

NOVEMBER 2014
REGION HOVEDSTADEN OG REGION MIDTJYLLAND

KONSEKVENSER FOR GRUNDVANDSKVALITETEN VED RÅSTOFINDVINDING UNDER GRUNDVANDSSPEJLET

RAPPORT, FASE 2



COWI

NOVEMBER 2014
REGION HOVEDSTADEN OG REGION MIDTJYLLAND

KONSEKVENSER FOR GRUNDVANDSKVALITETEN VED RÅSTOFINDVINDING UNDER GRUNDVANDSSPEJLET

RAPPORT, FASE 2

PROJEKTNR. A030542
DOKUMENTNR. 03
VERSION 05
UDGIVELSESDATO 27. november 2014
UDARBEJDET NPA/TOHM
KONTROLLERET TOHM/NPA
GODKENDT TOHM

INDHOLD

1	Indledning og baggrund	7
2	Lokaliteter og undersøgelser	8
2.2	Store Rosenbusk	10
2.3	Store Havelse	14
2.4	Tulstrup (Alsønderup)	17
2.5	Kongensbro	19
2.6	Trekanten (Samsø)	24
2.7	Tulstrup (Ikast)	30
3	Teori	36
3.1	Oliespild	36
3.2	Saltvand	36
3.3	Pesticider	36
3.4	Pyritoxidation	37
4	Resultater og vurderinger	39
4.1	Store Rosenbusk, kemiske analyser	39
4.2	Store Havelse	44
4.3	Tulstrup (Alsønderup)	47
4.4	Kongensbro	51
4.5	Trekanten, Samsø	54
4.6	Tulstrup, Region Midtjylland	56
5	Samlet vurdering	62
5.1	Oliespild	62
5.2	Saltpåvirkning	62
5.3	Pesticider	62
5.4	Pyritoxidation	63

6 Konklusioner 64

7 Referencer 65

Bilag A: Analyserapporter

1 Indledning og baggrund

I Region Hovedstaden og i Region Midtjylland har det ikke tidligere været almindelig praksis at indvinde råstoffer som sand og grus under grundvandsspejlet. Der har i stedet ofte været indvundet til 1 meter over grundvandsspejlet, fordi områderne skulle anvendes som landbrugsjord igen, når råstofindvindingen var afsluttet.

Indvinding af råstoffer under grundvandsspejlet betyder imidlertid en bedre udnyttelse af råstofressourcen og reducerer dermed behovet for udpegning af nye graveområder. Det er vigtigt at afklare, hvilke risici det kan indebære for grundvandsressourcen, når der indvindes under grundvandsspejlet. Region Hovedstaden og Region Midtjylland har derfor, med COWI som rådgiver, gennemført et projekt, hvor det undersøges, hvilke konsekvenser det har for grundvandskvaliteten at indvinde råstoffer som sand, sten og grus under grundvandsspejlet.

Projektet er opdelt i to faser. Projektets fase 1 omfatter en gennemgang af relevant litteratur om metoder og konsekvenser ved indvinding af råstoffer under grundvandsspejlet. Desuden identificeres en række mulige grundvandskvalitetsmæssige problemer, der kan være et resultat af råstofindvinding. Fase 1 blev afrapporteret i januar 2013/1/. På baggrund af konklusionerne i fase 1, blev det besluttet at undersøge de følgende 4 problemstillinger i fase 2:

- › Oliespild fra maskineri og lignende under råstofindvinding
- › Kystnær optrængning af saltvand som følge af sænkning af grundvandsspejlet i forbindelse med vådgravning.
- › Oxidation af pyrit på grund af tilgang af atmosfærisk ilt til tidligere vandmættede sedimenter
- › Forurening af råstofgravesøer med pesticider fra overfladeafstrømning fra markarealer.

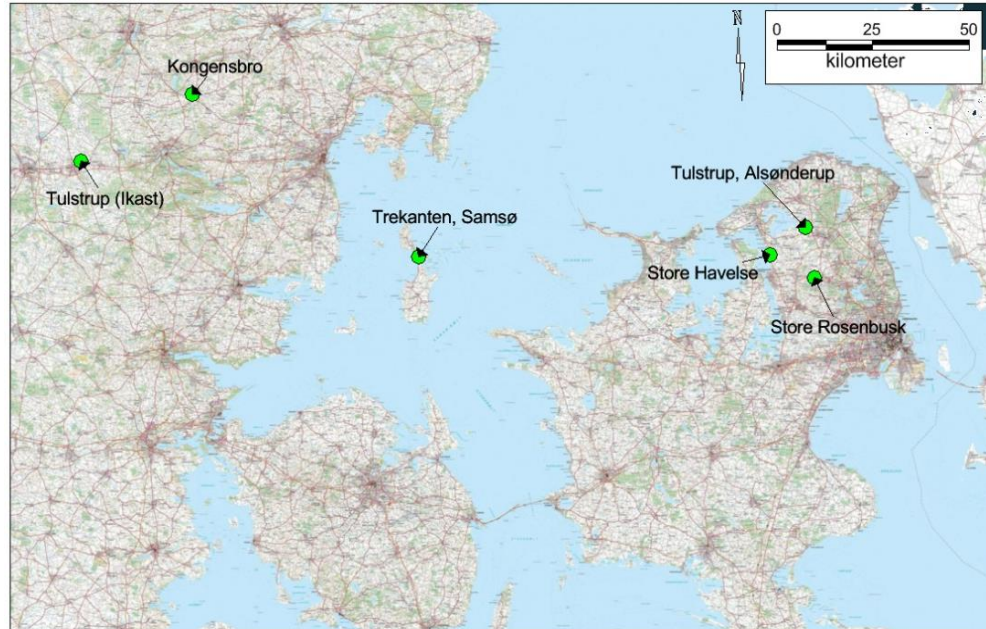
De 4 problemstillinger er undersøgt ved en række undersøgelser af råstofgrave i Region Hovedstaden og Region Midtjylland, hvor der indvindes råstoffer under grundvandsspejlet. Dette notat er en afrapportering af projektets fase 2. I forbindelse med undersøgelserne blev der ligeledes igangsat målinger af en eventuel sænkning af grundvandsspejlet, som følge af oppumpning af råstoffer. Resultaterne af disse undersøgelser beskrives i et efterfølgende notat.

De eventuelle påvirkninger af grundvandet med olieprodukter, pesticider, pyritoxidation og kystnær optrængning af saltvand er undersøgt ved vandkemiske undersøgelser af gravesøer af forskellig alder, en række referencesøer, slambassiner, ved udledning af vaskevand og lignende samt fra en enkelt boring.

Der er undersøgt 6 råstofgrave forskellige steder i landet for at opnå resultater fra områder med forskellig geologi, og hvor der indvindes med forskellige metoder. Dette giver et bedre datagrundlag for at kunne belyse problematikkerne. Undersøgelserne og rapporten er udarbejdet som et fælles projekt mellem Region Hovedstaden og Region Midtjylland.

2 Lokalteter og undersøgelser

Der er udvalgt i alt 6 lokaliteter, jævnfør figur 2-1: Store Rosenbusk, Store Havelse, Tulstrup (Alsønderup), Kongensbro, Trekanten (Samsø) og Tulstrup (Ikast).



Figur 2-1: Oversigtskort for undersøgte råstofgrave.

De 6 lokaliteter har været undersøgt i forhold til de nævnte problemstillinger jævnfør tabel 2-1.

Lokalitet	Oliespild	Oxidation af pyrit	Kystnær optrængning af saltvand	Pesticider	Grundvands sænkning *
Store Rosenbusk	X	X		X	X
Store Havelse	X	X		X	
Tulstrup (Alsønderup)	X	X		X	
Kongensbro	X	X			
Trekanten	X	X	X		
Tulstrup (Ikast)	X	X		X	

Tabel 2-1: Undersøgte problemstillinger på de 6 lokaliteter. * Undersøgelsen af grundvands-sænkning ved St. Rosenbusk afrapporteres særskilt.

Undersøgelserprogrammet omfatter i alt 80 boringskontrolanalyser, 21 analyser for pesticider og nedbrydningsprodukter, 48 analyser for BTEXN og kulbrinter samt 17 analyser for aluminium. Fordelingen af analyser per lokalitet fremgår af tabel 2-2.

Lokalitet	Boringskontrolanalyser (antal)	Pesticider + nedbrydningsprodukter (antal)	BTEXN + kulbrinter (antal)	Aluminium (antal)
Store Rosenbusk	8	4	6	0
Store Havelse	15	5	12	0
Tulstrup (Alsønderup)	13	5	7	0
Kongensbro	10	0	10	0
Trekanten	8	0	4	0
Tulstrup (Ikast)	26	7	9	17
<i>Sum</i>	<i>80</i>	<i>21</i>	<i>48</i>	<i>17</i>

Tabel 2-2. Undersøgellesprogram. Antal analyser

Der er installeret 6 trådløse loggere i tilknytning til Store Rosenbusk grusgrav til monitorering af vandstandsændringer. Eventuelle ændringer i vandstanden sammenholdes med råstofindvindingen med henblik på at vurdere om der er en påvirkning af grundvandsspejlet, når der indvindes råstoffer.

Monitoreringen forventes at forløbe til vinteren 2014 og afrapporteres i et særskilt notat.

2.1.1 Prøvetagningsmetoder

Vandprøverne er udtaget ved hjælp af en whale-pumpe, ved direkte nedsænkning af en dunk, eller ved hjælp af en vandhenter (bailer).

Ved brug af whale-pumpe sænkes pumpen til umiddelbart over bunden af søen på prøvetagningsstedet og hæves langsomt til søens overflade, alt imens det oppumpede vand opsamles i en dunk. Slangen er dykket i dunken for at undgå iltning af vandet i forbindelse med prøveudtagningen. Vandet dekanteres umiddelbart efter til prøvetagningsemballagen. Ved lave vanddybder er prøverne udtaget direkte ved langsom nedsænkning af en dunk eller ved at kaste en vandhenter med påmonteret vægt ud i søen. De to førstnævnte metoder giver en blandeprøve af hele vandsøjlen på prøvetagningsstedet, mens vandhenteren giver en prøve fra det nederste niveau fra søen.

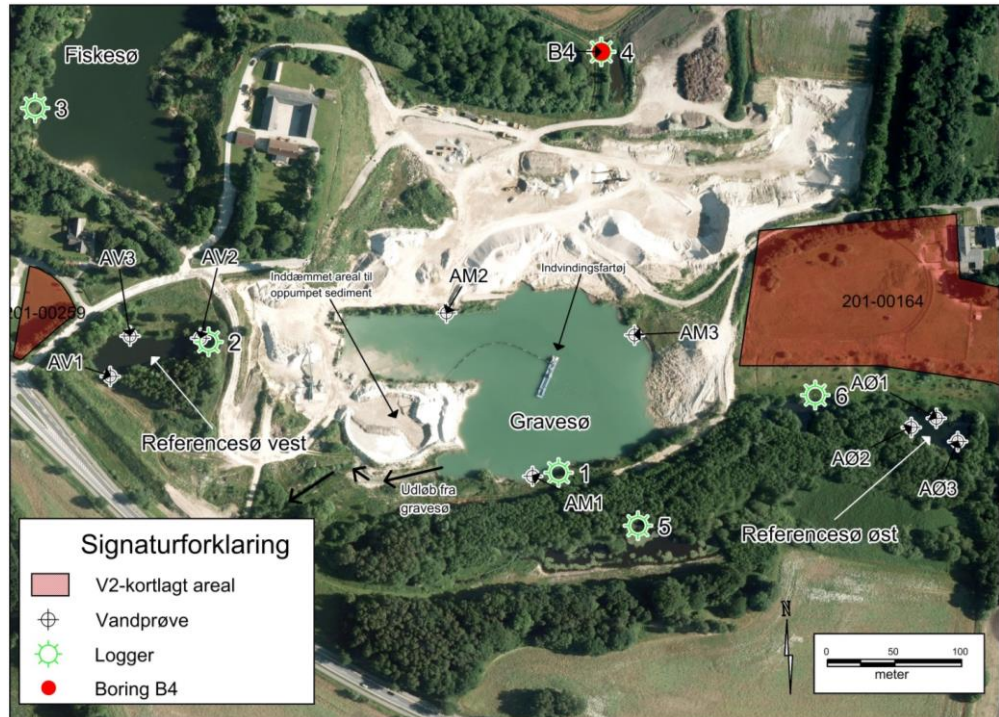
Ved brug af whale-pumpe er der anvendt ny pumpe og nye slanger i hver grusgrav. Inden hver prøvetagning er der gennemført en forpumpning for at bringe pumper og slanger i ligevægt med vand fra prøvetagningsstedet.

