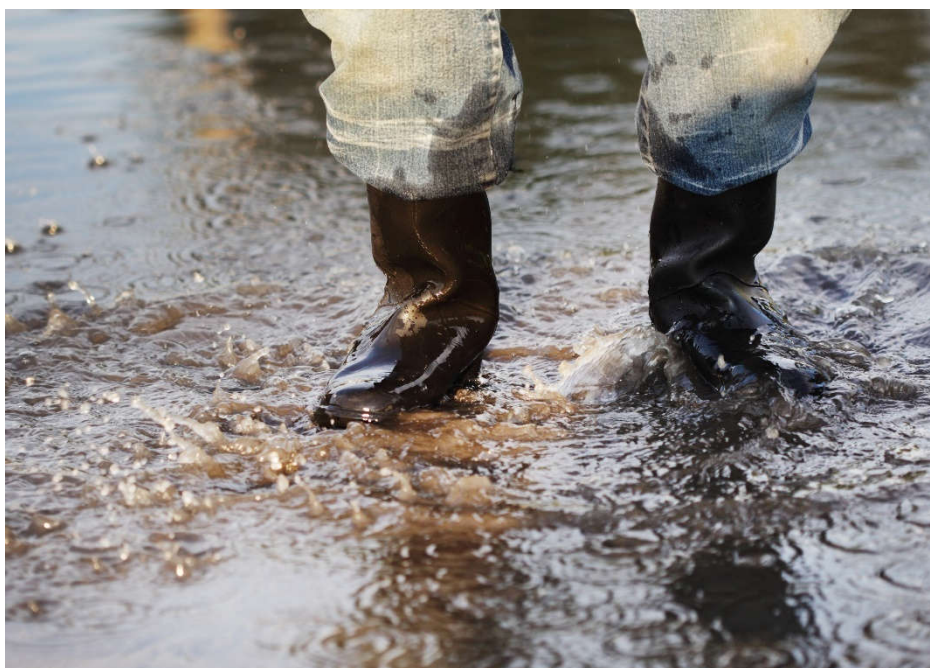

Diplomprojekt

Projektperiode: Nov. 2017 – Jan. 2018

Lokal afledning af regnvand i Aars Vest



(Mestertidende, 2017)

AALBORG UNIVERSITET 7 SEMESTER
DET TEKNISK- NATURVIDENSKABLIGE FAKULTET
VEJE & TRAFIK
MATHIAS ELLERMANN

Titel: Lokal afledning af regnvand i Aars Vest

Semester: 7

Projektperiode: Nov. 2017 – Jan. 2018

ECTS: 15

Vejleder: Søren Dam Nielsen



Mathias Ellermann

Oplag: stk. -

Antal sider: sider 95

Bilag: 9

Dette diplomprojekt omhandler udviklingen af en plan for lokal håndtering af regnvand i Aars vest. Planen udvikles på baggrund af en foranalyse samt udvalgte forsøg, der dokumenterer nedsivningspotentialet syd for detailområdet. På baggrund af foranalysen og forsøgene placeres et nedsivningsbassin, hvor nedbøren for hele detailområdet forventes nedsivet. Placeringen af nedsivningsbassinet er afgørende for dimensioneringen af detailområdet.

Nedsivningsbassinet samt detailområdet er projekteret og kontrolleret for en 10-års regnhændelse. Samtlige elementer blev overholdt i forhold til belastningen.

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Mathias Ellermann på 7. semester ved Vej & Trafik for Byggeri & Anlæg på Aalborg Universitet. Rapporten er et diplomafgangsprojekt, som tæller for 15 ECTS point og er udarbejdet i skriveperioden fra 01/10/17 til 19/01/18.

Rapporten omhandler udviklingen af et afledningsprojekt for et udvalgt område, placeret vest for Aars i Vesthimmerland Kommune. På grund af kommunens aktuelle ønske om at oprette et skole- og fritidsområde tilføjes en større mængde befæstet areal, der skal håndteres i forhold til nedbør.

Rapporten er groft opdelt i tre områder:

- Et afsnit med en foranalyse af området, hvor der vurderes aktuelle og fremtidige forhold.
- Et afsnit om dataindsamling, hvor der indsamles data for et geofysisk og geoteknisk forsøg.
- Et afsnit om planmæssige forhold samt detailprojekt, hvor de to førnævnte afsnit skal danne grundlag for et afledningsprojekt.

Afsnittet om dataindsamlingen er lavet i samarbejde med Vesthimmerland kommune. Kommunen har ageret som den finansielle part, hvor rapporten har til opgave at dokumentere udvalgte geologiske forhold.

Til kildehenvisning er brugt Harvardmetoden. Kilder er angivet ved forfatterens efternavn eller firmanavn efterfulgt af udgivelsesår og eventuelt sidenr. med undtagelse af web-adresser og lignende. Brugte kilder i rapporten findes i litteraturlisten placeret bagerst i rapporten.

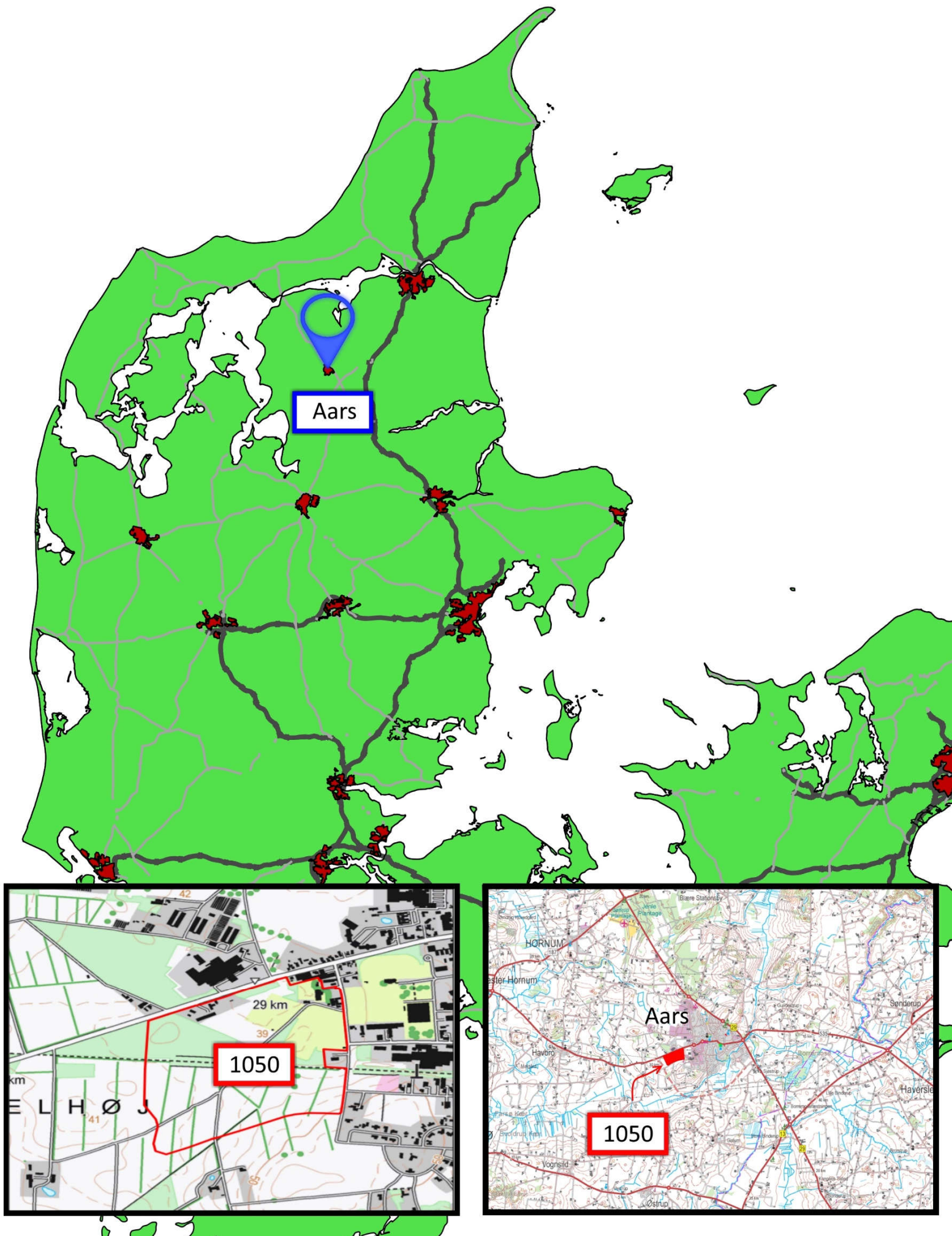
Vejleder Søren Dam Nielsen har været tilknyttet projektet. Derudover har Vesthimmerland Kommune, COWI A/S og Aarhus Universitet hjulpet med måleudstyr, tolkning af data og gode råd i forhold til forsøgene i rapporten.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Problemformulering.....	3
3	Metodeafsnit	4
4	Lokalplan 1050	5
4.1	Formål	5
4.2	Eksisterende situation.....	6
4.2.1	Betydning for LAR	7
4.3	Krav og retningslinjer.....	8
4.4	Fremtidig situation	10
5	Foranalyse.....	13
5.1	Jordbundsanalyse.....	14
5.1.1	Boreprøver fra Jupiterarkivet.....	15
5.1.2	Boreprøver fra A&H	16
5.1.3	Overfladenære jordarter	17
5.1.4	Samlet vurdering	17
5.2	Højdeforhold	18
5.3	Nedbør	20
5.3.1	Nedbør i Aars	21
5.3.2	Dimensionsgivende regnemetoder.....	23
5.4	Opsummering foranalyse	24
6	Metodevalg	25
6.1	Valg af område	25
6.2	Valg af måleudstyr	28
6.2.1	Valg af måleudstyr	28

6.2.2	Hydraulisk ledningsevne.....	29
7	Resultater	30
7.1	MEP (Multi-elektrode-profilering).....	30
7.1.1	Tolkning af MEP-data.....	33
7.1.2	Delkonklusion for MEP	36
7.2	Hydraulisk ledningsevne	37
7.2.1	Delkonklusion hydraulisk ledningsevne	39
8	Detailprojektering	40
8.1	Valg af detailområde	41
8.2	Planlægning af regnvandssystem	42
8.2.1	Bassiner.....	42
8.2.2	Afvanding ved bygninger.....	43
8.2.3	Grøfter.....	44
8.3	Detalldimensionering	45
8.3.1	Dimensionering af grøfter og trug	45
8.3.2	Dimensionering af bassiner.....	48
9	Konklusion.....	49
10	Bilag.....	50
10.1	Bilag A	51
10.2	Bilag B.....	62
10.2.1	Geoteknisk boring.....	62
10.2.2	Georadar (GPR)	62
10.2.3	Multi-Elektrode-Profilering (MEP)	64
10.3	Bilag C.....	66
10.4	Bilag D	67
10.5	Bilag E.....	69

10.6	Bilag F	72
10.7	Bilag G	74
10.8	Bilag H	77
10.9	Bilag I.....	79
11	Referencer.....	85



Figur 1 Danmarkskort og byen Aars med lokalplan 1050 placeret i det vestlige Aars

1 Indledning

Målet med denne rapport er at belyse, hvilke muligheder Vesthimmerland kommune har for lokal nedsivning af regnvand, ved et større byggemodningsområde, lokaliseret i det vestlige Aars, se Figur 1. I den nye byggemodning er der planmæssigt taget højde for en ny folkeskole, idrætsanlæg, fodboldbaner, svømmehal, bibliotek og daginstitution.

Det nye område blev vedtaget af flere årsager, heriblandt et ønske fra lokalbefolkningen om at flytte eksisterende Aars skole og idrætshal. Dette skyldes bygningernes alder, økonomiske besparelser på drift og et begrænset udendørsareal, da begge bygninger er placeret i midten af Aars. Ved at placere de forskellige bygninger forholdsvis tæt på hinanden i det nye område, er det muligt at spare penge på eksempelvis omklædning, kantine og andre fællesområder.

Lokalplan 1050 er cirka 40 ha stort, hvor en stor del af arealet vurderes at blive befæstet. Dette giver anledning til ophobning af større regnmængder, der kan håndteres på to måder heraf afledning til to planlagte regnvandsbassiner eller som lokal nedsivning. Forurennet vand fra eksempelvis veje, skal håndteres via rørsystemer og føres til nærmeste rensningsanlæg (Vesthimmerland kommune(1), 2016).

I dette årtusinde er klimasituationen blevet et mere omdiskuteret emne blandt politikere og videnskabsmænd. Indenfor de seneste år ses blandt andet et stigende antal naturkatastrofer, mere ekstremt vejr både varmt og koldt samt et stigende verdenshav forårsaget af flere klimarelateret forhold (sustainable, 2017) (The Economist, 2017). I den forbindelse vurderes en LAR-løsning, lokal afledning af regnvand, som den mest bæredygtige afvandings mulighed, da kommunen ikke ønsker at belaste det eksisterende rørsystem yderligere (Vesthimmerland kommune(1), 2016, s. 13).

LAR er en nyere metode til at aflede regnvand på en række forskellige måder. Flere steder, specielt i storbyerne, er der opstået et stigende behov for afledning af regnvand. Den stigende afledning af regnvand skyldes, at byerne udvides der medfører mere befæstet areal, som skal vandafledes. Mulighederne for LAR opdeles i fire forskellige principper (Gabriel, 2017, s. 1-19):

- Opsamling og central rensning og forsinkelse før afledning (princip 1) se Figur 2
- Lokal nedsivning se Figur 3 (princip 2)
- Lokal rensning og forsinkelse med afledning se Figur 4 (princip 3)
- Lokal rensning og forsinkelse før afledning se Figur 5 (princip 4)



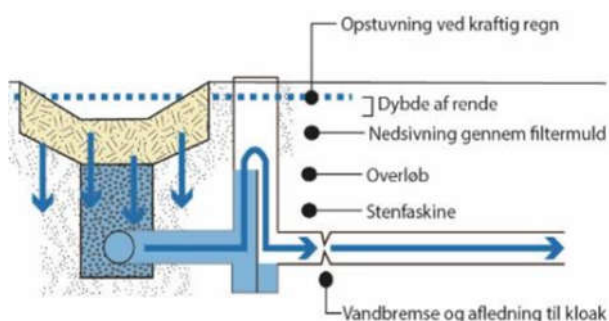
Figur 2 Princip 1 afledning i regnbed (Gabriel, 2017, s. 14-18)



Figur 3 Princip 2 lokalnedsivning eks. i haven (Gabriel, 2017, s. 14-18)



Figur 4 Princip 4 afledning i sø (Gabriel, 2017, s. 14-18)



Figur 5 Princip 4 Rensning og forsinkelse før afledning (Gabriel, 2017, s. 14-18)

LAR-løsningen forudsætter, at området har en permeabel jord. For at kunne aflede regnvandet funktionelt kræver det, at nedsivningspotentialet er større end mængden af tilført vand. Eksempelvis kan ler eller silt med meget lav hydraulisk ledningsevne give komplikationer i form af opstuvet vand eller oversvømmelse. Derfor undersøges senere i rapporten, hvordan jordbundsforholdene præger LAR-løsningen.

Byggemodningsområdet i lokalplan 1050 er grundlaget for de omstændigheder, der analyseres. Lokalplanen af det vestlige område i Aars sammenholdt med undersøgelser af jordbundsforhold danner derfor grundlag for hvilke LAR-muligheder, der er mest funktionelle.

2 Problemformulering

Der er mange faktorer, der påvirker det endelige resultat i LAR-modellen men hovedfokus for rapporten centrerer omkring den nedenstående problemstilling. I rapporten undersøges en række gældende forhold som højdeforhold, jordforhold samt hvordan den kommende byudvikling påvirker den samlede plan for lokalområdet. Alle undersøgelserne danner grundlag for udvikling og implementering af et LAR-projekt.

Problemformulering:

Hvordan udvikles et detailprojekt for lokal håndtering af regnvand, ud fra udvalgte jordbundsforhold, der udnytter det nærtliggende nedsivningspotentialer i jorden, således hverdagsregn kan håndteres i eller på terræn?

Afgrænsning

Eftersom det ikke er muligt i projektperioden at undersøge hele området, afgrænses undersøgelsen til et udvalgt område, der antages repræsentative for et større område.

Der afgrænses fra at planlægge for ekstremregn hændelser. Almindeligvis er det yderst relevant at planlægge med inddragelse af ekstremregn. Det skyldes udelukkende tidsmæssige årsager, at dette ikke er undersøgt nærmere.

Derudover undersøges eller detailprojekteres der ikke for ledninger fra bygninger, der måtte påvirke detailprojektet. Her antages det, at ledningens dybde er i frostfri dybde og mængden af nedbør fra ledningens opland medregnes i projekteringen.

3 Metodeafsnit

Metodeafsnittet skal fungere som vejledning for læser, således rækkefølgen og indholdet i rapporten afvikles naturligt, ud fra følgende rapportopbygning:

- Introduktion af lokalplan 1050
- Foranalyse
- Dataindsamling og databehandling
- Detailprojekt

Lokalplan 1050

Afsnittet lokalplan 1050 er opdelt i tre underafsnit her *eksisterende situation*, *krav- og retningslinjer* og *fremtidig situation*. De tre underafsnit introducerer læseren for områdets opbygning og ydre begrænsninger. Det er vigtigt at observere den eksisterende og fremtidige situation for at kunne identificere eventuelle fejlkilder i forhold til korrekt afvanding.

Foranalyse

I foranalysen undersøges de tre forhold; geotekniske forhold, højdeforhold og regnmængder, der vurderes relevante for et LAR-projekt.

Dataindsamling og databehandling

I dette afsnit forklares og udvælges to forsøg, der vurderes at kunne bevise jordens hydrauliske ledningsevne samt grundvandsspejlets beliggenhed i et udvalgt område.

Detailprojekt

Detailprojektet skal implementere alle undersøgte forhold i et afvandingsprojekt, der udnytter jordens naturlige nedsivningsevne.

4 Lokalplan 1050

Følgende afsnit er en gennemgang af eksisterende situation ud fra lokalplan 1050 suppleret med forklaringer af opbygningen af området. Dernæst undersøges hvilke planer, der foreligger i lokalplanen, og hvordan disse planer er blevet implementeret i et arkitektprojekt, udarbejdet af SLA og NIRAS.

4.1 Formål

Hensigten med lokalplanen er at åbne muligheden for at oprette et nyt område, hvor både rekreative og offentlige institutioner kan kombineres således, der skabes en bedre økonomisk og infrastrukturel sammenhæng i området. I lokalplanen er særligt den nye folkeskole, idrætsanlæg og svømmehal centrale elementer. Derudover kan nævnes klubfaciliteter, bibliotek, café, butikker, vandrehjem, klinikker og andre sundhedsmæssige formål (Vesthimmerland kommune(1), 2016, s. 9-11).

For at vurdere LAR-projektets muligheder, er det nødvendigt at forstå områdets aktuelle forhold og kommende opbygning. Viden herom anvendes eksempelvis til at tage hensyn til skybruds hændelser, hvor overskydende vand målrettes til områder med lav risiko for materielskade. Når vandet kontrolleres til disse områder opnås et bedre serviceniveau både under og efter skybrudshændelsen.

4.2 Eksisterende situation

Store dele af området kan beskrives som åben mark med et mindre antal erhverv, industri samt nogle enkeltstående fritidsaktiviteter i området, se Figur 6.



Figur 6 Ortofoto af lokalplan 1050 med vejnavne, bygninger og områder (Vesthimmerland kommune(1), 2016)

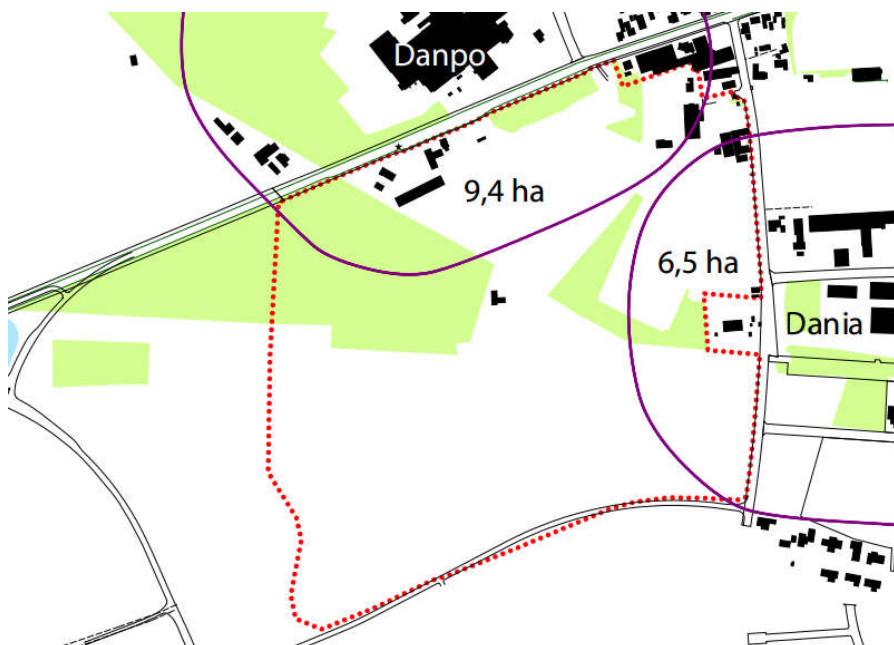
Lokalplanen afgrænses mod øst af Støberivej og mod nord af Løgstørvej. Mod nordøst afgrænses lokalplanen af det eksisterende industriområde, som er placeret i det nordøstlige hjørne, samt et mindre antal parcelhuse. Mod vest afgrænses lokalplanen af "Det grønne frirum", og mod syd afgrænses området af den fremtidige forbindelsesvej mellem omfartsvejen og Støberivej. Området i lokalplanen omfatter flere fritidsaktiviteter, virksomheder og offentlige institutioner, som skal indtænkes i projektet.

4.2.1 Betydning for LAR

Området i lokalplanen er altså overvejende mark med enkelte industri- og fritidsområder. Området udenfor lokalplanen omfatter bolig, industri og erhverv i varierende størrelse. LAR-løsningen skal derfor sikre, at overfladevandet ikke påvirker eller hæmmer områdernes funktion inden for acceptable grænser. LAR-projektet skal tage hensyn til industri og erhverv både i og udenfor lokalplansområdet. I området udenfor lokalplanen vil det eksempelvis få store konsekvenser, hvis transformatorstationen blev oversvømmet.

4.3 Krav og retningslinjer

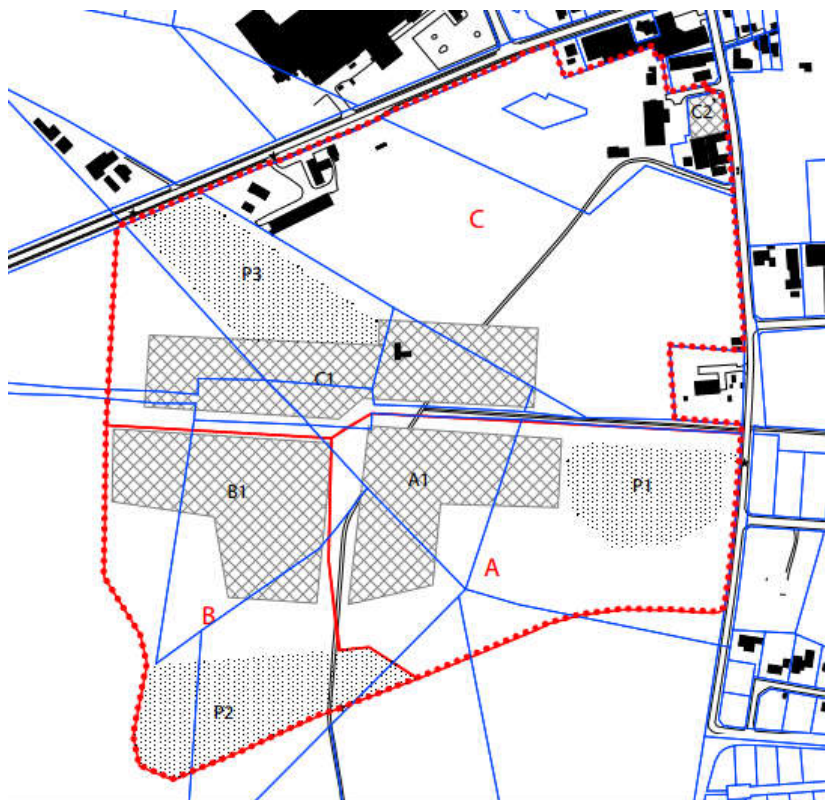
På grund af diverse industri og erhverv i udkanten af området, har kommunen optegnet konsekvenslinjer for at mindske muligheden for støj, lugt og visuelle gener, se Figur 7.



