

Forelæsningsnotat vedrørende

Danske jordarter og deres egenskaber

AAU
Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik
September 1998

Grete Thorsen

INDHOLDSFORTEGNELSE**side**

Jordartsklassifikation.....	2
De vigtigste jordartstyper.....	3
Rene mineraljordarter	3
Organiske jordarter	3
 Jordarternes opbygning og karakteristiske egenskaber	4
Grus- og sandjordarter.....	4
Siltjordarter.....	5
Lerjordarter	6
Morænejordarter - Till	9
Organiske jordarter	10
Fyld	11
 Jordartsbeskrivelse	12
 Oversigter	14
Kornfraktioner - velsorterede jordarter	14
Usorterede jordarter - Till	15
Organiske jordarter	15
Geologisk oversigt	16
 Litteraturliste	17

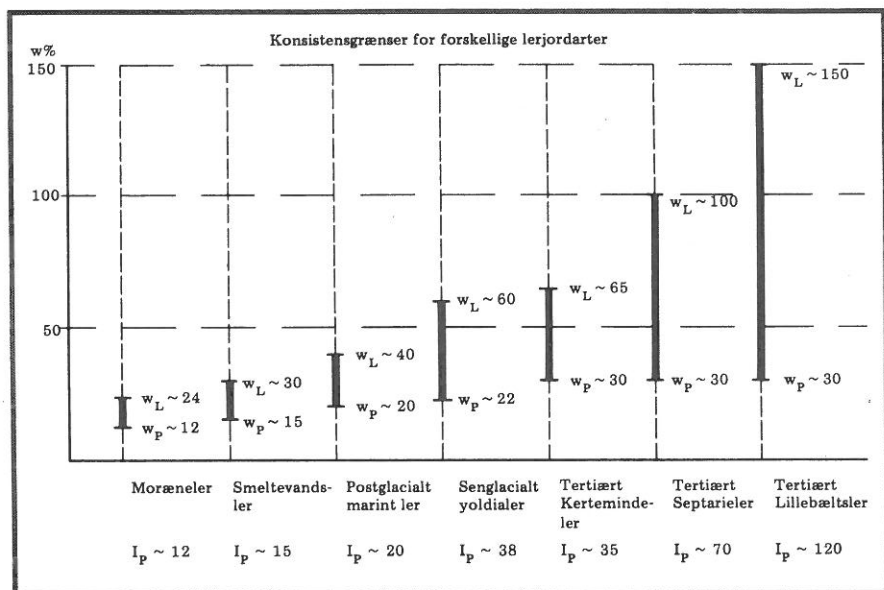
Jordartsklassifikation

En jordarts egenskaber er stærkt afhængig af kornstørrelsen. En kornstørrelse angives ved kornets diameter. For kornstørrelser over 0.06 mm defineres kornets diameter som maskevidden af den fineste sigte, kornet kan passere. For kornstørrelser under 0.06 mm anvendes sedimentation, og kornstørrelsen defineres som diameteren af en kugle med samme synkingshastighed. På grundlag heraf inddeles i kornfraktioner på følgende måde:

Sten og blokke	over	60	mm
Grusfraktion	60	- 2	mm
Sandfraktion	2	- 0.06	mm
Siltfraktion	0.06	- 0.002	mm
Ler fraktionen	under	0.002	mm

Det er meget vanskeligt at udføre sedimentation for materiale med kornstørrelse < 0.002 mm.

En lerarts egenskaber afhænger i meget høj grad af mineralsammensætningen. Bestemmelse af konsistensgrænser giver et indtryk af en lerjordarts sammensætning og fysiske egenskaber.



Konsistensgrænser (efter P. Harremoës m. fl.)

De vigtigste jordartstyper

Rene mineraljordarter.

Sorterede jordarter:

Vand- eller vindaflejring: Grus, sand, silt, ler

Egenskaberne afhænger af kornstørrelse, sorteringsgrad og mineralsammensætning. De velsorterede jordarter (stejl kornkurve) har samme egenskaber som de rene kornfraktioner.