Der er anvendt nye handsker ved prøvetagning, filtrering og håndtering af vandprøver ved alle vandprøver. Alle prøvetagningssteder er indmålt med GPS. Vandprøver til analyse for metaller og opløst organisk stof (NVOC) er filtreret igennem et 0,45 µm filter. Vandprøver til analyse for miljøfremmede stoffer er ikke filtreret.

Alle vandprøver er udtaget fra maj til august i 2013. Der blev dog udtaget supplerende vandprøver i Tulstrup (Ikast) i december 2013 samt udført supplerende pH-målinger i Kongensbro i oktober 2014. Boringen og vandprøver i boringen i Store Rosenbusk er udført i april 2014.

2.2 Store Rosenbusk

Den eksisterende grusgrav ved Store Rosenbusk i Allerød Kommune er en del af graveområde E2, Uggeløse jævnfør Råstofplan 2012. Der indvindes sand, grus og sten under grundvandsspejlet.



Figur 2-2. Situationsplan, Store Rosenbusk.

Grusgraven er udvalgt til undersøgelse af grundvandskemi samt en hydrologisk undersøgelse, som sigter på at klarlægge eventuelle påvirkninger af grundvandsspejlet i forbindelse med råstofindvindingen. Den hydrologiske undersøgelse af-rapporteres særskilt. De rødskraverede arealer angiver områder som er kortlagt som forurenede (V2-kortlagt) efter jordforureningsloven. Området markeret med 201-00164 er en tidligere råstofgrav, hvori der er deponeret affald.

2.2.1 Indvindingsmetode

Indvindingen foregår ved oppumpning af sediment fra gravesøen til et område i grusgraven, som er omgivet af en dæmning af sand. Oppumpningen af sediment foregår ved hjælp af dieseldrevne pumper fra en pram, som er placeret i gravesøen, se figur 2-3. Pumperne yder 1.500-1.800 m³/time og oppumper en blanding af vand og sediment.



Figur 2-3: Råstofgraven Store Rosenbusk. Sediment pumpes fra den blå pram til det inddæmmede område, som ses i baggrunden til venstre. På billedet er gravemaskinerne i færd med at fjerne oppumpet sediment.

Sedimentet pumpes igennem en undersøisk ledning op i det inddæmmede areal. Når det inddæmmede areal er fyldt op, standses tilledningen af sediment, og vandet dræner væk vertikalt tilbage til søen. Efter ca. et døgn er vandet drænet ud af sedimentet og tilbage i søen og sedimentet kan håndteres med en hydraulisk gravemaskine.

Gravesøen indeholder hovedsageligt grundvand. Det hydrauliske opland er begrænset til det umiddelbare nærområde, hvorfra søen modtager overfladevand samt det vand, som falder som nedbør i selve søen. Søen har et udløb længst mod sydvest. Udløbet er vist på figur 2-4.



Figur 2-4: Udløb fra søen i Store Rosenbusk. Nærmest søen er kanalen gravet, længere borte får vandløbet mere karakter af et naturligt vandløb.

2.2.2 Indvindingstilladelse

Den gældende indvindingstilladelse omfatter en årlig indvinding af op til 65.000 m³ råstoffer under grundvandsspejlet. Der må indvindes til 20 m under grundvandsspejlet.

2.2.3 Undersøgelser i Store Rosenbusk

Der er udtaget 11 vandprøver til analyse for boringskontrol og 4 vandprøver til analyse for pesticider + nedbrydningsprodukter ved Store Rosenbusk Grusgrav og i søerne omkring gravesøen der vurderes, at være i hydraulisk kontakt med gravesøen. Der er desuden etableret én boring, B4, opstrøms grusgravsøen. Boringen er filtersat i to niveauer, det nedre filter (B4-1) fra 7,5-8,5 m under terrænet som vurderes at være i hydraulisk kontakt med gravesøen. Det øvre filter (B4-2) fra 4,5-5,5 m under terræn er placeret i et lokalt sekundært grundvandsmagasin, som ikke vurderes at være i hydraulisk kontakt med gravesøen. Der er udtaget og analyseret vandprøver fra begge filtre i boringen. Analyseoversigten fremgår af tabel 2-3. En situationsplan for Store Rosenbusk med angivelse af prøvetagningssteder ses på figur 2-2.

Store Rosenbusk	
Prøvenavn	Analyseparametre
Am1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Am2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Am3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Av1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Av2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Av3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Aø1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Aø2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Aø3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Amp	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Avp	Pesticider + nedbrydningsprodukter
B4-1	Boringskontrol + Pesticider + nedbrydningsprodukter
B4-2	Boringskontrol + Pesticider + nedbrydningsprodukter

Tabel 2-3: Analyseoversigt, Store Rosenbusk Grusgrav. B4-1 er den nedre filtersætning og B4-2 er den øvre.

2.2.4 Vandkemi

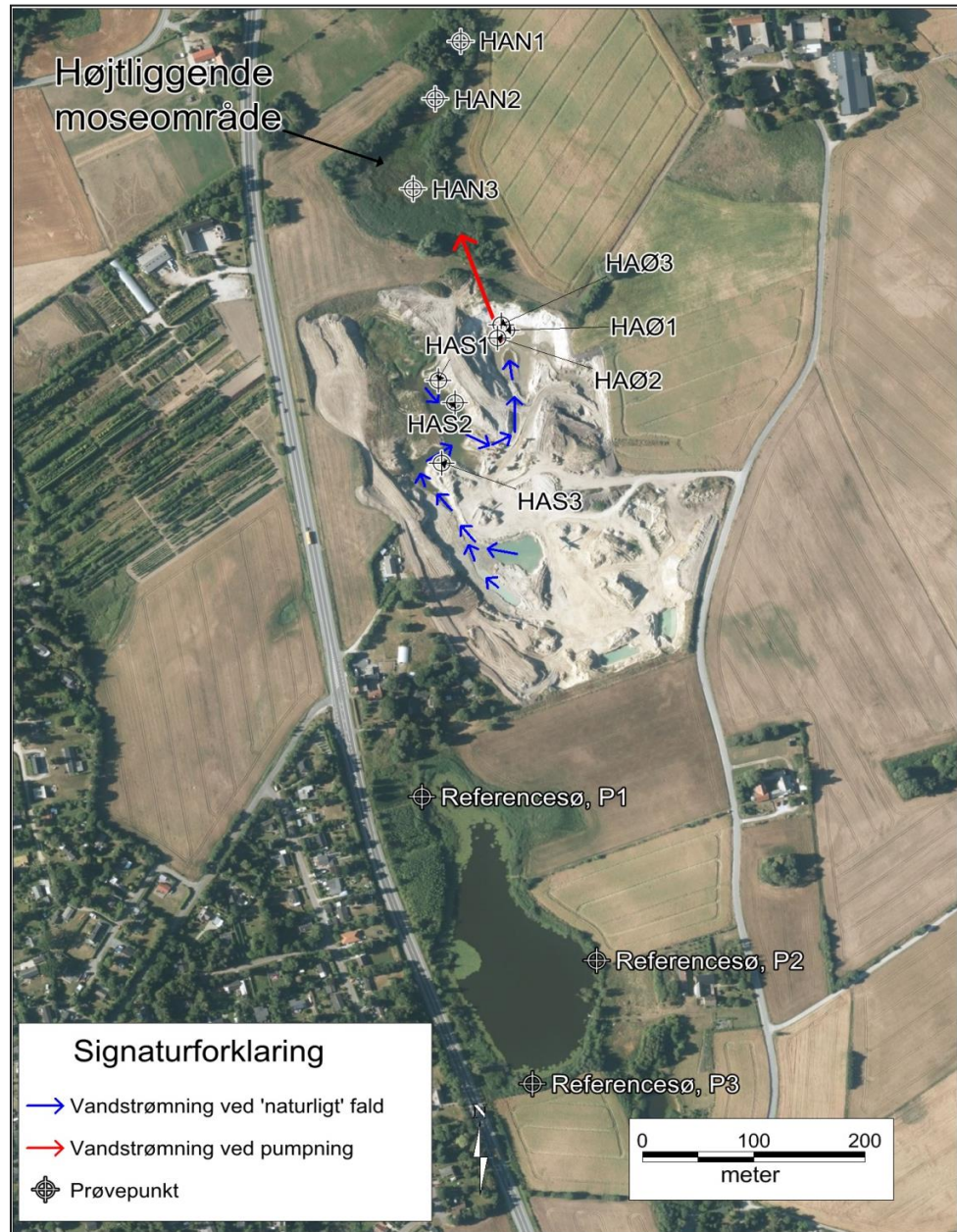
Der er udført boringskontrolanalyse (jævnfør BEK nr. 1024 af 31/10/2011) på vandprøver fra selve gravesøen, i to nærliggende småsøer (Referencesø øst og Referencesø vest), hvorfra der ikke indvindes råstoffer, samt i boringen B4, som ligger i opstrøms retning for gravesøen. Der er udtaget 3 vandprøver fra hver sø samt 2 vandprøver fra B4, i alt 11 boringskontrolanalyser. Placeringen af prøvetagningsstederne og navne på vandprøverne er vist på figur 2-2.

En blandingsprøve (1:1:1 af de tre vandprøver) fra hver sø samt de 2 prøver fra B4 er desuden analyseret for pesticider og nedbrydningsprodukter (jævnfør bilag 7 i BEK nr. 1024) med henblik på at undersøge omfanget af pesticidpåvirkning af grundvandet i henholdsvis en aktiv gravesø, en ældre gravesø, en sø uden råstofindvinding, samt grundvandet opstrøms gravesøen.

Vandprøver fra søerne er analyseret for BTEXN (benzen, toluen, ethylbenzen, xylener og naftalen) samt kulbrinter for ved sammenligning at undersøge, om gravesøen påvirkes af olieudslip fra det anvendte maskineri.

2.3 Store Havelse

Den eksisterende grusgrav ved Store Havelse i Halsnæs Kommune er en del af graveområde C4, Store Havelse ifølge Råstofplan 2012. Der indvindes sand, grus og sten under grundvandsspejlet.



Figur 2-5: Situationsplan, Store Havelse.

2.3.1 Indvindingsmetode

I Store Havelse sker råstofindvindingen under grundvandet ved at sænke grundvandsspejlet og grave råstofferne ved tørgravning. Vandstanden sænkes ved at op-pumpe vand fra den lavest liggende sø i graven til et nærliggende moseområde (se figur 2-5). I den øvrige del af grusgraven drænes vandet ved gravitation via kanaler til den lavest liggende sø. Beliggenheden af søerne skifter løbende i takt med, at indvindingen skrider frem.

Den lavest liggende sø er vist på figur 2-6. Fotoet er fra marts 2014, hvor der var to tilløbskanaler til søen. Mosen ligger til højre for billedet (udenfor fotoet).



Figur 2-6: Store Havelse. Den lavest liggende sø ses i forgrunden. De to kanaler bagerst i billedet er tilløb. Vandet oppumpes til et moseområde.

2.3.2 Indvindingstilladelse

Den gældende indvindingstilladelse omfatter indvinding af 50.000 m³ råstoffer årligt. Der må indvindes til kote +10 m. Vandspejlet i referencesøen syd for graveområdet blev pejlet til kote +20,4 m i marts 2014, hvilket giver en mægtighed på ca. 10 m under vandspejl. Der er givet tilladelse til oppumpning af grundvand fra graveområdet med udledning til en mose beliggende nord for graveområdet. Der er tilladelse til årligt at oppumpe 28.000 m³ grundvand.