Figur 7 Konsekvenszoner fra DANPO og Dania på 200 m (Vesthimmerland kommune(1), 2016, s. 19)

Konsekvenszonerne er optegnet omkring de to store industrivirksomheder DANPO og Dania med en 200 meter bufferzone. Området udgør cirka 16 af lokalområdets 40 ha, og begrænser i større grad mulighederne i området. Konsekvenszonerne skal beskytte de skole- og fritidsorienteret aktiviteter såsom, skole, idrætshaller, børnehave og svømmehal. Indenfor denne zone må gerne anlægges eksempelvis parkering, boldbaner og lignende. Hensigten med dette er at målrette kortvarige midlertidige ophold inden for zonerne. På denne måde udnyttes arealet forsat, men de potentielle gener mindskes.

På grund af konsekvenszonerne forventes det, at den centrale del af lokalplanen udnyttes som et samlet skole- og fritidsområde, se Figur 8, der indikerer den grundlæggende opbygning af området. Centraliseringen af disse områder og placeringen af parkering af biltrafik i udkanten af området, medvirker til et større hensyntagen af bløde trafikanter. De bedre forhold for bløde trafikanter forventes at øge trafikmængden deraf.



Figur 8 Byggefelter A1- C1 med tilhørende parkering P1-P (Vesthimmerland kommune(1), 2016, s. 11) 3

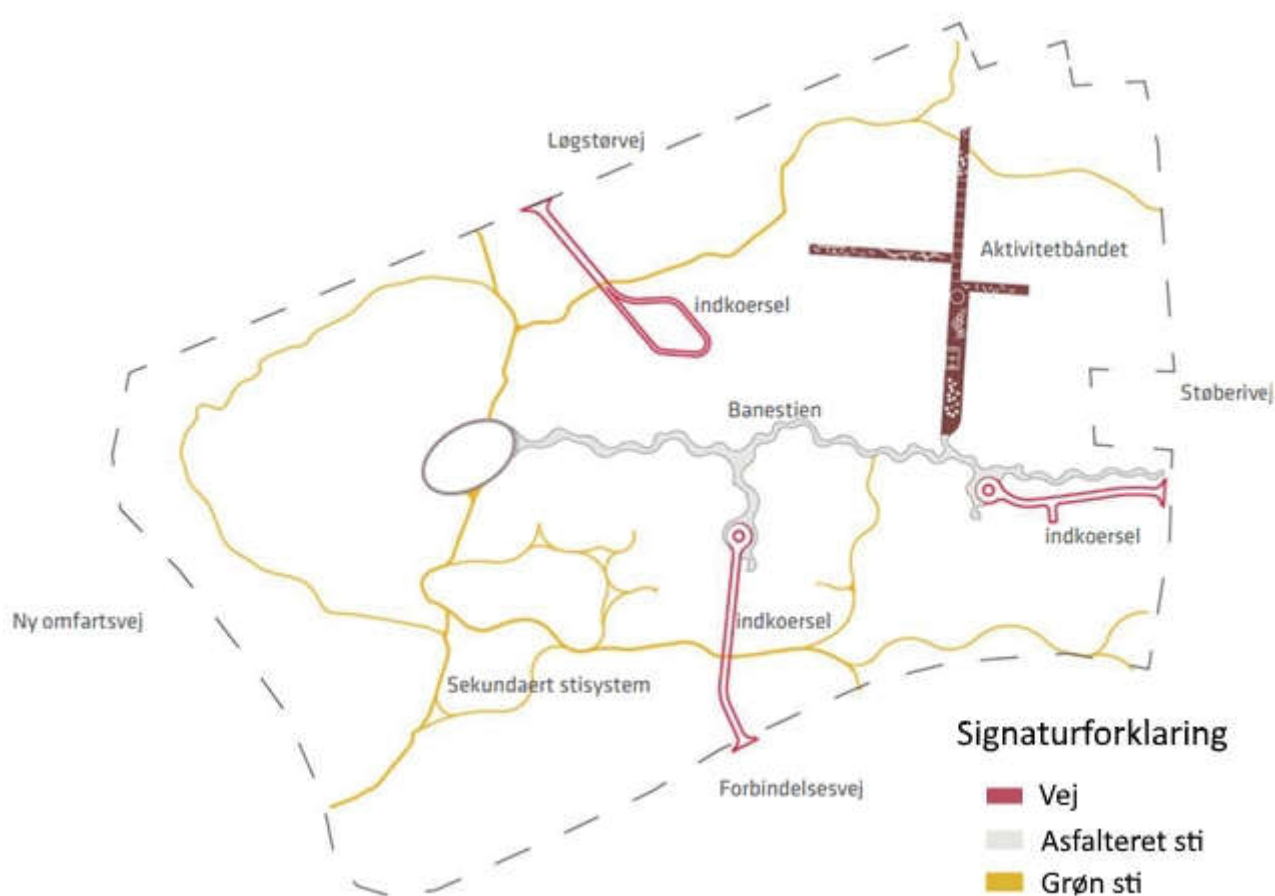
De forventede byggelinjer er centralt beliggende i området, hvor A1, B1 og C1 skal omfatte skole- og fritidsområder. P1, P2 og P3 er forventet parkeringsarealer, som kan anvendes som et midlertidigt bassin ved ekstrem nedbør. P-pladsen kan terrænreguleres eller afgrænses med kantsten. Områderne A og B forventes at blive brugt som udendørsareal til skole- og fritidsområdet. Område C skal fungere som kombineret udendørsområde med fodboldareal.

Følgende bemærkninger er gjort for området (Vesthimmerland kommune(1), 2016, s. 15-19):

- Ingen Natura-2000 områder. Nærmeste ligger 3,1 km væk fra området.
- Ingen bilag IV arter i området.
- Hele området ændres fra landzone til byzone.
- Almindelige drikkevandsinteresser.
- Der må terrænreguleres ± 5 m i forhold til terræn, med henblik på afvanding.

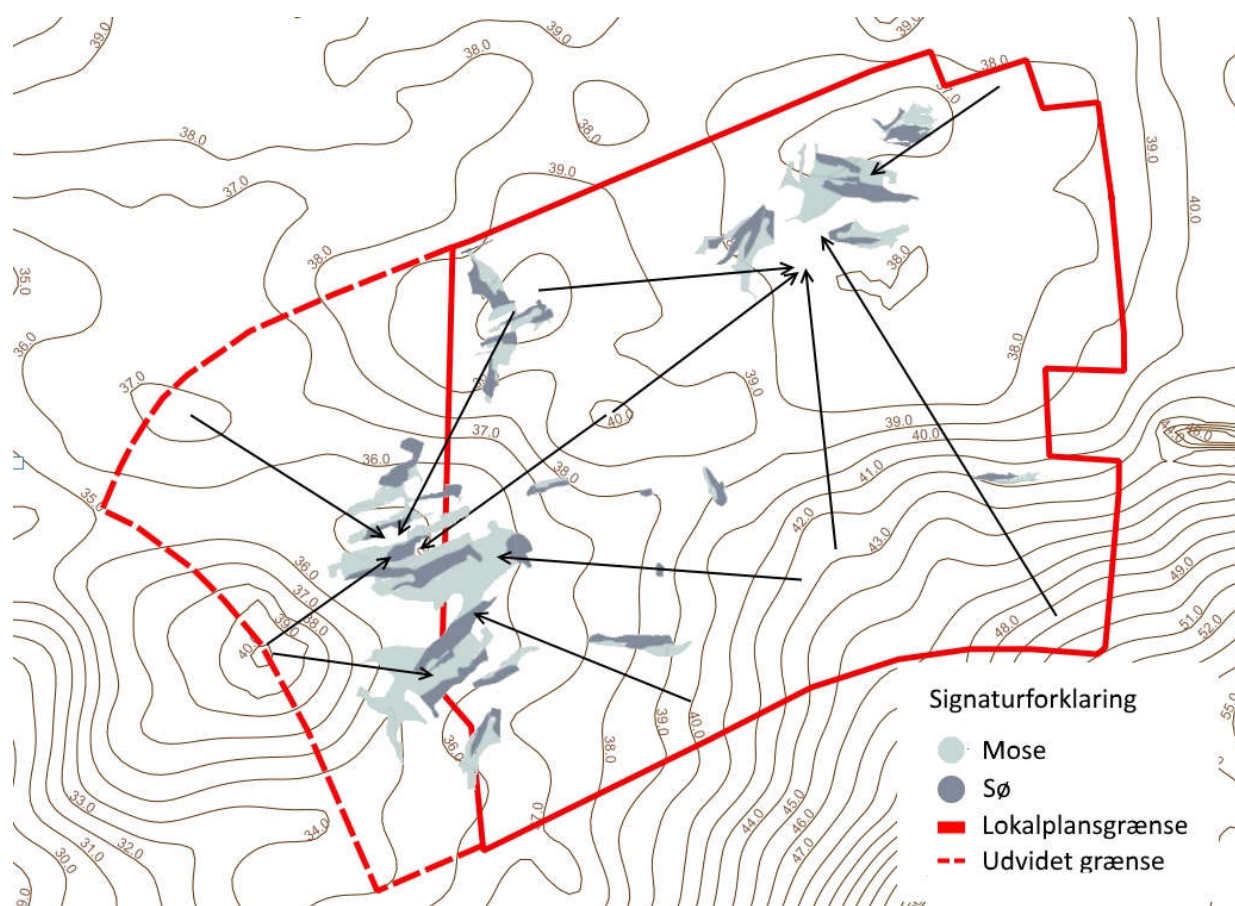
4.4 Fremtidig situation

I 2017 blev der i samarbejde med NIRAS og SLA udarbejdet en helhedsplan med udgangspunkt i lokalplan 1050. Planens hovedfokus udspringer fra den centrale del af området, som tidligere beskrevet skulle fungere som centrum for skole- og fritidsområdet. Parkeringsområderne er planmæssigt placeret i udkanten af området, således centrum fungerer som kombineret gå- og cykelgade. På Figur 9 fremgår det, at de sekundære stisystemer samt hovedåren "Banestien" skal fungere som det bærende element for den bløde trafik i området.



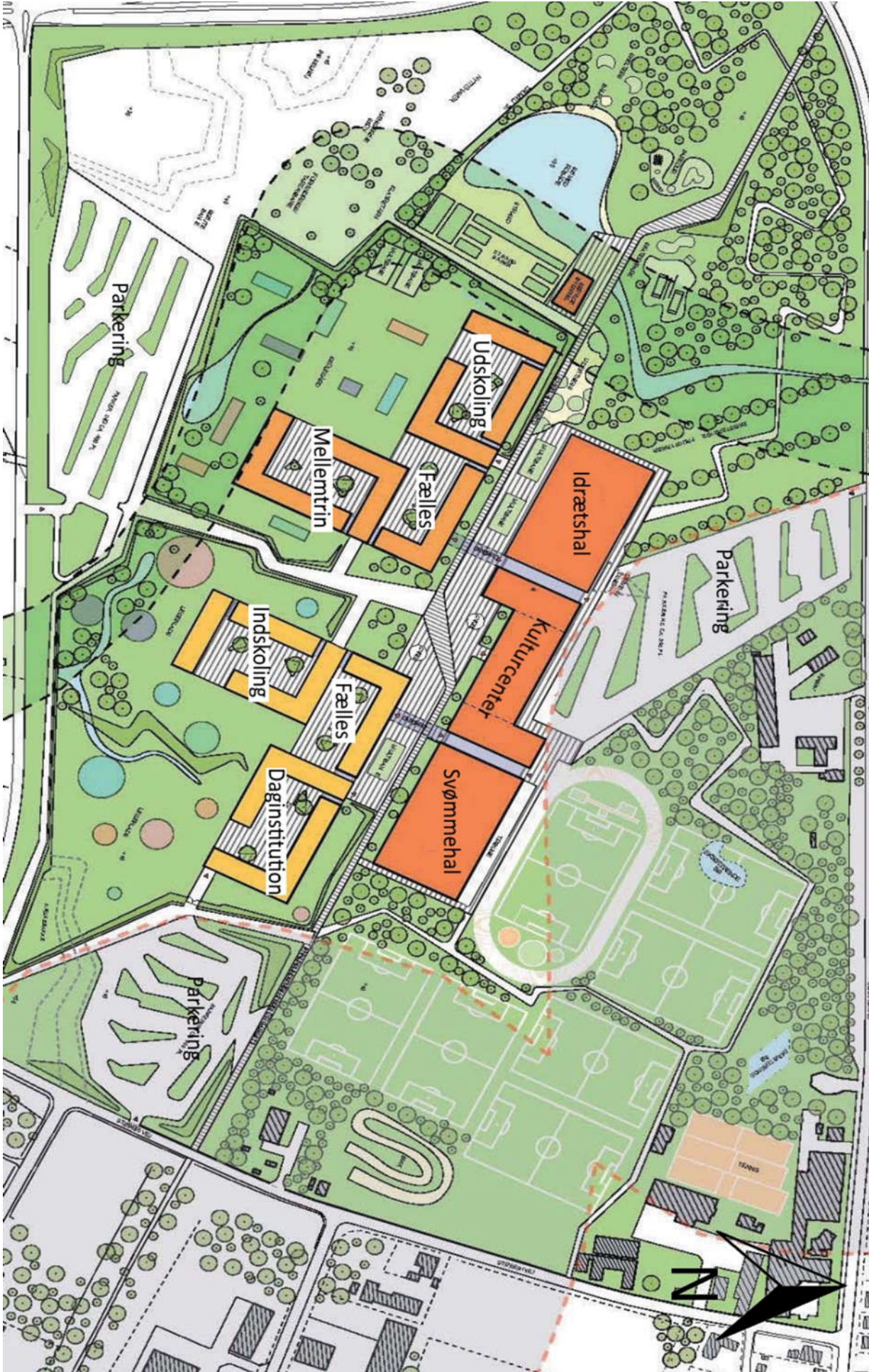
Figur 9 Infrastruktur i arkitektprojekt fra NIRAS og SLA (NIRAS, 2017)

Nedbøren forventes håndteret på flere måder, med LAR som den primære afledningsmetode. Her ledes overfladevand til biotoper, der tillader nedsivning eller fordampning, eller til områder hvor der ønskes permanent vandspejl. De biotopiske områder opdeles i mose og sø, placeret i tre primære områder, der kan aflæses på Figur 10. Placeringen er bestemt ud fra kortlægning af lavninger og regnhændelse, der ligeledes undersøges senere i rapporten.



Figur 10 Våde biotoper i arkitektprojekt fordelt på mose og sø (NIRAS, 2017, s. 42)

Lavninge og regnmængder sammenlagt med en række andre områder, som eksempelvis terræn, skov og placering af bygninger og parkering, danner grundlag for den samlede plan, der kan ses på Figur 11. Den samlede plan danner udgangspunktet og fastsætter de overordnede rammer for LAR-projektet. LAR-projektet skal derfor overholde funktionelle grænser samt forholde sig til den forudgående helhedsplan for våde biotoper, som er markeret med et område afgrænset af stiplede linjer på Figur 11. Lokalplanen forventes udvidet, således afgrænsningen forløber af resterende Løgstørvej og Forbindelsesvej, samt langs Omfartsvejen, se Figur 10



Figur 11 Helhedsplan for Lokalplan 1050

5 Foranalyse

Formålet med foranalysen er at belyse eksisterende data, som vurderes væsentlige i forhold til udviklingen af et LAR-projekt. Områderne er valgt på baggrund af vejdirektoratets anbefalinger for forundersøgelser i forbindelse med afvandings konstruktioner (Vejdirektoratet, 2017, s. 7-12). Ved at undersøge disse områder kan der på mere oplyst grundlag tages stilling til omfanget af LAR-projektet.

Foranalysen i denne rapport vil omhandle følgende områder:

- Jordbundsanalyse
- Højdeforhold
- Nedbør

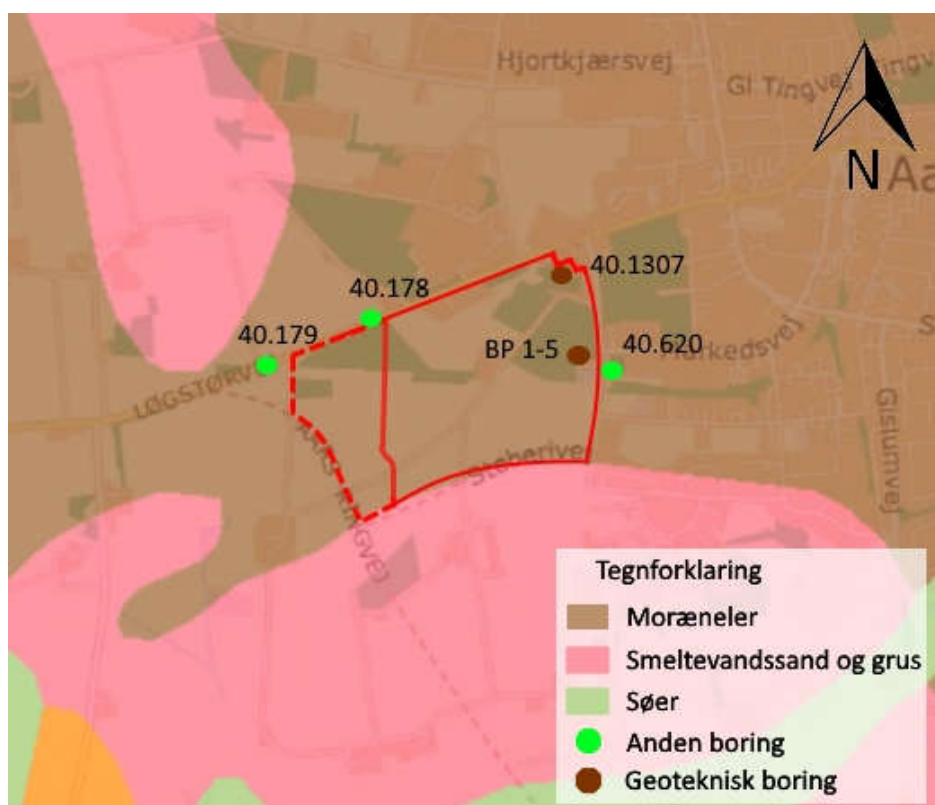
Figurer i dette afsnit vil fremgå med to typer af linjer som afgrænsning for området. En fuldt optrukket linje, der indikerer den eksisterende lokalplan, og en stiplet rødmarkeret linje, der indikerer den nye lokalplan. Se eventuelt Figur 10, der viser begge afgrænsninger.

5.1 Jordbundsanalyse

Jordbundsanalysen tager udgangspunkt i fire boringer fra GEUS Jupiter arkiv, et kort over overfladenære jordarter samt fem boreprøver foretaget af Andreassen og Hvidberg (A&H) i 2016. Borerapporterne fremgår i Bilag A.

Formålet er at undersøge, om der findes data, der indikerer, om jorden tillader nedsivning i lokalplansområdet.

Eftersom der foreligger få boringer inde i lokalplansområdet fra Jupiter arkivet, er der forsøgt at udvælge boreprofiler i periferien af lokalplansafgrænsningen. De udvalgte boringer fra GEUS varierer fra kategorien geoteknisk boring (brun) til kategorien ”anden boring” (grøn), se Figur 12.



Figur 12 Overfladenære jordarter med udvalgte boringer (GEUS, 2017)

5.1.1 Boreprøver fra Jupiterarkivet

Borring 40.179 og 40.178 på figuren er foretaget i 1958 og kan muligvis være mindre troværdige, grundet formål og kvaliteten af vurderingen. Sammenholdt med boreprofilets meget simple beskrivelse, vurderes de mindre kvalitative og dermed mindre repræsentative for området. Boreprofilerne kan ses i Bilag A.

På Figur 12 ses lokationen af de fire boringer angivet med DGU-nummer fra Jupiterarkivet. I Tabel 1 kan aflæses et overslag med et fem meters interval.

Tabel 1 Boringer fra Jupiterarkiv

DGU-nummer	40.178	40.179
Vandspejl m u.t.	Intet målt	Intet målt
0-5 m u.t	Sandet ler, grus og rullesten	Sandet ler og grus
5-10 m u.t	Sandet ler, grus og rullesten	Sandet ler og grus
10-15 m u.t	Sandet ler, grus og rullesten	Sandet ler og grus
DGU-nummer	40.620	40.1307
Vandspejl m u.t.	Intet målt	Intet målt
0-5 m u.t	Gul klæg og sand	Fyld, muld, silt, sandet
5-10 m u.t	Gul klæg og sand	Ikke målt
10-15 m u.t	Gul klæg og sten	Ikke målt

Tre ud af fire boreprøver betegner jorden som overvejende leret. Boring 40.620 betegner jorden som klæg, altså som en fed leret marksjord (Ordnet, 2017). Boreprøve 40.1307 betegner jorden som en blanding mellem sand og silt med fyld i overfladen. Denne boring er cirka 1,5 m dyb, hvilket giver et meget begrænset billede af jorden. Den geologiske boring vurderes dog som den mest kvalitative. Der er ingen data på vandspejlets beliggenhed, hvilket er nødvendigt at få dokumenteret.

For de fire boringer kan jorden beskrives som overvejende leret, med sand eller grus.

5.1.2 Boreprøver fra A&H

De fem boreprøver fra A&H blev foretaget i 2016 med en borredybde på 3-4 m. Disse borer er markeret BP 1-5 på Figur 12, der indikerer boring et til fem. Boringerne er lavet for at undersøge funderingsmuligheder for en ny børnehave. Boringerne er fordelt med cirka 10 meters mellemrum. Borrerapporterne kan ligeledes findes i Bilag A. Boringerne foretaget ved børnehaven kan aflæses i Tabel 2, hvor et lignende overslag er lavet med et interval på 1 m.

Tabel 2 Boringer fra A&H

Bore-Nr	1	2
Vandspejl m u.t.	Intet målt	3,7
0-1 m u.t.	Muld, Morænesand	Muld, Sand
1-2 m u.t.	Sand	Moræneler, Sand
2-3 m u.t.	Sand	Sand
3-4 m u.t.	Sand	Sand
Bore-Nr.	3	4
Vandspejl m u.t.	Intet målt	Intet målt
0-1 m u.t.	Muld, sand	Muld, Moræneler
1-2 m u.t.	Moræneler	Moræneler, Sand, Morænesand
2-3 m u.t.	Moræneler	Moræneler
3-4 m u.t.	Moræneler	Intet målt
Bore-Nr.	5	
Vandspejl m u.t.	Intet målt	
0-1 m u.t.	Muld, Fyld	
1-2 m u.t.	Moræneler	
2-3 m u.t.	Moræneler	
3-4 m u.t.	Intet målt	

I borerapporterne fremgår det, at vandindholdet ligger mellem 10-20 %, hvilket potentielt kunne være glacial morænesand eller moræneler (Ovesen, 2007, s. 43). Der er lavet en enkelt intaktprøve på boring 1, der gav en rumvægt på cirka 22 kN/m³. En morænejords densitet spænder i intervallet 17-23 kN/m³, hvilket stemmer overens med intaktprøven (Geoenergi, 2017).

Generelt kan boreprofilerne beskrives som overvejende leret dog med enkelte prøver nær overfladen, der indikerede en sand eller morænesand.

5.1.3 Overfladenære jordarter

På Figur 12 er vist et kort af overfladenære jordarter. Området inden for lokalplansgrænsen er markeret som moræneler. Moræneleren betegnes som en glacial jordart, der anses som meget almindelig i Danmark. Cirka tre fjerdedele af Danmarks overflade er dækket af denne jordart (Ovesen, 2007, s. 39). Moræner er dannet af Gletsjere og kendetegnet ved en meget varieret kornstørrelse. Jorden er oftest usortet og indeholder ler, som gør jorden plastisk eller formstabil. Jorden, der grænser op til området, kategoriseres som en smeltevandssand og grus. Denne type jord er ligeledes en glacial jord, der stammer fra floder, som førte smeltevand bort fra gletsjere. Denne jordtype vurderes typisk som vel- eller sorteret marinesand. Jorden er dårlig egnet til nedsivning, grundet jordens meget lave hydrauliske ledningsevne på $10^{-5} - 10^{-7}$ m/s (Ovesen, 2007, s. 66).