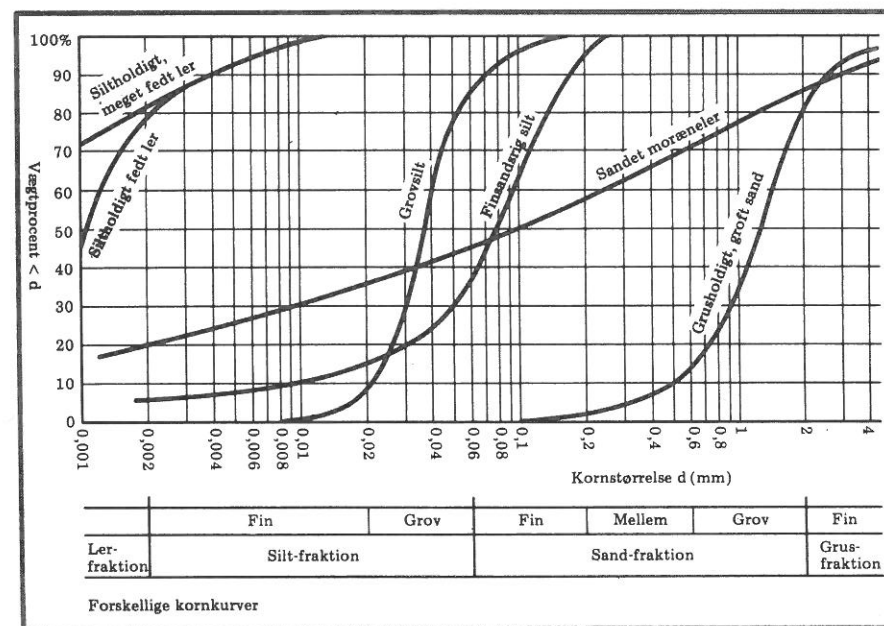
Usorterede jordarter:

Gletscheraflejring: Morænejordarter - Till

Egenskaberne afhænger af indholdet af de forskellige kornfraktioner og af mineralsammensætningen. Egenskaberne af de fineste materialer har større betydning end det procentvise indhold angiver.

Organiske jordarter.

Selv et ringe indhold af organisk materiale har stor virkning på en jordarts egenskaber.



Forskellige kornkurver (efter E. L. Mertz)

Jordarternes opbygning og karakteristiske egenskaber

Jordarter består af en sammensætning af mineralkorn af forskellig størrelse. Det er de indgående materialer, der betinger jordartens egenskaber.

Et mineral er en ved naturens processer dannet kemisk forbindelse med en række karakteristiske egenskaber. De fleste mineraler er dannet ved, at atomer, ioner og evt. molekyler er knyttet sammen i et bestemt rumligt system, som kaldes mineralets krystalgitter.

Grus- og sandjordarter

Grus- og sandjordarter består af materiale, som ved erosion og forvitring er løsgjort fra faste bjergarter og derefter transporteret og aflejret af vand -eller vind. Grus- og sandjordarternes sammensætning er derfor afhængig af udgangsmaterialet, men er tillige præget af transportmåden og transportafstanden. Ved lang transportafstand slides grundmaterialet, de blødeste dele opløses eventuelt og de resterende hårdere dele af materialet får en afrundet kornform.

I grus- og sandjordarterne består de mindste korn som regel kun af et enkelt mineral, mens større korn kan være bjergartsfragmenter og derfor en sammensætning af flere mineraler.

Den relativt store kornstørrelse medfører et ret groft porennet og dermed mulighed for hurtig vandbevægelse i materialet. Ved belastning foregår vandudpresningen praktisk taget i takt med belastningsforøgelsen (hurtig konsolidering). Den hydrauliske ledningsevne (permeabiliteten) er stor og den kapillære stighøjde ringe. Rene grus- og sandjordarter er ikke opfrysingsfarlige.

Styrkeegenskaberne i grus- og sandjordarter er betinget af friktionen mellem de enkelte korn, de afhænger derfor af kornenes lejrings-tæthed, materialets enskornethed samt formen på de enkelte korn (skarpkantede, afrundede).