Vandstanden i den mose, der fungerer som recipient, er reguleret af en overfaldsbrønd. Der må ikke pumpes vand til mosen, hvis vandstanden overstiger kanten af overfaldsbrønden. Der er opsat en målepind ved overfaldsbrønden, hvorpå vandstanden skal registreres mindst 1 gang om ugen. Der er desuden krav om, at der skal udtages 2 prøver årligt (i april og september) af det vand, som udledes til mosen. Disse vandprøver skal analyseres for nikkel, arsen og pH.

2.3.3 Undersøgelser

Der er udtaget vandprøver fra to gravesøer, fra moseområdet nord for råstofgraven samt fra referencesøen syd for råstofgraven, jævnfør situationsplanen på figur 2-5. En blandingsprøve (1:1:1 af de tre vandprøver) fra hver sø/mose er desuden analyseret for pesticider og nedbrydningsprodukter (jævnfør bilag 7 i BEK nr. 1024)

med henblik på at undersøge omfanget af pesticidpåvirkning af grundvandet. Analyseprogrammet fremgår af tabel 2-4.

Store Havelse	
Prøvenavn	Analyseparametre
Has1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Has2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Has3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Haø1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Haø2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Haø3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Han1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Han2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Han3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Hasp	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Haøp	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Hanp	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Aøp	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Referencesø P1	Boringskontrol
Referencesø P2	Boringskontrol
Referencesø P3	Boringskontrol
Referencesø P1+P2+P3	Pesticider + nedbrydningsprodukter

Tabel 2-4: Analyseoversigt, Store Havelse. Prøven Aøp er en blandeprøve af Haø1, Haø2 og Haø3.

2.4 Tulstrup (Alsønderup)

Den eksisterende grusgrav ved Tulstrup (Alsønderup) i Hillerød Kommune er en del af graveområde F3, Tulstrup ifølge Råstofplan 2012. Der indvindes sand, grus og sten.



Figur 2-7: Situationsplan Tulstrup (Alsønderup).

2.4.1 Indvindingsmetode

Der indvindes råstoffer under grundvandsspejlet ved at sænke vandspejlet i gravesøerne ved pumpning og ved naturligt afløb, hvorefter råstofferne graves tørt. Vandet udledes til et område syd for søerne, jævnfør figur 2-7.

Området har en varierende geologi, hvor områderne med råstoffer (sand, sten og grus) afbrydes af mindre områder med ler. Noget af leret indvindes og sælges. Der indvindes derfor fra skiftende områder.

Ifølge grusgravens ejer er det sjældent nødvendigt at pumpe vand fra de to gravesøer. Ved prøvetagningen i august 2013 var vandstanden i de små søer, som mod-

tager vand, meget lav. Dette hænger formentlig sammen med, at juli og august 2013 var nedbørfattige. Ved DMIs station ved Sjølsmark blev der målt 15,2 mm nedbør i juli og 41,1 mm i august, hvor normalen for Nordsjælland ligger på henholdsvis 68 og 64 mm for juli og august.

2.4.2 Indvindingstilladelse

Tilladelsen omfatter indvinding af op til 70.000 m³ råstoffer årligt. Der må indvindes til 15 m under grundvandsspejlet.

2.4.3 Undersøgelser

Der er udtaget vandprøver fra to gravesøer (Hin1, Hin2, Hin3 og His1, His2 og His3) fra en lille sø, som modtager vand fra råstofgravene (Hiv1) samt fra to referencesøer (referencesø 1, P1-P3 og referencesø 2, P1-P3). Analyseprogrammet er sammenfattet i tabel 2-5. Placering af prøvesteder fremgår af figur 2-7.

Tulstrup (Alsønderup)	
Prøvenavn	Analyseparametre
His p	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Hiv p	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Hin p	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Hin1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Hin2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Hin3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Hiv1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
His1	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
His2	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
His3	Boringskontrol + kulbrinter + BTEX'er
Referencesø 1; P1	Boringskontrol
Referencesø 1; P2	Boringskontrol
Referencesø 1; P3	Boringskontrol
Referencesø 1; P1+P2+P3	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Referencesø 2; P1	Boringskontrol
Referencesø 2; P2	Boringskontrol
Referencesø 2; P3	Boringskontrol
Referencesø 2; P1+P2+P3	Pesticider + nedbrydningsprodukter

Tabel 2-5: Analyseoversigt for Tulstrup (Alsønderup).

2.5 Kongensbro

I graveområdet ved Brårup, Kongensbro i Silkeborg Kommune (figur 2-8), indvindes der sand, grus og sten under grundvandsspejlet.



Figur 2-8: Situationsplan, Kongensbro.

2.5.1 Indvindingsmetode

Der indvindes råstoffer fra den vestligst beliggende gravesø. På lokaliteten indvindes der med hydraulisk gravemaskine til grundvandsspejl eller lidt under, og

herunder indvindes materialerne med en sandsuger, jævnfør figur 2-9. Indvindingsdybden er opgivet til 3-10 m under vandspejlet, hvilket er bestemt af forekomstens dybde. Forekomsten underlejrtes af et lerlag.



Figur 2-9: Sandsuger. Bunken til venstre på fotoet er materiale, som er indpumpet fra sandsugerens.

Efter oppumpning transporteres materialet til et grusvaskeanlæg. Vandet til sorteringsanlæggene kommer fra en centralt beliggende vaskesø (markeret med "indtag til grusvaskeanlæg" på figur 2-8) og sendes retur til vaskesøen (markeret med "udløb" på figur 2-8).

Vaskesøen er opbygget af 3 sedimentationsbassiner adskilt af overløb, så finstoffet gradvist sedimenteres. På figur 2-8 ses tydeligt en farveforskel i de tre bassiner, hvilket relaterer sig til indholdet af forskellige typer suspenderet sediment i de tre bassiner. Vådsorteringsanlægget var ikke i drift på prøvetagningstidspunktet, hvorfor udløbet var tørt. Fotos fra vaskesøen ses på figur 2-10 og figur 2-11.

Den nordøstligste sø i grusgravsområdet (Gravesø 1) blev efterbehandlet i perioden 1995-1999. Søens nuværende udseende fremgår af figur 2-12.



Figur 2-10: Udløb af vaskevand til sedimentationsbassin. Udløbet var tørt på prøvetagningstidspunktet.



Figur 2-11: Foto til venstre: Det nordlige sedimentationsbassin "sedimentationsbassin 1" jævnfør situationsplanen Figur 2-8. Foto til højre: Det sydligste sedimentationsbassin ved vaskesøen "sedimentationsbassin 2" jævnfør situationsplanen Figur 2-8. Anlægget i søen anvendes til indpumpning af grusvaskevand..



Figur 2-12: Gravesø 1. Efterbehandlet 1995-1999.



Figur 2-13: Gravesø 2. Foto taget ved Prøve C, Gravesø 2.

2.5.1 Indvindingstilladelse

Den gældende indvindingstilladelse omfatter indvinding af råstoffer op til 250.000 m³ pr. år.

2.5.2 Undersøgelser

Undersøgelserne omfatter 4 søer med i alt 10 vandanalyser. Analyseprogrammet omfatter boringskontrol samt BTEXN og kulbrinter.

Vandprøverne blev udtaget den 9. juli 2013. Prøvetagningsmetoder, vanddybder m.v. er opsummeret i tabel 2-6. Analyseoversigten fremgår af tabel 2-7.

Punkt	Vanddybde (m)	Prøvetagningsmetode	Bemærkninger
Udløb	0,5	Whalepumpe	Flyttet da selve udløbet var tørt. Meget højt sedimentindhold.
Sedimentationsbassin	0,5	Whalepumpe	Meget højt sedimentindhold.
Grusvaskesø	1	Whalepumpe	Højt indhold af finkornet sediment.
Prøve A, Gravesø 1	1,15	Nedsænkning af dunk	Klart vand.
Prøve B, Gravesø 1	1,2	Nedsænkning af dunk	Klart vand.
Prøve C, Gravesø 1	1,15	Nedsænkning af dunk	Klart vand.
Prøve A, Gravesø 2	4	Whalepumpe	Klart vand.
Prøve B, Gravesø 2	3	Whalepumpe	Klart vand.
Prøve C, Gravesø 2	2	Whalepumpe	Klart vand.
Referencesø	2	Whalepumpe	Klart vand.

Tabel 2-6: Prøvetagningskema.

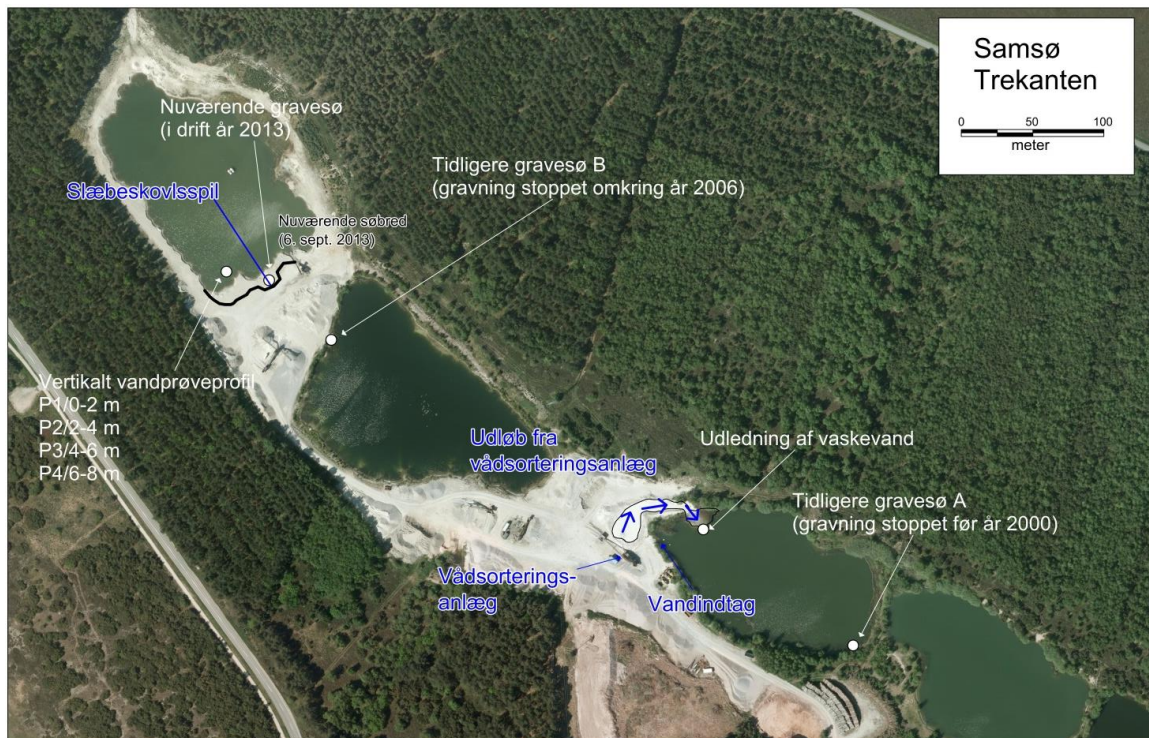
Kongensbro	
Prøvenavn	Analyseparametre
Sedimentationsbassin	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Udløb af vaskevand	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Grusvaskesø	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve A, gravesø 1	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve B, gravesø 1	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve C, gravesø 1	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve A, gravesø 2	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve B, gravesø 2	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve C, gravesø 2	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Referencesø	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er

Tabel 2-7: Analyseoversigt, Kongensbro.

2.6 Trekanten (Samsø)

I graveområdet Trekanten på Samsø har der siden 1979 foregået indvinding af sand, grus og sten under grundvandsspejlet. Lokaliteten er udvalgt med henblik på at undersøge, om der forekommer opstigning af saltvand ved kystnær råstofgravning under grundvandsspejlet.