5.1.4 Samlet vurdering

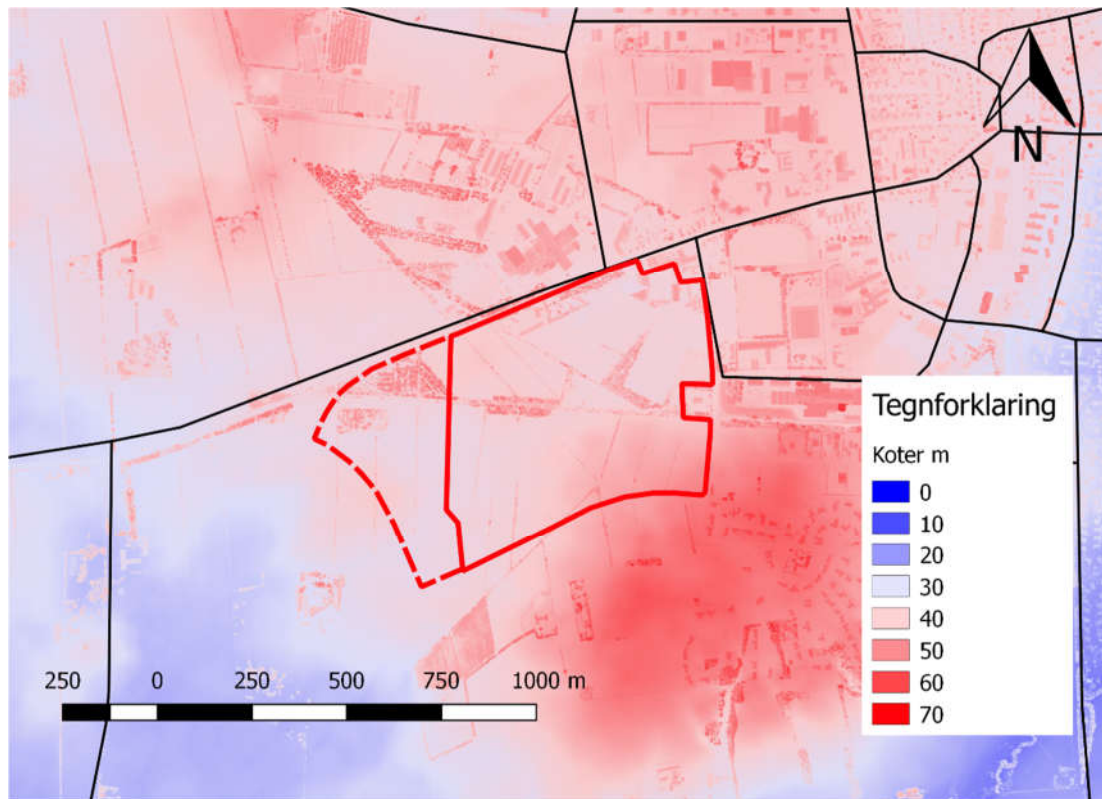
Med det foreliggende data er det begrænset, hvor præcis området kan beskrives. Dataene var relativt entydige, hvor området kan forventes, ud fra overslaget og nogle bekræftende boreprøver, at være overvejende moræneler eller sand/morænesand. En mere detaljeret beskrivelse af området kan ikke laves med den eksisterende data.

En enkelt prøve har vist et vandspejl i 3,7 m under terræn, hvilket ikke vurderes at være et dimensionsgivende grundlag for det resterende område.

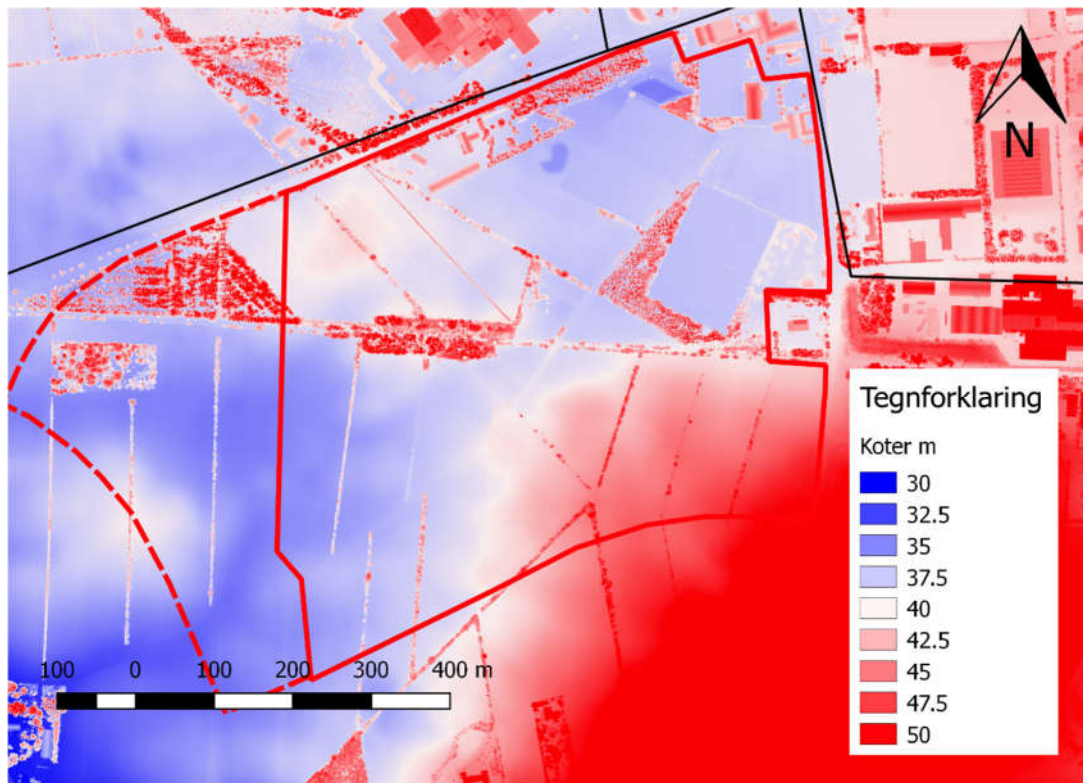
Det antages, at området inden for lokalplansgrænsen vil være overvejende leret. Denne jordtype er mindre egnet til nedsivning, hvilket vil stille store krav til nedsivningsløsninger i området. Det antages derfor, at det ikke muligt, at nedbøren kan nedsive i lokalplansområdet. I projektet vil området syd for lokalplanen derfor blive undersøgt, se Figur 12 Overfladenære jordarter med udvalgte borer. Figur 12 er markeret som smeltevandssand og -grus. Denne jordtype har et bedre nedsivningspotentiale, der gør det muligt, at nedbøren kan nedsive. Jorden skal dog undersøges, da kortet kun beskriver de overflade nære jordarter, der ligeledes kan være upræcist på grund af kortets målestok på 1:200.000.

5.2 Højdeforhold

Området omkring lokalplansgrænsen kan beskrives som relativt kuperet med en kote varierende fra 10 og 60. Området har fald fra øst mod vest, se Figur 13 og Figur 14.



Figur 13 Højdekort i koter m for lokalområde og omgivelser

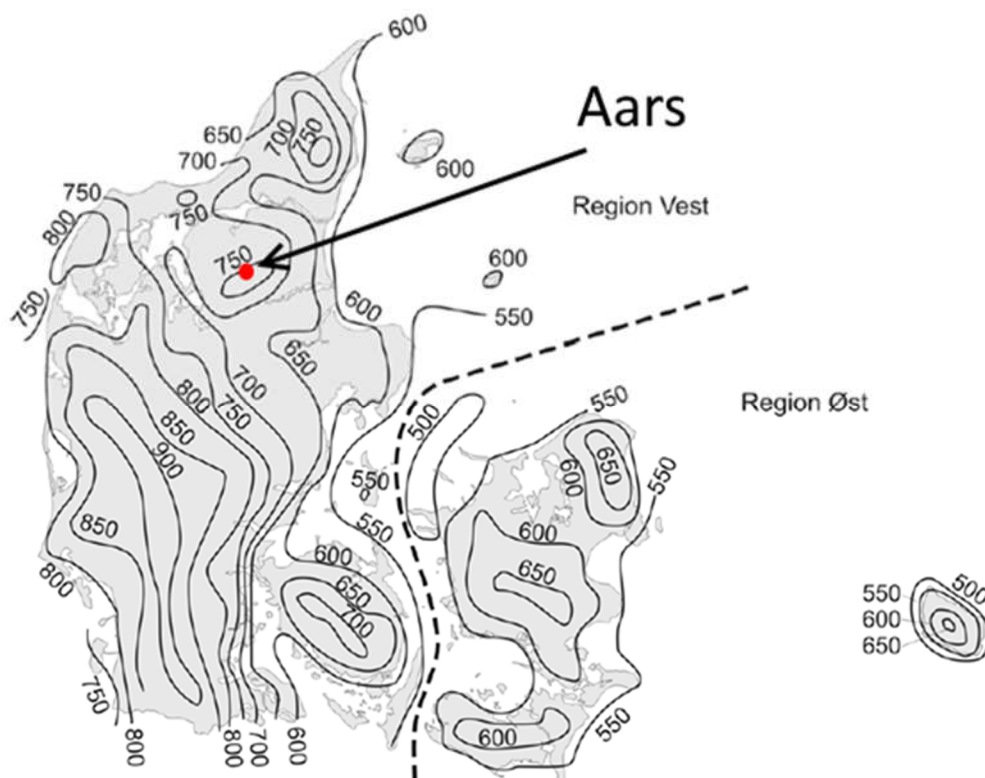


Figur 14 Højdekort i koter m for lokalområdet

Området i lokalplanen varierer mellem kote 32 og 50. I den sydøstlige ende ligger en bakke i terrænet, der overstiger kote 50. Bakken grænser op til to naturlige lavninge i det sydvestlige hjørne og det nordøstlige hjørne. Yderligere betragtninger i forhold til nedbør på terræn undersøges i afsnittet "Nedbør".

5.3 Nedbør

Siden 1874 har Danmarks Meteorologiske Institut, DMI, foretaget nedbørsmålinger, der primært bruges til klimaorienteret undersøgelser. Se Figur 15, der illustrerer det årlige gennemsnitsnedbør. Ud fra årsmiddelnedbøren bør der i gennemsnit falde cirka 750 mm nedbør årligt i området.



Figur 15 Årsmiddelnedbørens fordeling i Danmark i perioden 1961-1990 (DMI, 2017)

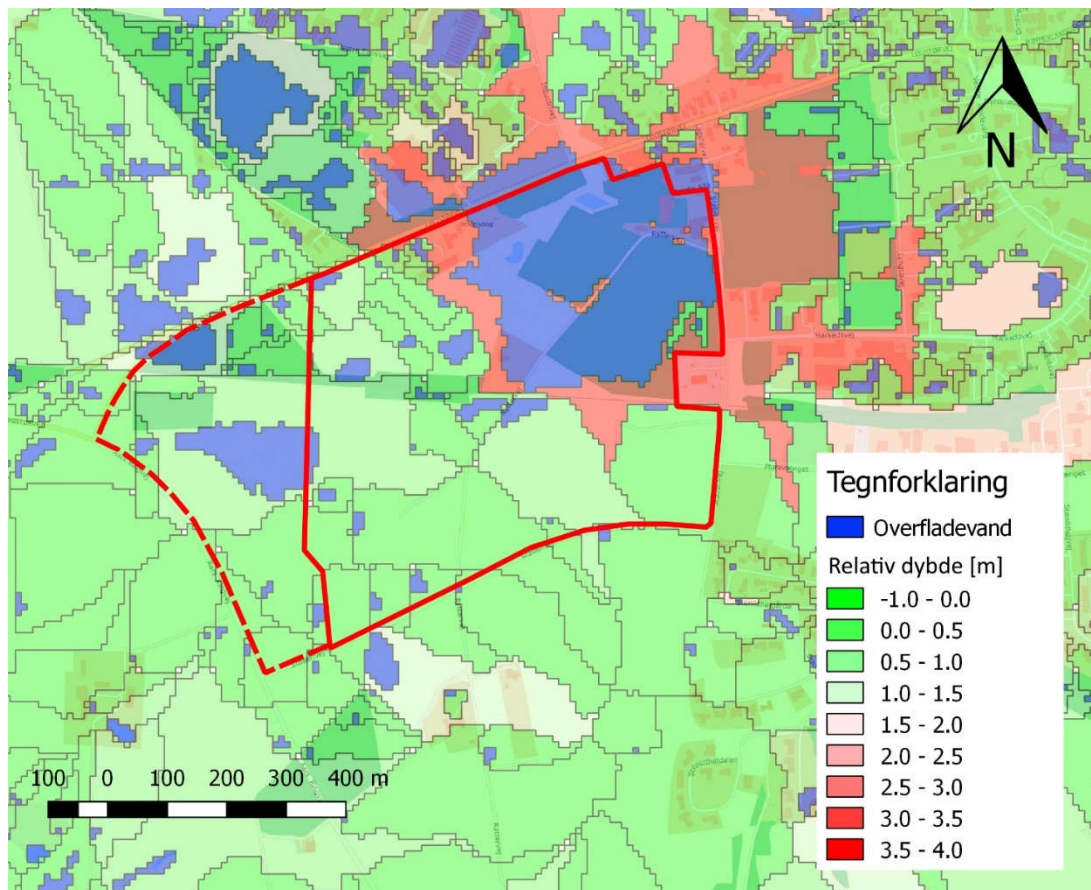
Den dimensionsgivende nedbør bestemmes ud fra de regionale regnerækker. Disse data stammer fra regnvandsmålere placeret flere steder i Danmark, der måler regnhændelser. De historiske regnhændelser anvendes til at lave en statistisk tilnærmelse af virkeligheden. Ud fra spildevandskomiteens notat om LAR, projekteres der ved normal praksis for 10 års hændelser af flere årsager. LAR-elementer, som eksempelvis grøfter eller trug, kan have svingende vandføringer, hvis elementet er meget tilgroet eller fyldt med blade eller lignende. Ligeledes kan der være flere visuelle-, lugt- og bakterielle gener forbundet med stillestående vand i grøfter og trug sammenlignet med lukkede rør (Spildevandskomiteen, 2015, s. 1-2). Der projekteres normalvis med en sikkerhedsfaktor på 1,1, hvor resterende sikkerhed kan opnås ved at antage en lavere hydraulisk ledningsevne i jorden.

Årsmiddelnedbør bestemmes til 738 mm for Vesthimmerland kommune. Sammenholdt med Figur 15, der viste en årsmiddelnedbør på cirka 750 mm, stemmer dataene overens.

5.3.1 Nedbør i Aars

De kystnære områder i Vesthimmerland kommunen er vejræssigt påvirket af havet. Det giver et mindre varieret klima, der oftest resulterer i flere solskinstimer og mindre nedbør. Mere centralt i kommunen aftager denne effekt, hvilket giver en større variation i klima (Cappelen, 2016). Der er i gennemsnit, inden for en niårig periode, faldet 772 mm nedbør pr. år i hele kommunen, og i Aars syd er der i 2016 faldet 677 mm nedbør (DMI(1), 2016). Kommunen er dermed indenfor den vådeste tredjedel af de 98 kommuner i Danmark. Sammenlignet med årsmiddelnedbøren og den statiske regn, vurderes de 738 mm forsat at være et realistisk beregningsgrundlag.

Området i Lokalplansområdet er blevet vurderet som relativt kuperet, se Figur 13 og Figur 14. Kote variationen i området gør, at der opstår naturlige oplande, hvor nedbøren søger mod lavpunkter. På Figur 16 ses oplande, for lokalplan 1050, illustreret afhængig af deres relative dybde. Tilhørende er illustreret en regnhændelse på 55 mm/døgn. Fordelingen af overfladevand er lavet ud fra arealet og bundpunktet i opland.



Figur 16 Lokalplan med oplande og tilhørende overfladevand

På Figur 16 ses to større områder med overfladevand. Det nordøstlige hjørne har risiko for større mængde overfladevand. Oplandet er mere end 35 ha, som rækker ud over lokalplansgrænsen. Ligeledes vil der i den vestlige ende være risiko for vandmasser på terræn.

Ved at betragte en større regnhændelse i forhold til terrænuformningen kan der tages stilling til, hvor de kritiske områder befinder sig. Yderligere kan der ud fra betragtningen vurderes, hvor ekstremregn vil risikere at oversvømme områder. I denne rapport behandles ekstremregne dog ikke.

5.3.2 Dimensionsgivende regnemetoder

Ifølge spildevandskomiteen praktiseres ofte med tre forskellige baggrunde for beregningsniveauer (IDA, 2005, s. 6).

Følgende tre beregningsniveauer kan anvendes:

- *Niveau 1.* Den rationelle metode. Dimensioneringsmetode for mindre afløbssystemer.
- *Niveau 2.* Dynamisk model kombineret med CDS-regn. Analyse af forholdsvis ukomplicerede afløbssystemer.
- *Niveau 3.* Dynamisk model kombineret med historiske regn. Analyse af komplicerede afløbssystemer.

De tre beregningsmetoder er ikke lovgivningsmæssigt bindende, men skal opfattes som en retningslinje, der kan give et mere nuanceret projekt. I dette projekt anvendes den rationelle metode til at bestemme dimensionsgivende vandføringer samt volumener. For den rationelle metode skal bruges en regnintensitet. Regnintensiteterne brugt i projektet er beregnet for de regionale regnerækker samt landsregnerækken. Begge intensiteter kan ses i Bilag D. Regnintensiteterne er bestemt for en 10 års hændelse, der angiver et serviceniveau for opstuvning på terræn på 10 år.

5.4 Opsummering foranalyse

Der blev i foranalysen undersøgt tre områder, hvortil der blev antaget en række forhold ud fra det eksisterende datagrundlag. For jordbundundersøgelserne blev der undersøgt tre forskellige datagrundlag. Her påviste alle datagrundlag, at områdets jordopbygning kunne forventes at være overvejende moræneler. Der blev dog lokaliseret et potentielt område placeret syd for lokalplansområdet, der indikerer smeltevandssand og -grus, der er velegnet til nedsivning.

Højdeforholdene sammenholdt med nedbør i området indikerede særligt to områder med risiko for vand på terræn.

Antagelser i forhold til jordbundundersøgelser:

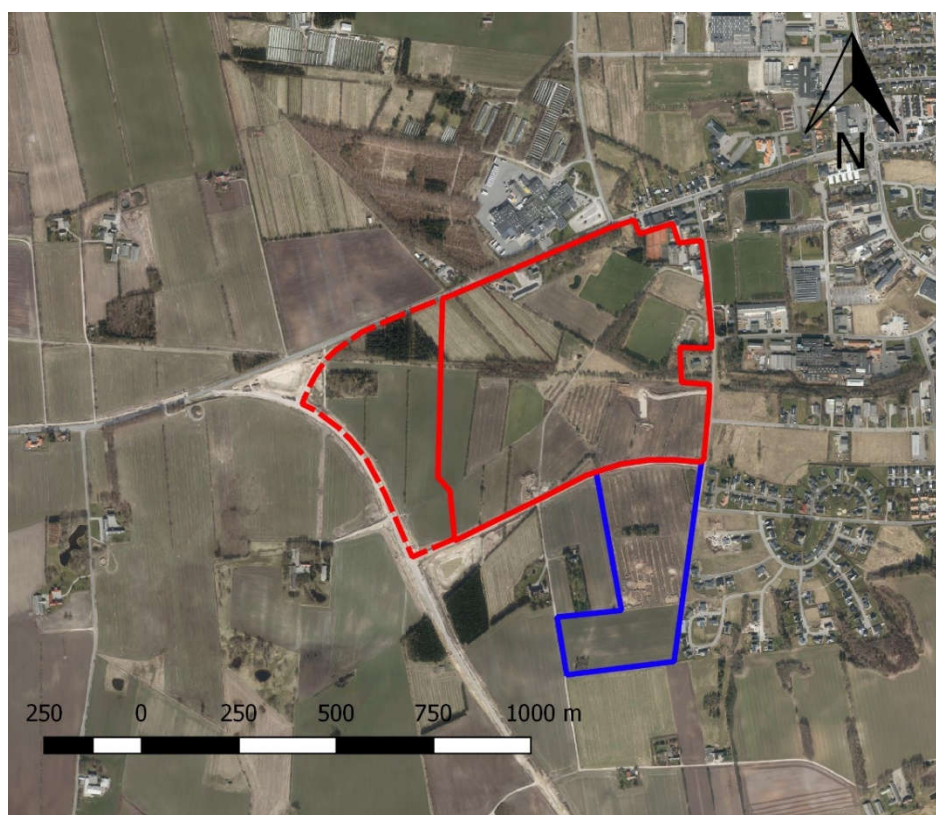
- Der undersøges ikke jordbundsforhold i lokalplansområdet, da det antages at være ler.
- Der antages at være nedsivningspotentialer syd for området.

6 Metodevalg

Der vil i det følgende blive gennemgået begrundelser for valg af forsøgsområde og for valg af måleudstyr. Begrundelsen for valg af område dannes ud fra viden om nedsivningspotentialet. Afsnittet om valg af måleudstyr omfatter en diskussion af hvilke geologiske måleapparater, der er mest egnede i forhold til måling af jordbundsforholdene.

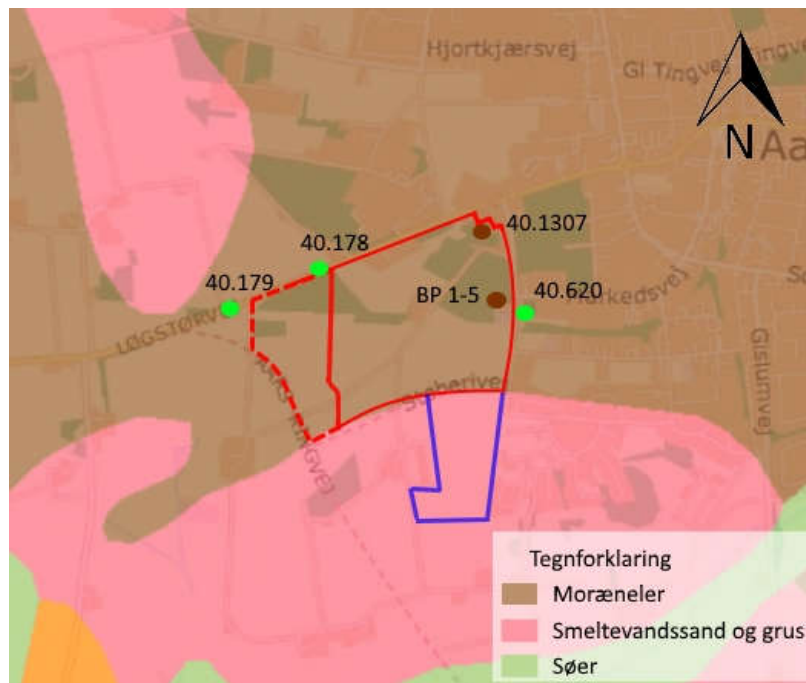
6.1 Valg af område

Ud fra de geotekniske betragtninger i foranalysen er det antaget, at størstedelen af området i lokalplan 1050 er overvejende moræneler, og derfor mindre egnet til nedsivning. På baggrund deraf besluttet det at undersøge et nærtliggende område placeret syd for lokalplanen, se det blåmarkeret område på Figur 17. Eftersom det ikke er muligt at nedbøren kan nedsive i lokalplansområdet, er det oplagt, at nedbøren transporteres til det nærtliggende område, hvor det forventes at kunne nedsive. Dette område er i lokalplanen 1070 tilskrevet primært boligbyggeri med LAR som afvandingsmodel (Lokalplan nr. 1070, 2017).



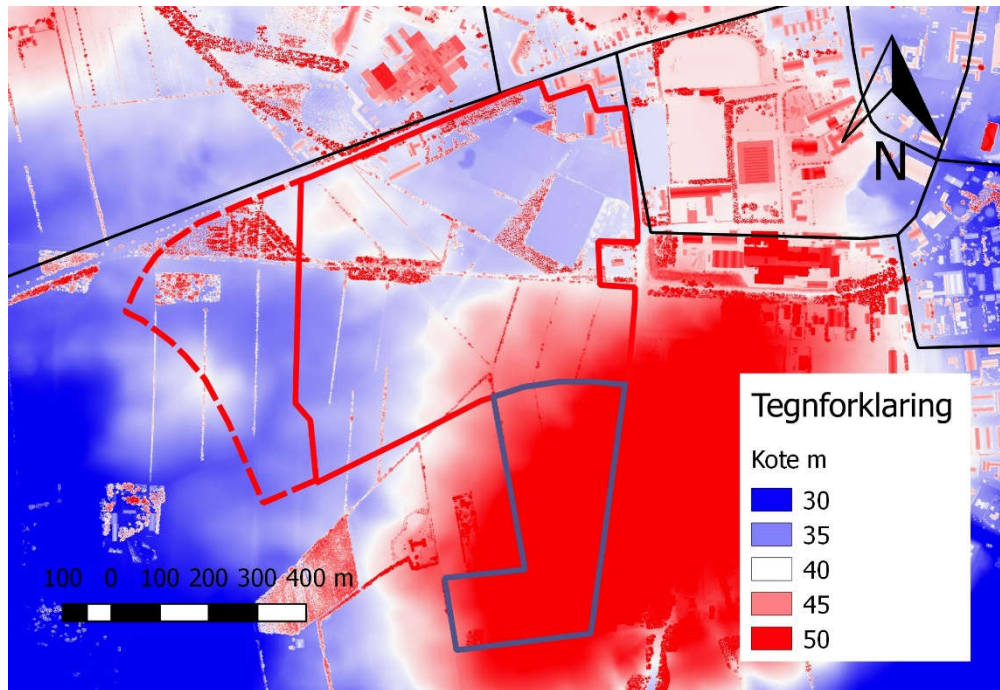
Figur 17 Valg af område placeret syd for lokalplan 1050

Ifølge GEUS kort af overfladenære jordarter ligger området i en smeltevandssand og grus, se Figur 18. Denne jordtype vurderes egnet til nedsivning. Den hydrauliske ledningsevne er typisk mellem $5 \cdot 10^{-3}$ og 10^{-3} m/s (Ovesen, 2007, s. 6).



