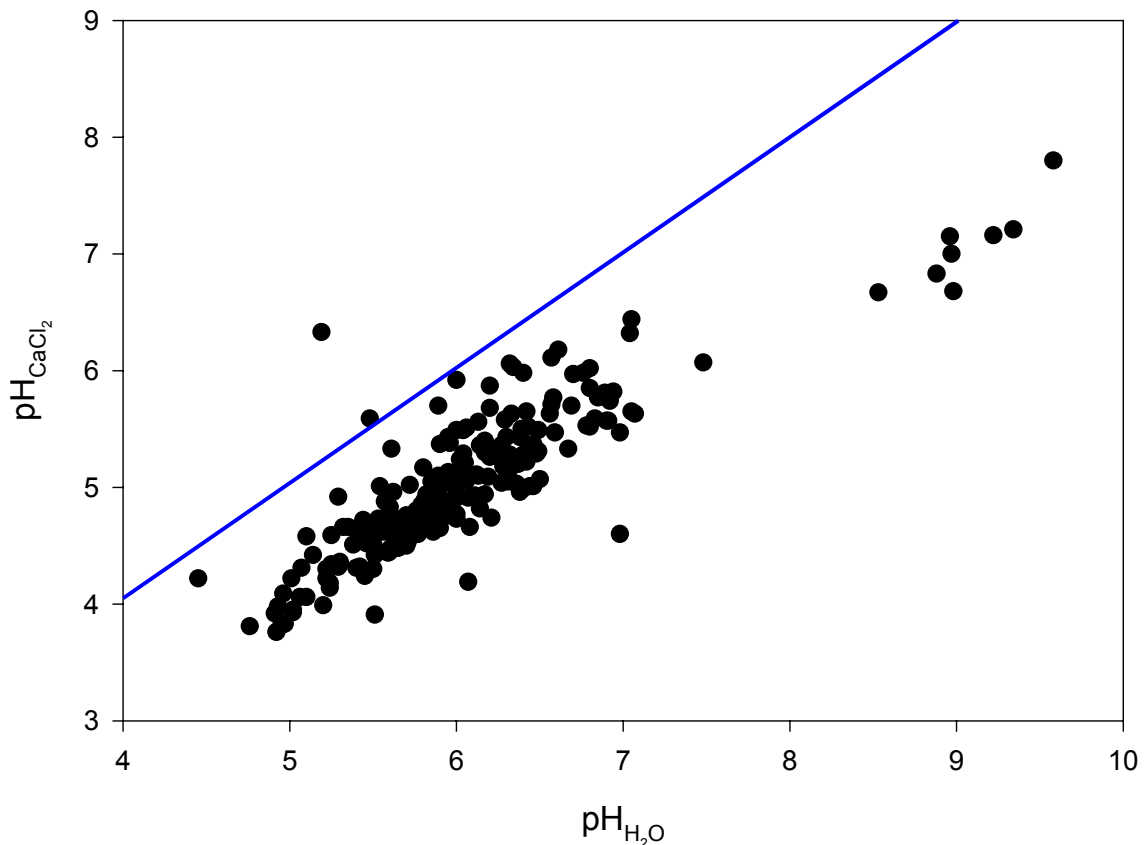
GEUS: Jim Rasmussen

Hensigten med dette bilag er at illustrere de vigtigste almindeligt kendte sammenhænge mellem simple jorddata, som kan eftervises med KUPA datasættet. Desuden gives en beskrivelse af volumen vægt og målene for den biologiske aktivitet. Alle de illustrerede jordegenskaber rummer selvstændig information i tilgift til sammenhængen med andre jorddata.

Der er opbygget et stort og sammenhængende datasæt for danske sandjorde. Flere almindeligt kendte sammenhænge mellem jordegenskaber er illustreret med dette datasæt. Disse sammenhænge underbygger datasættets troværdighed og mindsker antallet af kritiske jordegenskaber der i den aktuelle sammenhæng rummer selvstændig information, jævnfør følgende eksempler:

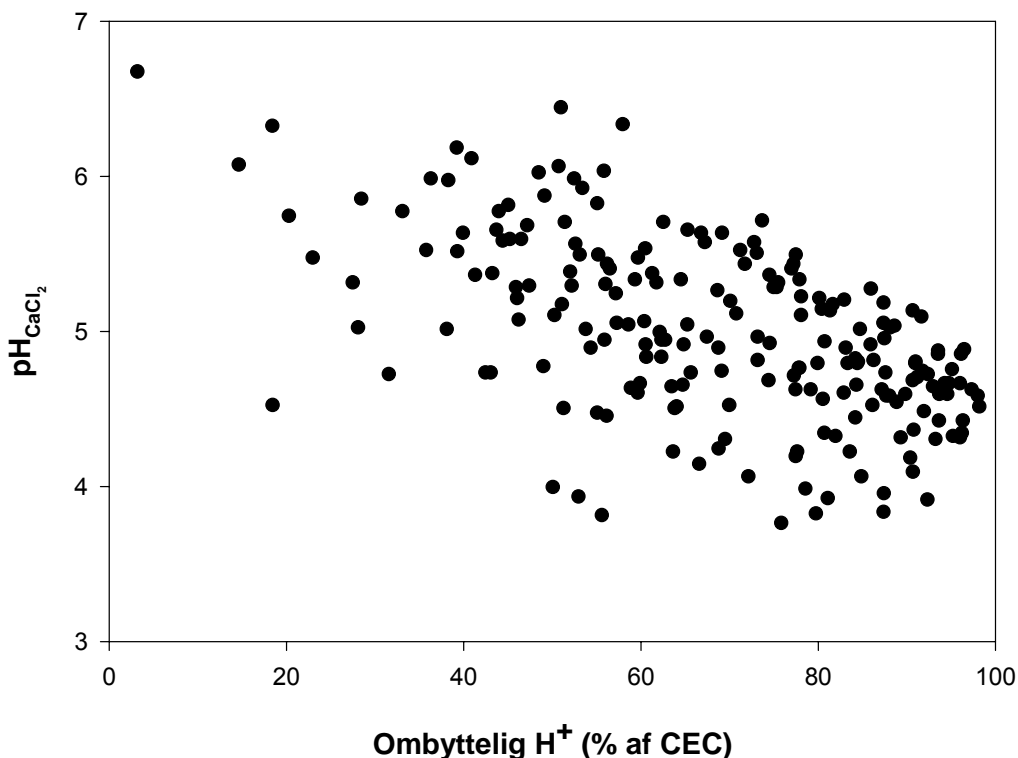
### pH

Det fremgår af litteraturen at pH (målt i 0,01M CaCl<sub>2</sub>) forventes at være lidt lavere end pH målt i en opsløsning med vand (H<sub>2</sub>O). Denne sammenhæng bekræftes af projektets resultater (figur 7.1).



**Figur 7.1.**  $pH_{H_2O}$  mod  $pH_{CaCl_2}$  for 218 prøver i datasættet viser at  $pH_{CaCl_2}$  generelt er lavere end for  $pH_{H_2O}$ .

## Ombytteligt brint repræsenteret gennem $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$

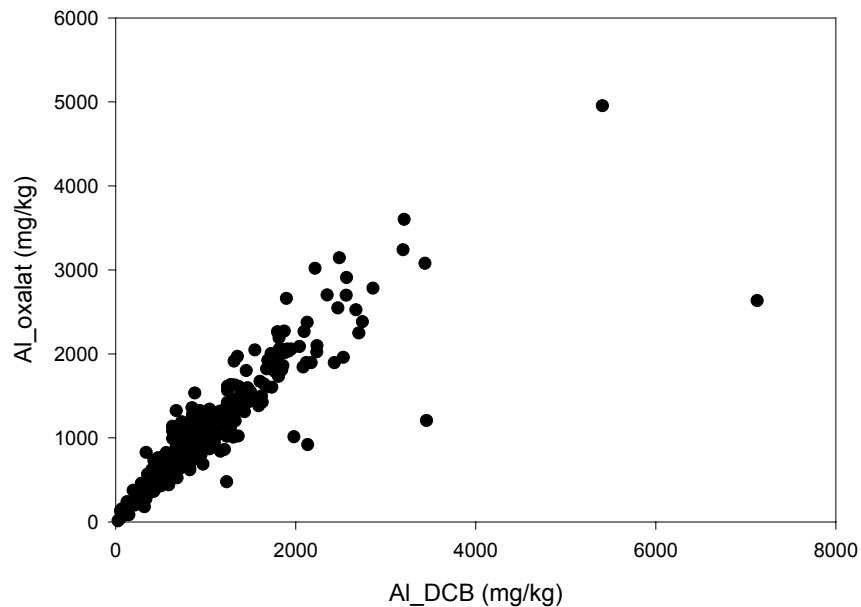


**Figur 7.2.** Ombytteligt brint (% af CEC) mod  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  for 218 prøver i projektets datasæt.