Graveområdet omfatter 5 søer, der ligger i et sydøst-nordvest-gående bælte, jævnfør figur 2-14.



Figur 2-14: Situationsplan for lokaliteten Trekanten på Samsø med angivelse af prøvesteder og anlæg.

Der indvindes råstoffer i den nordligste sø, mens den sydligere sø (tidligere gravesø B) blev færdiggravet omkring år 2006. Den tidligere gravesø A blev færdiggravet omkring år 2000. Søen anvendes i dag i forbindelse med grusvask. De øvrige søer indgår ikke i den nuværende råstofindvinding.

Grundvandsstrømning Afstanden til kysten er mindre end 500 m i vestsydvestlig retning og ca. 900 m i nordnordøstlig retning. Mod sydsydøst findes kysten ca. 1.000 m fra den nuværende gravesø. Det terrænnære grundvand vurderes at strømme mod vestsydvest.

Der kan være tidevandspåvirkning af grundvandsspejlet på grund af den kystnære beliggenhed, hvorfor lokaliteten ikke er egnet til at undersøge eventuelle vandspejlsfluktuationer som følge af vådgravningen.

2.6.1 Indvindingsmetode

Den aktive indvinding sker med slæbeskovsspil i den nordligste gravesø. Slæbeskovlens wire er forankret i et punkt ca. midt i gravesøen. Herfra trækkes

skovlen langs bunden ind mod land og op ad en rampe, hvor den tømmes i en bunke. Gravesøen er ca. 7 m dyb. Materialet graves med læssemaskine til videre forarbejdning. Fotos af slæbeskovlsspillet ses på figur 2-15 og figur 2-16.



Figur 2-15: Slæbeskovlsspil.



Figur 2-16: Tømning af skovl fra slæbeskovlsspil.

Vådsorteringsanlægget er placeret imellem tidligere gravesø A og tidligere gravesø B. Vådsorteringsanlægget har indtag og udløb af vand i tidligere gravesø A. Figur

2-17 viser udløbet fra vådsorteringsanlægget, mens figur 2-18 viser kanalen fra sorteringsanlægget.



Figur 2-17: Udløb fra sorteringsanlæg.



Figur 2-18: Kanal fra sorteringsanlæg.

2.6.2 Indvindingstilladelse

Den gældende indvindingstilladelse omfatter indvinding af op til 20.000 m³ råstoffer pr. år. Der må graves til en dybde af indtil 10 m. Eftersom terræn ligger i kote +3 - +4 m, giver tilladelsen mulighed for indvinding til 6-7 m under havniveau.

2.6.3 Undersøgelser

Påvirkningen fra grusgravningen, herunder den eventuelle opstigning af saltvand, er undersøgt ved at udføre boringskontrolanalyse på 3 vandprøver fra henholdsvis den aktive gravesø (længst mod nord) og de to sydligere efterbehandlede søer, jævnfør figur 2-14, samt ved at udtage vandprøver i 2 meters intervaller i et vertikalt profil i den aktive gravesø. Påvirkning af vandkvaliteten på grund af oliespild er undersøgt ved at analysere prøverne for BTEXN og kulbrinter.

Vandprøver taget fra søbredden blev udtaget ved hjælp af whale-pumpe monteret på et 5 m langt stadie. Stadiet blev hævet langsomt fra søbund til vandoverflade, mens vandet blev pumpet til en beholder, jævnfør figur 2-20. Dette er gjort med henblik på at få en repræsentativ vandprøve fra hele vandsøjlen på prøvetagningsstedet.



Figur 2-19: Prøvetagningsfartøj (foto til venstre) og whale-pumpe med påmonteret vægt (foto til højre).



Figur 2-20: Prøvetagningsmetodik fra søbredden. Whale-pumpe monteret for enden af stadiet (foto til venstre) hæves fra bunden af søen til vandoverflade, mens vandet pumpes til beholder (foto til højre).

Vådsorteringsanlægget Vådsorteringsanlægget var ikke i drift på prøvetagningstidspunktet, men havde været i drift dagen forinden. Der kunne derfor ikke udtages en vandprøve fra udløbet af vaskeanlægget. Vandprøven blev i stedet udtaget i søen ved deltaudbygningen, hvor vaskevandet udledes. Der blev ikke registreret okkerfarvning af bundsedimentet ved udløbet eller i vandkanalen fra udløbet til søen, jævnfør figur 2-17, figur 2-18 og figur 2-21.



Figur 2-21: Udløb i sø fra vaskeanlæg.

Tabel 2-8 giver en oversigt over prøvepunkter, vanddybder og prøvetagningsmetoder. Analyseprogrammet fremgår af tabel 2-9.

Punkt	Vanddybde (m)	Prøvetagningsmetode	Bemærkninger
Nuværende gravesø	0,2	Direkte i dunk	Taget hvor slæbeskovl trækkes i land. Klart vand.
P1/0-2 m	1	Direkte i dunk	Klart vand.
P2/2-4 m	3	Whalepumpe	Klart vand.
P3/4-6 m	5	Whalepumpe	Klart vand.
P4/6-8 m	7	Whalepumpe	Klart vand.
Tidligere gravesø B	0-2	Whalepumpe	Klart vand.
Tidligere gravesø A	0-2	Whalepumpe	Klart vand.
Udledning af vaskevand	0,2	Direkte i dunk	Taget i deltakant. Sorteringsanlæg i drift dagen før prøvetagning. Klart vand.

Tabel 2-8: Prøvetagningskema, Samsø

Vandprøverne i det vertikale profil blev taget med en whale-pumpe med påmonteret vægt, så pumpen kunne holdes i den relevante prøvetagningsdybde, jævnfør figur 2-19. Vandet blev pumpet til en dunk, hvorfra det blev overført til prøvetagningsemballagen.

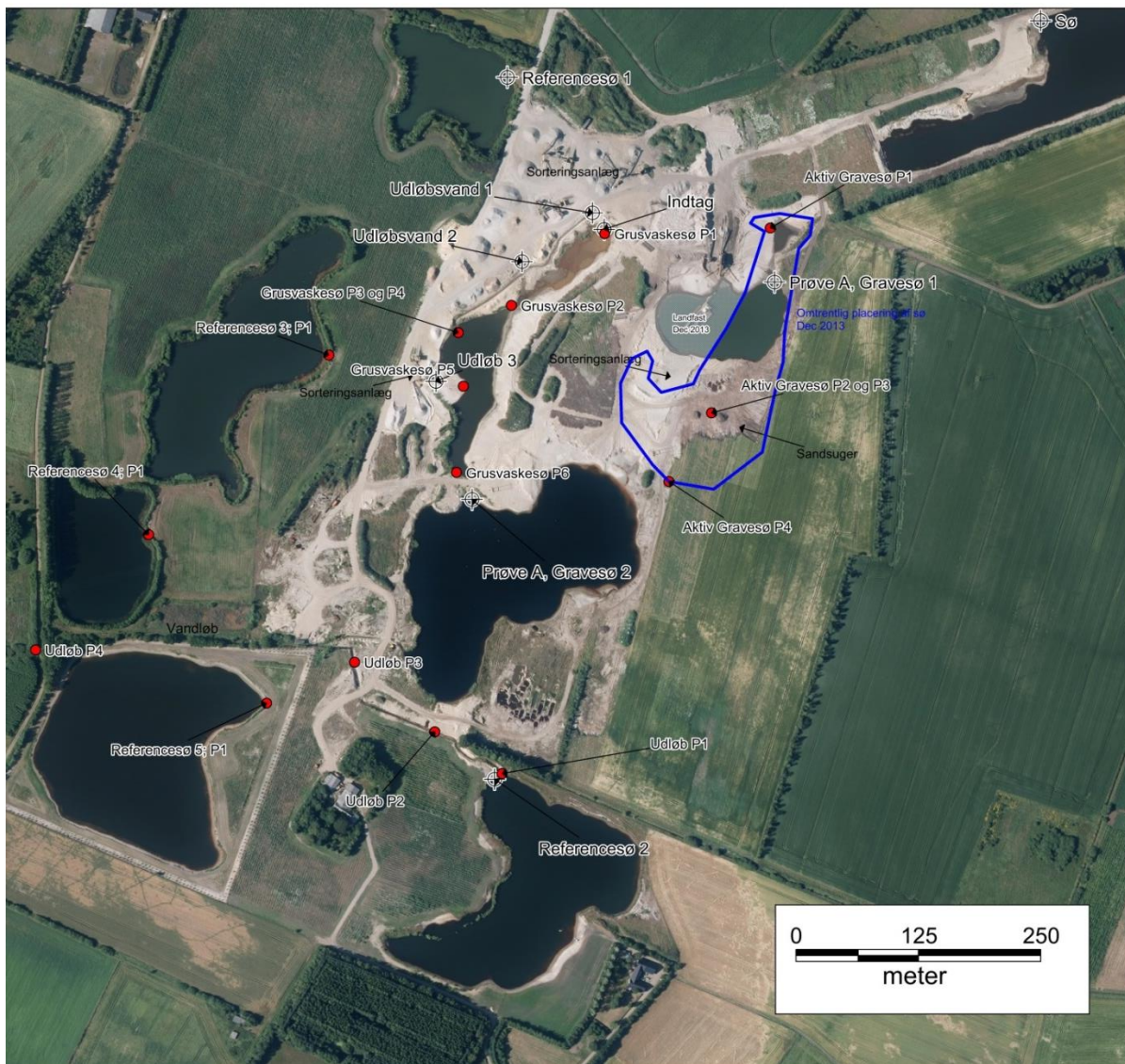
Trekanten	
Nuværende gravesø	Boringskontrol + total kulbrinter + BTEX'er
Tidligere gravesø B	Boringskontrol + total kulbrinter + BTEX'er
Tidligere gravesø A	Boringskontrol + total kulbrinter + BTEX'er
Udledning af vaskevand	Boringskontrol + total kulbrinter + BTEX'er
Vertikal prøve P1	Boringskontrol
Vertikal prøve P2	Boringskontrol
Vertikal prøve P3	Boringskontrol
Vertikal prøve P4	Boringskontrol

Tabel 2-9: Analyseoversigt, Trekanten på Samsø.

2.7 Tulstrup (Ikast)

I graveområdet ved Tulstrup nær Ikast indvindes der sand, grus og sten under grundvandsspejlet. Grundvandet ved grusgraven i Tulstrup ligger få meter under terræn, hvorfor der næsten udelukkende indvindes materialer under grundvandsspejlet.

Det samlede areal, der har været omfattet af grusgraven, er ca. 65 ha, se figur 2-22. Den vestlige del af arealet er efterbehandlet i en periode fra ca. 1998-2005. Den sydlige del af graveområdet er efterbehandlet i perioden 2008-2011. På prøvetagningstidspunktet var den østlige del stadig aktiv, mens den nordøstligste sø var ved at blive efterbehandlet.



Figur 2-22: Situationsplan for grusgraven ved Tulstrup

Det fremgår af luftfotos, at området ved den nordøstligste sø var landbrugsareal i 2008. I 2010 var der aktiv indvinding, og søen blev færdigbehandlet i 2013. Der er således tale om en relativt kort periode på mindre end 5 år fra området åbnes, til det er færdiggravet og efterbehandlet.

Grusgraven ligger i et ret fladt og højtliggende område, der er en del af en nordvest-sydøst-gående lavning med svagt fald imod nordvest. Der er et vestgående vandløb nord for de sydlige grusgravssøer samt et lidt større nordvestgående vandløb ca. 650 m sydsydvest for de sydlige søer. Det terrænnære grundvand vurderes på baggrund heraf at strømme i en vestlig eller vestnordvestlig retning.

Lokaliteten er udvalgt, da den ligger vest og syd for hovedopholdslinien og dermed har en anden geologisk oprindelse end de øvrige lokaliteter. Området er på baggrund af okkerkortlægningen 1981-1984 udlagt som okkerpotentielt, det vil sige som et område, hvor der er særlig stor risiko for, at tilgang af atmosfærisk luft til sedimenterne kan medføre væsentlig pyritoxidation samt deraf følgende forurening og udvaskning af okker samt nikkel og arsen.