Figur 18 lokalplan 1070 med overfladenære jordarter (GEUS, 2017)

Området ligger topografisk udfordret, da lokalplanen ligger på en bakke, der placerer området i mere end kote 50, se Figur 19.



Figur 19 topografi af nærliggende område

Grunden til at dette område vælges, skyldes muligheden for at lave geotekniske forsøg i et område med smeltevandssand og -grus. Dertil havde Vesthimmerland kommune et ønske, om at få undersøgt jorden.

6.2 Valg af måleudstyr

I dette afsnit vurderes hvilke målemetoder, der er mest egnede i forhold til to kriterier, her identificering af jordart og af vandspejlets beliggenhed. Følgende tre målemetoder diskuteres, eftersom de var tilgængelige, med hjælp fra kommunen og COWI a/s:

- Geoteknisk boring med tilhørende poseprøver og laboratorieforsøg
- Radargram fra Georadar (GPR)
- Geoelektrisk modstands måling med Multi-Elektrode-Profilering (MEP)

Redegørelse af de forskellige metoder kan findes i Bilag B.

6.2.1 Valg af måleudstyr

De tre metoder kan alle på et fornuftigt grundlag bidrage med brugbare data. Forskellen på de tre metoder tydeliggøres i kvaliteten, kvantiteten og i troværdigheden af målemetoden.

En geoteknisk boring vurderes at have den mest kvalitative vurdering, af de tre målemetoder, dog på kompromis af kvantitet og rummelig forståelse af jorden. Det ville kræve relativt mange borer, med et tæt net af borer for at kunne dokumentere jordbundsforholdene for et større område. Foruden den mere langsommelige praktiske proces, vil der være et større laboratorie arbejde forbundet med tolkning af poseprøver. Sammenlignet med georadaren, vurderes denne metode både mindre tidskrævende og kan give mere data på jordbundsforholdene. Georadaren kan hurtigere dække et større område og giver en god rummelig forståelse for jordens opbygning. Den er egnet i sand og stiller ikke større praktiske krav til den udøvende part. Der kan, ved brug af georadaren, dannes tvivlsomme eller forkerte data, hvis jorden består af ler. Eftersom at georadaren er mindre brugbar i ler, vurderes den ikke egnet til dataindsamling i lokalplan 1070. På Figur 18 lokalplan 1070 med overfladenære jordarter Figur 18 fremgår det, at området grænser op til moræneler, og som tidligere beskrevet kan kortet være upræcist. Dette kunne betyde, at der inden for lokalplan 1070 vil være ler, der potentielt kan give dårlige eller ingen data i et radargram.

Eftersom georadaren ikke kan bruges, vurderes MEP som den mest egnede metode til at måle jordbundsforholdene. Metoden vurderes mere egnet end borer, eftersom at der ønskes data for et større område. I projektet er det derfor besluttet, at der skal arbejdes med målemetoden MEP.

6.2.2 Hydraulisk ledningsevne

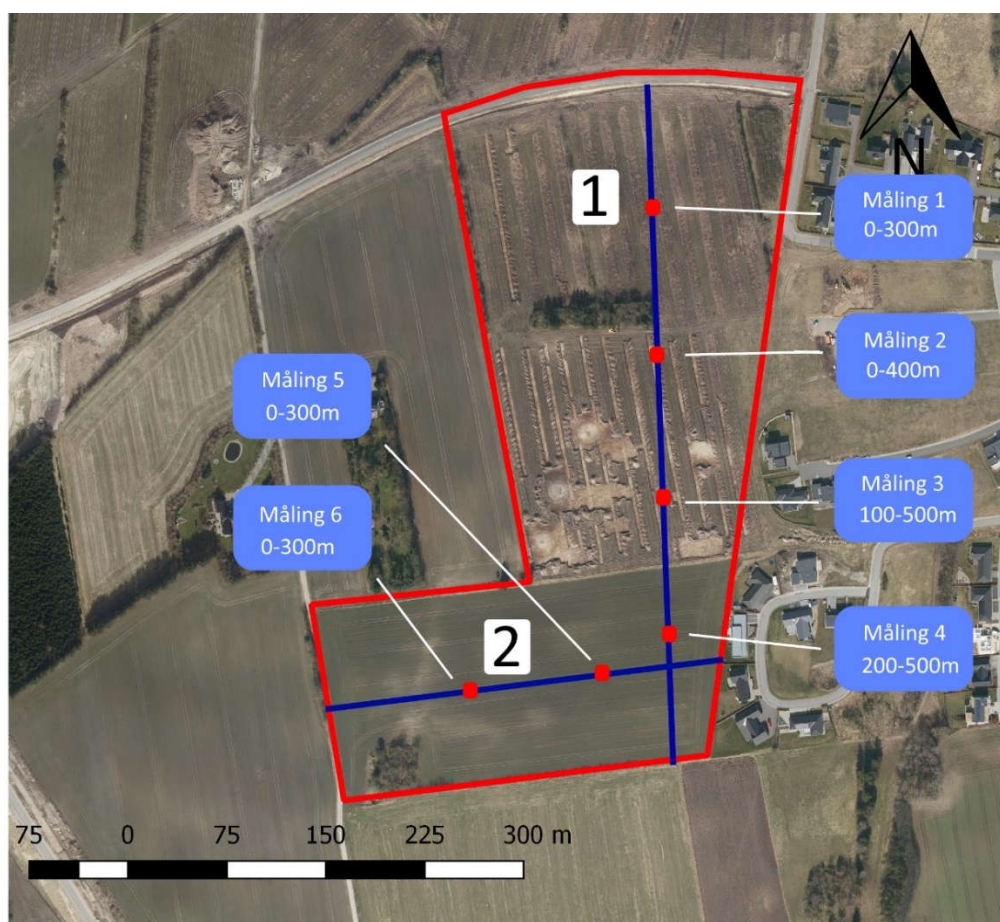
Der vil ligeledes laves et forsøg i jorden for at undersøge jordens hydrauliske ledningsevne. Forsøget laves således, at der graves et 90 cm dybt hul, hvori 1,5 liter vand hældes i et cylinderformet plexiglas rør. Når de 1,5 liter vand er nedsivet noteres tiden derpå. Ud fra den noteret tid kan en tilnærmet hydraulisk ledningsevne måles i marken.

7 Resultater

Dette afsnit forklarer resultaterne for de to målemetoder, der blev anvendt d. 29. nov. på lokalplan 1070 området. Først analyseres og konkluderes på resultaterne for MEP og derefter for permeabilitetsforsøget.

7.1 MEP (Multi-elektrode-profilering)

Der blev indsamlet data på en sammenlagt 800 meters strækning, placeret som vist på Figur 20 med to linjeføringer 1 og 2. Linje 1 er gående mod syd med nulpunkt i nord, og linje 2 er gående mod vest med nulpunkt i øst. På begge linjer blev der sammenlagt lavet seks målinger, fordelt med fire målinger på linje 1 og to målinger på linje 2.



Figur 20 Plan for MEP-måling I området.

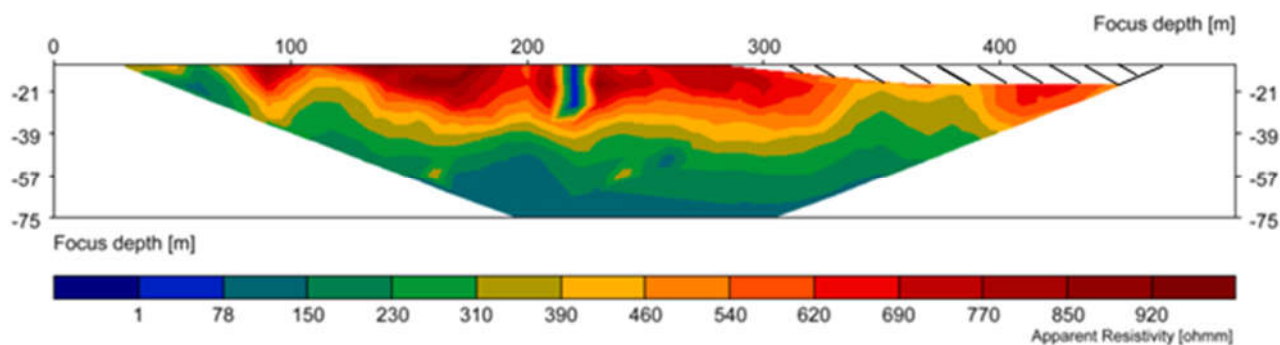
En måling indikerer de stationer, hvor der er foretaget målinger. En station, kan ses på Figur 21. Af tidsmæssige årsager blev der ikke indsamlet data for endepunkterne.



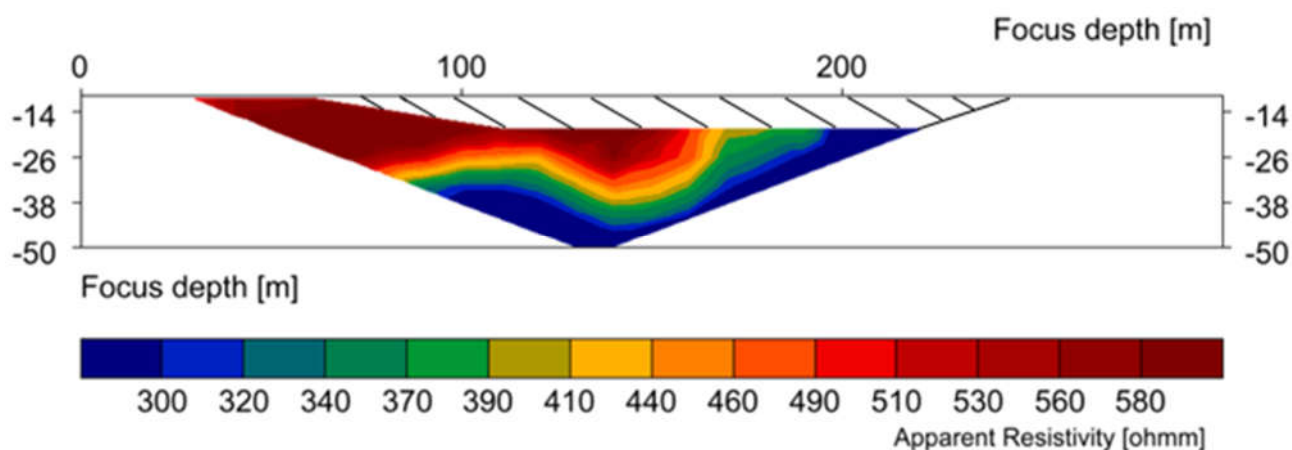
Figur 21 MEP-station med terrameter tilsluttet eksternt batteri til venstre, og til højre kabeltromle

Indsamlingen af data fandt sted d. 29. november, hvor det sneede kraftig i området. Dagene før dataindsamlingen var præget af flere mm nedbør (DMI(3), 2017), hvor der d. 22. november var kraftig nedbør. På grund af nedbøren, kombineret med en blød muld ude på marken, opstod der komplikationer i forhold til dataindsamlingen. Det var ikke muligt at opnå den fornødne kontakt mellem elektrode og jord, hvormed det på dele af linjeføringerne kun var de dybere lag, som blev målt. Særligt ved linjeføring 2 resulterede det i, at store dele af de overfladenære jorde ikke blev målt.

På Figur 22 og Figur 23 kan den målte resistivitet aflæses for de to linjeføringer. Det kan her ses, hvordan den manglende kontakt har betydet, at det indsamlet data fra de øverste lag ikke er blevet målt på begge linjeføringer, se det skraveret område på begge figurer. Dette kan besværliggøre en mere detaljeret beskrivelse af de øverste lag. Her antages det, at de dybere lag kan give informationer, der kan bruges som tolkning af de øvre lag. Resterende område ved siden af det farvet forekommer, ved målemetoden, naturligt ikke at blive målt.



Figur 22 Resistivitet fra linjeføring 1



Figur 23 Resistivitet fra linjeføring 2

7.1.1 Tolkning af MEP-data

Den indsamlet data varierer på baggrund af mange faktorer, som kan variere fra dag til dag. Derfor kan den indsamlet data delvist give et varierende billede, der kan tolkes på flere måder. Det kræver derfor et større kendskab til området og dets historie.

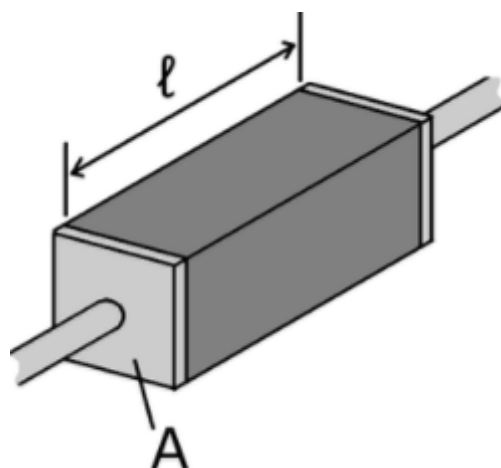
Den målte resistivitet Ωm i jorden varierer afhængig af følgende faktorer:

- Materiale
- Densitet
- Porøsitet
- Vandindhold
- Kvalitet
- Temperatur
- Pore form

Faktorer såsom temperatur og vandindhold kan af naturlige årsager variere året rundt, hvor særligt et øget vandindhold kan give forskellige værdier. Densiteten, porøsiteten og poreformen kan ligeledes variere, afhængig af hvilke køretøjer eller andre sætningsgivende tiltag, der bruges i området. De varierende faktorer udtrykkes som en samlet faktor i værdien R i formel (8.1.1). Den målte Ωm , er beregnet ud fra følgende formel, hvor beregningsprincippet er illustreret på Figur 24.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \quad (8.1.1)$$

ρ	Elektrisk resistivitet Ωm
R	Elektrisk resistens Ω
A	Tværsnitsareal m^2
L	Distance mellem elektroder m

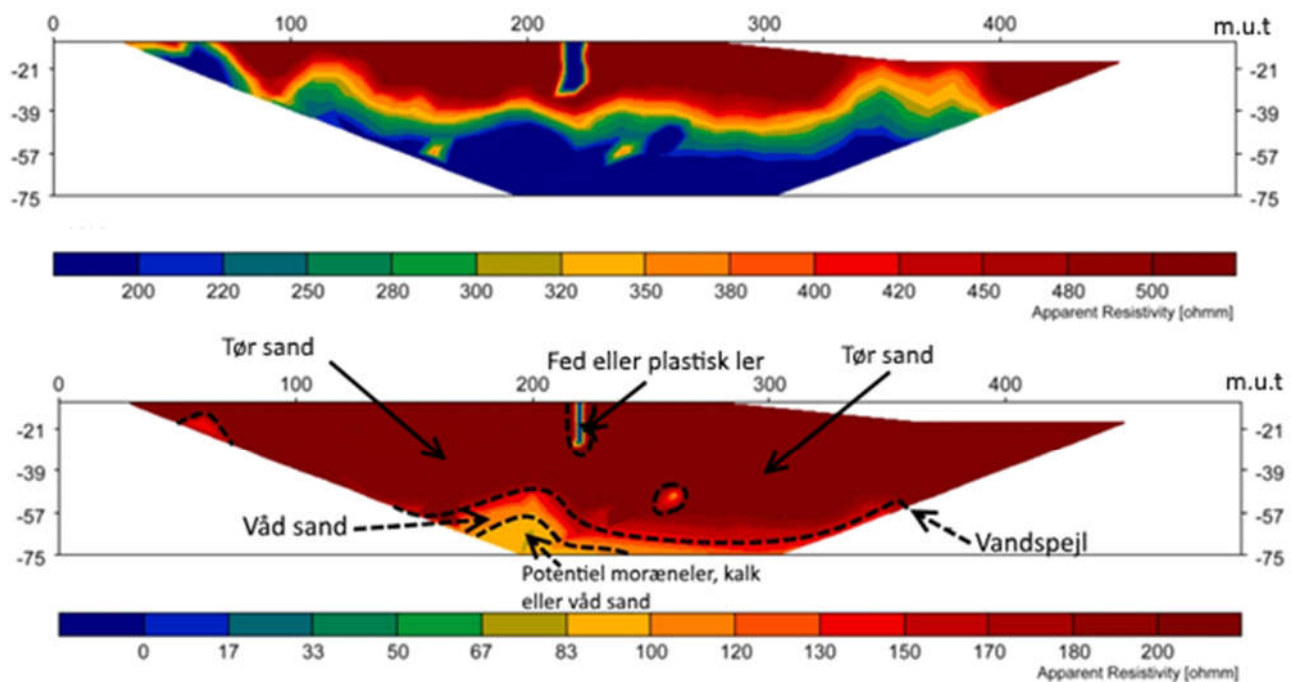


Figur 24 illustration af princip for elektrisk resistivitet (Wikipedia, 2017)

I Bilag C ses de tabeller, der er brugt til tolke på den indsamlet data.

På Figur 25 ses to illustrationer fra linjeføring 1 med forskellige intervaller for elektrisk resistivitet. Øverste del af figuren illustrerer modstande mellem 200-500 Ωm for at identificere, hvor potentiel kalk eller sand over GVS ligger. Ifølge Aarhus universitet og GEUS (Thomsen, 2011, s. 11) (Ole V. Vejbæk, 2007), ligger Aars i et område med større kalk magasiner, der kunne give modstande over 200 Ωm . Det vurderes ud fra en relativt høj modstand på over 500 Ωm , at det er sand over GVS, her tørt sand.

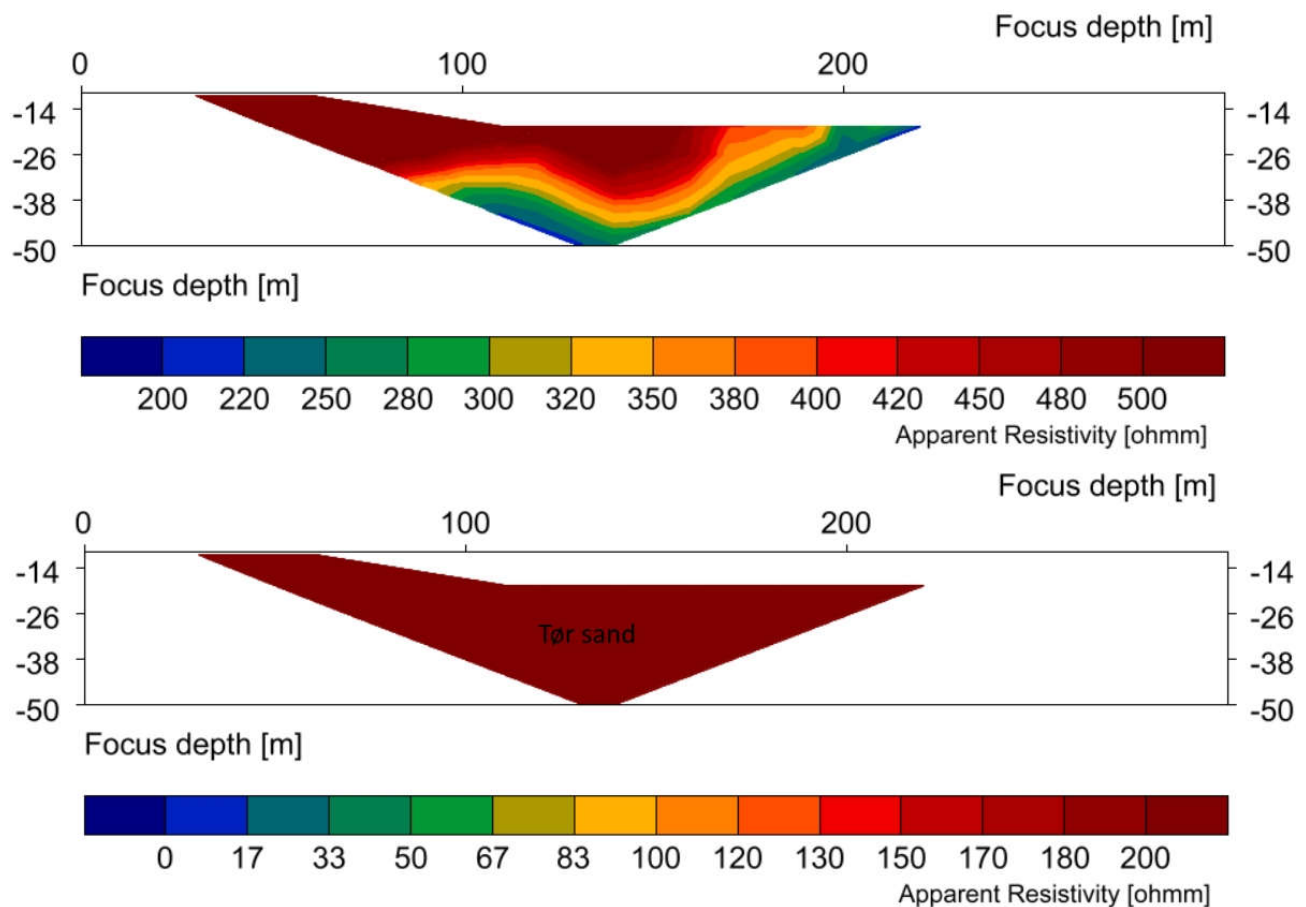
Ved at betragte intervallet fra 0-200 Ωm kan grundvandsspejlets beliggenhed identificeres. Sandet med modstand under 200 Ωm er, ud fra Tabel 7 i Bilag C, sand under grundvandsspejlet. Jordarterne i området under 200 Ωm kunne være to jordarter, her kalk eller vådt sand. På baggrund af de lavest målte jordarter vurderes det, at kalken aldersmæssigt ikke kan være beliggende der. Dette skyldes, at de laveste jordarter er glaciare jordarter og kalken prækvartær (Ovesen, 2007, s. 43). Kalkens typiske resistivitet er over 80 Ωm . Se nederste del af Figur 26, der angiver en 2D datatolket model af jorden.



Figur 25 2D tolket model af Linjeføring 1 med to forskelligt interval for elektrisk resistivitet Ωm

Samme analytiske tilgang er brugt på linjeføring to, der har vist en mindre varieret jord i dette linjestykke. Det kan ses på nederste del af Figur 26, at der ikke findes jord med lavere modstand end 200 Ωm , der ikke kan klassificeres som kalk, grundet den relativt høje modstand i de øverste lag.

På grund af den manglende kontakt mellem elektrode og jord i undersøgelsen af jorden, mangler der data for dele af den overfladenære jord. Dette burde dokumenteres at være en permeabel jord, således der ikke opstår uventet komplikationer i forhold til opstuvet regnvand.



Figur 26 2D tolket model af Linjeføring 2 med to forskelligt interval for elektrisk resistivitet Ωm

7.1.2 Delkonklusion for MEP

Ud fra de to linjeføringer kan det konkluderes, at der præcis i de to linjeføringer forligger overvejende sand til en minimumsdybde til cirka 40 m under terræn. Der findes enkelte tilfælde på linjeføring 1, som er andet materiale end sand. Det antages, at hele området markeret som smeltevandssand og -grus, placeret syd for lokalplan 1050, har samme jordbundsforhold.

Vandspejlet blev identificeret på linjeføring 1 cirka 50 m. under terræn ved omkring station 200. Station 200 var beliggende i kote 53,9, hvilket placerer vandspejlet omkring kote 4. Det antages, at vandspejlets beliggenhed er i samme kote for hele området med smeltevandssand og -grus.

7.2 Hydraulisk ledningsevne

Den hydrauliske ledningsevne er bestemt i felten på målestation 1. Til bestemmelse af den hydrauliske ledningsevne er muldjorden gravet væk, her de første 90 cm. I denne dybde er det antaget, at muldet er bortgravet ud fra en visuel bedømmelse af jorden. Et plasticrør blev nedbanket cirka 15 cm ned i hullet, således vandet ikke blev ledt til alle sider, men forblev laminar nedadrettet. Fra femte-sjette minut blev der noteret at alt vandet var nedsivet. Arealet i røret er 177 cm^2 , og mængden af vand nedsivet var 1,5 L.