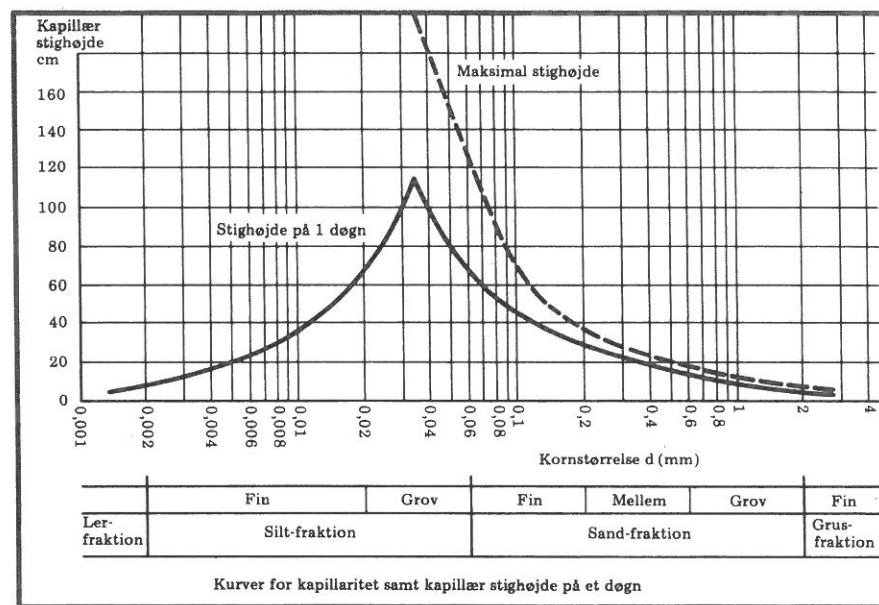
Siltjordarter

Siltjordarter består af materiale, der stammer dels fra fysisk forvitring, dels fra kemisk forvitring. Materialet er transporteret og aflejret af vand eller vind. Transportafstanden har været lang.

Porennettet i silt er finere end i sand og grus. Den mulige vandbevægelse i materialet er derfor langsommere, men den kapillære stighøjde er relativ stor og den hydrauliske ledningsevne (permeabiliteten) er tilstrækkelig til, at vandopsugning kan foregå relativt hurtigt. Siltjordarterne er derfor særdeles opfrysingsfarlige.

De finkornede, kohæsiøse siltjordarter er meget påvirkelige for vandbevægelser i materialet og danner let flydejord.

Styrkeegenskaberne i siltjordarter er væsentligst betinget af friktionen mellem de enkelte korn, men den fineste del af siltfraktionen danner en naturlig overgang til lerjordarterne.



Kurver for kapillær stighøjde (efter E. L. Mertz)

Lerjordarter

Alle lerjordarter har et vist indhold af lermineraller. Lermineral-indholdet har en afgørende indflydelse på lerjordartens egenskaber, selvom det ikke udgør en procentmæssig dominerende del af jordarten.

Lerminerallerne dannes ved kemisk forvitring af faste bjergarter. Lerminerallerne kan være pladeformede eller kædeformede. De pladeformede lermineraller er langt de hyppigst forekommende. Partikkelstørrelsen er ganske ringe, nogle få μ i største dimension og nogle hundrede ångstrøm i tykkelse. Krystalgitteret er opbygget af elementarlag, der kan opdeles i følgende:

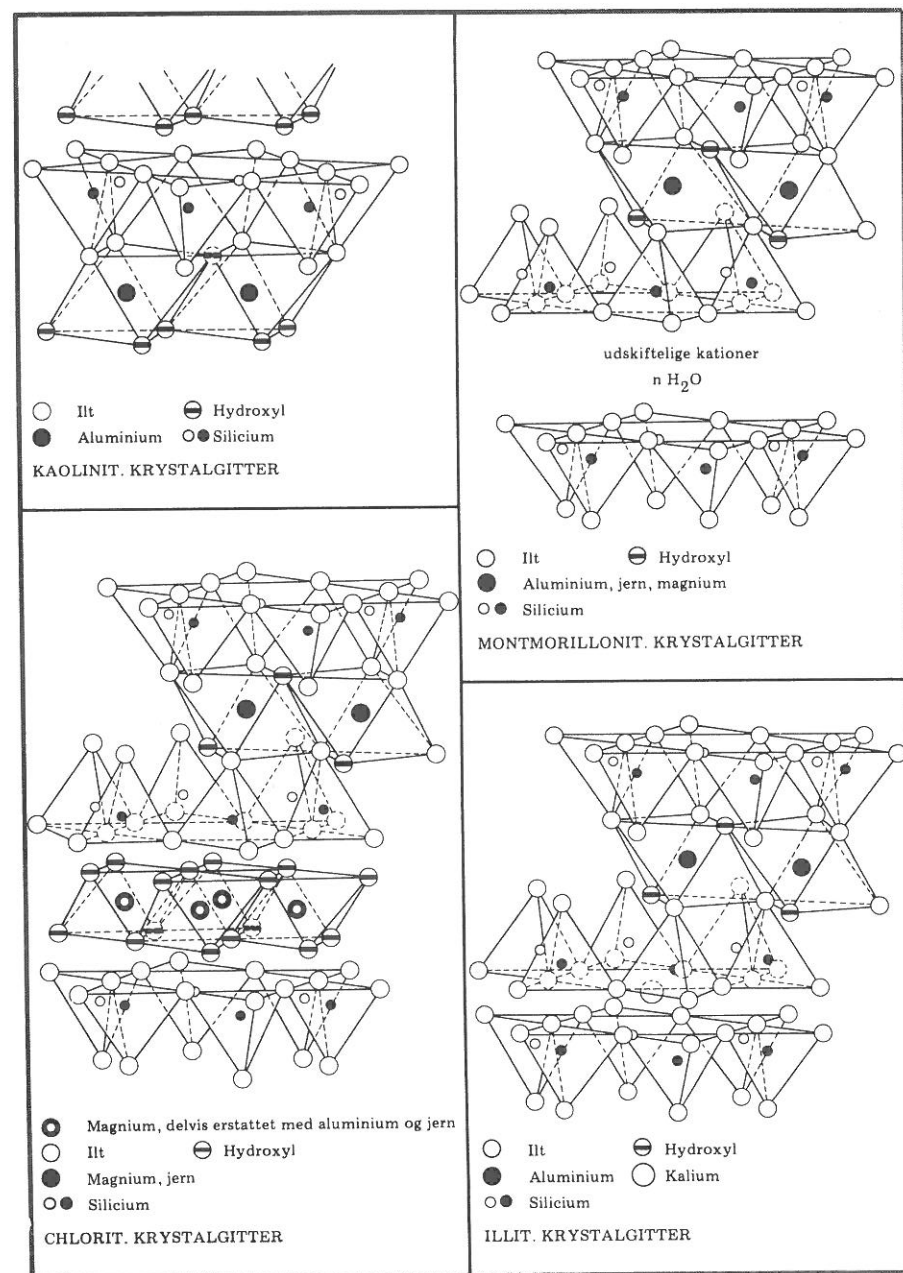
Tetraederlag, der består af et siliciumatom omgivet af 4 iltatomer.

Octaederlag, der består af et aluminiumatom omgivet af 6 iltatomer og/eller hydroxylgrupper.

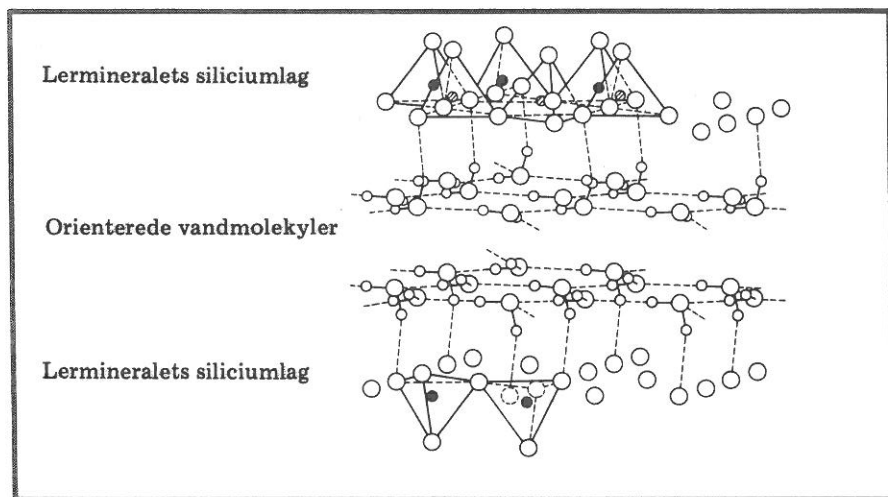
De enkelte lermineraller består af forskellige kombinationer af disse elementarlag. De pladeformede lermineraller kan opdeles i 4 grupper:

- 1) Kaolinitgruppen
- 2) Smectitgruppen
- 3) Illitgruppen
- 4) Chloritgruppen

I elementarlagene kan en del af siliciumatomerne, Si^{4+} , og aluminiumatomerne, Al^{3+} , erstattes med henholdsvis Al^{3+} og Mg^{2+} eller Fe^{2+} . Derved opstår et ladningsunderskud, som kompenseres ved en ionadsorption f.eks. Ca^{2+} , Na^+ , K^+ . Ændres de ydre omstændigheder, kan allerede adsorberede ioner udskiftes med andre ioner (ionbytning). Den kemiske sammensætning af et lermineral kan således variere en hel del, og de fysiske egenskaber afhænger ret meget af den kemiske sammensætning. De adsorberede ioner er ofte hydrerede, dvs. der er tilknyttet vandmolekyler, der virker som dipoler. Alle lermineraller kan adsorbere vandmolekyler på mineraloverfladen. Det adsorberede vandlag er af nogle molekyllags tykkelse, og



Skitse visende lerminerallers opbygning (efter R.E. Grim).



Skitse visende binding af vandmolekyler til et lermineral (efter R.E.Grim)

det må antages, at de inderste vandmolekyllag er bundet med absolut regelmæssighed, mens regelmæssigheden aftager udefter mod det frie vand. Specielt smectitgruppen (montmorillonit) er i stand til at adsorbere store vandmængder, idet disse foruden på lermineral-overfladen er i stand til at optage vandmolekyllag mellem de enkelte elementarlag i lermineralgitteret. Denne egenskab betyder et stort plasticitetsindeks, samt at lerjordarterne sveller voldsomt ved vandtilsætning og skrumper ved udtørring.

I lerjordarter vil de enkelte lerpartikler på grund af de mere eller mindre fast bundne vandhinder ikke røre hinanden, men være adskilt af vandmolekyllag. Er afstanden mellem de enkelte lerpartikler ringe, vil der opstå en polarisation af de på mineralkornene adsorberede ioner og dermed tiltrækningskræfter (van der Waalske kræfter), der vil søge at holde partiklerne sammen og på den måde give jordarten styrke. Ved en omrøring af lerjordarten, uden ændring af vandindhold, brydes disse tiltrækningskræfter mellem de enkelte korn, og jordartens styrke formindskes. Efter nogen tid genvinder lerjordarten en del af denne styrke (regeneration).

Bentonit

Bentonit er en lerjordart, der er dannet af vulkansk aske og støv. Den består hovedsageligt af lermineralet montmorillonit ($1.67 \text{ Al}, 0.33 \text{ Na}, 0.33 \text{ Mg} \text{ Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$). I montmorillonit er Na-ionerne løst tilknyttede og er let udskiftelige med andre ioner (H-Ca-K-Mg).

Den Na-holdige bentonit er i stand til at adsorbere store vandmængder, og opløsningen får kolloidal karakter. Udskiftes Na-ionerne med andre ioner opnås ikke samme adsorption af vand og opløsningen mister den kolloidale karakter.

Den Na-holdige bentonits egenskaber udnyttes i ingeniørpraksis til stabilisering af udgravninger og borer. Bentonitopløsningen danner en film med meget ringe permeabilitet langs udgravningens og/eller boringens sider, således at afstivning og/eller casing kan undgås.

Morænejordarter - Till

Morænejordarter - Till er sammenblandinger af alle mulige kornstørrelser. De er transporteret af en gletscher og aflejret ved isens afsmeltning uden nogen form for sortering. Morænejordarter kan indeholde fraktioner fra sten og blokke til det fineste ler. De kan tillige indeholde store partier (løse flager) af det materiale, gletscheren har passeret henover. Materialsammensætningen i morænejordarter vil ofte være præget af de prækvartære aflejringer på stedet e.g. de aflejringer, der danner direkte underlag for istidens aflejringer. I egne, hvor de prækvartære aflejringer består af kalk og kridt kan moræneaflejringerne på steder indeholde så store mængder kalkslam, at de betegnes kalkmoræne.

Morænejordarternes egenskaber afhænger af jordartssammensætningen, dog har egenskaberne af det fineste materiale væsentlig større betydning end den procentvise andel angiver. En morænejordart har egenskaber som en kohæsionsjord (moræneler) selv om indholdet af lerfraktionen kun udgør 15-20% af samtlige fraktioner. Er lerindholdet væsentlig lavere, vil materialet have egenskaber som en friktionsjord (morænegrus, -sand eller -silt).