2.7.1 Indvindingsmetode

Indvindingen sker med sandsuger, som suger vand og materiale op fra bunden, hvorfra det føres til et sorteringsanlæg, som frasorterer de grovere fraktioner til videre forarbejdning. Vand og finstof føres tilbage til indvindingssøen og indgår i efterbehandlingen. Den aktuelle indvindingsdybde er 12 m.

Ved efterbehandlingen genskabes terrænet over vandspejl med det finkornede restmateriale, hvor muldlaget lægges på. Andre dele af området bibeholdes som søer.



Figur 2-23: Foto til venstre: Indvindingsfartøj til venstre i billedet. Til højre ses sorteringsanlægget. Foto til højre: Sorteringsanlæg med udløb af vand og finkornet sediment (mørkfarvet vandet).

Efter den første sortering sker der videre forarbejdning af materialerne i sorteringsanlæggene vest for "grusvaskesøen", jævnfør situationsplanen på figur 2-22.

Det primære indtag til vaskevand er i søen umiddelbart øst for sorteringsanlæggene. Vanddybden i denne sø er meget lav - på prøvetagningstidspunktet kun omkring 20-40 cm ved indtaget, og bundsedimentet er tydeligt okkerfarvet jævnfør figur 2-24.



Figur 2-24: Foto til venstre: Indtag af vaskevand. Indtag til højre: Nærbillede af okkerfarvet bundsediment.



Figur 2-25: Foto til venstre: Udløb af vaskevand. "Udløbsvand 1". Foto til højre: "Udløbsvand 2" (dykket udløb). Udløbet fra dette sorteringsanlæg er umiddelbart under vandspejl.

Udløbsvandet løber i en kanal, som ca. 90 m længere nedstrøms modtager vand fra et af de andre sorteringsanlæg. Udløbet fra dette sorteringsanlæg er lokaliseret umiddelbart under vandspejlet i kanalen, jævnfør figur 2-25.

Kanalen med vaskevand løber ud i søen "grusvaskesø", som er en dyb sø, hvorfra det løber tilbage mod den meget lavvandede sø ved prøven "indtag".

150 m længere imod syd findes et sorteringsanlæg, der producerer faldsand. Indtag og udløb findes umiddelbart ud for sorteringsanlægget. Finkornet sediment fra udløbsvandet har dannet et delta imod grusgravssøen, jævnfør figur 2-26.



Figur 2-26: Foto til venstre: Prøvetagning ved udløbet fra sorteringsanlæg, der producerer faldsand (prøven "Udløb 3"). Foto til højre: Deltaudbygning fra udløbet af sorteringsanlægget. Indtaget til sorteringsanlægget ses i baggrunden.

Længere mod syd ligger "Gravesø 2", som er midlertidigt lukket for gravning. Foto af søen fremgår af figur 2-27. Det ses på nærbilledet til højre, at vandet er forholdsvis klart, dog med tydeligt indhold af finkornet sediment. På fotoet til højre ses stadiet, der er anvendt til prøvetagningen. De lyse striber over stadiet er små fisk.



Figur 2-27: Foto til venstre: "Gravesø 2". Foto til højre: Prøvetagning af prøven "Prøve A, Gravesø 2".

Referencesø 2 er den sydøstligst beliggende sø. Søen blev færdigefterbehandlet i perioden 2008-2010.

Referencesø 1 findes i grusgravens nordvestligste del og blev færdigefterbehandlet omkring 1998, hvilket gør den til grusgravens ældste sø. Vandet i søen var meget klart. Der var talrige haletudser og lignende omkring søen på prøvetagningstidspunktet. Fotos af referencesø 1 og referencesø 2 ses på figur 2-28.



Figur 2-28: Foto til venstre: Referencesø 2. Foto til højre: Referencesø 1.

I den nordøstligste del af grusgraven findes søen, blot benævnt "Sø". Foto fra søen ses på figur 2-29.



Figur 2-29: Prøvetagning ved søen "Sø". Stadiet ses til venstre i billedet.

2.7.2 Indvindingstilladelse

Den gældende indvindingstilladelse omfatter indvinding af råstoffer op til 50.000 m³ pr. år. Der må graves til en dybde af 22 m under terræn.

2.7.3 Undersøgelser

Vandprøverne blev udtaget den 11. juli 2013 og den 17. december 2013. Analyseoversigten fremgår af tabel 2-10.

Tulstrup (Ikast)	
Prøvenavn	Analyseparametre
Udløbsvand 1	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Udløbsvand 2	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Udløb 3	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Indtag	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Sø	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve A, Graves ø 1	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Prøve A, graves ø 2	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
References ø 1	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
References ø 2	Boringskontrol + totalkulbrinter + BTEX'er
Aktiv graves ø P1	Boringskontrol + aluminium
Aktiv graves ø P2	Boringskontrol + aluminium
Aktiv graves ø P3	Boringskontrol + aluminium
Aktiv graves ø P4	Boringskontrol + aluminium
Aktiv graves ø P1-P4	Pesticider + nedbrydningsprodukter
Grusvaskes ø P1	Boringskontrol + Aluminium
Grusvaskes ø P2	Boringskontrol + Aluminium
Grusvaskes ø P3	Boringskontrol + Aluminium
Grusvaskes ø P4	Boringskontrol + Aluminium
Grusvaskes ø P5	Boringskontrol + Aluminium
Grusvaskes ø P6	Boringskontrol + Aluminium
Grusvaskes ø P1-P6	Pesticider + nedbrydningsprodukter
References ø 3 P1	Boringskontrol + pesticider + nedbrydningsprodukter + aluminium
References ø 4 P1	Boringskontrol + pesticider + nedbrydningsprodukter + aluminium
References ø 5 P1	Boringskontrol + pesticider + nedbrydningsprodukter + aluminium
Udløb P1	Boringskontrol + pesticider + nedbrydningsprodukter + aluminium
Udløb P2	Boringskontrol + aluminium
Udløb P3	Boringskontrol + aluminium
Udløb P4	Boringskontrol + pesticider + nedbrydningsprodukter + aluminium

Tabel 2-10: Analyseoversigt Tulstrup (Ikast)

3 Teori

De vandkemiske undersøgelser er udført med henblik på at klarlægge omfanget af følgende potentielle problemer ved råstofindvinding under grundvandsspejlet:

- › Forurening på grund af oliespild fra maskineri (alle lokaliteter)
- › Opstigning af saltvand på grund af grundvandssænkning i forbindelse med indvindingen (Trekanten på Samsø)
- › Oxidation af pyrit på grund af råstofgravningen og den heraf følgende påvirkning af vandkvaliteten (alle lokaliteter)
- › Forurening med pesticider og nedbrydningsprodukter på grund af nedløb af overfladevand eller terrænnært grundvand til gravesøer (alle lokaliteter)

3.1 Oliespild

Forurening på grund af oliespild fra maskineri er undersøgt ved analyse for kulbrinter samt BTEXN (benzen, toluen, ethylbenzen, xylener og naftalen). Kulbrinter udgør grundsubstanten i alle olietyper, mens BTEXN findes i varierende koncentrationer i olieprodukter – mest i benzin og herefter gradvis mindre i tungere olietyper (diesel > fyringsolie > smøreolie). BTEXN er medtaget dels på grund af lavere detektionsgrænser end kulbrinter, og dels fordi naturligt forekommende kulbrinteforbindelser kan give interferens ved analyse for petrogene kulbrinter.

3.2 Saltvand

Påvirkning med havsalt identificeres primært ud fra hovedkomponenterne klorid og natrium. Desuden inddrages det molære forhold imellem natrium og klorid, den såkaldte ionbytningsgrad. Ved transport igennem jordlagene udbyttes natrium med primært calcium og magnesium, mens klorid bevæger sig stort set konservativt. Graden af ionbytning afhænger imidlertid af sedimenternes ionbytningskapacitet, som er ringe i sand og grus, men betydelig i ler og organiske aflejringer. I vand, som ikke er væsentligt påvirket af ionbytning, ligger ionbytningsgraden normalt omkring 0,9 – 1,0. En højere ionbytningsgrad indikerer opferskning af saltholdige aflejringer og vandtransport igennem lerede eller organiskholdige aflejringer, mens en lavere ionbytningsgrad indikerer tiltagende saltpåvirkning.

3.3 Pesticider

Ved detektion af pesticider og/eller nedbrydningsprodukter er det undersøgt, hvorvidt der er tale om godkendte eller ikke godkendte midler, samt i sidstnævnte tilfælde, hvornår det givne middel kom på forbudslisten. Forudsat at der ikke anvendes ulovlige pesticider, kan dette give en god indikation af, hvor gammel forureningen er, og dermed om der mest sandsynligt er tale om direkte udløb af pesticidforurenede overfladevand, eller en grundvandsbåren forurening.

3.4 Pyritoxidation

Jernsulfidmineralet pyrit (FeS_2) findes i alle reducerede (iltfri) aflejringer, og oxidation af pyrit er en stærkt syredannende proces, som er årsag til udvaskning af jern, der siden udfældes som okker ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Processen er nærmere beskrevet i /1/.

I kalkholdige aflejringer medfører pyritoxidation kalkopløsning. Hældningen af regressionskurven for sulfat og calcium giver en god indikation af, hvorvidt ilt eller nitrat er det fremherskende iltningsmiddel. Dette skyldes, at syredannelsen, og den heraf resulterende kalkopløsning, er vidt forskellig for de to processer og desuden er afhængig af, hvorvidt der er tale om et åbent system, hvilket indebærer mulighed for afgasning af CO_2 til atmosfæren, eller et lukket system.

Med molekylær ilt (O_2) som iltningsmiddel er reaktionerne:

Åbent system:



Her dannes sulfat og calcium altså i molforholdet 1:1.

Lukket system:



Her dannes sulfat og calcium altså i molforholdet 1:2.

Med opløst nitrat (NO_3^-) som iltningsmiddel er reaktionerne:

Åbent system:



Her dannes sulfat og calcium altså i molforholdet 4:1.

Lukket system:



Her dannes sulfat og calcium altså i molforholdet 2:1.

Pyritoxidation danner altid sulfat, og forhøjet sulfat er derfor den mest pålidelige vandkemiske indikation på processen. Hvis hældningen på ovennævnte regressionskurve er ≤ 1 , er ilt det sandsynlige oxidationsmiddel, og grundvandssænkning på grund af råstofgravning og/eller oplag af reducerede sedimentter over grundvandsspejlet er dermed den sandsynlige årsag. Er hældningen ≥ 2 , er nitrat, det vil sige primært landbrugets anvendelse af gødning, den sandsynlige årsag til pyritoxidationen, og ligger hældningen imellem 1 og 2, er begge oxidationsmidler involveret.

Pyrit indeholder flere spormetaller som urenheder, herunder primært nikkel og arsen. Arsen bindes i betydeligt omfang til okker, og af de to spormetaller udgør nikkel derfor ofte det største vandkvalitetsproblem.

Hvis der ikke er kalk i jordlagene til at neutralisere den syre, som dannes ved pyritoxidationen, forbruges der først alkalinitet (primært i form af hydrogencarbonat, HCO_3^-), og vandet bliver kalkaggressivt. Dette kan identificeres ud fra forvitringsgraden, som er ækvivalentforholdet imellem summen af calcium og magnesium og hydrogencarbonat. Hvis kalkopløsning skyldes kulsyre alene, ligger værdien omkring 1. Hvis grundvandskvaliteten er påvirket af syredannende processer, såsom pyritoxidation og nitrifikation, forbruges der hydrogencarbonat samtidig med at der kan frigives calcium og magnesium fra lerminerale. Hermed bliver forvitringsgraden større end 1. Derimod danner de anaerobe reduktionsprocesser nitratreduktion, jernreduktion og sulfatreduktion alkalinitet (hydrogencarbonat), hvorved forvitringsgraden bliver mindre end 1.