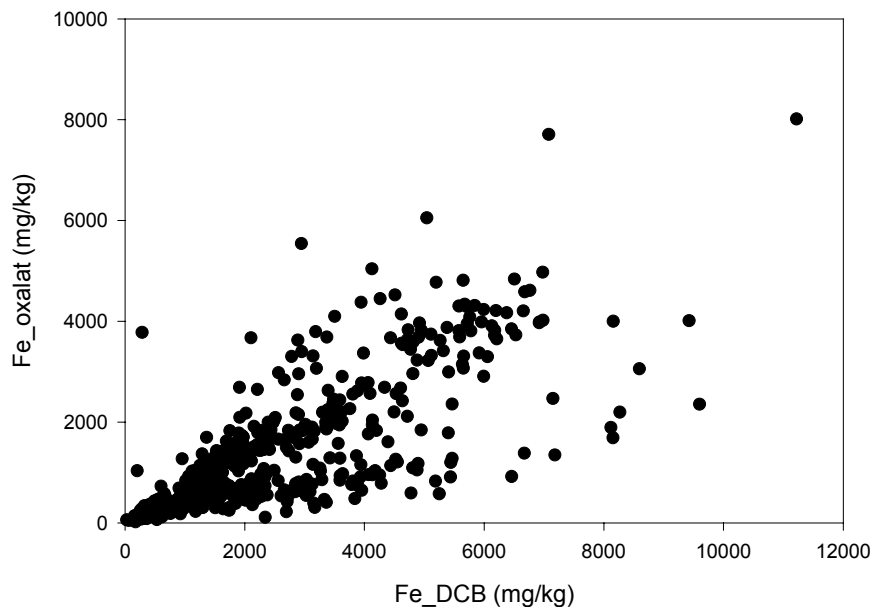
Jordens kornstørrelsesfordeling og indholdet af organisk kulstof rummer tilsammen indirekte information om jordens kationombytningssegenskaber (CEC) og (hvis yderligere pH tages i betragtning) om andelen af ombytteligt brint. Kationombytningskapaciteten angiver summen af basiske ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  og  $\text{Na}^+$ ) og sure ( $\text{Al}^{3+}$  og  $\text{H}^+$ ) kationer. Fordelingen mellem basiske og sure ioner afhænger af jordens pH, idet faldende pH medfører en faldende basemætning. Jordens CEC-værdi kan derfor beregnes (prædikteres) med det opbyggede datasæt.

Mængden af ombyttelige brintioner (ombyttelig  $\text{H}^+$ ) stiger med aftagende pH-værdi, hvor ombyttelige baser i stigende omfang skiftes ud med brintioner (Schroeder, 1978), figur 7.2. I sure jorde med pH-værdier på omkring 3,5 (målt i  $\text{CaCl}_2$ ) vil ombytteligt brint sammen med ombytteligt aluminium stort set svare til CEC-værdien, mens denne andel aftager til omkring 0 % ved en pH-værdi på omkring 8. På baggrund af jordens pH-værdi vil det således være muligt at anslå andelen af ombyttelig brint.

## Udskiftelighed af dithionit ekstraherbart jern og aluminium med oxalat ekstraherbart



**Figur 7.3.** Al\_DCB mod Al\_oxalat for 351 prøver i projektets datasæt.



**Figur 7.4.** Fe\_DCB mod Fe\_oxalat for 493 prøver i projektets datasæt.

En ekstraktionsvæske virker ikke nødvendigvis specifikt over for en enkelt forbindelse som ønskes ekstraheret. Med de her valgte ekstraktionsmetoder med oxalat og dithionit-citrat-bicarbonat-opløsning (DCB) forventes de følgende puljer af aluminium og jern at blive bestemt (jfr. bl.a. Holm et al, 2003):

- Al\_oxalat, som omfatter organisk kompleksbundet aluminium samt dårligt krystalliserede aluminiumoxider og –silikater.

- Al\_DCB, som anses for at omfatte organisk kompleksbundet aluminium, dårligt krystalliserede aluminiumoxider og -silikater samt aluminium bundet ved isomorf substitution i krystallinske jernoxider
- Fe\_oxalat, som omfatter organisk kompleksbundet jern samt dårligt krystalliserede jernoxider og -silikater
- Fe\_DCB, som omfatter ikke krystallinske jernforbindelser og dårligt krystalliserede jernoxider og -silikater

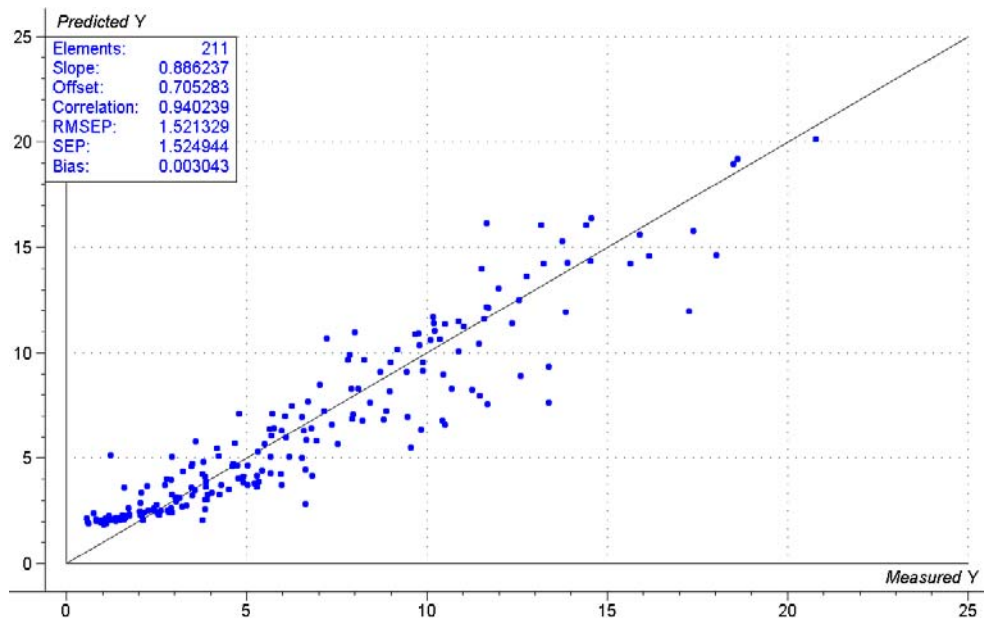
Som det fremgår af figur 7.3 foreligger der for langt de fleste prøver en meget pæn korrelation mellem de fundne indhold af aluminium ekstraheret med henholdsvis oxalat og DCB, og dette tyder på, at de organisk bundne former kommer med ved begge metoder. De få afvigelser, som falder udenfor korrelationen, kan således bl.a. skyldes et indhold af aluminium bundet ved isomorf substitution i jernoxider.

For jern bestemt ved henholdsvis oxalat og DCB ekstraktion foreligger ikke samme fine sammenhæng som for aluminium, figur 7.4, idet der ved oxalatekstraktionen vil ekstraheres organisk bundet jern, hvilket ikke gør sig gældende for puljen bestemt ved DCB. Alt andet lige må det således forventes, at der foreligger en bedre sammenhæng mellem puljer for sedimenter med lave indhold af organisk kulstof end for sedimentprøver med forholdsvis høje indhold af organisk kulstof.