Figur 27 Billede af hydraulisk ledningsevne forsøg

Ligning (7.2.1) bruges til at udregne en øjeblikks hydraulisk ledningsevne, der potentielt kunne afhænge af vejret op til målingen. Hvis det eksempelvis har regnet meget op til målingen, bestemmes den hydrauliske ledningsevne for en vandmættet jord. Derfor skal den udregnet hydrauliske ledningsevne anses, som et øjeblikksbillede. Se resultater i Tabel 3.

$$k_{MS1} = \frac{V}{\frac{A}{t}} \quad (7.2.1)$$

k_{MS1}	Hydraulisk ledningsevne målt i målestation 1 m/s
V	Infiltrationsvolumen m ³
t	Infiltrationstid s
A	Areal af rør m ²

Tabel 3 Resultater for bestemmelse af hydraulisk ledningsevne i målestation 1

Målestation	Jordart	D ₁₀ mm	k_{MS1} m/s	Infiltrationsrate l/s ha
1	Groft-mellemkornet sand	0.12	1.41 · 10 ⁻⁴	1410

Ud fra den hydrauliske ledningsevne kan en kornstørrelse med 10% gennemfald bestemmes her D₁₀. Ud fra ovenstående resultater kan jorden vurderes ud fra ledningsevnen og kornstørrelsen inden for kategorien groft eller mellemkornet sand (Ovesen, 2007, s. 23 og 66).

7.2.1 Delkonklusion hydraulisk ledningsevne

Ud fra det ene forsøg lavet i jorden i målestation 1, er jorden vurderet som sand. Den indsamlet data er kan være mindre repræsentativ for det resterende område, eftersom at jorden kan variere, særligt i området udenfor MEP-linjeføringerne. Ud fra MEP-analysen kunne der ved målestation 1 på linjeføring 1 ses et større lag sand, der vurderes at stemme overens med den hydrauliske ledningsevne.

Ud fra den bestemte hydrauliske ledningsevne vurderes jorden egnet til nedsivning.

8 Detailprojektering

Dette afsnit omhandler udviklingen af et detailprojekt for et udvalgt område i lokalplan 1050 på baggrund af foranalysen og dataindsamlingen fra de to forsøg. Detailprojektets primære formål er at udforme et afledningssystem baseret på de fire grundprincipper omkring LAR. Der bruges en 10-års hændelse som dimensionsgivende. Først bestemmes detailområdet ud for terrænuformningen, og den naturlige strømningsretning. Derefter planlægges og dimensioneres afvandingselementer.

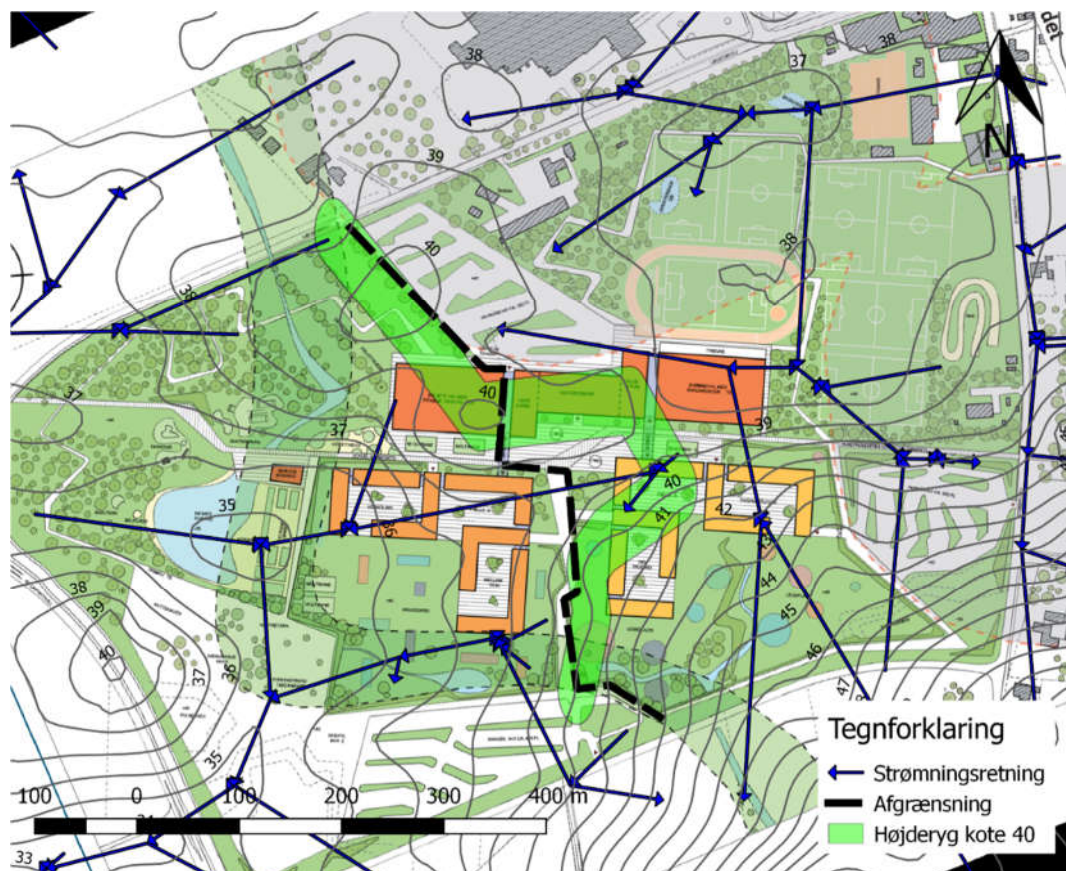
På baggrund af MEP-analysen antages det at grundvandsspejlet er beliggende i kote 4. Ifølge vejdirektoratets vejledning for dimensionering af trug og grøfter, bør grundvandsspejlet være beliggende minimum 1,5 m. under afvandingselementerne i sandede sedimenter (Vejdirektoratet, 2017, s. 10).

Det antages at der er ens jordbundsforhold i området med smeltevandssand og -grus, på baggrund af MEP-analysen.

8.1 Valg af detailområde

Detailområdet bestemmes ud fra terrænuformningen, der tillader strømning til det sydlige område bestående af smeltevandssand og -grus.

I foranalysen blev der i afsnittet "Nedbør" observeret to områder inden for lokalplansgrænsen, der havde risiko for større mængder vand på terræn, se Figur 16. I dette projekt, vurderes det vestlige område til at være det optimale område til et LAR-projekt. Det vestlige område har en naturlig strømningsretning til det sydlige område klassificeret som smeltevandssand og -grus, se Figur 28, der viser strømningsretningen til vandets samlingspunkter. Ud fra den naturlige strømningsretning og en naturlig højderyg i kote 40 omkring det nordligt centrale område, udvælges et detailområde som følger både helhedsplanen samt højderyggen. Hele området placeret vest for afgrænsningslinjen vurderes til at kunne transportere vandmasserne til et nedsivningsområde, placeret syd for området. Det resterende område, som er placeret øst for afgrænsningen, forventes at afledes med et ledningssystem, der ikke undersøges yderligere i denne rapport.



Figur 28 Kort med strømningpile samt afgrænsningslinje for detailområde ud fra højderyg i kote 40.

8.2 Planlægning af regnvandssystem

I dette afsnit redegøres for de planmæssige tiltag, der indtænkes i projektet med henblik på grøfter, trug og bassiner.

Grundlæggende skal vandet håndteres lokalt, således der ikke skal nedgraves ledninger til regnvand. For regnvandssystemet er der, som udgangspunkt, forsøgt at placere enkelte forsinkelsesbassiner, således at store dele af den samlede volumen kan holdes tilbage. Ved at holde vandet tilbage og dermed kontrollere vandmængderne, kan der ligeledes stilles mindre krav til systemet efter bassinerne. Det færdige system skal udelukkende aflede vand ved gravitation for at undgå unødvendige udgifter til pumpestationer. Den færdige plan kan ses på Tegning 1, se eksternt dokument.

For regnvandssystemet er der planlagt og beregnet kapacitet for 9 grøft-strækninger, 2 forsinkelsesbassiner, 1 nedsivningsbassin samt 5 trug-strækninger. For de forskellige elementer er de forsøgt placeret så tæt på jordoverfladen som mulig. Projektet tager udgangspunkt i et nedsivningsbassin placeret lige syd for det sydvestlige hjørne, der forventes at nedsive nedbør for hele området. Bassinet kan ses på Tegning 1.

Den udviklet plan tager udgangspunkt i den eksisterende helhedsplan, der kan ses på Figur 11. På denne plan fremgår det at der skal oprettes to bassiner i detailområdet her et bassin placeret syd for mellemtrin og vest for udskoling. I efterfølgende underafsnit uddybes eventuelle ændringer eller forhold, der skal gøres gældende, i den samlede plan for LAR-projektet. I underafsnittene bruges navngivning til de forskellige elementer, Tegning 1 eller Bilag E, hvor navngivningen af de forskellige elementer kan ses.

8.2.1 Bassiner

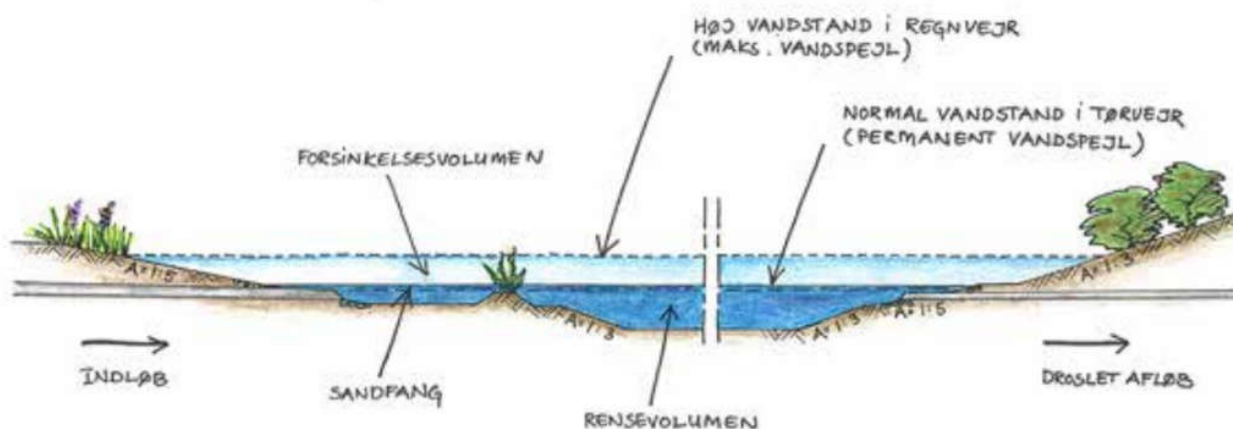
I detailområdet oprettes to typer bassiner. To forsinkelsesbassiner og et nedsivningsbassin. Gældende for alle bassiner er, at der skal være et permanent vandspejl på 0,8 m, der skal mindske risikoen for lugtgener. I detailområdet kan vandspejlet holdes permanent på grund af moræneleren i jorden. For nedsivningsbassinet vil vandet nedsive, derfor antages det, at der indlægges en lermembran med en tykkelse på 0,5 m under bassinbunden (Favrskov kommune, 2008, s. 9).

For de øvrige to forsinkelsesbassiner B1 og B2 ændres på udbredelsen på baggrund af koterne. Der ændres på B1 udbredelse i det nordlige område, da det vurderes til ikke at være muligt at bevare et

permanent vandspejl i kote 39 eftersom at det resterende bassin er beliggende omkring kote 36. Ved at terrænregulere området og løfte det lavtliggende område i kote 35, antages det, at der kan bevares et permanent vandspejl i kote 36. Fra kote 36 til kote 37 terrænreguleres bassinet, således udløbene fra tilstødende grøfter kan udløbe i bassinet. Resterende bassin tørlægges og laves som grøft, eftersom der fortsat er areal, der har naturlig strømningsretning til bassin B1.

Bassin B2 flyttes i vestlig retning nær afgrænsningen af området, således at det er muligt at udnytte hjørnet i tilfælde af overløb. Ved at lave en fordybning i hjørnet kan der ligeledes klimasikres mod større regnhændelser.

Recipienten forventes sikret mod forurening ved, at der indføres sandfang og bundfældningsanlæg, hvor sedimenter m.m. falder til bunds ved hjælp af niveauforskelle i den permanente vandvolumen, se Figur 29.



Figur 29 bassin sandfang og rensevolumen (Aarhus kommune, 2016, s. 10)

8.2.2 Afvanding ved bygninger

I delområde B, E og F eksisterer bygninger i form af skole- og idrætsområde (Nielsen, 2017). I dette område forventes at bruge trug, da truget fremstår som en mindre visuel gene, og at den giver bedre fremkommelighed sammenlignet med en grøft. Truget oprettes minimum fem meter væk fra bygningerne for at mindske risikoen for fugt i væg og fundament. Tage på indvendige side mod gårdmiljøet forventes afvandet med tagrender og tilhørende nedløbsrør og rendestensriste forbundet med ledninger i jorden. Ved områder hvor tre eller flere ledninger mødes laves en samlebrønd, der leder vandet videre i en bestemt retning. Taget mod ydersiden af gårdmiljøet forventes afvandet med

tagrender og nedløbsrør. Terrænet reguleres med et minimumsfald på 2 ‰, således vandet kan løbe på jordoverfladen og ned i truget.

For at øge fremkommeligheden ved indgangene til bygningerne forventes det, at der oprettes overføringer i form af broer, der tillader vandløb under broen.

Ind- og udløb skal sikres mod erosion, derfor anlægges rørene med stensikring for at sænke hastigheden på vandet og mindske risikoen for slemning, se Figur 30. Der bør ligeledes oprettes sandfang i ind- eller udløb for at minimere risikoen for eroderet materiale ved recipienten. Sandfanget kan oprettes som reel brønd eller som uddybning i grøften.



Figur 30 Udløb løftet 5 mm over grøftbund, med stensikring

8.2.3 Grøfter

Grøfter oprettes afhængig af helhedsplanens naturlige begrænsninger i form af belægningsskifte eller lignende, der indikerer en grænse. Grøfterne fungerer som det primære element, der afleder vand fra og til bassinerne. Grøfter med græs kan fungere som filter mod forurening. Dette kan dog resultere i, at der skal fjernes eksempelvis kvælstof eller tungmetaller. Det antages, at grøfterne vedligeholdes således, at der ikke skal tages højde for mindsket vandføring. Udløbene til bassinerne skal placeres 0,05 m over bassinets vandspejl, således vandet altid kan afledes fra grøften.

8.3 Detaildimensionering

Ud fra de planmæssige tiltag dimensioneres alle LAR-elementerne på baggrund af en 10 års hændelse. I underafsnittene opstilles forudsætninger, hvor tilhørende resultater præsenteres. Beregningerne til dimensionering af LAR-elementerne ses i Bilag D-I.

8.3.1 Dimensionering af grøfter og trug

Den dimensionsgivende vandføring Q_{dim} bestemmes i dette projekt med den rationelle metode (Rruby, 2006). Den dimensionsgivende vandføring kontrolleres i forhold til den maksimale vandføring her $Q_{\text{dim}} < Q_{\text{max}}$ hvor Q_{max} bestemmes med Manning formelen. Grøfter og trug anlægges i dette projekt med et minimums længdefald på 2 ‰. Den geometriske udformning i dette projekt tager udgangspunkt i vejdirektoratets typetegninger og grundprincipper for grøfter og trug (Vejdirektoratet, 2017). Der bruges kun trapezformet grøfter og trekantformet trug. Se

8.4 Bilag F

, hvor de geometriske parametre bestemmes. Se Bilag E hvor grøfter og trug navngives samt tilhørende opland til de forskellige LAR-elementer bestemmes. Se Bilag G hvor de dimensionsgivende vandføringer bestemmes her Q_{dim} og Bilag H hvor den maksimale vandføring Q_{max} bestemmes.

I Tabel 4 og Tabel 5 fremgår resultaterne hvor alle elementer er blevet kontrolleret for $Q_{\text{dim}} < Q_{\text{max}}$.

Tabel 4 kontrol af dimensionsgivende vandføring for grøfter med vejdirektoratets type 3 tegning

Strækning	Afløbstiden t_r min	Længdefald ‰	Højde m	Anlæg a	Q_{dim} l/s	Q_{max} l/s
G1	5	-16	0,5	2	143	1331
G2	5	-2,8	0,5	2	145	562
G3	6	-14	0,5	2	143	1240
G4	5	-7	0,5	2	364	875
G5	5	-2	0,5	2	433	468
G6	8,5	-2	0,5	2	438	468
G7	5	-11,2	0,5	2	191	1106
G8	6	-15,4	0,5	2	551	1316
G9	10,5	-5	0,9	2	1702	1978

Tabel 5 kontrol af dimensionsgivende vandføring for trug med vejdirektoratets principtegning

Strækning	Afløbstiden t_r min	Længdefald ‰	Højde m	Anlæg a	Q_{dim} l/s	Q_{max} l/s
T1	3	-5	0,1	10	52	57
T2	4	-10	0,1	10	47	81
T3	1	-13	0,1	10	67	92
T4	1	-6	0,15	15	75	117
T5	2	-2	0,15	15	68	68

8.4.1 Dimensionering af bassiner

For bassiner bruges en anden tilgang for at bestemme den dimensionsgivende parametre. Sammenlignet med grøfter og trug, som dimensioneres afhængig af regnhændelsens intensitet, dimensioneres bassiner afhængig af den mest voluminøse regnhændelse. Eftersom bassinets primære opgave er at magasinere vand betyder kort intens nedbør ofte mindre total volumen, sammenlignet med længerevarende og mindre intens nedbør.

Der skal dimensioneres tre bassiner, her to forsinkelsesbassiner og et nedsivningsbassin. Det primære formål med hele afledningssystemet er at tilbageholde dele af vandmængderne, således det er muligt for nedsivningsbassinet er nedsive vandet uden overløb.

Alle bassinerne antages udformt som to keglestubbe beliggende oven på hinanden. Nederste volumen repræsenterer den permanente volumen, der skal have en minimumshøjde på 0,8 m (Favrskov kommune, 2008, s. 8), og øverste keglestub repræsenterer magasineringsvolumen. Siderne på alle bassiner forventes at laves med et anlæg på $a=5$, således det er muligt at gå på siderne. Se Bilag I hvor beregninger for bassinerne kan forefindes. Se Tabel 6 med opsummerende dimensioner på bassinerne.

Tabel 6 dimensionsgivende størrelser på bassiner

	A_{red}	Afløbstal a	Anlæg a	Magasinerings Højde m	$V_{max} m^3$	t_r min
Bassin B1	2,9	10,3	5	0,15	730	95
Bassin B2	1,0	10	5	0,42	251	99
Bassin B3	6,5	-	5	1,1	1551	73

9 Konklusion

Det endelige detailprojekt af lokal håndtering af regnvand, er i dette projekt opbygget omkring helhedsplanen fra NIRAS og SLA. Her har områdets opbygning og afgrænsninger identificeret og fastlagt projektets omfang. Ud fra helhedsplanen og vejdirektoratets anbefalinger for afvandingskonstruktioner blev der bestemt at undersøge tre essentielle områder, der havde påvirkning på detailprojektet; jordbundsforhold, højdeforhold og nedbør. Jordbundsforholdene blev undersøgt i lokalplansområdet, der ud fra forskellige datagrundlag påviste, at området var overvejende ler. Ud fra datagrundlaget blev der antaget dårlige nedsivningsforhold, der ville kræve nedsivning uden for lokalplansområdet.

Højdeforholdene sammenholdt med nedbøren i området påviste, at to områder forventeligt ville samle en større mængde vand baseret på koterne i området.

Baseret på den eksisterende information blev der udvalgt et nærtliggende område placeret syd for lokalplan 1050 som forsøgsområde. Ud fra dette forsøgsområde blev der foretaget to forsøg, der dokumenterede gode nedsivningsforhold. Den hydrauliske ledningsevne blev dokumenteret til at være i kategorien groft- og mellemkornet sand, på cirka 1410 l/s·ha. Forsøgene påviste vandspejlets beliggenhed cirka 50 m. under terræn i station 200 i MEP-analysen. Ud fra det eksisterende datagrundlag og data fra to forsøg på jordbunden blev der antaget ens jordbundsforhold i hele området, markeret som smeltevandssand og -grus. På baggrund af foranalysen blev det antaget, at den vestlige del af lokalplan 1050 kunne aflede vand via gravitation til et sydligt placeret området med smeltevandssand og -grus. Her blev der lavet en afgrænsning for detailområdet, optegnet efter helhedsplanen og en naturlig højderyg i kote 40. Ud fra detailområdets naturlige strømningsretning og mulighed for nedsivning blev der placeret et nedsivningsbassin, der skulle nedsive nedbøren for hele detailområdet. Ud fra nedsivningsbassinets samt helhedsplanens udformning blev der planlagt og dimensioneret LAR-elementer. LAR-elementerne blev kontrolleret til, at belastningen var mindre end den dimensionsmæssige kapacitet. Elementerne blev kontrolleret i forhold til en 10-års regnhændelse, hvor alle elementer påviste at have tilstrækkelig vandføring eller volumen i forhold til belastning.

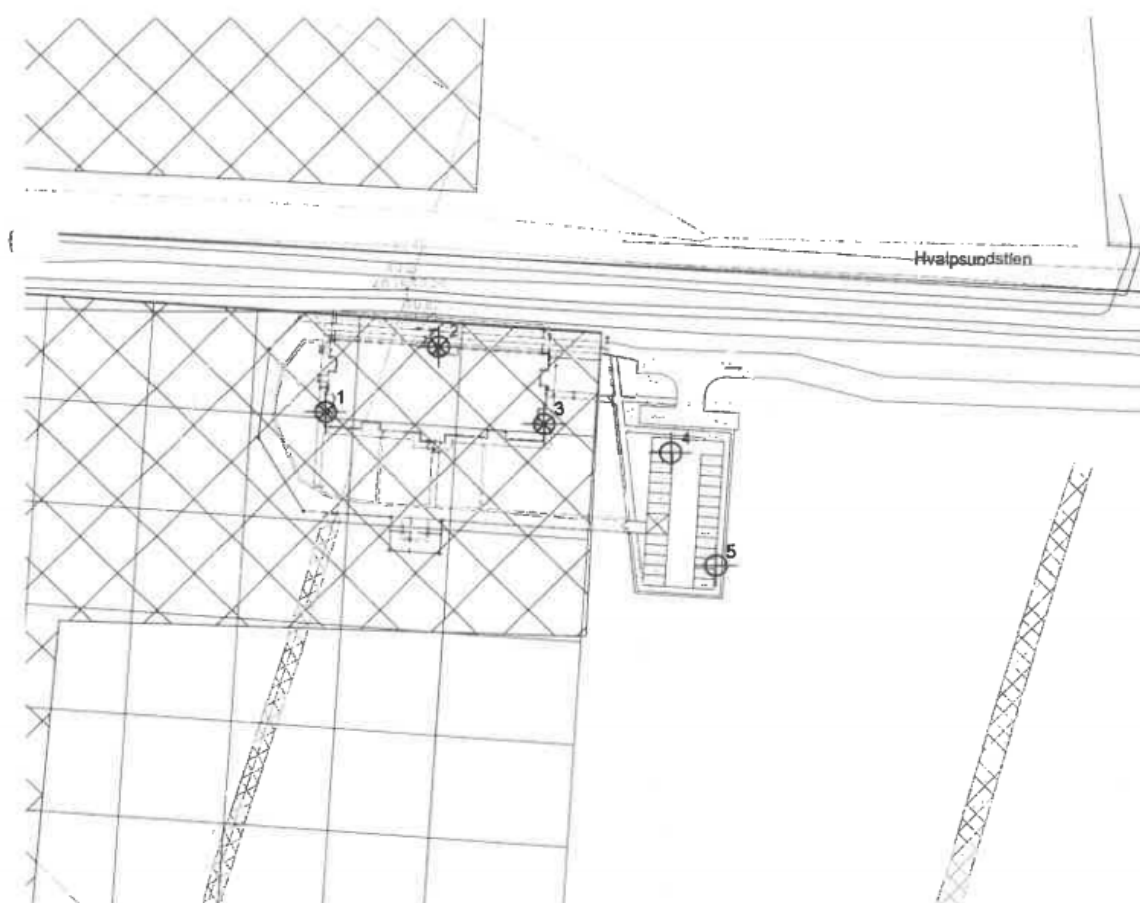
10 Bilag

10.1 Bilag A

Dette bilag dokumenterer udvalgte boreprøver brugt i rapporten.