Fortsætter tilførslen af syre til vandet, falder pH, hvorved opløseligheden af spormetaller, herunder nikkel, stiger, som derved potentielt vil kunne findes i højere koncentration i vandet.

4 Resultater og vurderinger

Dette afsnit præsenterer resultater og vurderinger af analyserne for de enkelte råstofgrave. Vurderingerne er opdelt i forhold til de 4 overordnede problemstillinger: Oliespild, saltpåvirkning, pesticider og pyritoxidation, som gennemgås på baggrund af analyseresultaterne for hver lokalitet.

4.1 Store Rosenbusk, kemiske analyser

Analysereport er vedlagt i bilag A. Udvalgte analyseresultater er sammenfattet i tabel 4-1. For placering af prøvetagningssteder henvises der til figur 2-2.

St. Rosenbusk																
Prøvenr.		94193	94194	94195	94199	94196	94197	94198	94200	93670	93671	93672	93676	47820	47821	
Prøvemrk.		AM1	AM2	AM3	AMP	AV1	AV2	AV3	AVP	AØ1	AØ2	AØ3	AØP	B4-1	B4-2	
pH	pH	8,1	8,1	8,1	i.a.	8,1	8	8,1	i.a.	8,1	8,1	8,2		6,8	6,8	
Nitrat, NO3-	mg/l	0,108	0,040	0,030	i.a.	0,046	<0,030	0,062	i.a.	0,042	0,043	0,054		0,064	0,046	
Jern, Fe	mg/l	0,10	0,05	0,12	i.a.	0,11	0,08	0,11	i.a.	0,05	0,04	0,05		50	26	
Jern, Fe, opløst	mg/l	<0,01	<0,01	0,02	i.a.	0,01	0,01	0,02	i.a.	0,04	0,04	0,04		20	26	
Hydrogencarbonat, HCO3-	mg/l	214	218	218	i.a.	230	231	224	i.a.	403	424	409		654	783	
Sulfat, SO4--	mg/l	62	63	63	i.a.	10	6	6	i.a.	48	41	42		47	63	
Chlorid, Cl-	mg/l	41	42	41	i.a.	32	31	31	i.a.	74	78	78		200	210	
Arsen, As, filt F	µg/l	1,3	1,4	1,3	i.a.	0,76	0,83	0,78	i.a.	1,3	1,3	1,4		2,1	2,5	
Benzen	µg/l	<0,10	0,84	0,56	i.a.	0,56	0,69	0,17	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10				
Toluen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10				
Ethylbenzen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10				
Xylener	µg/l	<0,10	<0,10	0,15	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	<0,10	<0,10	0,19				
Totalkulbrinter	µg/l	<5,0	<5,0	<5,0	i.a.	<5,0	<5,0	<5,0	i.a.	<5,0	<5,0	<5,0				
Mechlorprop(MCPP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	0,063	0,07	0,067	
MCPA	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Dichlorprop(2,4-DP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
2,4-D	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Simazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Dichlobenil	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
4-Chlorprop (4-CP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
2,6-Dichlorprop (2,6-DOPP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Desisopropylatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Desethylatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Hydroxyatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	0,01	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	0,017	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	0,17	0,046	0,044	
Bentazon	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Hexazinon	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
ETU (Ethylthiourea)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Aminomethylphosphorsyre, AMPA	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Desethylbutylazrin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Glyphosat	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	0,016	<0,010	<0,010	
Hydroxysimazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Desethylidesisopropylatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Desethyl-hydroxy-atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Didealkyl-hydroxy-atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	0,062	0,5	
2,6-dichlorbenzoesyre	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
2,4-dichlorphenol	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
2,6-dichlorphenol	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
4-nitrophenol	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	
Metribuzin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010			
Metribuzin-desamino-deketo	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010			
Metribuzin-deketo	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010			
Metribuzin-desamino	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010			
Diuron	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010			

Tabel 4-1: Udvalgte analyseresultater, Store Rosenbusk.

4.1.1 Oliespild

Der er ikke konstateret indhold af kulbrinter over detektionsgrænsen (5 µg/l) i vandprøverne. Der er konstateret indhold af BTEXN i referencesø vest (prøverne AV1, AV2 og AV3) i intervallet 0,17- 0,69 µg/l og i gravesøen (prøverne AM1, AM2 og AM3) fra under detektionsgrænsen til 0,84 µg/l. I referencesø øst (AØ1, AØ2 og AØ3) foreligger der kun en enkelt detektion af xylener (0,19 µg/l).

Indholdene er lave og væsentligt under de ferske recipientkrav /3/ (10 µg/l benzen, 74 µg/l toluen, 20 µg/l ethylbenzen, 10 µg/l xylener og 2,4 µg/l naftalen). Højeste koncentration (0,84 µg/l benzen) træffes i prøve AM2.

Det laveste indhold af BTEXN er konstateret i den østre referencesø, hvilket indikerer, at kilden til BTEXN i søerne ikke er påvirkning fra den V2-kortlagte losseplads (lokalitet: 210-00164), som ligger delvis opstrøms for gravesøen.

De konstaterede indhold af BTEXN i gravesøen og vestre referencesø ligger på samme niveau. På baggrund heraf vurderes der ikke at være påvirkning af BTEXN eller kulbrinter i de undersøgte søer, som kan relateres til råstofindvindingen.

Indholdet af BTEXN i de to sidstnævnte søer kan eventuelt skyldes tilløb af vejvand fra hovedvejen.

4.1.2 Saltpåvirkning

Saltpåvirkning er ikke undersøgt specifikt på lokaliteten. Kloridindholdet er højest i referencesø øst (74-78 mg/l), mens det ligger på omtrent samme niveau i gravesøen (41-42 mg/l) og referencesø vest (31-32 mg/l).

Det forhøjede kloridindhold i referencesø øst vurderes at være relateret til en perkolatpåvirkning fra to nærliggende fyldpladser, herunder 201-00164, idet der ligeledes er forhøjet indhold af typiske perkolatindikatorer som ammonium, fosfor, mangan, kalium, magnesium, barium og bor. Årsagen til det lidt højere indhold i gravesøen end i referencesø vest er formentlig, at gravesøen af disse to ligger tættest på fyldpladserne.

Der vurderes således ikke at være opstigning af saltvand som følge af råstofindvindingen på lokaliteten.

4.1.3 Pesticider

Der er detekteret pesticider og/eller nedbrydningsprodukter i alle de undersøgte søer. Langt det højeste indhold (sum af 3 stoffer 0,249 µg/l) er imidlertid fundet i referencesø øst, mens der i referencesø vest og gravesøen kun er enkelt-detektioner (henholdsvis 0,01 µg/l hydroxyatrazin og 0,017 µg/l BAM). Godkendte midler er kun fundet i referencesø øst (0,016 µg/l glyphosat).

Det anses for mest sandsynligt, at de nærliggende fyldpladser udgør den primære årsag til det relativt høje indhold af pesticider i referencesø øst. I gravesøen og referencesø vest er der kun fundet ikke godkendte midler (det vil sige midler som er udgået af anvendelse) i meget lave koncentrationer. Moderstofferne til hydroxyatrazin (atrazin) og BAM (dichlobenil) blev forbudt i henholdsvis 1994 og 1997, og midlerne har derfor ikke været (lovligt) anvendt i de seneste 15-20 år. Derfor er påvirkningerne af vestre referencesø og gravesøen med stor sandsynlighed grundvandsbårne. På baggrund heraf er der ingen indikationer på tilløb af pesticidholdigt overfladevand til hverken gravesøen eller vestre referencesø. Det bemærkes, at der er fundet BAM i grundvandet i en undersøgelsesboring (B4) opstrøms for gravesø-

en (afsnit 4.1.5), hvilket yderligere støtter antagelsen om en grundvandsbåren påvirkning.

I /3/ findes der kun ferske recipientkrav for enkelte pesticider, og der er ingen overskridelser af disse. Derimod overskrides drikkevandskravet (0,1 µg/l) for BAM i østre referencesø (0,17 µg/l).

4.1.4 Pyritoxidation

Der er konstateret indhold af sulfat i gravesøen på 62-63 mg/l, i referencesø øst er der 41-48 mg/l, og i referencesø vest blot 6-10 mg/l.

Overfladenært grundvand har typisk et indhold af sulfat på 50-100 mg/l.

Prøven fra referencesø øst vurderes at være perkolatpåvirket og kan derfor ikke indgå i analysen af sulfat versus calcium (jævnfør afsnit 3.4). Den lineære regressionskurve for de øvrige datapunkter har en hældningskoefficient på 1,29 ($R^2=0,98$), hvilket indikerer, at ilt er det primære oxidationsmiddel, men at nitrat også i mindre omfang er medvirkende. Det målte nitratindhold er meget lavt i alle søer (max. 0,11 mg/l), hvilket stemmer overens med, at vandet er nitratreduceret.

Forvittringsgraden ligger fra 1,00 – 1,12 i referencesøerne og 1,40-1,47 i gravesøen. Forvittringsgraden indikerer altså også, at pyritoxidation i begrænset omfang påvirker vandkvaliteten i gravesøen.

Der findes stort set ikke opløst jern (ferrojern) i søerne, hvorfor pyritoxidationen foregår fuldstændigt. Okkerindholdet i søerne er ligeledes meget lavt, idet total-jern minus ferrojern er maksimalt 0,1 mg Fe/l, svarende til 0,19 mg/l okker.

Indhold af nikkel ligger på 1,3-3,6 µg/l i gravesøen (gennemsnit 2,1 µg/l), mens indholdene i referencesø vest er 0,32-0,68 µg/l og i referencesø øst er 2,1 µg/l i alle tre prøver. Den højeste nikkelkoncentration i gravesøen er fundet i prøve 3, som er udtaget i søens østlige ende, og set i forhold til det relativt høje indhold i referencesø øst vurderes det, at fyldpladserne er en vigtigere kilde til søernes nikkelindhold end pyritoxidation på grund af råstofindvindingen i gravesøen.

Arsenindholdene ligger på præcis samme niveau i gravesøen og referencesø øst (1,3-1,4 µg/l), mens indholdet i referencesø vest er noget lavere (0,76-0,83 µg/l). Også her vurderes udsivning fra fyldpladserne at være en vigtigere kilde end pyritoxidation.

Det ferske recipientkvalitetskrav for nikkel på 3 µg/l overskrides i én vandprøve fra gravesøen, men gennemsnitskoncentrationen overholder kravværdien. Således medfører pyritoxidationen i gravesøen ingen overskridelser af ferske recipientkrav, og sulfatkoncentrationerne ligger langt under drikkevandskravet på 250 mg/l.

Sammenfattende medfører råstofgravningen pyritoxidation i et meget begrænset omfang, svarende til en maksimal koncentrationsstigning for sulfat på ca. 50 mg/l.

Dette medfører ikke overskridelser af recipientkvalitetskrav eller drikkevandskrav og indikerer, at indholdet af reaktivt pyrit i det indvundne sediment er meget lavt.

4.1.5 Undersøgelingsboring B4

I undersøgelsesboring B4 er der i begge indtag fundet mechlorprop, BAM og didealkylhydroxyatrazin. Mechlorprop er fortsat tilladt til bekæmpelse af mælkebøtter i græsplæner, men anvendelsen i landbruget blev stærkt begrænset i 1997, og siden 2001 er midlet ikke solgt til landbrugsmæssig anvendelse i Danmark. Moderstoffet til BAM (dichlobenil) blev som nævnt ovenfor forbudt i 1997. På denne baggrund må den påviste grundvandspåvirkning skyldes pesticidanvendelse, som ligger mindst 17 år tilbage i tiden. Boringen ligger opstrøms for gravesøen, hvor der imidlertid kun er fundet BAM i en lavere koncentration.