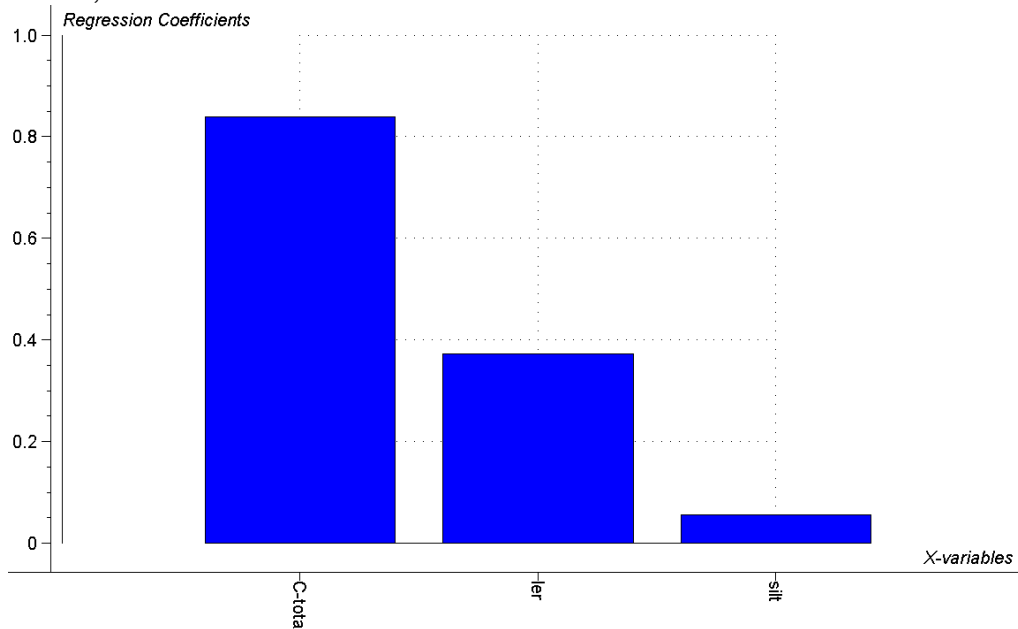
Det opbyggede datasæt viser at jordens indhold af aluminium, ekstraheret med oxalat ( $Al_{\text{oxalat}}$ ) og dithionit ( $Al_{\text{DCB}}$ ) er stærkt korrelerede. De to mål for ekstraherbart aluminium kan dermed erstatte hinanden ved beskrivelse af modelparametrene af afhængighed af jordegenskaber. Der er ikke en lignende simpel sammenhæng i datasættet for de tilsvarende mål for ekstraherbart jern,  $Fe_{\text{DCB}}$  og  $Fe_{\text{oxalat}}$ , som derfor ikke kan erstatte hinanden.

## Kation ombytningskapacitet (CEC)

CEC er et mål for jordens ionbytningssevne og har derigennem betydning for tilbageholdelsen af positivt ladede molekyler i jorden. Det undersøges om CEC kan beskrives ud fra indholdet af organisk kulstof, kornstørrelsesfordelingen, figur 7.5a-b, og indholdet af aluminium, figur 7.6a- b og jern.



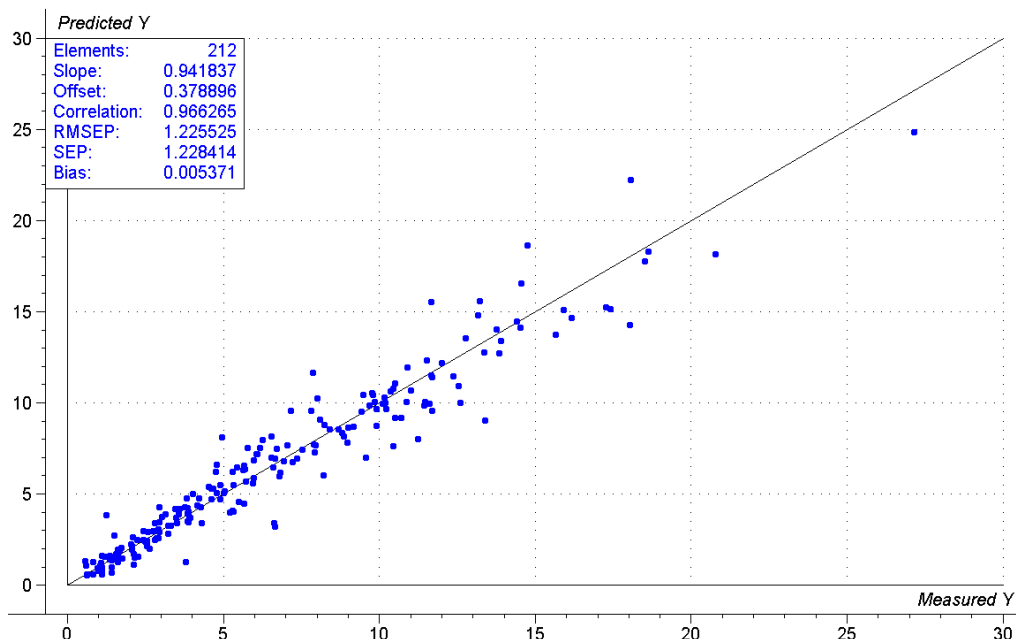
**Figur 7.5a.** Målt (Measured Y) CEC mod modelleret (predicted Y) CEC med PLS-model baseret på C-total og de fine tekstur klasser. Varians forklaret: X: 96%; Y: 89%; 2 PLS-komponenter; Outliers: 9/220.



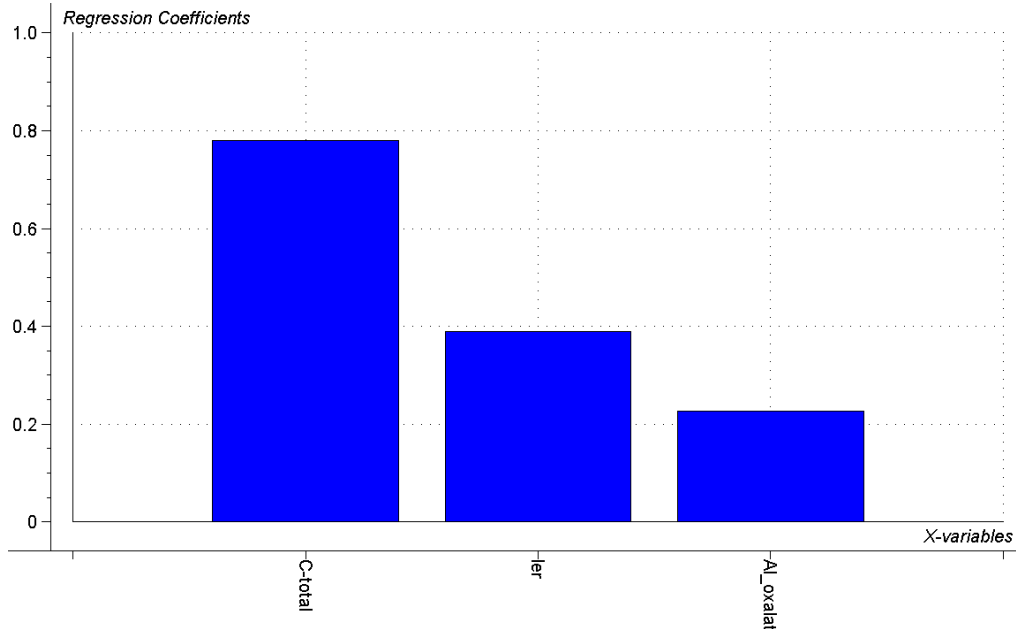
**Figur 7.5b.** Betydende parametre for prædiction af CEC med PLS-model baseret på C-total og de fine tekstur klasser. Silt klassen dækker finsilt fraktionen.

Almindeligvis antages CEC-værdien primært at være bestemt ved indholdet af organisk kulstof (C-total) og lerindholdet, der begge kan tilbageholde kationer. På sandjorde vil indholdet af organisk kulstof spille en speciel stor rolle i A horisonten (og i B horisonten, hvis der er store mængder organisk kulstof til stede her (bl.a. for Bh eller Bhs horisonter). Indholdet af jern- og

aluminiumoxider anses ligeledes at kunne spille en rolle for CEC-værdien og, som vist i figur 7.6a og 7.6b opnås en forbedret prædiktionssevne for korrelationen, når data om oxalat ekstraherbart aluminium inddrages.



**Figur 3.6a.** Målt (Measured Y) CEC mod modelleret (predicted Y) CEC med PLS-model baseret på ler, C-total og  $Al_{oxalat}$ . Varians forklaret: X: 68%; Y: 94%; 2 PLS-komponenter; Outliers: 5/217.