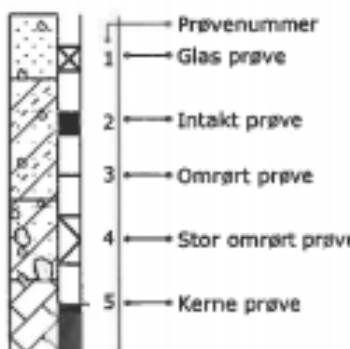
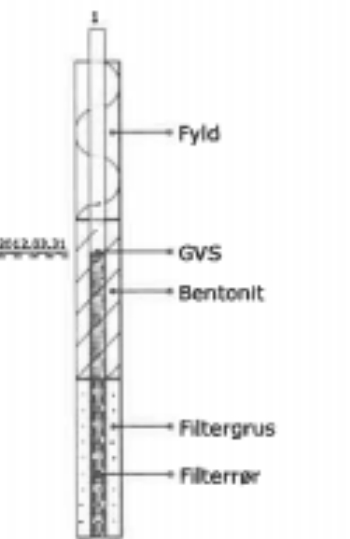
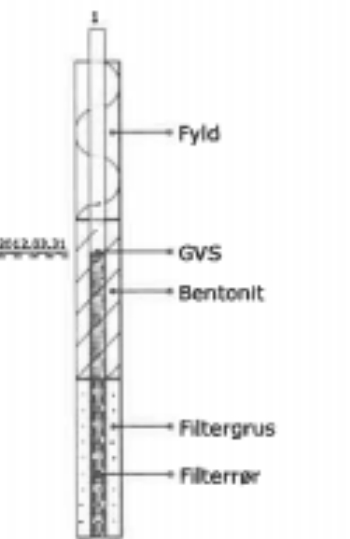
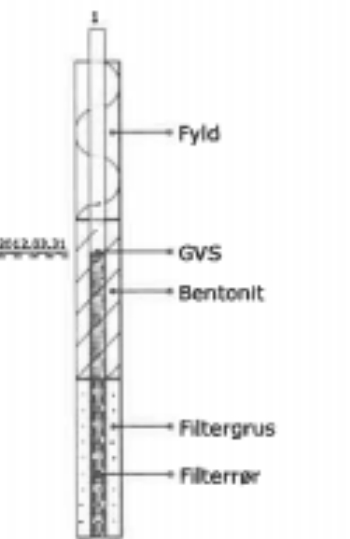
Først beskrevet er de fem boreprofiler "BP 1-5" der angiver fem boringer fortaget i udgravningen til en børnehave i det vestlige aars, se Figur 31.

Dernæst kan resterende boringer fra GEUS ses.



Figur 31 fem boringer placeret med cirka 10 meters mellemrum lavet for en børnehave i Aars

Signaturforklaring

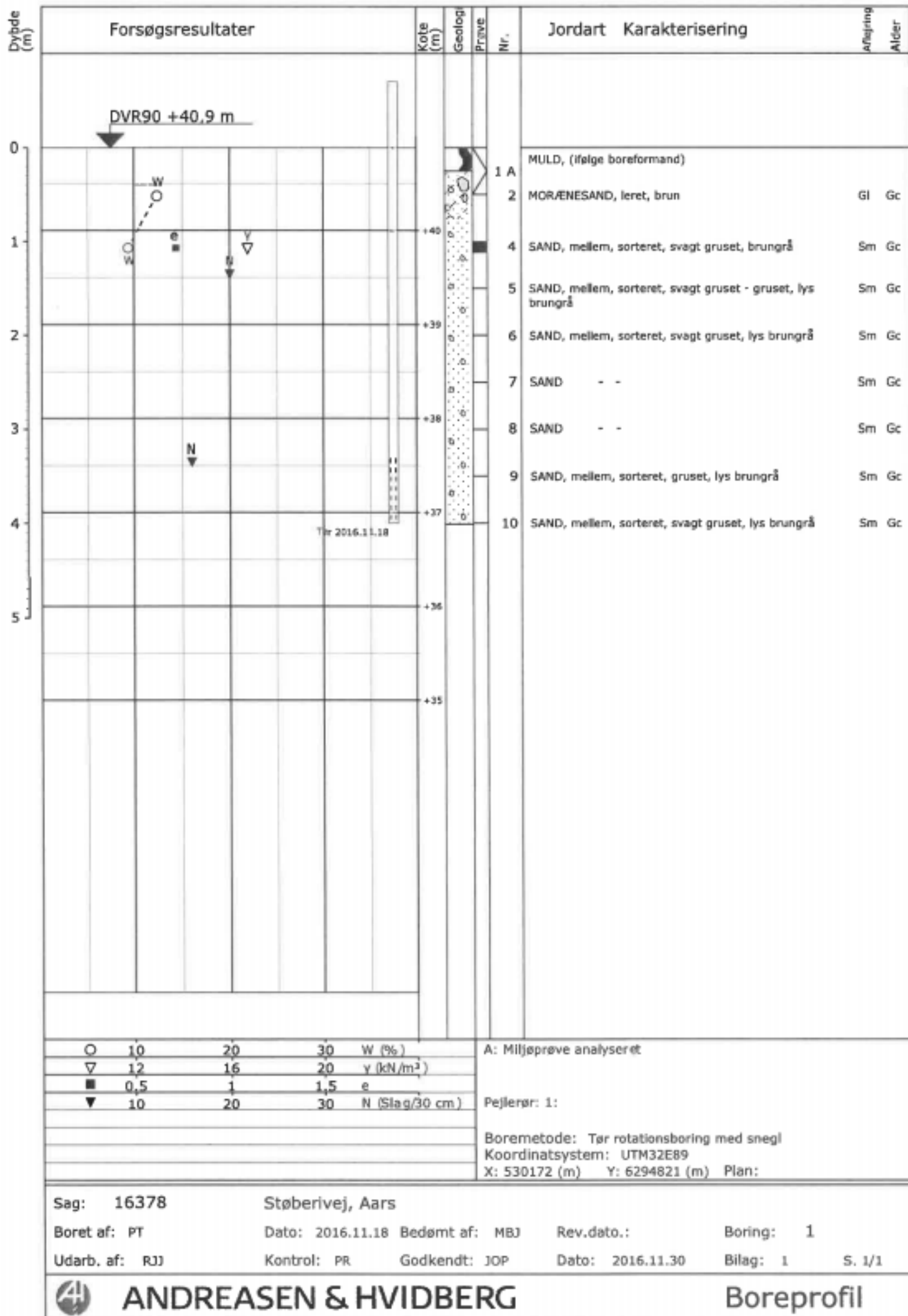
Jordartssignatur	Situationsplan	Boreprofil	
 FYLD  MULD  MULD, sandet  SAND, muldet  SAND, muldpartier  STEN  GRUS  SAND  SILT  LER  MORÆNESAND  MORÆNESILT  MORÆNELER  KALK (KRIDT)  FLINT  KLIPPE  GYTJE (DYND)  SKALLER  TØRV  TØRVEDYND  PLANTERESTER  LB 10  Pumpeboring  Miltjeboring  Simpel boring  Lagfølgeboring  Geoteknisk boring incl. insitu forsøg  Sondering, rammesonde  Prøvenummer 1 Glas prøve 2 Intakt prøve 3 Omrørt prøve 4 Stor omrørt prøve 5 Kerne prøve <tr><td colspan="2"> Geologiske forkortelser Dannelsesmiljø Alder Br Brakvand Fø Ferskvand Fl Flydejord Gl Gletscher Ma Marin Ne Nedskyld O Overjord Sk Skredjord Sm Smeltevand Vi Vindaflejret Vu Vulkansk Kv Kvartær Pg Postglacial Sg Senglacial Al Allerød Gc Glacial Ig Interglacial Is Interstadial Te Tertiær Pi Pliocæn Mi Miocæn Oi Oligocæn Eo Eocæn Pf Palæocæn Sl Selandien Da Danien Kt Kridt Se Senon Re Recent </td><td> Pejlerør  Fyld GVS Bentonit Filtergrus Filterrør </td></tr>	Geologiske forkortelser Dannelsesmiljø Alder Br Brakvand Fø Ferskvand Fl Flydejord Gl Gletscher Ma Marin Ne Nedskyld O Overjord Sk Skredjord Sm Smeltevand Vi Vindaflejret Vu Vulkansk Kv Kvartær Pg Postglacial Sg Senglacial Al Allerød Gc Glacial Ig Interglacial Is Interstadial Te Tertiær Pi Pliocæn Mi Miocæn Oi Oligocæn Eo Eocæn Pf Palæocæn Sl Selandien Da Danien Kt Kridt Se Senon Re Recent		Pejlerør  Fyld GVS Bentonit Filtergrus Filterrør
Geologiske forkortelser Dannelsesmiljø Alder Br Brakvand Fø Ferskvand Fl Flydejord Gl Gletscher Ma Marin Ne Nedskyld O Overjord Sk Skredjord Sm Smeltevand Vi Vindaflejret Vu Vulkansk Kv Kvartær Pg Postglacial Sg Senglacial Al Allerød Gc Glacial Ig Interglacial Is Interstadial Te Tertiær Pi Pliocæn Mi Miocæn Oi Oligocæn Eo Eocæn Pf Palæocæn Sl Selandien Da Danien Kt Kridt Se Senon Re Recent		Pejlerør  Fyld GVS Bentonit Filtergrus Filterrør	

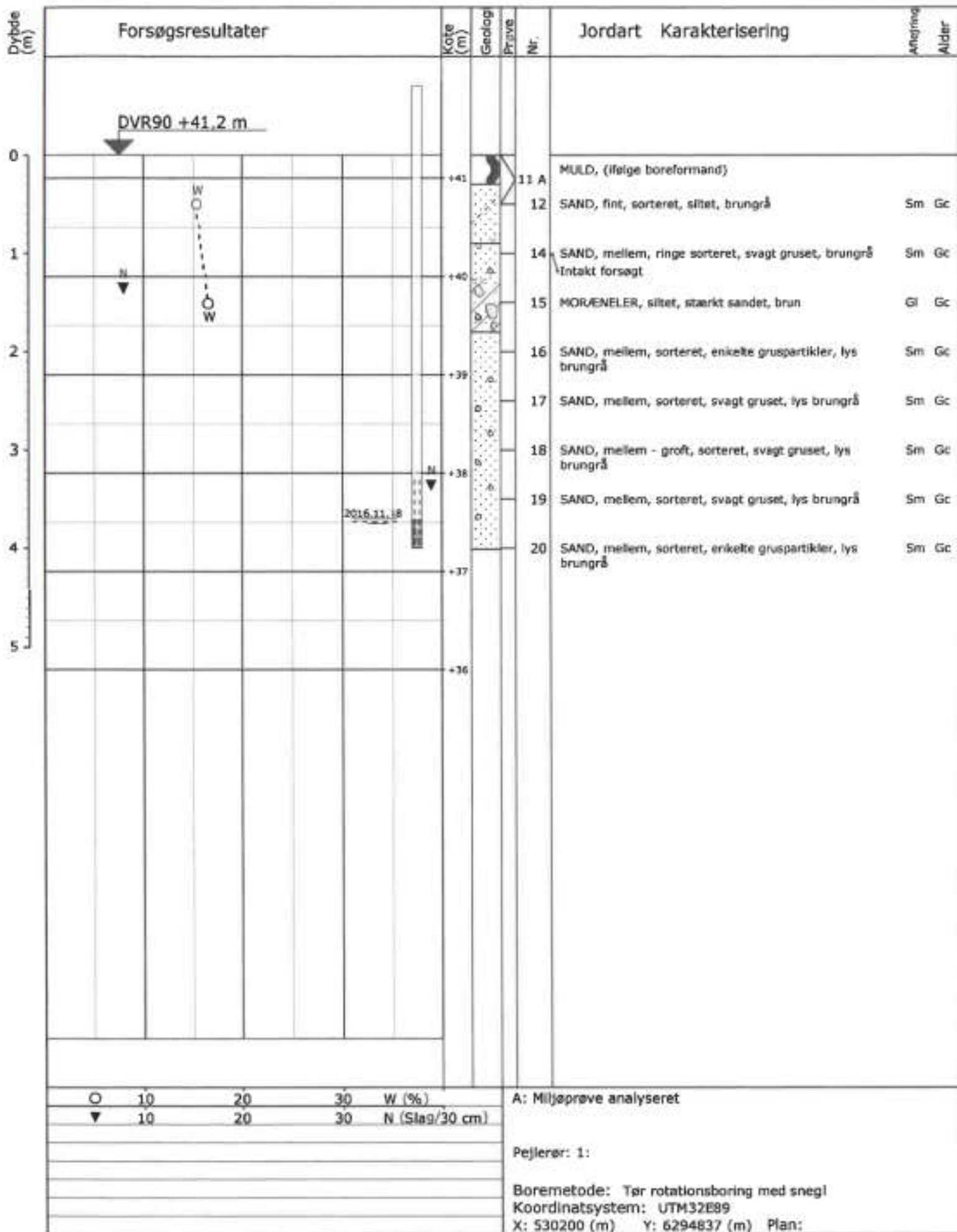
I moræneaflejringer kan der forventes et varierende indhold af sten og blokke, der ikke ses i bordinne.

I moræneaflejringer kan der forventes et varierende indhold af sten og blokke, der ikke ses i boringerne.

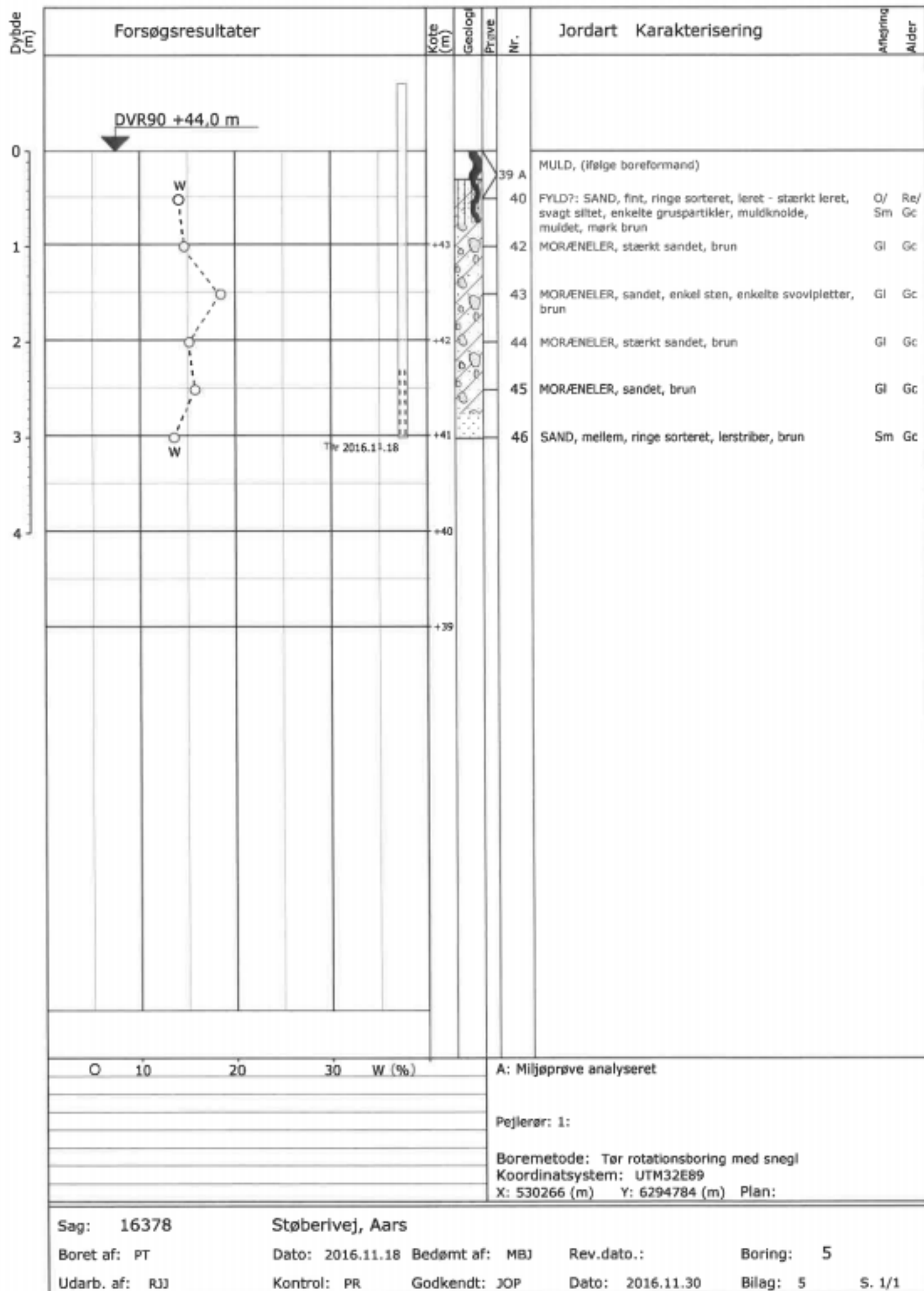
Definitioner

Signatur	Begreb	Fork.	Enhed	Definition
○	Vandindhold	W	%	Vand i % af tørstofvægt
—	Flydegrænse	WL	%	Vandindhold ved flydegrænse
⊥	Plasticitetsgrænse	WP	%	Vandindhold ved plasticitetsgrænse
⊥	Plasticitetsindex	IP	%	WL - WP
▽	Rumvægt	γ	kN/m³	Forholdet mellem totalvægt og totalvolumen
×	Glødetab	gl	%	Vægttab ved glødning i % af tørstofvægten
×	Reduceret Glødetab	glr	%	gl - ka
⊕	Kalkindhold	ka	%	Vægt af CaCO ₃ i % af tørstofvægten
-/(+)/+/++	Kalkprøve	kp	-	Reaktion med saltsyre: - kalkfrit, (+) svagt kalkholdigt, + kalkholdigt. ++ stærkt kalkholdigt
++/+/(+) -/-/?/?/?/4?	Frost			++ Opfrysningssfarlige under alle betingelser + Opfrysningssproblemer, selv under korte frostperioder (+) Opfrysningssproblemer, under længere frostperioder - Ikke opfrysningssfarlig -- Absolut ingen opfrysningssfare ? Frostfaren kan ikke bedømmes -?/+? Frostfaren er vanskelig at bedømme
●	Vingestyrke, intakt	cvf	kPa	Udrænet forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i intakt jord
○	Vingestyrke, omrørt	cvr	kPa	Udrænet forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i omrørt jord
⌋	Sonderingsmodstand:			
- belastet spidsbor	RSP	N200		Antal halve omdrejninger pr. 200 mm nedsynkning
- svensk rammesonde	RRS	N200		Antal slag pr. 200 mm nedsynkning
- let rammesonde	RLSD	N200		Antal slag pr. 200 mm nedsynkning
- SPT-sonde, lukket/åben	SPT	N300		Antal slag pr. 300 mm nedsynkning





Forsøgsresultater				Kote (m)	Geologi	Prøve Nr.	Jordart	Karakterisering	Afvejring	Alder
Dybde (m) DVR90 +43,3 m </										



DAPCo profil

shot hole no. C-1086

udført 24.1.58.

Kote

m

28,35

sandet ler, grus og rullesten

2 bentonit

1 $\frac{1}{2}$ vand

DAPCo profil

shot hole no. C-1087

udført 24.1.58.

Kole m.

28,04

sandet ler og grus

2 bentonit
2 vand

25/1-80

25.76

Xo. 620

D-GU nr.

Stibovich

KOPIERET TIL AMT ①

2190.

Boringen foretaget for	Navn D.G.U.		Journal nummer Journal	
	Adresse A.C.S. - Laboratoriet for Geofysik			
i tiden	fra dato	til dato	Boreformandens navn 20/3 81 A. Christensen	
Beliggenhed	Målebordsblad nr.		x, y = ringes beliggenhed	
	Generalstabskort:		ingen journal	
Terrænhøjde	nivelleret, m	aflæst på målebordsblad	Kote O	ligger i arkiv
Boringens formål		Boremetode	Diameter af arbejdsrør	

Dybder i m		Beskrivelse af jordlagenes beskaffenhed, farve, vandføring m. v.	Pose nr.
fra	til		
0	12	Gul Kleg og sand	4521
12	20	— 11 — sten	4522
20	30	Gul sandt og m. sten	4523
30	35	— 11 —	4524
35	40	Gul sand	4525
40	60	— 1 —	4526
60	70	Br. Gul. Gul sandt og l.	4527
70	85	— 1 —	4528
85	85	Gul og l.	4529
85	95	— 11 —	4530
95	104	gul og l. h.	4531
104	114	Gul og flint	4532
114	124	— 11 —	4533
124	134	— 11 —	4534
134	144	— 11 —	4535
144	154	— 11 —	4536
154	164	— 11 —	4537
164	174	— 11 —	4538
174	184	— 11 —	4539
184	194	— 11 —	4540
194	203.5	— 11 —	4541

10.2 Bilag B

Dette bilag dokumenter de forskelle og ligheder de forskellige måletoder har.

10.2.1 Geoteknisk boring

Den geotekniske boring giver den mest kvalitative vurdering af jorden. Ved en boring kan den helt præcise opbygning af jordarterne kortlægges, præcist i boringspunktet. Ved at lave intaktprøver kan der ligeledes laves permeabilitetsforsøg på en realistisk opbygning af jorden. (Aalborg Universitet, 2014, s. 14-28)

En boring er meget statisk og giver intet billede af, hvordan den nærtliggende jord er opbygget. Typisk laves et net af boringer med en specifik afstand mellem boringerne, hvorved der kan antages en mulig opbygning af jorden. På denne måde kan data fra boringen, sammenholdt med fornuftige antagelser, resultere i en mere rummelig forståelse af jorden. Dette kan dog resultere i uventede lommer med andre jordarter. Metoden er ligeledes destruktiv, hvilket kan ende med erstatning til eventuelle lodsejere. Ved at bruge pejlerør kan vandspejlets beliggenhed detekteres. Metoden er desuden langsommelig og kræver udstyr i form af en borerig, personel der kan betjene en borerig, og personel der kan udføre laboratoriearbejde på poseprøver.

10.2.2 Georadar (GPR)

Georadaren er et geofysisk instrument, der anvender elektromagnetiske pulstog til at lokalisere eksempelvis ledninger, råstoffer og objekter i forskellige medier som beton og jord. De elektromagnetiske bølger udsendes fra en antenne, der reflekteres på de forskellige overflader i jorden og tilbage på antennen. Ud fra materialets elektriske polariseringsevne registreres amplitude og tidsforsinkelse, hvor der vil opstå varierende målinger i forhold til materiale og lagdybde. Se Figur 32 der illustrer en georadar (Ringgaard, u.d.) (Hindsberger)

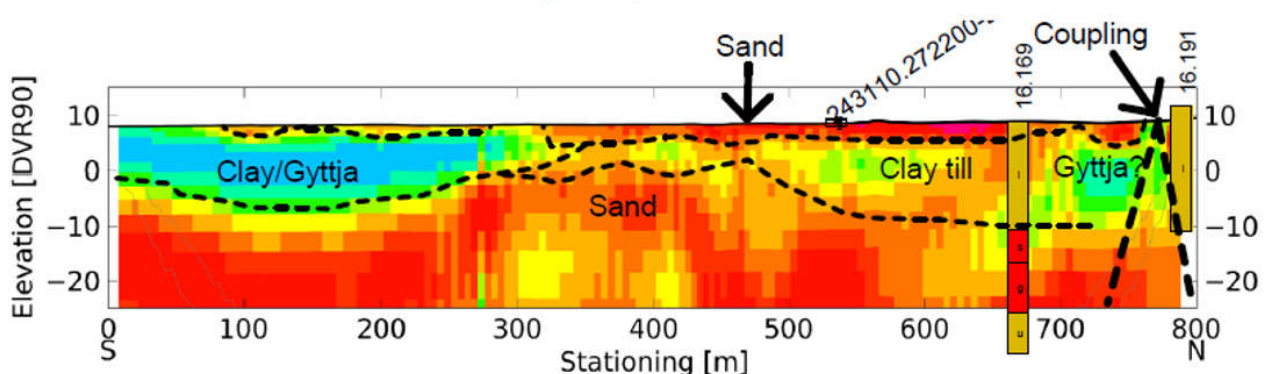


Figur 32 Georadar med tilhørende vog (Nielsen, 2017, s. 7)

Eftersom at metoden kræver en refleksion af de forskellige materialer, har denne metode en svaghed over for materialer, der absorberer signalet. Eksempelvis har moræneler egenskaber, der kan absorbere signalet, der ikke giver en respons til modtager antennen. Dette resulterer i intet eller meget begrænset data, udelukkende kun på overfladen af leren. (Ringgaard, u.d.)

Metoden er non-destruktiv og relativ hurtig at udføre. På veje kan georadaren spændes efter en bil, og på mark kan køres med speciallavede vogne eller ATV'er.

Tolkning af data kræver ekspertise inden for området. Her kræver det viden omkring databehandling for at kunne identificere de forskellige laggrænser. Se Figur 33, der viser et færdigt tolket 2D-model af undersøgt jord. Målingen bør ikke foreligge som eneste dokumentation for jordopbygningen, eftersom der kan være flere fejlkilder. Bekræftende boringer skal ofte vedlægges som dokumentation.