Didealkylhydroxyatrazin kaldes også ammelin. Stoffet er et muligt nedbrydningsprodukt af ukrudtsmidlerne atrazin, simazin, cyanazin og terbuthylazin, de såkaldte triaziner. Det er imidlertid højst usædvanligt at finde didealkylhydroxyatrazin i relativt høje koncentrationer i grundvandet, uden samtidig detektion af beslægtede moderstoffer eller nedbrydningsprodukter. Ammelin stammer dog ikke nødvendigvis fra pesticidanvendelse, idet stoffet også kan dannes ved hydrolyse af melamin. Melamin anvendes bl.a. som tilsætningsstof i kunstgødning, i fremstilling af polymerer/plast, farvestoffer/maling, papir og flammehæmmere. Det kan ikke udelukkes, at indholdet af ammelin i grundvandet relaterer sig til en ukendt forureningskilde og ikke til pesticidanvendelse.

Grundvandets indhold af sulfat ligger på niveau med gravesøen i øverste indtag (63 mg/l) og på niveau med østre referencesø i nederste indtag (47 mg/l). Dette kunne indikere, at sulfatniveauerne i søerne er bestemt af grundvandets indhold, og dermed ikke påvirkes af råstofgravningen. Imidlertid indeholder grundvandet i begge boringsindtag store mængder NVOC (ikke flygtigt organisk kulstof), mere specifikt 54-58 mg/l, hvor der til sammenligning er fundet imellem 2,8 og 6,9 mg/l i de analyserede søer. Det høje indhold af opløst organisk stof medfører en betydelig påvirkning fra organiske nedbrydningsprocesser, hvilket særligt fremgår af høje indhold af hydrogencarbonat og desuden reducerede forhold i det ellers ret terrænnære grundvand. Det store omfang af organiske nedbrydningsprocesser resulterer bl.a. i høje koncentrationer af ammonium (ca. 3 mg/l) og opløst jern (20-26 mg/l). Der foregår altså jernreduktion i udpræget omfang i grundvandet, og dermed er der ligeledes mulighed for, at sulfatreduktion påvirker de målte koncentrationer af sulfat.

Grundvandet har desuden væsentligt forhøjede indhold af klorid og calcium, samt, især i øverste indtag, fosfor og nikkel. Dette indikerer, at grundvandet i de to boringsindtag også er udsat for påvirkning med uorganiske stoffer.

Kilden til den omtalte grundvandspåvirkning kan ikke identificeres med sikkerhed, men der er mest sandsynligt tale om en lokal påvirkning, hvilket medfører, at den kemiske sammensætning ikke kan bruges som referencegrundvandskvalitet for området. Det kan dog under alle omstændigheder konkluderes, at grundvandet på borelokaliteten er kraftigere påvirket af pesticider end vandet i gravesøen og vestre referencesø. Østre referencesø er påvirket af mechlorprop i omtrent samme omfang

som grundvandet i boringen, mens der i søen er fundet højere koncentrationer af BAM og glyphosat. Fundene af didealkylhydroxyatrazin/ammelin i boringerne er ikke inddraget i vurderingen, eftersom det er usikkert, om kilden hertil er pesticid-anvendelse.

tale om havsalt og ser dermed ud til at skyldes ren NaCl. Den sandsynlige kilde vurderes derfor at være vejsaltpåvirkning fra den nærliggende hovedvej.

Sammenfattende vurderes der ikke at være opstigning af saltvand som følge af råstofindvindingen på lokaliteten.

4.2.3 Pesticider

Der er ikke detekteret pesticider og/eller nedbrydningsprodukter i de to gravesøer eller referencesøen. Derimod er der fundet 0,029 µg/l af det godkendte middel glyphosat i vandprøven fra mosen. Denne detektion kan ikke være et resultat af tilførsel af vand fra gravesøerne og må derfor skyldes lokal anvendelse af glyphosat i oplandet til mosen.

Eftersom der ikke detekteres pesticider i vandet, vurderes der ikke at være tilløb af pesticidholdigt overfladevand til gravesøerne.

4.2.4 Pyritoxidation

Sulfatindholdet er forhøjet i alle de søer, som er påvirket af råstofgravning. Koncentrationerne ligger på samme niveau i den østlige gravesø (140-160 mg/l) og i mosen (150 mg/l i alle tre prøver), men er lidt lavere i den vestlige gravesø (93-110 mg/l). Referencesøen har et meget lavt sulfatindhold på blot 6 mg/l.

Den lineære regressionskurve for sulfat versus calcium har en hældningskoefficient på 0,58 ($R^2=0,98$), hvilket indikerer, at ilt er det altdominerende oxidationsmiddel. Det målte nitratindhold er lavt i alle søer (max. 1,01 mg/l), herunder i referencesøen (0,43 - 0,93 mg/l), hvilket indikerer en meget lav nitratudvaskning fra de omkringliggende landbrugsarealer, og dermed kan nitrat heller ikke være et vigtigt iltningmiddel for pyrit.

Forvittringsgraden ligger fra 1,23-1,46 i den vestlige gravesø, 1,50-1,82 i den østlige gravesø, 1,53-1,63 i mosen og 1,08-1,12 i referencesøen. Forvittringsgraden indikerer altså også, at der foregår kalkopløsning i varierende omfang som følge af pyritoxidation i både gravesøer og mose.

Der findes stort set ikke opløst jern (ferrojern) i referencesøen (max. 0,01 mg/l). Indholdene i gravesøerne er kun lidt højere (0,02-0,16 mg/l), hvorfor pyritoxidationen foregår næsten fuldstændigt. Derimod ligger indholdet i mosen på et højere niveau (0,45-0,57 mg/l). Okkerindholdet (udtrykt som total-jern minus ferrojern) er væsentligt højere i gravesøerne (0,39-1,0 mg Fe/l i den vestlige gravesø og 0,7-3,6 mg Fe /l i den østlige gravesø) end i mosen (0,74-0,92 mg Fe/l). Dette betyder, at iltningsforholdene er væsentligt bedre i gravesøerne end i mosen, og det betyder ligeledes, at indholdet af ferrojern i mosen må skyldes pyritoxidation på selve lokaliteten og ikke har noget at gøre med udpumpning af vand fra gravesøerne. Der findes stort set ikke okker i vandet fra referencesøen (max. 0,04 mg/l).

Indhold af nikkel ligger på 2,1-3,1 µg/l i den østlige gravesø (gennemsnit 2,7 µg/l), mens indholdene i den vestlige gravesø er 1,5-2,5 µg/l og i mosen 1,0-1,2 µg/l. Så-

ledes er nikkelkoncentrationerne højest i gravesøerne, men eftersom vandkvaliteten i mosen også er påvirket af pyritoxidation, kan man ikke tilskrive nikkelindholdet her indpumpning af vand fra gravesøerne. I referencesøen er nikkelindholdet beskudne 0,14-0,20 µg/l. Det vurderes på den baggrund, at de højere nikkelindhold i såvel gravesøer som mose kan tilskrives pyritoxidation.

Arsenindholdene ligger på samme niveau i den østlige gravesø og mosen (1,2-1,5 µg/l), mens indholdet i den vestlige gravesø er lidt lavere (0,73-1,1 µg/l). Der er en god korrelation imellem sulfatindhold og arsenindhold, hvorfor den primære kilde til søernes arsenindhold vurderes at være pyritoxidation. Dette underbygges af et lavere arsenindhold i referencesøen (0,57-0,62 µg/l).

Det ferske recipientkvalitetskrav for nikkel på 3 µg/l overskrides i én vandprøve fra den østlige gravesø, men gennemsnitskoncentrationen overholder kravværdien. Således medfører pyritoxidationen i gravesøer og mose ingen overskridelser af ferske recipientkrav, og sulfatkoncentrationerne ligger væsentligt under drikkevandskravet på 250 mg/l.

Sammenfattende vurderes råstofgravningen at medføre pyritoxidation svarende til en maksimal koncentrationsstigning for sulfat på ca. 150 mg/l. Pyritoxidationen medfører ikke overskridelser af recipientkvalitetskrav eller drikkevandskrav. En vis andel af pyritoxidationen i mosen kan ikke skyldes tilledning af vand fra gravesøerne, men skyldes formentlig moseaflejrings generelt høje pyritindhold.

4.3 Tulstrup (Alsønderup)

Analysereporter er vedlagt i bilag a. Udvalgte analyseresultater er sammenfattet i tabel 4-3. For placering af prøvetagningssteder, se situationsplanen for Tulstrup, Alsønderup, figur 2-7.

Tulstrup (Alsønderup)																						
Prøvenr.		88255	88256	88257	88258	88259	88260	88261	88262	88263	88264	23227	23228	23229	23230	23231	23232	23233	23234			
Prøvemrk.		HIN1	HIN2	HIN3	HIV1	HIS1	HIS2	HIS3	HISP	HIVP	HINP	Referencese 1; P1	Referencese 1; P2	Referencese 1; P3	Reference sø 1; P1+P2+P3	Referencese 2; P1	Referencese 2; P2	Referencese 2; P3	Reference sø 2; P1+P2+P3			
Ledningssevne	mSm	63	64	63	103	49	49	50				74	73	73		64	64	64				
pH	pH	8,2	8,1	8,2	7,6	8,2	8,1	8,3				7,8	7,8	7,9		7,8	7,7	7,8				
Nitrat, NO3-	mg/l	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	0,056	<0.030				0,130	0,065	0,054		<0.030	<0.030	0,031				
Jern, Fe	mg/l	0,08	0,16	0,25	0,23	0,12	0,12	0,14				0,44	0,37	0,34		0,51	0,56	0,52				
Jern, Fe, opløst	mg/l	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04				0,05	0,09	0,08		0,29	0,27	0,31				
Hydrogencarbonat, HCO3-	mg/l	63	63	63	108	104	103	103				229	228	227		138	136	133				
Sulfat, SO4--	mg/l	230	240	230	320	130	130	130				180	170	170		170	180	180				
Chlorid, Cl-	mg/l	29	30	30	91	23	23	23				30	31	32		37	38	37				
Arsen, As, frit F	µg/l	1,0	1,1	1,1	2,2	1,0	1,0	0,97				0,69	0,84	0,87		0,48	0,47	0,46				
Benzen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10														
Toluen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10														
Etylbenzen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10														
Xylener	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10														
Totalkulbrinter	µg/l	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0														
Mechlorprop(MCPP)	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
MCPA	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Dichlorprop(2,4-DP)	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
2,4-D	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Simazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Atrazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Dichlobenil	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
4-Chlorprop (4-CP)	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
2,6-Dichlorprop (2,6-DCPP)	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Desisopropylatrazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Desethylatrazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Hydroxyatrazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	µg/l								<0,010	0,044	<0,010				<0,010				<0,010			
Bentazon	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Hexazinon	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
ETU (Ethylenthiourea)	µg/l								0,019	0,039	<0,010				<0,010				<0,010			
Aminomethylphosphorsyre, AMPA	µg/l								<0,010	0,039	<0,010				<0,010				<0,010			
Desethylterbutylazin	µg/l								<0,010	<0,010	0,011				<0,010				<0,010			
Glyphosat	µg/l								<0,010	0,016	<0,010				<0,010				<0,010			
Hydroxysimazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Desethyl-desisopropylatrazin	µg/l								<0,010	0,016	<0,010				<0,010				<0,010			
Desethyl-hydroxy-atrazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
Dialkyl-hydroxy-atrazin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
2,6-dichlorbenzoesyre	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
2,4-dichlorphenol	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
2,6-dichlorphenol	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010				<0,010				<0,010			
4-nitrophenol	µg/l								0,024	0,024	0,020				<0,010				<0,010			
Metribuzin	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010											
Metribuzin-desamino-deketo	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010											
Metribuzin-deketo	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010											
Metribuzin-desamino	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010											
Duron	µg/l								<0,010	<0,010	<0,010											

Tabel 4-3: Udvalgte analyseresultater, Tulstrup (Alsønderup). Prøverne HISP og HINP er blandeprøver af henholdsvis HIS1, -2, -3 og HIN1, -2 og -3. HIVP er udtaget samme sted som HIV1.