**Figur 7.6b.** Betydende parametre for prædiktions af CEC med PLS-model baseret på C-total, ler og  $Al_{oxalat}$ .

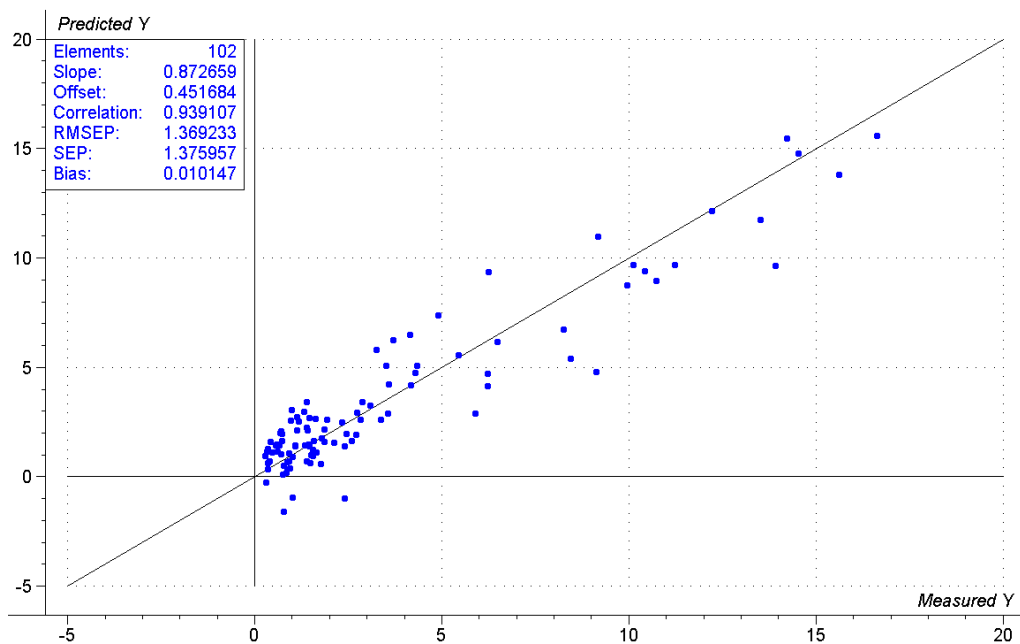
Inddragelse af  $Al_{oxalat}$  betyder at finsilt kan fjernes fra modellen, samtidig med at der bliver færre outliers. Såfremt CEC skal prædikteres, vil det i de tilfælde, hvor der eksisterer oplysninger om indholdet af oxalat ekstraherbart aluminium, være en fordel at anvende den sidste model.

CEC kan altså beskrives indirekte ved hjælp af indholdet af organisk kulstof og de fine tekstur klasser.

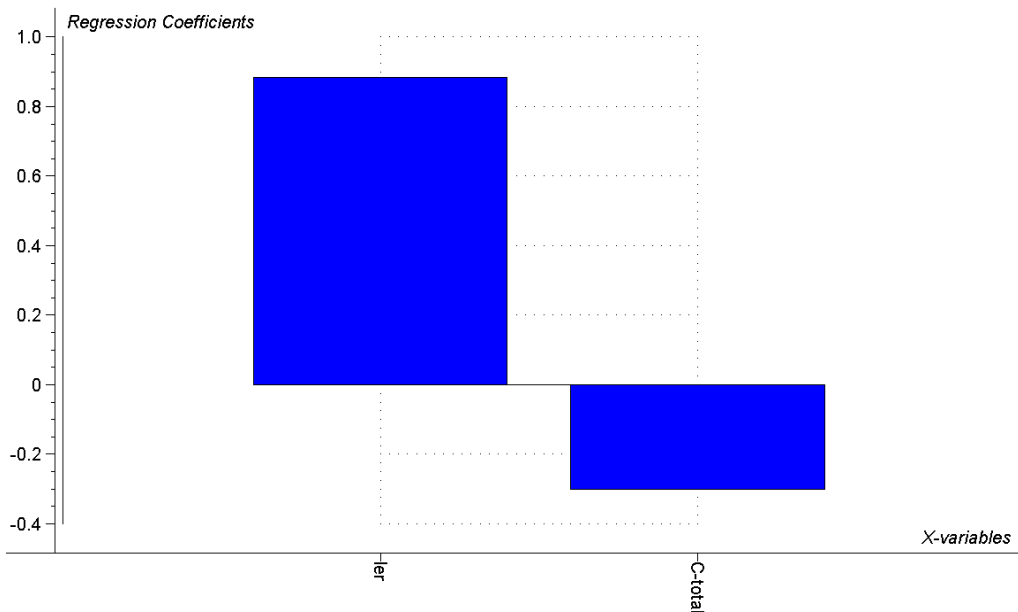
### Specifik overflade repræsenteret gennem organisk kulstof og ler indholdet

Ved det specifikke overflade areal forstås en måling af overfladen af de faste partikler i sedimentprøven, dvs. et summeret udtryk for alle grænseflader, som dermed også er et udtryk for bl.a. sedimenternes sorptive (bindings-) egenskaber. I nærværende undersøgelse er det specifikke overfladeareal målt på fraktionen < 2mm.

Det undersøges ved en korrelationsanalyse om den specifikke overflade kan beskrives ud fra indholdet af organisk kulstof, kornstørrelsesfordelingen, samt indholdet af jern og aluminium, figur 7.7a-b.



**Figur 7.7a.** Målt (Measured Y) specifik overflade areal mod modelleret (predicted Y) specifik overflade areal, med PLS-model baseret på ler og C-total. Varians forklaret: X: 51%; Y: 89%; 1 PLS-komponent; Outliers: 6/108.