Det er ikke alene mængden af lerfraktionen, men også arten af lerindholdet, der er afgørende for morænejordartens egenskaber. Det kan derfor undertiden være vanskeligt at afgøre, om en morænejordart har egenskaber som en kohæsionsjord eller en friktionsjord, hvorfor der undertiden benyttes betegnelsen moræne(ler => sand).

For alle morænejordarter gælder, at kornstørrelsesfordelingen kan veksle helt usystematisk inden for ganske små afstande, såvel horisontalt som vertikalt.

Morænejordarter vil normalt have gode styrke- og deformations-egenskaber og hører i funderingsmæssig henseende til de bedste danske jordarter.

Organiske jordarter.

Organisk indhold i jordarter er rester fra tidligere plante- og dyreliv i området. De fysiske egenskaber er stærkt afhængige af de organiske bestanddele art.

Organiske aflejringer af *tørv*, *gytje* og *tørvedynd* opstår i moser og søer, i kystnære områder, bugter og fjorde, samt på landjorden på strandenge eller lignende flade arealer, der til tider er vanddækket.

Tørveaflejringer er dannet i moser og består af mere eller mindre omdannede planterester.

Gytjeaflejringer er dannet i søer eller på havbunden og er i den typiske form dannet ved bundlevende dyrs bearbejdning af tilført organisk materiale.

Dynd er en ældre betegnelse for en finkornet organiskholdig substans som dels kunne være en gytje, dels en meget omdannet tørveaflejring, men derudover også er blevet anvendt for specielt udseende organiske sedimenter.

Tørvedynd er betegnelsen for en en finkornet humøs substans, med mørk eller sort farve og dermed visuelt har fælles træk med såvel tørve- som gytjegruppen.

Tørve- og gytjeaflejringer, der ikke tidligere er konsolideret under stort tryk, kan have vandindhold på flere hundrede procent. De er derfor stærkt sætningsgivende.

Kalk- og Kridtaflejringer består dels af rester efter organisk liv, koraller, kokkosfærer, kiselsvampe etc. dels af kemisk udskilt kalk og kisel. Aflejringerne indeholder oftest korn indenfor ler- og siltfraktionen og de er mere eller mindre hærdnet, idet det kemisk udskilt kalk og/eller kisel har forårsaget en sammenkitning af de enkelte korn i de oprindelige aflejringer. Kisel findes udskilt i lag af anseelig størrelse (flint).

Fyld

Betegnelsen fyld omfatter alt materiale placeret af mennesker. Fyld er derfor ingen bestemt jordart, men kan omfatte alt fra rene mineral-jordarter til tilfældigt affald.

Det er væsentligt at erkende fyldområder, dels fordi fylden ofte er tilfældig udlagt og kan indeholde materialer af enhver art, dels fordi fylden kan dække over naturlige aflejringer med ringe styrke- og deformationsegenskaber.

Bygeologi

I og omkring de gamle danske byområder er der gennem tiderne udført terrænreguleringer, opført og nedrevet bygningsværker, udgravet og senere tilkastet voldgravssystemer, kloakrender, brønde etc.. Det kan derfor være meget vanskeligt at erkende landskabets oprindelige relief på stedet.

Der findes en række ingeniørgeologiske beskrivelser af jordbundsforholdene i og omkring danske byer, udarbejdet af afdelingsgeolog fru E. L. Mertz., Danmarks Geologiske Undersøgelse.

DGU Rapport nr. 2	Bygeologi nr. 1	Helsingør
- - - 3	- - 2	Hillerød
- - - 4	- - 3	Vejle
- - - 6	- - 4	Sønderborg
- - - 8	- - 5	Kalundborg
- - - 9	- - 6	Odense
- - - 10	- - 7	Hjørring
- - - 11	- - 8	Ribe
- - - 12	- - 9	Randers
- - - 13	- - 10	Korsør

Rapporterne indeholder en oversigt over det aktuelle byområdes geologiske opbygning og de vigtigste jordarter i området samt en gennemgang af tidligere aktiviteter i det naturlige landskab i og omkring byområdet.

Jordartsbeskrivelse

Beskrivelsen af en jordart danner det første grundlag for en vurdering af jordartens egenskaber. De geotekniske egenskaber vurderes i første omgang ud fra jordartens sammensætning og de spændingsvariationer, jordarten har været udsat for gennem den geologiske historie.