Figur 33 Databehandlet 2D model fra GPR data (Nielsen, 2017, s. 26)

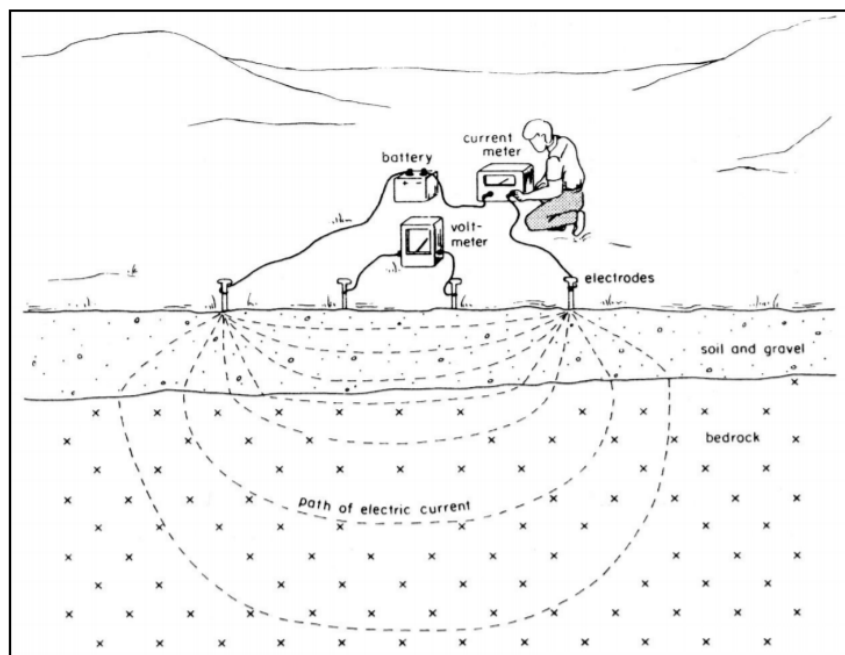
10.2.3 Multi-Elektrode-Profilering (MEP)

MEP er en geoelektrisk non-destruktiv målemetode, der måler modstand i jorden mellem flere antal stål elektroder, fordelt på en lige linje mellem typisk 2 eller 5 meters afstand, som vist på Figur 34.



Figur 34 MEP princip på en mark (COWI, 2017, s. 7)

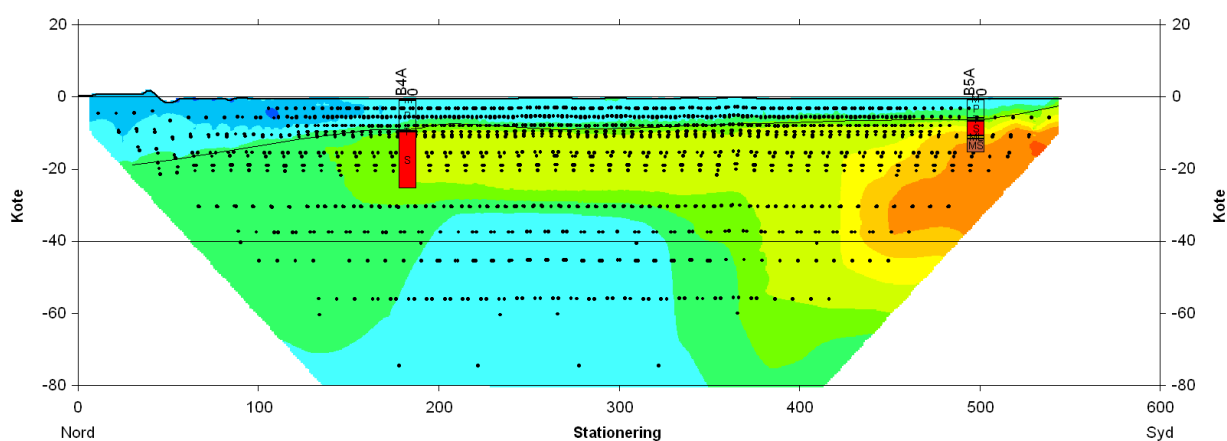
Maskinen, der måler modstanden, hedder et Terrameter og fungerer som måleinstrument. Terrameteret er fastgjort til to eller flere kabeltromler med tilhørende stålelektroder. Eftersom metoden måler modstand i jorden ud fra elektriske impulser, kan brugbarheden være begrænset i forhold til de omstændigheder, der opmåles. Eksempelvis el-kabler i vej-kassen, højspændingsmaster, hestehegn osv. kan give forvredne data, grundet elektrisk forstyrrelse. Metoden er egnet til at måle de typiske råstoffer i Danmark, hvorimod nogle bjergarter eksempelvis kan give problemer, da elektroderne skal fastgøres i jorden. Se Figur 35, der viser det grundlæggende princip for MEP-metoden.



Figur 35 grundprincip for MEP

Ligesom Georadaren, bør målingen ikke foreligge som eneste dokumentation for jordopbygningen.

Tolkning af data kræver træning eller ekspertise inden for området og kræver ligeledes licenser til projiceringsprogrammer. Se Figur 36, der viser MEP-data tolket til en 2D model.



Figur 36 Tolket data fra MEP til 2D model (COWI, 2017)

10.3 Bilag C

Dette bilag dokumenterer tolkningen af dataene fra MEP-forsøget her bruges to tabeller der dokumenterer typiske resistiviteter for danske jordarter se Tabel 7 og Tabel 8.

Tabel 7 Resistivitet for typiske danske jordarter (Sandbjerg, 2005, s. 31)

Aflejringer	Modstand [Ωm]
Moræneler	30 - 70
Sand over GVS	> 200
Smeltevandsler	10 - 30
Sand under GVS	60 - 200
Glimmerler	10 - 30
Glimmerler	4 - 9
Søvindmergel	4 - 12
Plastisk ler	2.5 - 4
Kalk (fersk)	110 - 250

Tabel 8 Resistivitet for typiske danske jordarter (Sandbjerg, 2005, s. 31)

Aflejring	Modstand [Ωm]
Ferskvandstørv, -gytje, -ler	10-35
Diatomit	20-80
Marint tørv, gytje, ler (saltvandsholdigt)	1-15
Moræneler	20-50 (typisk 40)
Morænesand og -grus	>40
Smeltevandsgrus	>80
Smeltevandssand	>60
Smeltevandssilt	40-80
Smeltevandsler	10-40 (typisk 25)
Miocænt kvartssand/glimmersand	>80
Miocænt glimmersilt	40-80
Miocænt-Oligocænt glimmerler	10-40
Oligocænt fed ler (bl.a. Viborg Form.)	3-12
Søvindmergel (fed ler)	3-8
Paleocænt-Eocænt plastisk ler (Lillebæltler/Røsnæsler m.m.)	1-3
Kertemindemergel	5-30
Lellinge Grønsand	25-80
Kalk	>80
Skrivekridt	30-60

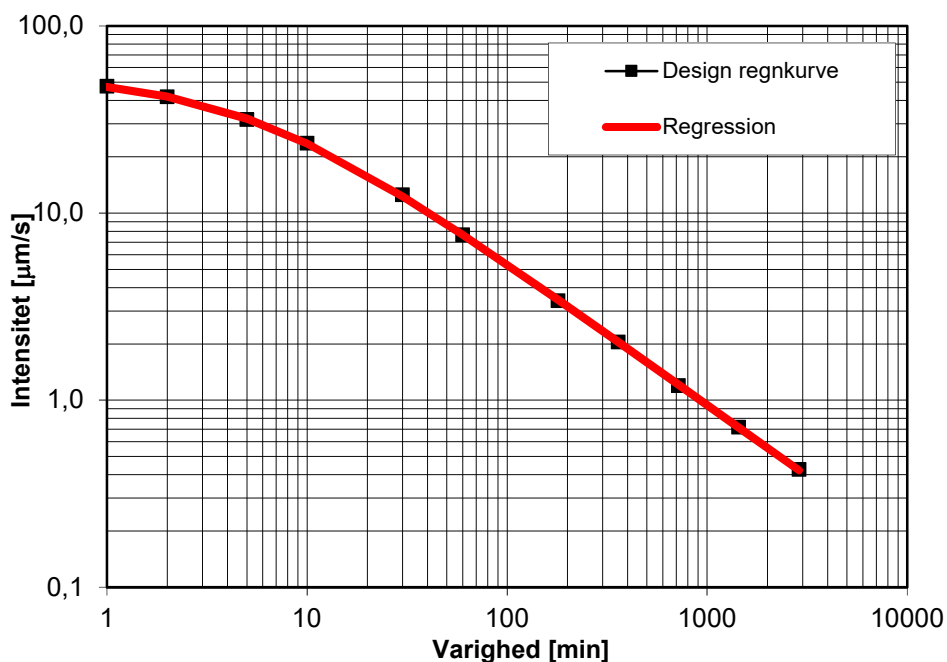
10.4 Bilag D

Dette bilag dokumenterer den dimensionsgivende middelintensitet der bruges i projektet. Den dimensionerende regnhændelse tager udgangspunkt i en 10 årshændelse som hverdagsregn, hvor middelintensiteten bestemmes med ligning (10.4.1) og (10.4.2) ud fra regional regnrækkerne. Sammenhængen mellem regn varighed og middelintensitet kan ses på Figur 37.

$$i(t) = c (t_r + \theta)^{-\alpha} \quad (10.4.1)$$

$$i(t) = 184,4 \cdot 10(t_r + 4,9)^{-0,76} \quad (10.4.2)$$

$i(t)$	Regnintensitet [l/(s ha)]
t_r	Regnvarighed
c	Parameter afhænger af regn serie 184,4·10
θ	Parameter afhænger af regn serie 4,9
α	Parameter afhænger af regn serie 0,76



Figur 37 Middelintensitet afhængig af regn varighed for Aars området

For landsregnerækken bruges ligning (10.4.3) der bestemmes for en 10 års hændelse.

$$i = c \cdot t^{-\alpha} \quad (10.4.3)$$

$i(t)$	Regnintensitet [l/(s ha)]
t_r	Regnvarighed min
c	Parameter afhænger af regn serie 4596,0·10
α	Parameter afhænger af regn serie 0,79

10.5 Bilag E

Dette bilag dokumenterer det bidragende opland til alle LAR-elementerne. Det bidragende opland bruges til at bestemme den dimensionsgivende vandføring i ligning.

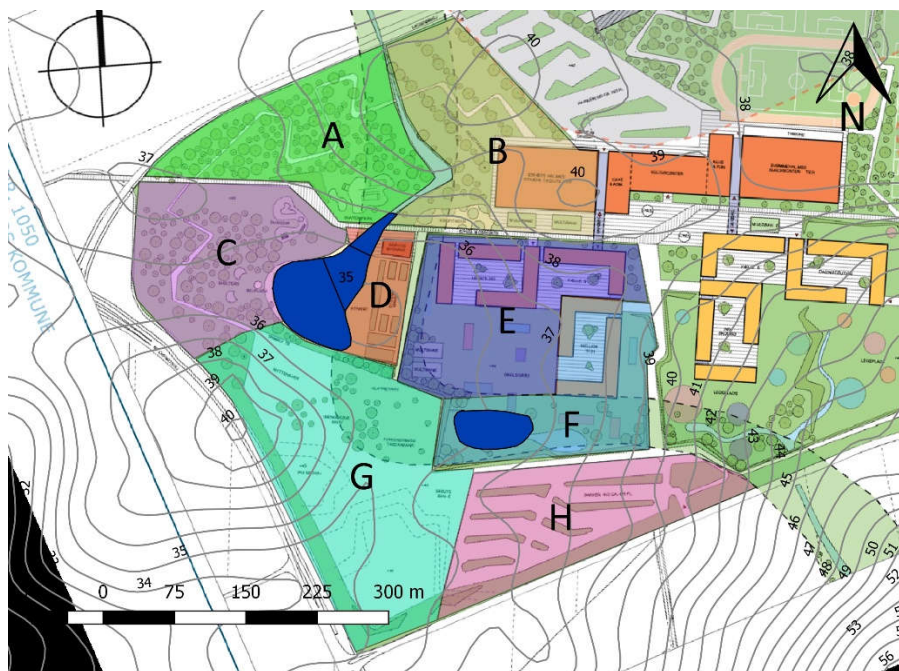
$$Q_{dim} = f \cdot A_{tot} \cdot \phi \cdot i(t_f) \quad (10.5.1)$$

Q_d	Dimensionerende vandføring l/s
ϕ	Afløbskoefficient
A_{tot}	Totale areal
$i(t_f)$	Intensitet afhængig af regn varighed l/(s ha)
f	Sikkerhedsfaktor 1,1

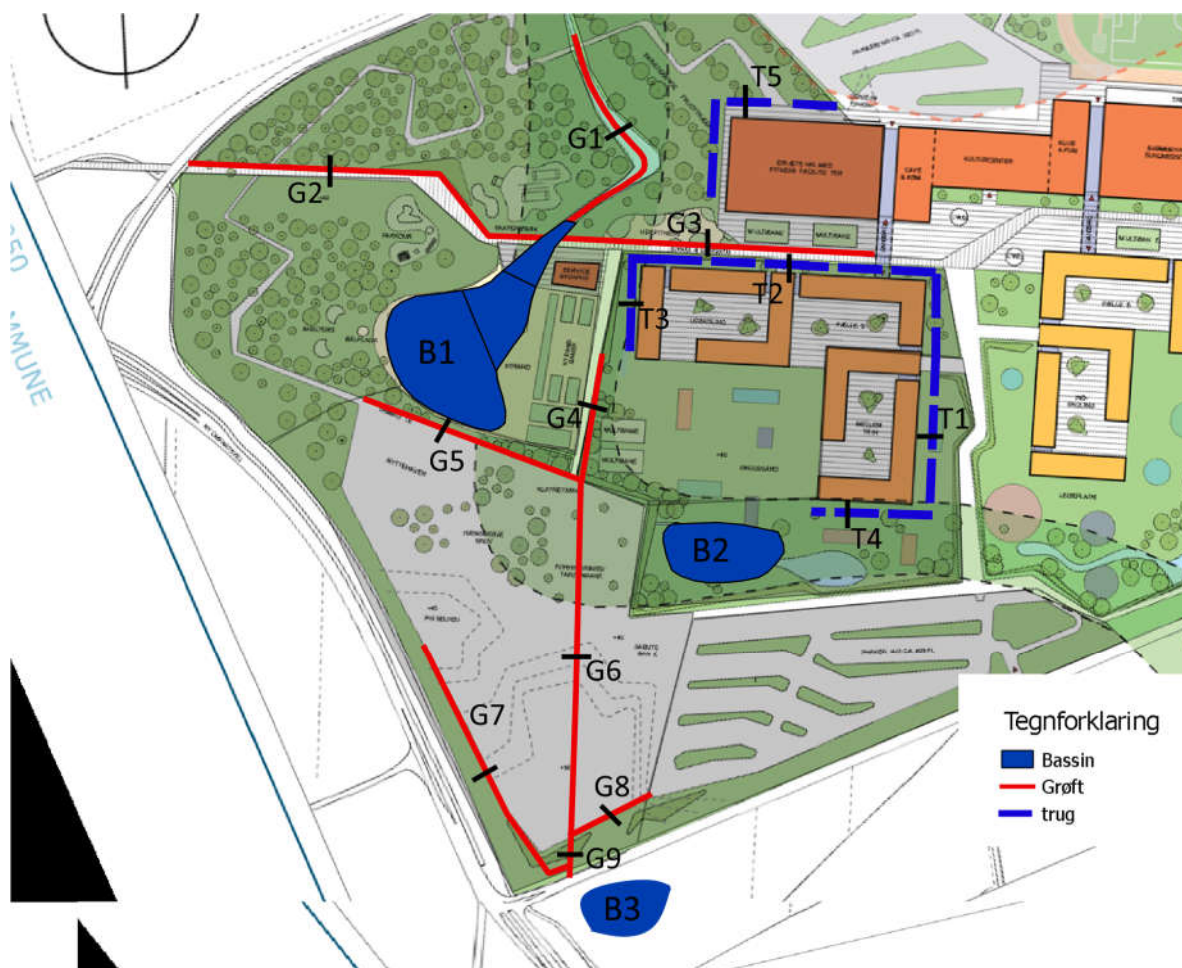
Faktoren $A_{tot} \cdot \phi$ bestemmes ved at opmåle området og antage en afløbskoefficient på baggrund af belægningstypen. Der er i projektet lavet antagelser omkring fordelingen af nedbør afhængig af strømningsretningen. Afløbskoefficienten er bestemt med Figur 38, hvor grønt areal i området er antaget at have en afløbskoefficient på 0,2 taget, vurderet ud fra at området er leret. Befæstede Arealer såsom vej, tage eller fliser har en afløbskoefficient på 1. Arealet er opmålt i forhold til Figur 39, hvor der antages en strømnings fordeling. De påvirket LAR-elementer er blevet navngivet på Figur 40 hvor tilhørende bidragende oplande kan ses i Tabel 10.

Overflade	Afløbskoefficient [-]
Tagflader	1,0 – 0,9
Beton- og asfalt	1,0 – 0,8
Brolægning med grusfuger	0,7 – 0,6
Gruspladser/gruset fortov	0,3 – 0,2
Haver	0,1
Flad tætbevokset skov	0,05

Figur 38 Afløb koefficienter



Figur 39 opdeling af oplande fra A-H



Figur 40 Navngivning af grøft, trug og bassiner, hvor "G" indikerer en grøft og "T" indikerer et trug og "B2" bassiner

Tabel 9 Antaget andel opland til nærtliggende grøft eller bassin. (100) betyder at 100% af oplandet bidrager til LAR-elementet, men at vandet strømmer ad forskellige elementer før vandet når bassinet eller grøften.

Område	A _{tot} ha	ϕ -	A _{red} ha ϕ	Afløbstid min	Nedbør % Bassin 1	Nedbør % Bassin 2	Nedbør % Grøfter
A	2,8	0,2	0,56	5	0 (100)	-	100
B	3,1	0,35	1,1	5	0 (100)	-	100
C	2,7	0,2	0,54	6	100	-	-
D	0,7	1	0,7	2	100	-	-
E	3,0	0,46	1,4	6	-	-	100
F	2,4	0,4	0,96	4	-	100	-
G	5,3	0,58	3,1	5	-	-	100
H	2,8	0,71	2	6	-	-	100

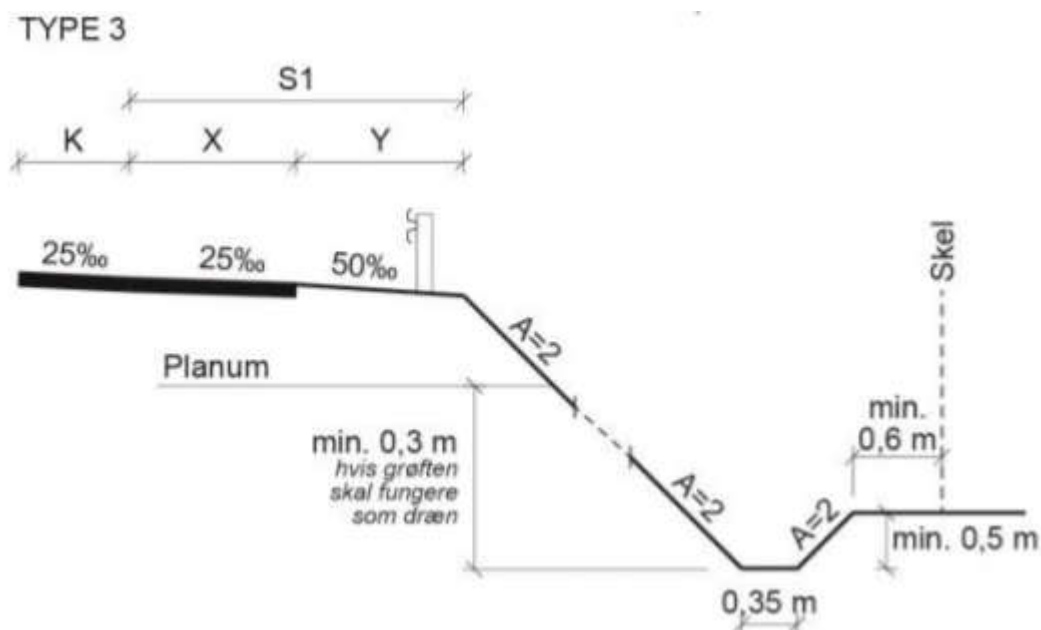
Tabel 10 Bidragende opland til elementer

Grøft	A _{red} ha	Trug	A _{red} ha
G1	0,55	T1	0,2
G2	0,56	T2	0,18
G3	0,55	T3	0,08
G4	1,4	T4	0,09
G5	1,55	T5	0,26
G6	1,55	Bassin	-
G7	0,6	Bassin B1	2,9
G8	2	Bassin B2	0,96
G9	0	Bassin B3	6,5

10.6 Bilag F

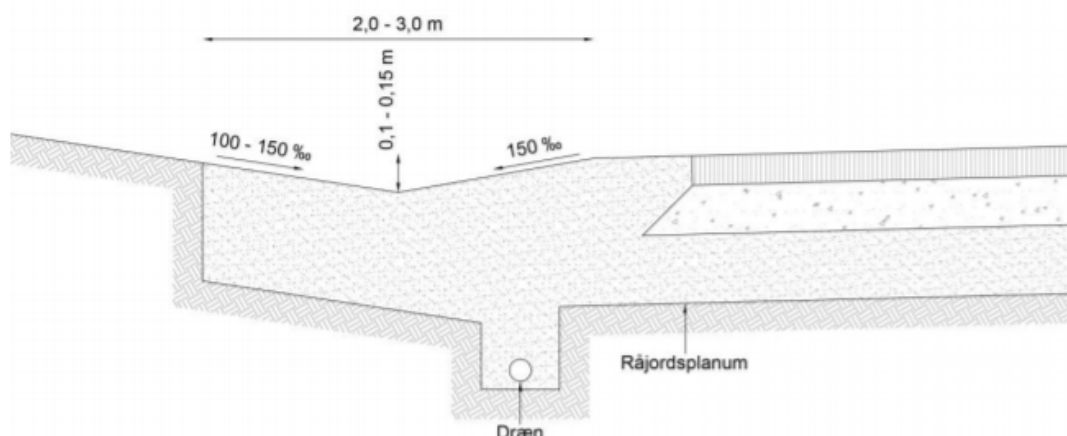
Dette bilag dokumenterer de valgte typetegninger valgt for henholdsvis grøfter og trug. Der udregnes ligeledes geometriske bestemte faktorer, der påvirker kapaciteten for LAR-elementerne

For grøfter er brugt vejdirektoratets typetegning 3, der kan ses på Figur 41. Denne typetegning fungerer som den mindste grøft af tre typetegninger. Grøften bruger et anlæg på $a=2$ konstant, sammen med en fikseret bundlinje på 0,35 m. højden varierer typisk imellem 0,5-1m.



Figur 41 Typetegning 3 for grøfter fra vejdirektoratet (Vejdirektoratet, 2017, s. 33)

Truget bruges udelukkende omkring skole- fritidsområderne, da truget er en mindre visuel gene samt, den lettere kan passeres sammenlignet med grøften. For truget tages udgangspunkt i vejdirektoratets principtegning der indikerer en højde mellem 0,1-0,15 og en sidehældning mellem 100-150 ‰, se Figur 42. I dette projekt bruges to typer af trug, hvor her $h=0,1\text{m}$ med $a=10$, og $h=0,15\text{m}$ med $a=15$. Truget beregnes som en trekant.



Figur 42 principskitse for trug (Vejdirektoratet, 2017, s. 36)

For begge elementer er beregnet geometrisk bestemte faktorer der påvirker den maksimale vandføring, se Tabel 11 og Tabel 12.