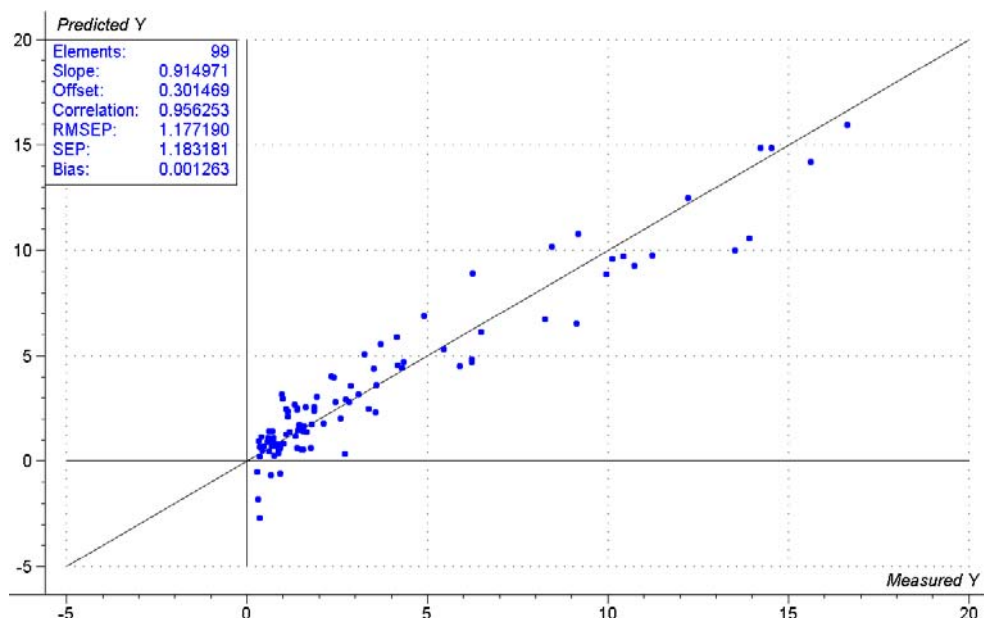


overflade model..., (Y-var, PC): (Overflade i m<sup>2</sup>/g,1) B0W = -0.090937

**Figur 7.7b.** Betydende parametre for prædiktions af specifik overflade areal for PLS-model baseret på ler og C-total.

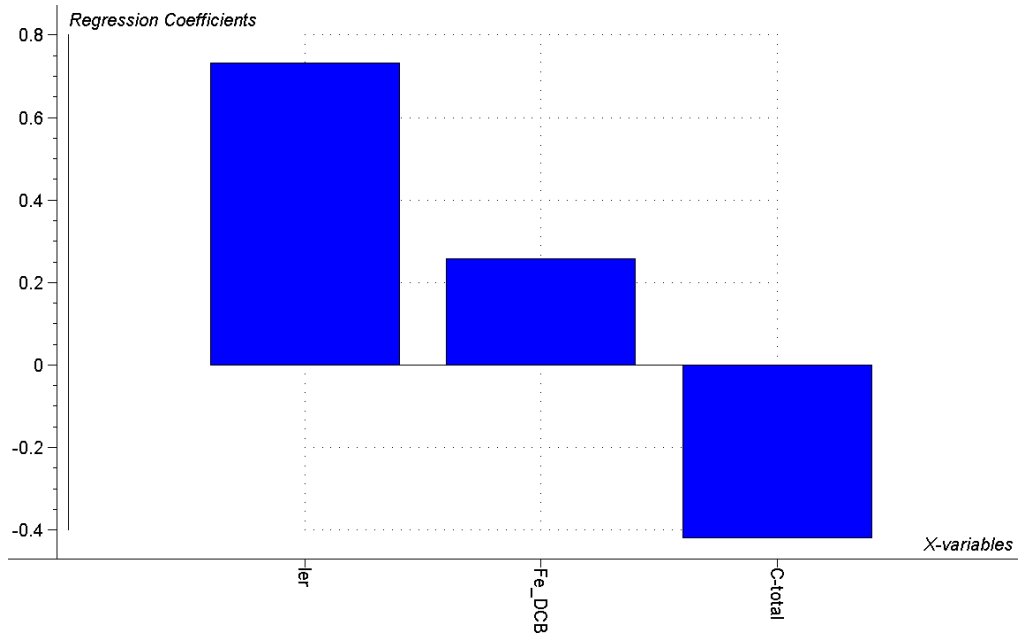
Det er ler der bidrager til overfladen, mens den negative indflydelse af organisk kulstof stammer fra sedimentprøver indsamlet fra muldhorisonten, hvor det organiske stof formodes at danne mikroaggregater med mineralkornene, hvorved det specifikke overfladeareal mindskes.

Ovenstående model kan forbedres under inddragelse af dithionit ekstraherbart jern ( $Fe_{DCB}$ ), figur 7.8a-b.



**Figur 7.8a.** Målt (Measured Y) specifik overflade areal mod modelleret (predicted Y) specifik overflade areal for model baseret på ler,  $Fe_{DCB}$  og C-total. Varians forklaret: X: 88%; Y: 93%; 2 PLS-komponent; Outliers: 9/108.





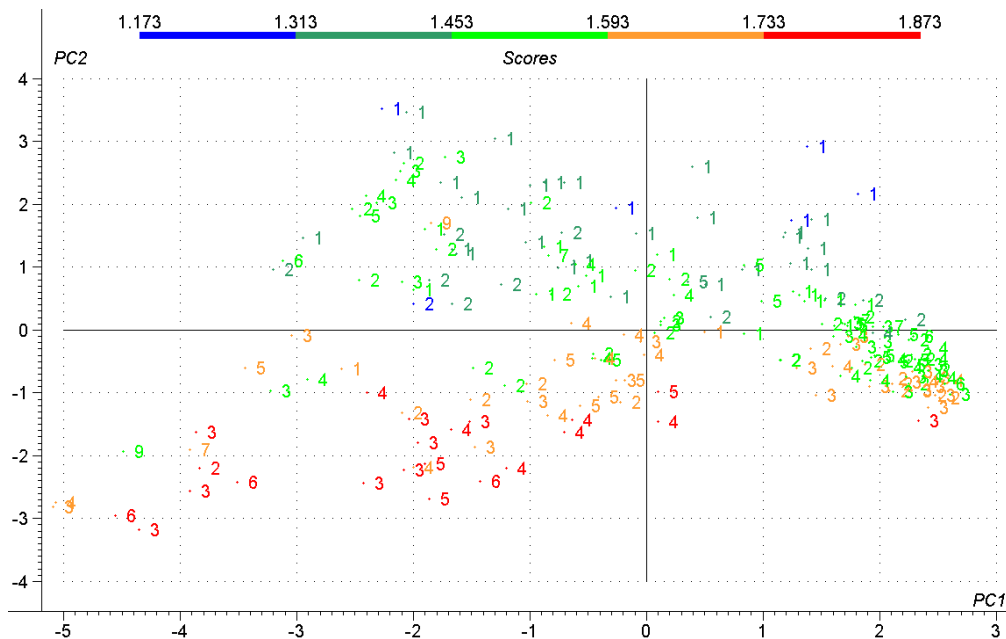
**Figur 7.8b.** Betydende parametre for prædiktion af specifik overflade areal for PLS-model baseret på ler, Fe<sub>DCB</sub> og C-total.

Inddragelse af Fe<sub>DCB</sub> viser, at jern sammen med ler danner det specifikke overflade areal. Også i dette tilfælde har indholdet af organisk kulstof negativ betydning.

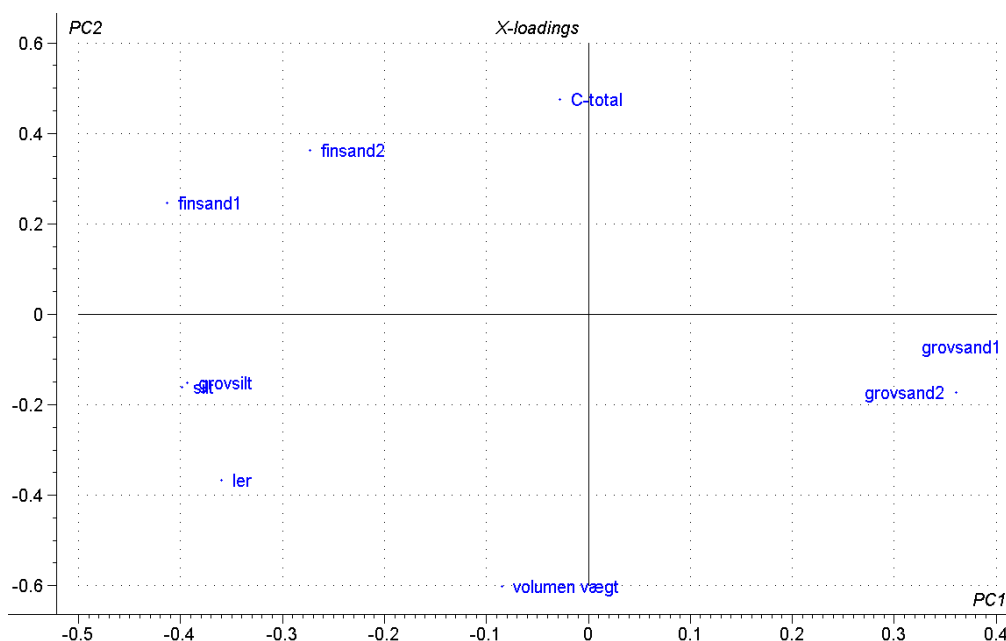
Jordens specifikke overflade er godt beskrevet, når indholdet af organisk kulstof og de fine tekstur klasser er kendt.

## Volumen vægt

Jordens volumen vægt indeholder information om blandt andet porøsiteten, som har betydning for jordens hydrauliske egenskaber. Umiddelbart kan det forventes at volumen vægten i nogen grad vil afhænge af kornstørrelsesfordelingen, idet en jord med en blanding af forskellige kornstørrelser vil kunne pakkes tættere end fx. en jord med stort indhold af de grove kornstørrelser. I første omgang har en regressionsanalyse vist at volumenvægten ikke kan beskrives ud fra indholdet af organisk kulstof og kornstørrelsesfordelingen. I stedet undersøges sammenhængen i data ved en principal component analyse (PCA), hvor korrelationer mellem variable træder frem, figur 7.9a-b.