En jordartsbeskrivelse bør omfatte følgende:

- 1. Hovedjordart: GRUS, SAND, SILT, LER, GYTJE,
- 2. Beskrivelse: Kornstørrelse, sorteringsgrad, farve, hærdningsgrad, sprækker etc. samt indhold af andre bestanddele f.eks. skaller, plantedele el lign.
- 3. Aflejningsmiljø: Ferskvand, marint, smeltevand, gletscher,
- 4. Geologisk alder: Postglacial, senglacial, glacial

Hærdningsgrad		(efter dgf-bulletin 1)
Symbol	Betegnelse	Beskrivelse
H1	uhærdnet	Materialet kan uden stort besvær bearbejdes med fingrene. For kornede materialer gælder, at kornene falder fra hinanden i tør tilstand.
H2	svagt hærdnet	Materialet kan nemt bearbejdes med en kniv, og det kan ridges med en negl. Ved kornede materialer kan de enkelte korn pilles ud med fingrene
H3	hærdnet	Materialet kan bearbejdes med en kniv, men ikke ridges med en negl. Ved kornede materialer kan de enkelte korn pilles ud med kniv.
H4	stærkt hærdnet	Materialet kan ridges med en kniv, men de enkelte korn lader sig ikke løsne med en kniv. Dog vil en brudflade følge korngrænserne.
H5	meget stærkt hærdnet, forkislet	Materialet lader sig ikke ridse med en kniv. Sprækker og brudflader går gennem de enkelte korn i kornede materialer.

Dybde	Beskrivelse	Miljø	Alder
0m	MULD, LER, uhærdnet, ret fedt, m. teglstykker, kalkfrit		
5m	SAND, uhærdnet, finkornet, sorteret med skalstykker, lagdelt m. siltlag, lysegråt, sv. kalkholdig.	Marin	Post-glacial
10m	LER, uhærdnet, ret fedt, sandet, m. enkelte gruskorn, lamineret, gulbrunt, svagt kalkholdig.	Smeltevand	Glacialt
15m			
20m	LER, sv. hærdnet (H2), ret fedt, sandet, m. skalfragmenter, bioturberet, m. konkretioner, grønsort, st. glauconitholdigt, sv. glimmerholdigt, "Cilleborg ler".	Marin	Oligocæn
25m	LER, uhærdnet, meget fedt, sv. siltet, utydelig lagdeling, bioturberet, m. gravegange udfyldt med "Cilleborg ler", hvidgult, m. spredte glauconitkorn, st. kalkholdigt, "Søvind mergel".	Marin	Eocæn
30m			
35m	KALK, hærdnet (H3), st. sandet, sv. slammet, bryozoholdigt, m. spredte flintkonkretioner som følger lagplanerne, hvidt, m. tyndt lerpræget lag, "Bryozokalk".	Marin	Danien
40m			

Eksempel på prøvebeskrivelse (efter dgf-bulletin 1)

Scala for sprækkethed		(efter dgf-bulletin 1)
Svagt sprækket	Sprækkeafstand større end 10 cm. Ingen lodrette sprækker	
Sprækket	Sprækkeafstand mellem 6 og 10 cm	
Stærkt sprækket	Sprækkeafstand mellem 2 og 6 cm	
Knust	Sprækkeafstand mindre end 2 cm	

Oversigt Kornfraktioner - velsorterede jordarter		
Kornstørrelse	Jordart	Karakterisering
60 mm ----	Sten og blokke -----	Friktionsjord Stor permeabilitet Hurtig konsolidering Ringe kapillær stighøjde Ikke opfrysningsfarlig Kendetegn: De enkelte korn kan skelnes med det blotte øje og føles i hånden
6 mm ----	Grus ----- fin	
2 mm ----	----- grov	
0.6 mm ----	Sand mellem	Friktionsjord Ringere permeabilitet end for sand Relativ hurtig konsolidering Relativ stor kapillær stighøjde Opfrysningsfarlig Lille plasticitetsindeks-stor sensitivitet Kendetegn: Harmonikastruktur i fugtig tilstand - melet konsistens i tør tilstand
0.2 mm ----	----- fin	
0.06 mm ----	----- grov	
0.02 mm ----	Silt ----- fin	Kohæsionsjord Lille permeabilitet Langsom konsolidering Meget stor kapillær stighøjde Normalt ikke opfrysningsfarlig under danske forhold Plasticitetsindeks mellem 10 og 100 % Lille sensitivitet Kendetegn: Formbarhed og blankt skærebud i fugtig tilstand Hård konsistens i tør tilstand
0.002 mm ----	Ler -----	