Den hydrauliske radius R betegner forholdet mellem det strømmende areal og den beskyllede perimeter, der ændrer sig i forhold til dimensionen på grøften/truget. Den hydraulisk radius udregnes med ligning (10.7.1), hvor P er den beskyllede perimeter.

$$R = \frac{A}{P} \quad (10.7.1)$$

Tabel 11 geometrisk bestemt data for udvalgte grøfter

højde m	Anlæg på siderne a	Tværsnits- areal m ²	Beskyldt perimeter m	Hydraulisk radius m
0,5	2	0,68	2,59	0,26
0,6	2	0,93	3,03	0,30
0,7	2	1,23	3,47	0,35
0,8	2	1,56	3,91	0,39
0,9	2	1,94	4,35	0,44
1	2	2,36	4,79	0,49

Tabel 12 geometrisk bestemt data for udvalgte trug

højde m	Anlæg på siderne a	Tværsnits- areal m ²	Beskyldt perimeter m	Hydraulisk radius m
0,1	10	0,1	2	0,05
0,15	15	0,225	3	0,075

10.7 Bilag G

Dette bilag dokumenterer den dimensionsgivende vandføringer for grøfter og trug

Den dimensionsgivende vandføring udregnes med den rationelle metode. Metoden er en relativ simpel men anvendt metode for at fastlægge dimensionsgivende vandføringer. Grundlæggende skal vandføringen fra tilhørende opland kunne afvikles i de beregnede grøfter og trug. For den rationelle metode antages at den maksimale vandføring opnås når koncentrationstiden, er lig regn varigheden. Koncentrationstiden er defineret som summen af tid fra fjerneste punkt i opland, sammenlagt med tid i grøft/trug/rør. Tiden der tager vandet at løbe fra opland og rør, afhænger af flere faktorer som hældning, materiale, vegetation, størrelsen af opland mm. Dog bruges 10 minutters regnhændelse, som mindste regnhændelse efter normal praksis (Rruby, 2006). Der antages en hastighed for både vand på terræn og i grøft på 1 m/s. Den dimensionsgivende vandføring bestemmes med ligning (10.8.1). Information omkring bidragende opland kan findes i Bilag E . Regn intensiteterne fra de regionale regnrækker kan findes i Bilag D

$$Q_{dim} = f \cdot A_{tot} \cdot \phi \cdot i(t_f) = f \cdot A_{red} \cdot i(t_f) \quad (10.8.1)$$

Q_{dim}	Dimensionerende vandføring l/s
A_{red}	Reduceret areal ha
ϕ	Afløbskoefficient
A_{tot}	Totale areal
$i(t_f)$	Intensitet afhængig af regn varighed l/(s ha)
f	Sikkerhedsfaktor 1,1

For de grøfter/trug med en koncentrationstid <10, udregnes vandføringen med ligning (10.8.2) hvor tilhørende vandføring kan bestemmes ud fra koncentrationstiden.

$$Q_{dimG1} = 0,56 \cdot (184,4 \cdot 10(10 + 4,9)^{-0,76}) \cdot 1,1 = 143 \text{ l/s} \quad (10.8.2)$$

Ifølge de antaget koncentrationstider og afløbstider, vidste kun en grøft at være nødvendig at bruge en alternativ Regnintensitet her grøft G9, eftersom der blev antaget en koncentrations tid på 640s, se ligning (10.8.3)

$$i_{G9}(t_f) = (184,4 \cdot 10) \left(\frac{640}{60} \right)^{4,9(-0,79)} = 229 \text{ l/(s a)} \quad (10.8.3)$$

Ud fra den alternative regnintensitet blev der fundet en vandføring på 1702 l/s for vandingføringen i grøft 9. Der skal ligeledes tages højde for det konstante udløb fra bassin B1 og B2 her angivet med 30 l/s, ligning (10.8.4)

$$Q_{\text{dimG9}} = ((A_E + A_G + A_H) 229 + 30 + 30) 1,1 = 1702 \text{ l/s} \quad (10.8.4)$$

De dimensionsgivende vandføringer for både grøfter og trug kan findes i Tabel 13 og Tabel 14.

Tabel 13 Dimensionsgivende vandføringer for grøfter

Grøft	Længde	Afløbstid min	A _{red} ha	Regnintensitet l/(s ha)	Q _{dim} l/s
G1	170	3	0,55	260	143
G2	260	4	0,56	260	145
G3	210	4	0,55	260	143
G4	100	2	1,4	260	364
G5	160	3	1,55	260	433
G6	240	4	1,55	260	438
G7	190	3	0,6	260	191
G8	60	1	2	260	551
G9	20	-	0	229	1702

Tabel 14 Dimensionsgivende vandføringer for trug

trug	Længde	Afløbstid	Regnintensitet l/(s ha)	Q l/s
T1	165	3	260	52
T2	210	4	260	47
T3	70	1	260	20
T4	80	1	260	22
T5	150	3	260	68

10.8 Bilag H

Dette bilag dokumenterer at den dimensionsgivende vandføring er mindre end den maksimale vandføring for grøfter og trug

Til dimensionering af trug og grøfter kontrolleres den dimensionsgivende vandføring at være mindre end den fuldløbende vandføring $Q_{dim} < Q_{max}$. I dette projekt bruges Manning formelen, for at bestemme den nødvendige dimension på trug og grøfterne, se ligning (10.9.1). Disse beregninger antager ensformig og stationær strømning, hvilket betyder at summen af energi, forholdes konstant. Ved at lave denne antagelse kan energilinjegradienten sættes lig bundhældningen $I = I_0$.

$$Q_{max} = A \cdot M \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \quad (10.9.1)$$

Q_{max}	Maksimal vandføring l/s
A	Tværsnitsareal m^2
R	Hydraulisk radius m
I	Energilinjegradient -
M	Manningtal $m^{1/3}/s$

Manningtallet er bestemt fra vejdirektoratets dokument omkring grøft og trug, der angiver værdien 38 for nyoprettede/nyklippede grøfte og 29 for grøfter med langt græs (Vejdirektoratet, 2017, s. 24). I projektet bruges værdien for nyoprettede grøfter eftersom området ikke har andre muligheder for afledning, vil det kræve en vedligeholdelse af grøfterne og trugene.

For grøfter og trug bruges et minimums længdefald på 2 ‰ for at skabe tilstrækkelig hældning. I projektet tilstræbes at bruge hældninger $> 5‰$. Dog kan der opstå steder hvor det kotemæssigt ikke er muligt.

Til valg af typen af grøft anvendes typetegningerne fra Vejdirektorater (Vejdirektoratet, 2017, s. 33 og 36). se

10.9 Bilag F

, hvor de geometriske parametre bestemmes.

I Tabel 16 og Tabel 17 fremgår værdier fra tidligere bilag og beregning af ligning (10.9.1). Her er blevet kontrolleret at $Q_{dim} < Q_{max}$

Tabel 15 kontrol af dimensionsgivende vandføring for grøfter med vejdirektoratets type 3 tegning

Strækning	Areal m ²	Manningtal M m ^{1/3} /s	Længdefald ‰	Hydraulisk radius R	Q _{dim} l/s	Q _{max} l/s
G1	0,68	38	-16	0,26	143	1331
G2	0,68	38	-2,8	0,26	145	562
G3	0,68	38	-14	0,26	143	1240
G4	0,68	38	-7	0,26	364	875
G5	0,68	38	-2	0,26	433	468
G6	0,68	38	-2	0,26	438	468
G7	0,68	38	-11,2	0,26	191	1106
G8	0,68	38	-15,4	0,26	551	1316
G9	1,94	38	-5	0,49	1702	1978

Tabel 16 kontrol af dimensionsgivende vandføring for trug med vejdirektoratets principtegning

Strækning	Areal m ²	Manningtal M m ^{1/3} /s	Længdefald ‰	Hydraulisk radius R	Anlæg a	Q _{dim} l/s	Q _{max} l/s
T1	0,1	38	-5	0,05	10	52	57
T2	0,1	38	-10	0,05	10	47	81
T3	0,225	38	-6,4	0,075	10	67	121
T4	0,225	38	-6	0,075	15	75	117
T5	0,225	38	-2	0,075	15	68	68

10.10 Bilag I

Dette bilag dokumenterer den dimensionsgivende volumen samt den geometriske udformning af de to forsinkelsesbassiner samt nedsivningsbassinet.

For at beregne volumen af bassinerne skal der tages højde for et konstant udløb. Det antages at udløbskravet kan sættes relativt højt for forsinkelsesbassiner, eftersom der udledes til grøfter, der leder vandet videre til nedsivningsbassinet. Det antages at der anlægges udløb der kan aflede $Q=30$ l/s for Bassin B1, og $Q=10$ l/s for bassin B2.

For nedsivningsbassinet afhænger udløbet til recipient af den geometriske udformning, eftersom et bassin med større areal kan aflede mere nedbør. I dette projekt bruges et skøn på 1000 l/s/ha for den hydrauliske ledningsevne, på baggrund af forsøget i afsnit 6.2.2 hydraulisk ledningsevne. Det antages at grundvandet som recipient ikke er udsat, hvortil afløbstallet defineres ud fra den mindst mulige dimension på bassinet. Fordi udløbet for nedsivningsbassinet er styret af den geometriske udformning, antages en keglestub med en top radius på 25m, og et anlæg på $a=5$, samt en højde på 1,1 m på opstuvningsvolumen.

Forsinkelsesbassinernes afløbstal er udregnet med ligning (10.10.1).

$$a = \frac{Q'_a}{A_{red}} \quad (10.10.1)$$

a	Afløbstal l/(s ha)
Q'_a	Vandføring i udløb reduceret med konstant udløb l/s

Tabel 17 afløbstal for Bassin B1 og B2

	A_{tot} ha	A_{red} ha	Q'_a l/s	a l/(s ha)
Bassin B1	9,3	2,9	30	10,3
Bassin B2	3	1,0	10	10
Bassin B3	11,3	6,5	-	-

Med de bestemte udløbstal kan volumen af forsinkelsesbassinerne bestemmes med ligning (10.10.2). Der antages en gentagelses periode 10 år, der giver følgende parametre ved brug af landsregnerækken.

$$V(t_r) = A_{red} (f \cdot c \cdot t_r^{(1-\alpha)} \cdot a \cdot t_r) \quad (10.10.2)$$

$V(t_r)$	Volumen m ³ afhængig af tiden
c	Parameter: 45960
α	Parameter: 0,79
f	Sikkerhedsfaktor 1,1 -

Denne beregning dimensioneres til mere end det nødvendige volumen, eftersom der ikke tages højde for koncentrationstiden til bassinet. Dette vurderes dog at fungerer som en sikkerhedsfaktor udover de 1,1 multipliceret på intensiteten.

Nedsivningsbassinet udregnes ved iteration afhængig af den nødvendige højde. Eftersom udløbet afhænger af den krumme flade, varierer magasineringsvolumen med højden z . Volumen bestemmes med ligning (10.10.3)

$$V(t_r) = A_{red}(f \cdot c \cdot t_r^{(1-\alpha)} \cdot O_{ks} \cdot k) \quad (10.10.3)$$

O_{ks}	Areal af krumme side af keglestub
k	Hydraulisk ledningsevne

Arealet af den krumme flade bestemmes med ligning (10.10.4) for dette bassin med en top radius $r=25\text{m}$, og et anlæg på $a=5$, samt en højde $z=1,1\text{ m}$.

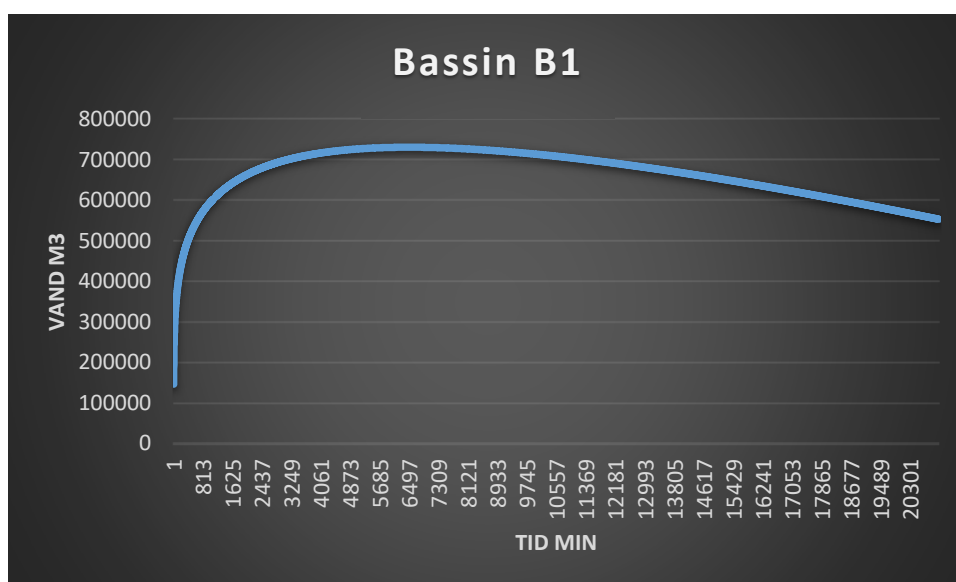
$$O_{ks} = \pi \cdot (25 + (25 - 6 \cdot 1,1)) \cdot \sqrt{(1 - 1,1)^2 + (6 \cdot 1,1)^2} = 912 \text{ m}^2 \quad (10.10.4)$$

Derefter indsættes i ligning (10.10.3) hvortil en dimensionsgivende volumen kan bestemmes for nedsivning bassinet.

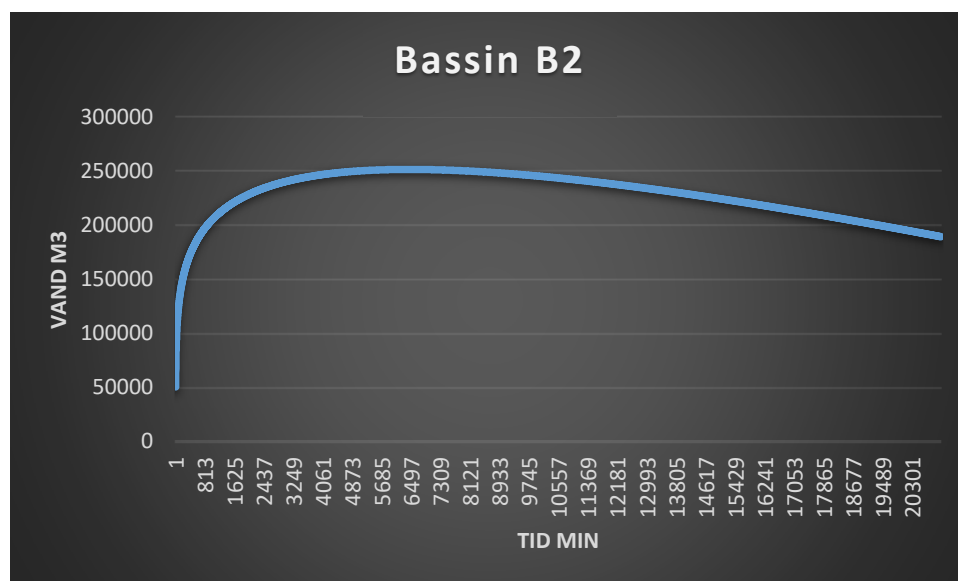
På Figur 43, Figur 44 og Figur 45 fremgår den dimensionsgivende volumen bassinerne skal overholde afhængig af regnvarigheden. Se Tabel 18 med opsummerende værdier for maksimal volumen $V_{\max}$.

Tabel 18 opsummering af maksimal volumen afhængig af tid for bassinerne

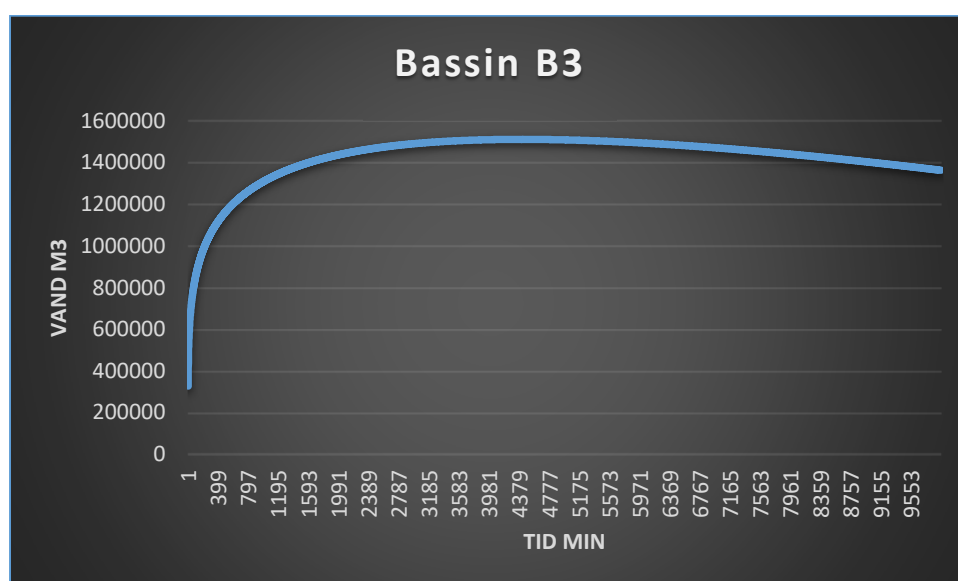
	Bassin B1	Bassin B2	Bassin B3
$V_{\max} \text{ m}^3$	730	251	1511
$t_r \text{ min}$	95	99	73



Figur 43 Nødvendig bassin volumen afhængig af regn varighed for bassin B1

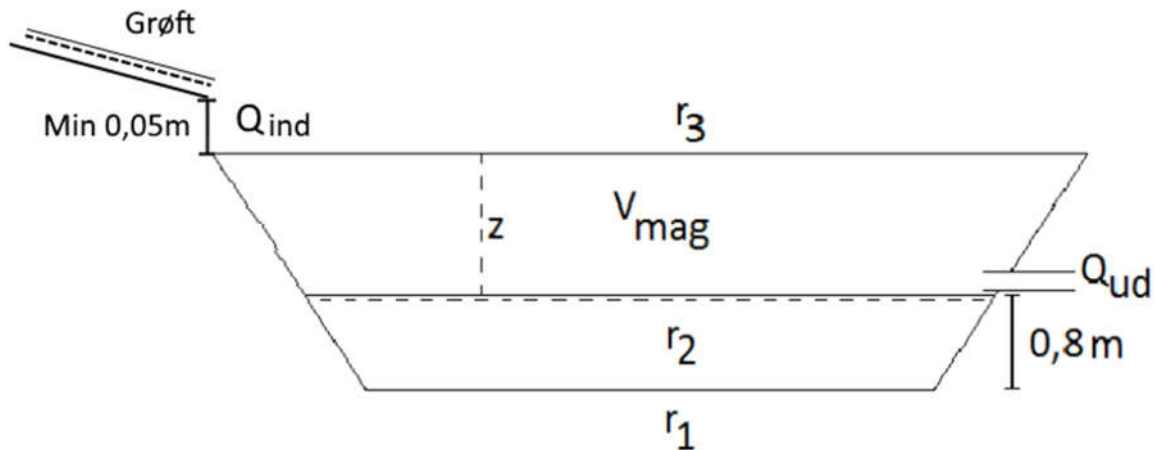


Figur 44 Nødvendig bassin volumen afhængig af regn varighed for bassin B2



Figur 45 Nødvendig bassin volumen afhængig af regn varighed for Bassin B3

Den permanente volumen på på 0,8 m i bassinet samt magasinerings volumen bestemmes ved at lave to keglestubbe, hvor nederste keglestub indeholder den permanente volumen og øverste keglestub indeholder magasinerings volumen, se Figur 46.



Figur 46 Princip for bassin opbygning, med to keglestubbe

Volumenerne bestemmes med ligning (10.10.5) der udregner volumen for en keglestub. Der laves et anlæg $a=5$, således det er muligt at gå på siden af bassinet.

Det er forsøgt at måle den øverste flade for Bassin B1 ud fra helhedsplanen, hvor der blev målt et areal på cirka $0,5 \text{ ha}^2$ der giver en radius 40m i en cirkel svarende til øverste flade på Figur 46. Eftersom bassin B2 blev flyttet kan areal ikke estimeres ud fra opmåling. Derfor antages et bassin med radius 15m for bassin B2 top flade. Se regne eksempel for Bassin B1 i ligning (10.10.6)

$$V_{keglestub} = \frac{1}{3} \pi z (r_1^2 + r_2^2 + r_1 r_2) \quad (10.10.5)$$

$$V_{B1} = \frac{1}{3} \pi z (40^2 + (40^2 - z \cdot 6) + 40^2 (40^2 - z \cdot 6)) = 0,15m \quad (10.10.6)$$

z	dybde
r ₁	Radius for top af keglestub
r ₂	Radius for bund af keglestub

Resultater for alle bassiner kan ses i Tabel 19.

Tabel 19 dimensionsgivende størrelser på bassiner

	A_{red} ha	Afløbstal a	Anlæg a	Magasinerings Højde m	V_{max} m ³	t_r min
Bassin B1	2,9	10,3	5	0,15	730	95
Bassin B2	1,0	10	5	0,42	251	99
Bassin B3	6,5	-	5	1,1	1551	73

11 Referencer

- (2017). Hentet fra Geoenergi: http://geoenergi.org/xpdf/oversigt-over-geologiske-forhold_cdi.pdf
- (2017). Hentet fra Ordnet: <http://ordnet.dk/ddo/ordbog?query=kl%C3%A6g&select=kl%C3%A6g,2>
- Cappelen, M. S. (2016). *Kommunale og landets referenceværdier 2006-2015*. DMI.
- COWI. (2017). *Anvendelse af Georadar*. Lyngby: COWI.
- DMI. (2017). *Kommunal og landets referenceværdier 2006-2015*. DMI.
- DMI(1). (2016). *Gennemsnitlige årsværdier for danske kommuner 2006-2015*. Hentet fra DMI: <https://www.dmi.dk/vejr/arkiver/normaler-og-ekstremer/kommuneklimadata-2006-15/>
- DMI(2). (2017). *DMI*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/klima/fremtidens-klima/danmark/nedboer/>
- DMI(3). (November 2017). *DMI*. Hentet fra Vejrarkiv: <https://www.dmi.dk/vejr/arkiver/vejrarkiv/>
- Favrskov kommune. (2008). *Dimensionering af regnvandsbassiner*.
- Gabriel, S. (2017). *Veje til klimaveje*. Orbicon.
- GEUS. (2017). *GEUS*. Hentet fra http://data.geus.dk/geusmap/?mapname=jupiter#zoom=5.656429256811454&lat=6225000&lon=557500&visiblelayers=Topographic&filter=&layers=&mapname=&filter=&epsg=25832&mode=map&map_imagetype=png&wkt=
- Hindsberger, U. (u.d.). *Undersøgelsesmetoder - 11 Georadar*. Teknologisk institut.
- IDA. (2005). *Funktionspraksis for afløbssystemer under regn*. IDA.
- Klaus Tøtrup. (2017). *Mestertidende*. Hentet fra https://www.mestertidende.dk/article/view/505666/regnvand_stopper_byggepladsen#
- (2017). *Lokalplan nr. 1070*. Vesthimmerland kommune.
- Mestertidende. (2017). Hentet fra https://www.mestertidende.dk/article/view/505666/regnvand_stopper_byggepladsen
- Nielsen, O. F. (2017). *Grundvand og Geoscience*. COWI.
- NIRAS. (2017). *Aars Vest Helhedsplan*. Aars: SLA & NIRAS.

- Ole V. Vejbæk, T. B. (2007). *Chalk depth structure maps, Central to Eastern North*. Hentet fra GEUS: http://www.geus.dk/DK/publications/geol-survey-dk-gl-bull/13/Sider/nr13_p09-12-dk.aspx
- Ovesen, N. K. (2007). *Lærebog i Geoteknik*. Lyngby: Polyteknisk Forlag.
- Ringgaard, J. (u.d.). *3D GEORADAR - INSTALLATIONER OG BROER*. Rambøll.
- Rruby, T. (2006). *Notat vedr. regn, rørdimensionering og bassindimensionering*. Aalborg universitet.
- Sandbjerg. (2005). *Grundvandskortlægning*. Aarhus: Aarhus universitet.
- Spildevandskomiteen. (2015). *Dimensionering af LAR-Anlæg*. Spildevandskomiteen.
- sustainable. (2017). Hentet fra sustainable.dk: <http://sustainable.dk/2-vand/7-klimaforandringer-aendrer-vandtilgaengeligheden/>
- The Economist. (2017). *The Economist*. Hentet fra The Economist: <https://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2017/08/daily-chart-19>
- Thomsen, E. (2011). *Kalk og kalkaflejringer i Danmark*.
- Vejdirektoratet (1). (2015). *VEJLEDNING REGNVANDSBASSINER DIMENSIONERINGS FORHOLD*. Vejdirektoratet.
- Vejdirektoratet. (2017). *AFVANDINGSKONSTRUKTIONER – TRUG OG GRØFTER*. Vejdirektoratet.
- vejr- og klimadata. (2017). Hentet fra DMI: https://www.dmi.dk/uploads/tx_dmidatastore/webservice/1/_/1/3/2/20161231_1.pdf
- Vejregler. (2017). *AFVANDINGSKONSTRUKTIONER – TRUG*.
- Vesthimmerland kommune(1). (2016). *Lokalplan nr. 1050*. Aars: Vesthimmerland Kommune.
- Wikipedia. (2017). Hentet fra https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistivity_and_conductivity
- Winther, L. (2011). *Afløbsteknik*. polyteknisk forlag.
- Aalborg Universitet. (2014). *Ingeniørgeologi og geoteknik*. Aalborg: Aalborg Universitet.
- Aarhus kommune. (2016). *Regnvandsbassiner design og dimensionering*. Aarhus.

Aarhus universitet. (2003). *ANVENDELSE AF TEM-METODEN VED GEOLOGISK KORTLÆGNING*. Aarhus: Aarhus universitet.