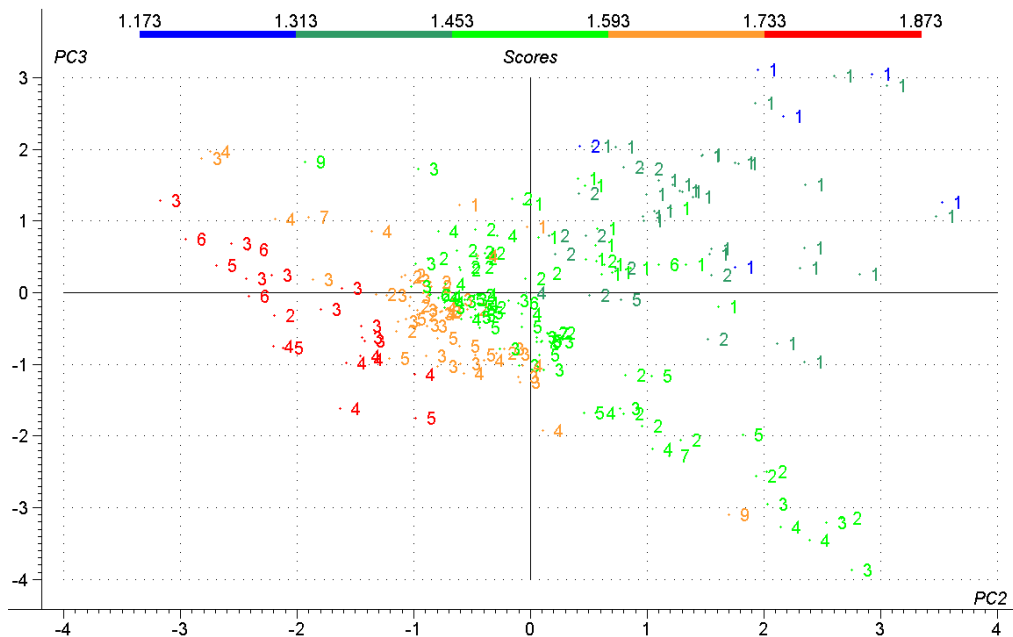
**Figur 7.9a.** Score plot med PC1 mod PC2 for PCA på 206 prøver fra projektets datasæt. Tallene angiver dybden, hvori prøven er udtaget, og farveskalaen viser variationen i volumen vægten (volumen vægten er stigende fra blå mod rød). De anvendte jorddata fremgår af figur 3.8b. Varians forklaret: PC1: 42%; PC2: 20%.



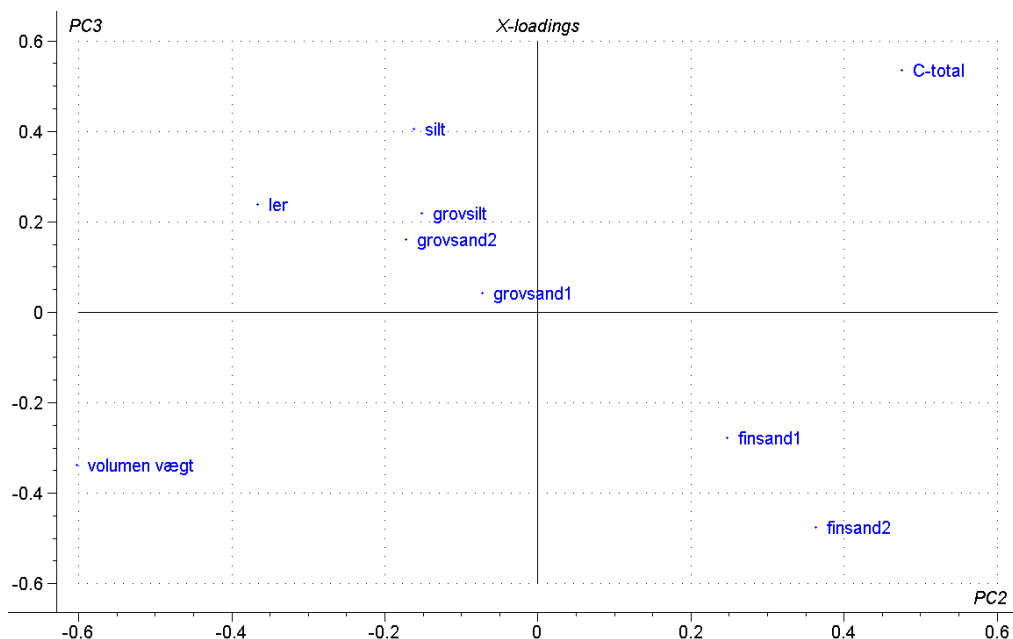
**Figur 7.9b.** Loading plot med PC1 mod PC2 for PCA på 206 prøver fra projektets datasæt.

Tolkning af en PCA-model sker ved at betragte score og loading plots i sammenhæng. På figur 7.9a og b angiver den vandrette akse udstrækningen for den første principal komponent (PC1). Prøver der på score plottet (figur 7.9a) ligger langt mod højre, har et højt indholdet af grovsand1 og 2, hvilket kan ses på loading plottet (figur 7.9b), hvor disse to variable ligger mod højre. Grovsand1 og grovsand2 er positivt korrelerede med hinanden, idet de ligger tæt sammen på loading plottet. Grovsand er derimod negativt korrelerede til de fine kornstørrelser som ligger til venstre på loading plottet. Ved tolkningen af PCA-modellen fortæller forklaringsgraden for den enkelte principal komponent, hvilken vægt der skal tillægges den information, som er indeholdt i principal komponenten. I tolkningen af sammenhængen mellem volumen

vægt, kornstørrelsesfordeling og indholdet af organisk kulstof indgår tre principal komponenter (figur 7.9a-b og 7.10a-b) som forklarer henholdsvis 42, 20 og 17% af variationen i datasættet.



**Figur 7.10a.** Score plot med PC2 mod PC3 for PCA på 206 prøver fra projektets datasæt. Tallene angiver dybden hvori prøven er udtaget og farveskalaen viser variationen i volumen vægten (volumen vægten er stigende fra blå mod rød). De anvendte jorddata fremgår af figur 3.9b. Varians forklaret: PC2: 20%; PC3: 17%.



**Figur 7.10b.** Loading plot med PC2 mod PC3 for PCA på 206 prøver fra projektets datasæt.

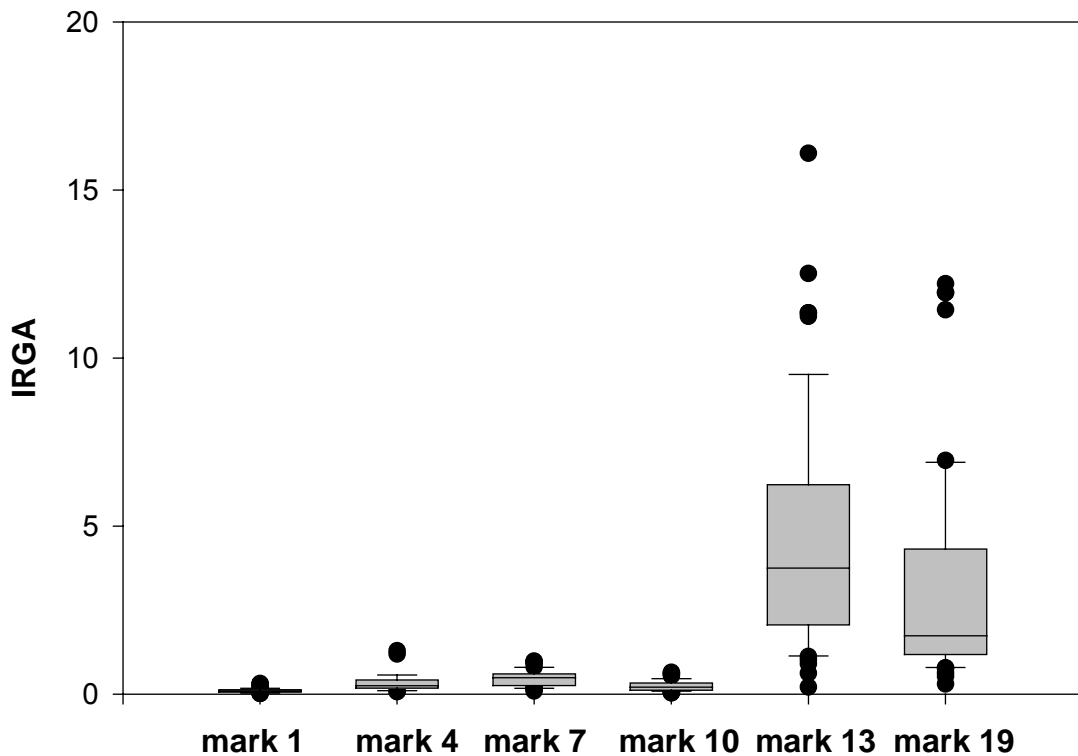
Den multivariate dataanalyse af simple jordegenskaber og volumenvægten viser at det ikke er muligt at opstille en korrelationsmodel, der beskriver volumenvægten. Det betyder at datasættet ikke indeholder tilstrækkeligt med information til at volumenvægten er beskrevet med andre data. Volumenvægten betragtes derfor som en selvstændig information der ikke kan substitueres.