Oversigt Usorterede jordarter - Till	
Jordart	Karakterisering
Morænegrus og -sand	Friktionsjord Lerholdige blandinger af sten, grus og silt. Grus- og sandfraktionen dominerer såvel i henseende til vægt som til fysiske egenskaber.
Morænesilt	Friktionsjord Lerholdig blanding af sten, grus, sand og silt. Siltfraktionen udgør så stor en del, at de fysiske egenskaber er væsentligt præget heraf.
Moræne (ler => sand)	Friktionsjord eller kohæsionsjord Lerholdig blanding af sten, grus, sand og silt. Lerfraktionen udgør netop en sådan procentdel, at det er vanskeligt at afgøre, om ler- eller sandfraktionen har størst indflydelse på de fysiske egenskaber.
Moræneler	Kohæsionsjord Blanding af sten, grus, sand, silt og ler. Fysiske egenskaber som ler, selv om lerfraktionen kun udgør 15 - 20 % af samtlige fraktioner.
Oversigt Organiske jordarter	
Jordart	Karakterisering
Tørv, Gytje og Tørvedynd	Ofte lag med stort vandindhold og lille rumvægt. Det er ofte stærkt sætningsgivende jordarter. De fysiske egenskaber er meget afhængige af de organiske bestanddeles art.
Kridt og kalk	Ofte hærtnede og delvis hærtnede jordarter. De fysiske egenskaber er afhængige af hærtningsgrad og sprækkeintensitet.

Litteraturliste

Grim, R.E. (1962): *Applied Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York - Toronto - London.

Harremöes, P., N. Krebs Ovesen og H. Moust Jacobsen (1978): *Lærebog i Geoteknik 1*, Polyteknisk forlag.

Larsen, G., J. Frederiksen. A. Villumsen, J. FredericiA, P. Gravesen. N. Foged, B. Knudsen og J. Baumann (1988): *Vejledning i ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse*. Dansk Geoteknisk Forening dgf-Bulletin 1.

Mertz, E. L. (1959): *Bidrag til Danmarks Ingeniørgeologi*. Geoteknisk Institut, Bulletin no. 5.

År	Geologisk tidsperiode		Aflejningsart	Aflejningsmåde. Forekomst
~ 10 000	Kvartær	Postglaciatiden	Moseaflejninger Stenalderhavets aflejninger Moseaflejninger fra fastlandstiden	Vandaflejninger med bløde, organiskholdige partier Variation i organisk indhold tilfældig i såvel horisontal som vertikal retning
		Senglaciatiden	Nedskydsaflejninger Moseaflejninger fra senglaciale varmeperioder (Allerød, Bølling)	
			Smeltevandaflejninger Marine aflejninger (Yoldia)	
~ 15 000	Glaciattiden		Moreneaflejninger Smeltevandaflejninger Interglaciale aflejninger	Gletscheraflejninger (ler, sand, grus, sten) varierende usystematisk med smeltevandaflejninger. Evt. indhold af løse flager af ældre aflejninger. Interglaciale havaflejninger. Interglaciale mose- og søaflejninger
~ 3 mill.				Vandaflejninger, senere vippet (evt. forskudt).
70 mill.	Tertiær	Pliocæn	Ingen aflejninger i Danmark Glimmerter og glimmersand, brunkul Septarier, glimmerter Plastisk ler, moler, vulkansk aske Kætemindeaflejninger, grønsandsaflejninger Kalksandkalk, bryozokalk	{ Væsentligst uherdnet jord, lerafløjninger ofte sprækkede. Delvis hærnede aflejninger Hærnede aflejninger, ofte gennemsat af sprækkesystem
		Miocæn		
		Oligocæn		
		Eocæn		
135 mill.	Kridt	Paleocæn		
		Danien		
	Jura	Ældre kridt	Skrivekridt, mergel	Havaflejninger, senere vippet og/eller forskudt. Delvis hærnet, ofte gennemsat af sprækkesystemer
			Ler, sand, kul	Havaflejninger, senere vippet og/eller forskudt