Principal komponent analysen fortæller at volumenvægten er positivt korreleret med indholdet af de fine kornstørrelser og negativt korreleret til indholdet af organisk kulstof (C-total). Volumen vægten er på både PC1 og PC2 positivt korreleret med ler, silt og grovsilt. I forhold til C-total er volumen vægten på PC2 og PC3 negativt korreleret, hvilket fremgår af figur 7.10b, hvor C-total ligger i modsatte hjørne i forhold til volumenvægten. Betydningen af C-total hænger snævert sammen med dybde 1 (A-horisonten), hvilket kan ses ved at sammenholde score plottet med PC2 og PC3 (figur 7.10a) med det tilhørende loading plot (figur 7.10b), hvor de blå ettaller (A-horisonterne) ligger samme sted i diagrammerne som C-total.

## Biologiske aktivitet

I projektet er der, udover bakterietællinger, fire mål for jordens biomasse og biologiske aktivitet. I felten måles den basale respiration (IRGA) og i laboratoriet anvendes tre metoder, SIR, ASA og FDA, som fortæller om biomassen og den biologiske aktivitet. Mål for den biologiske aktivitet kan ikke repræsenteres ved øvrige jordegenskaber. Den biologiske aktivitet kan bestemmes i felten.

### Feltmåling af basal in situ respiration (IRGA)



**Figur 7.11.** Basal in situ respiration (IRGA) målt i cirka 50 punkter for hver af de seks marker, hvor variabiliteten er undersøgt. Måling af IRGA fandt for mark 1 sted ultimo november, for mark 4, 7 og 10 ultimo marts, mens måling for mark 13 blev foretaget ultimo august og for mark 19 medio september.

Måling af den basale respiration i felten (IRGA) forventes at være afhængig af årstiden, idet den biologiske aktivitet påvirkes af temperaturen. Dette bekræftes gennem IRGA målt i projektet, hvor forskellen i tidspunkt på året for feltmålingen afspejler sig i værdierne for IRGA for de seks marker, hvor variabiliteten er undersøgt, figur 7.11. Figuren viser at mark 13 og 19 giver væsentlig højere værdier end mark 1, 4, 7 og 10, hvilket kan forklares med at mark 13 og 19 er målt i sensommeren, mens de øvrige marker er målt i henholdsvis tidlig forår og sen efterår.

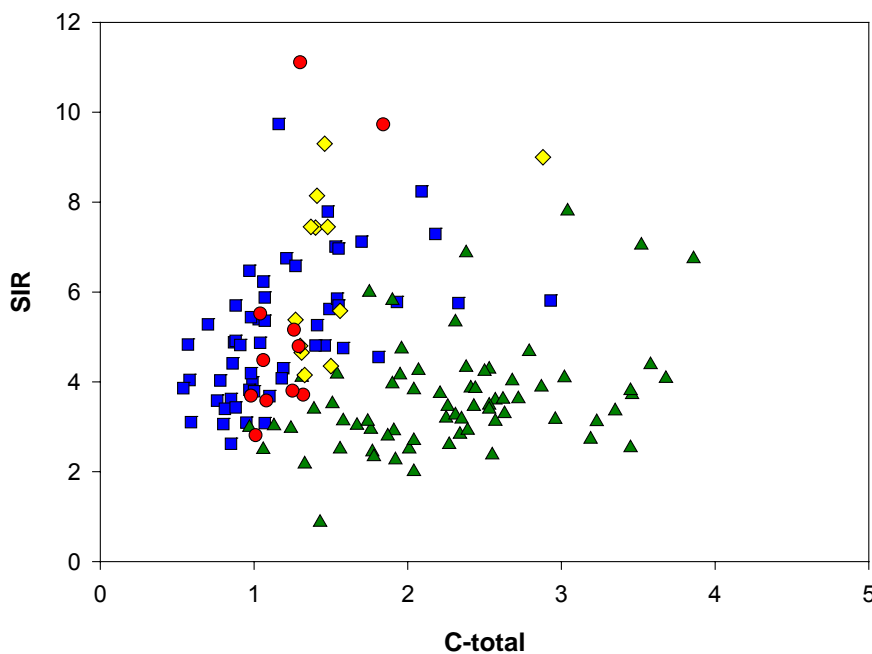
På grund af den store årstidsafhængighed af IRGA er denne parameter ikke anvendt i forbindelse med korrelationsanalyserne.

## Biologisk aktivitet og biomasse bestemt i laboratoriet

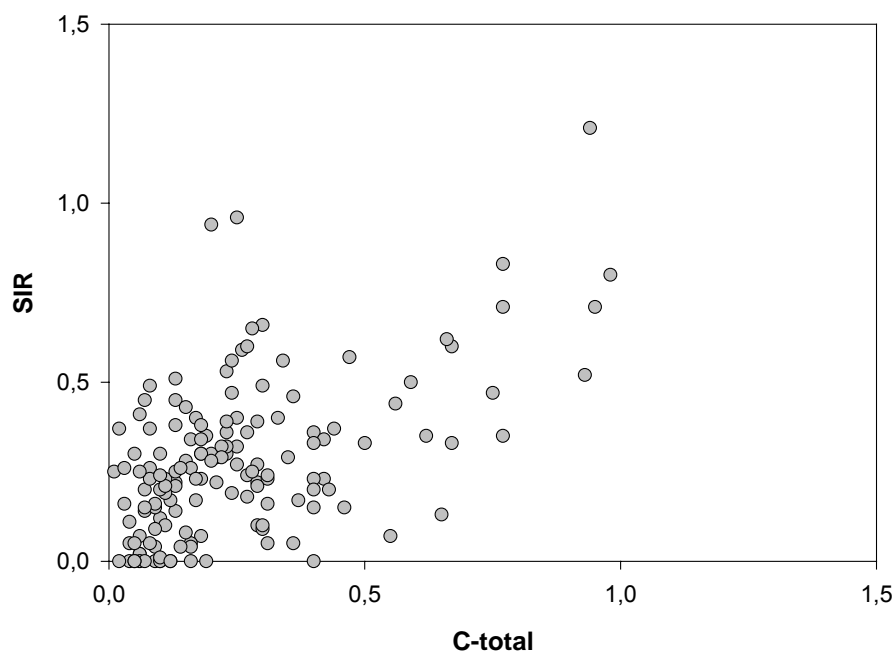
Resultaterne af de tre mål for biomasse og biologisk aktivitet (SIR, ASA og FDA bestemt i laboratoriet) danner alle to grupper, hvor A-horisonten har høje værdier, mens de dybere horisonter generelt har lave værdier. For A-horisonterne er der en vis sammenhæng mellem værdierne indenfor de fire landskabelementer: Yoldia flade, hedeslette, bakkeø og Weischel moræne. I det følgende vises figurer af SIR/ASA/FDA mod C-total (figurerne 7.12 – 7.17), hvilket illustrerer, at der er tendens til en positiv sammenhæng mellem indholdet af organisk kulstof og biomasse/biologisk aktivitet. Der er tale om en tendens, som er bedst illustreret for ASA, mens tendensen for FSA er meget svag eller ikke eksisterende. Det bemærkes at der ikke er tendens til negativ afhængighed mellem indholdet af organisk kulstof og målene for biomasse/biologisk aktivitet.

Der har ikke kunnet etableres en korrelation mellem øvrige simple jordegenskaber og målene for biomasse/biologisk aktivitet, hvorfor det i sammenhæng med nedenstående illustrationer kan konstateres at SIR, ASA og FDA indeholder selvstændig information, der ikke kan erstattes af de øvrige jordegenskaber.

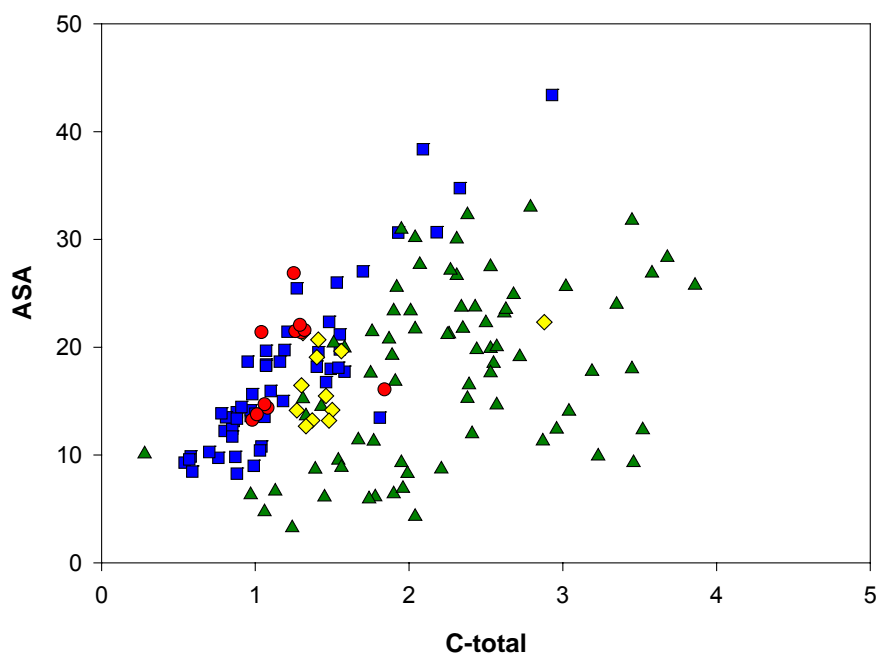
### Substrat Induceret Respiration (SIR)



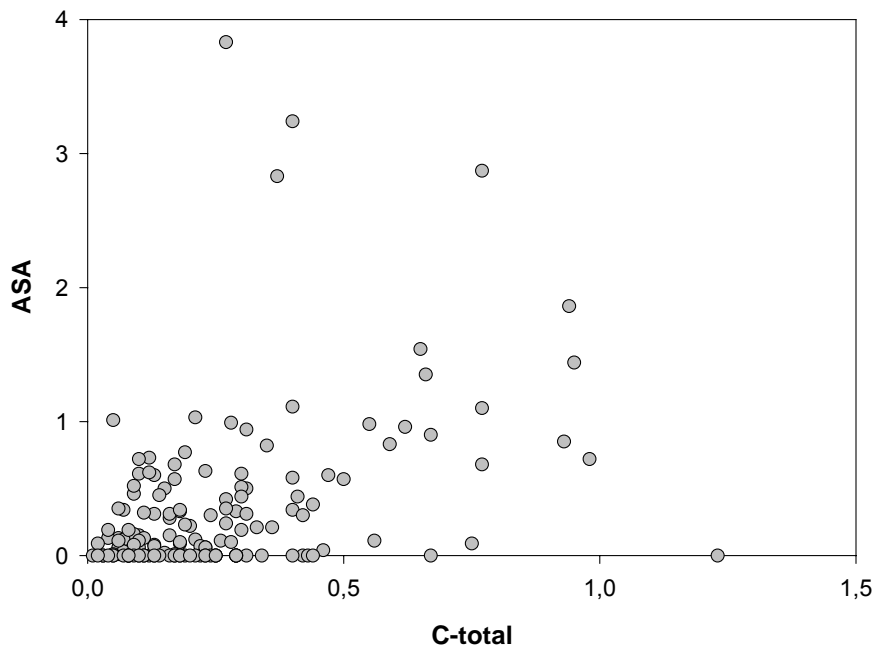
**Figur 7.12.** C-total mod SIR for prøver fra A-horisont på Yoldia flade (blå ■), Hedeslette (grøn ▲); Bakkeø (gul ◆) og Weischel (rød ●).



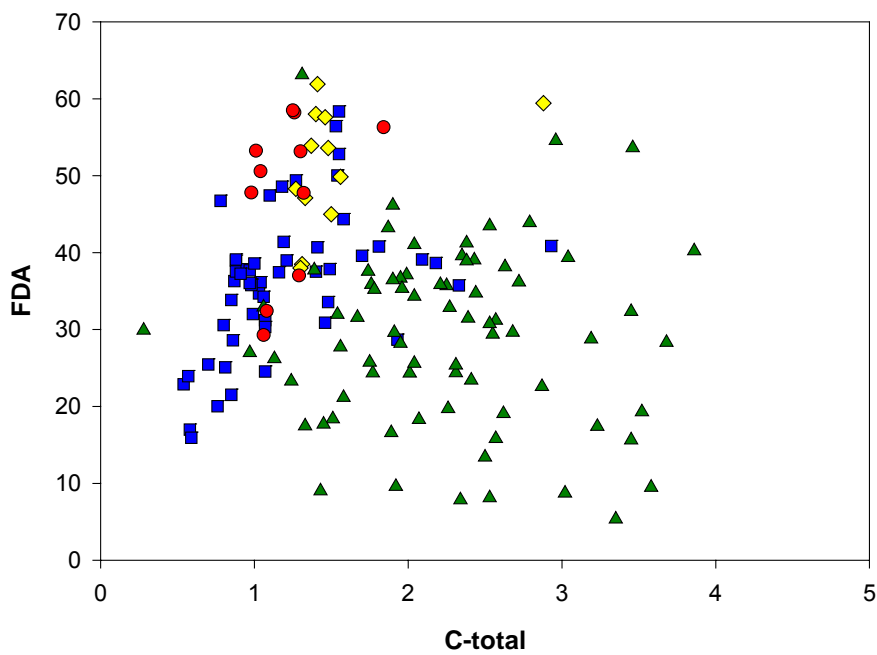
**Figur 7.13.** C-total mod substratinduceret respiration, SIR, for prøver fra dybde horisonter



**Figur 7.14.** C-total mod arylsulfatase aktivitet, ASA, for prøver fra A-horisont på Yoldia flade (blå ■ firkant), Hedeslette (grøn ▲ trekant); Bakkeø (gul ◆ diamant) og Weischel (rød ● cirkel).

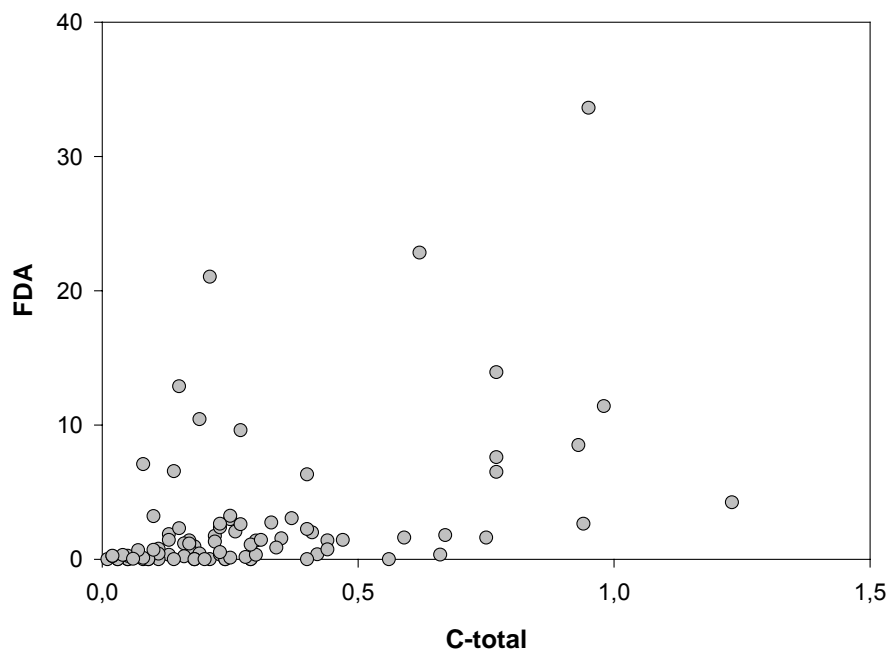


Figur 7.15. C-total mod arylsulfatase aktivitet, ASA, for prøver fra dybde horisonter.



Figur 7.16. C-total mod fluorescein diacetat hydrolyse, FDA, for prøver fra A-horisont på Yoldia flade (blå ■ firkant), Hedeslette (grøn ▲ trekant); Bakkeø (gul ◆ diamant) og Weischel (rød ● cirkel).





*Figur 7.17. C-total mod flourescein diacetat hydrolyse, FDA, for prøver fra dybe horisonter.*

## Referencer

Schroeder, D. 1978. Bodenkunde in Stichworten. Verlag Ferdinand Hirt, Kiel, Tyskland. 154 sider.

Holm, P.E., H. Rootzén, O.K. Borggaard, J.P. Møberg og T.H Christensen. 2003. Correlation of cadmium distribution coefficients to soil characteristics. *Journal of Environmental Quality*, 32: 138-145.