4.3.1 Oliespild

Alle vandprøver er analyseret for kulbrinter og BTEXN, og alle analyseresultater er under detektionsgrænsen. Det vurderes derfor ikke, at råstofindvindingen påvirker grundvandet med kulbrinter eller BTEXN.

4.3.2 Saltpåvirkning

Saltpåvirkning er ikke undersøgt specifikt på lokaliteten. Kloridindholdet er højest i den meget lille sø ved udledningen (Hiv1: 91 mg/l), mens det ligger på stort set samme niveau i vestre gravesø (His1, His2 og His3: 23 mg/l i alle prøver), østre gravesø (Hin1, Hin2 og Hin 3: 29-30 mg/l) og de to referencesøer (referencesø 1: 30-32 mg/l og referencesø 2: 37-38 mg/l).

Det er ikke kun indholdet af klorid, men stort set alle salte, som er forhøjet i den lille udledningssø (Hiv 1). Dette vurderes at skyldes en opkoncentrering på ca. en faktor 3 på grund af fordampning, som på prøvetidspunktet i sommeren 2013 havde medført, at søen blev beskrevet som en ”vandpyt”, hvilket også var årsagen til, at der kun blev udtaget én vandprøve. I forhold til at beskrive påvirkning af vandkvaliteten som følge af råstofindvinding skal analyseresultaterne fra denne sø derfor tolkes med store forbehold.

Grundet den meget lille forskel på kloridindhold i gravesøer og referencesøer vurderes der ikke at være opstigning af saltvand som følge af råstofindvindingen på lokaliteten.

4.3.3 Pesticider

Der er detekteret pesticider og/eller nedbrydningsprodukter i begge gravesøer samt i den lille udledningssø. Langt det højeste indhold (sum af 6 stoffer 0,178 µg/l) er imidlertid fundet i udledningssøen, hvor koncentrationerne, jævnfør afsnit 4.3.2, er påvirkede af koncentration på grund af fordampning. I østre gravesø er der fundet 0,011 µg/l desethylterbuthylazin og 0,020 µg/l 4-nitrophenol, mens der i vestre gravesø er fundet 0,019 µg/l ethylthiourea (ETU) og 0,024 µg/l 4-nitrophenol. Der er ikke fundet pesticider i de to referencesøer.

Godkendte midler er kun fundet i udledningssøen (Hiv) (0,016 µg/l glyphosat og 0,039 µg/l af glyphosat-nedbrydningsproduktet AMPA). Alle stoffer fundet i gravesøerne er nedbrydningsprodukter af ikke godkendte midler (det vil sige midler, som det ikke længere er tilladt at anvende). Desethylterbuthylazin er et nedbrydningsprodukt af ukrudtsmidlet terbuthylazin, som blev forbudt i 2009, 4-nitrophenol er et nedbrydningsprodukt af insektmidlerne parathion og methylparathion (udgået i henholdsvis 1990 og 1980), og ETU er et nedbrydningsprodukt af insektmidlerne maneb og mancozeb (på forbudslisten i henholdsvis 2011 og 2013). Påvirkningerne med 4-nitrophenol og desethylterbuthylazin må derfor være grundvandsbåren. ETU kan principielt være tilført ved nedløb af overfladevand. Der er imidlertid en 30-50 m bred udyrket zone/jordvold langs grusgravens vestside, hvor for det vurderes som mest sandsynligt, at ETU også er grundvandsbåret.

På baggrund heraf vurderes der ikke at være tilløb af pesticidholdigt overfladevand til råstofsøerne.

I 3/ findes der kun ferske recipientkrav for enkelte pesticider, og der er ingen overskridelser af disse. Der er heller ingen overskridelser af drikkevandskravet (0,1 µg/l).

4.3.4 Pyritoxidation

Sulfatindholdet er forhøjet i alle søer. Koncentrationerne ligger på 130 mg/l (alle tre prøver) i vestre gravesø, 230-240 mg/l i østre gravesø og 320 mg/l i udledningssøen, mens indholdene i de to referencesøer er meget ens (170-180 mg/l). Som tidligere beskrevet kan det høje sulfatniveau i udledningssøen på grund af opkoncentrering ved fordampning ikke tolkes som et resultat af pyritoxidation.

De forhøjede sulfatkoncentrationer i både gravesøer og referencesøer peger i retning af, at det øvre grundvand på lokaliteten er generelt påvirket af pyritoxidation. Kun i østre gravesø er der en mulig påvirkning, svarende til en maksimal koncentrationstigning på 50-70 mg/l sulfat.

Betragter man den lineære regressionskurve for sulfat versus calcium for gravesøer og udledningssø har linjen en hældningskoefficient på 1,32 ($R^2=0,96$), hvilket indikerer, at ilt er det primære oxidationsmiddel, men at nitrat også i mindre omfang er medvirkende. For referencesøerne kan der derimod ikke påvises nogen lineær sammenhæng imellem sulfat og calcium. Dette tyder på, at vandet i referencesøerne i væsentligt omfang er påvirket af en anden syredannende proces, mest sandsynligt nitrifikation forårsaget af gødningsanvendelse på de omkringliggende landbrugsarealer.

Forvittringsgraden ligger fra 2,46-2,49 i vestre gravesø, 5,52-5,56 i østre gravesø og 4,49 i udledningssøen. I referencesøerne er værdierne henholdsvis 1,89-1,93 (referencesø 1) og 2,60-2,86 (referencesø 2). Forvittringsgraden indikerer altså også, at pyritoxidation i varierende omfang påvirker vandkvaliteten i alle de analyserede søer, men med den væsentligste påvirkning i østre gravesø.

Koncentrationer af opløst jern (ferrojern) er meget lave i gravesøerne (0,02-0,04 mg/l), hvorfor pyritoxidationen foregår fuldstændigt. I referencesø 1 er indholdet af ferrojern marginalt højere, mens indholdet i referencesø 2 ligger på et højere niveau (0,27-0,31 mg/l). Samlet tyder dette på bedre iltforhold i gravesøerne end i referencesøerne. Også okkerindholdet i gravesøerne er lavt, idet total-jern minus ferrojern er maksimalt 0,22 mg Fe/l, svarende til 0,42 mg/l okker. Okkerindholdet er ligesom ferrojernindholdet større i referencesøerne, dog maksimalt 0,29 mg Fe/l, svarende til 0,55 mg/l okker.

Indhold af nikkel er generelt lave med de højeste indhold i østre gravesø (1,0-1,2 µg/l) og referencesø 1 (1,3-1,6 µg/l). Koncentrationerne er lidt lavere i både vestre gravesø (0,47-0,69 µg/l) og referencesø 2 (0,76-0,88 µg/l). Pyritoxidation er sandsynligvis den primære kilde til nikkellindholdene, men der er ingen direkte sammenhæng imellem indhold af sulfat og nikkel i søerne.

Arsenindholdene ligger på samme lave niveau i begge gravesøer (0,97-1,1 µg/l), og indholdene korrelerer ikke med sulfatindholdet. I referencesøerne er indholdene endnu lavere; henholdsvis 0,69-0,87 µg/l (referencesø 1) og 0,46-0,48 µg/l (referencesø 2). Udfældning af jernoxider kan binde betydelige mængder arsen og være den primære årsag til de lavere arsenindhold i referencesøerne – specielt i referencesø 2.

Der er ingen overskridelser af ferske recipientkvalitetskrav, og sulfat overskrider kun drikkevandskravet på 250 mg/l i udledningssøen, hvor koncentrationen vurderes at være væsentligt koncentreret på grund af fordampning. Det skal dog bemærkes, at de konstaterede sulfatkoncentrationer i østre gravesø ligger tæt på drikkevandskravet.

Sammenfattende kan der spores en påvirkning i grundvandet fra pyritoxidation i hele området. I østre gravesø er der en mulig ekstra påvirkning svarende til en

maksimal koncentrationsstigning på 50-70 mg/l sulfat. Påvirkningen medfører ikke overskridelser af recipientkvalitetskrav eller drikkevandskrav og vurderes ikke at udgøre en risiko for recipienter eller lignende.

4.4 Kongensbro

Analysereportorer er vedlagt i Bilag A. Udvalgte analyseresultater er sammenfattet i tabel 4-4. For placering af prøvetagningssteder, se situationsplanen for Kongensbro, figur 2-8.

Kongensbro											
Prøvenr.		66281	66282	66283	66284	66285	66286	66287	66288	66289	66290
Prøvemrk		Sedimentationsbassin	Udløb af vaskevand	Grusvaskesø	Prøve A, Gravesø 1	Prøve B, Gravesø 1	Prøve C, Gravesø 1	Prøve A, Gravesø 2	Prøve B, Gravesø 2	Prøve C, Gravesø 2	Reference sø
Top Prøve	m u.t.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bund Prøve	m u.t.	0,5	0,5	1,0	1,15	1,15	1,20	4	3	2	2,5
pH	pH	7,8	7,5	7,8	9,3	9,5	9,6	8,1	7,8	8,3	7,8
Nitrat, NO3-	mg/l	<0,030	0,048	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Jern, Fe	mg/l	1,4	5,4	0,49	0,08	0,06	0,08	0,06	0,07	0,18	0,22
Jern, Fe, opløst	mg/l	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
Hydrogencarbonat, HCO3-	mg/l	66	60	61	46	46	46	51	50	51	45
Sulfat, SO4--	mg/l	39	40	36	26	26	25	21	21	21	40
Chlorid, Cl-	mg/l	49	51	47	32	31	32	35	35	35	29
Arsen, As, filt F	µg/l	1,2	0,91	0,88	2,5	2,4	2,5	0,96	1,0	1,0	0,53
Benzen	µg/l	0,89	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,92	0,49	0,39	0,32	<0,10
Toluen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Ethylbenzen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Xylener	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Totalkulbrinter	µg/l	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0

Tabel 4-4: Udvalgte analyseresultater, Kongensbro. Bemærk, at pH-værdier i tabellen er målt af analyselaboratoriet og efterfølgende er omgjort ved feltmålinger jf. afsnit 4.4.5.

4.4.1 Oliespild

Alle vandprøver er analyseret for kulbrinter og BTEXN. Kulbrinter ligger under detektionsgrænsen (5 µg/l). Der er konstateret lave koncentrationer af benzen i 1 ud af 3 prøver i gravesø 1 (0,92 µg/l), 3 ud af 3 prøver i gravesø 2 (0,32-0,49 µg/l) og 1 ud af 1 prøve i sedimentationsbassinet (0,89 µg/l).

Der er kun konstateret benzen i gravesøerne samt i sedimentationsbassinet, som modtager vand direkte fra gravesøerne. Der er ikke konstateret andre BTEXN-forbindelser end benzen i vandprøverne og heller ikke indhold af kulbrinter, hvorfor olietypen ikke kan bestemmes. Det er dermed vanskeligt at finde kilden til benzenpåvirkningen.

Der kan være tale om en påvirkning fra gravningen, eventuelt som følge af spild af olieprodukter eller lignende. Dog ville en påvirkning med direkte spild af oliestoffer i gravesøerne forventes at medføre flere oliekomponenter end benzen i vandfasen. Alternativt kan kilden være mellem råstofgraven og referencesøen (som ikke indeholder benzen), f.eks. asfaltværket, som ligger opstrøms for gravesø 2 og nedstrøms for referencesøen. Benzen er en meget opløselig og mobil oliekomponent, som tillige er forholdsvis vanskeligt nedbrydelig, hvilket kunne forklare, at kun benzen når frem til råstofsøen, mens de øvrige oliekomponenter tilbageholdes eller nedbrydes. På det foreliggende grundlag kan der ikke drages endelige konklusioner om kilden til det påviste indhold af benzen i råstofgraven. Det skal understreges, at de konstaterede indhold er lave, og jævnt /3/ væsentligt lavere end det ferske recipientkrav for benzen på 10 µg/l.

Sammenfattende vurderes det, at råstofgravningen ikke medfører en væsentlig påvirkning af gravesøerne med BTEXN eller kulbrinter.

4.4.2 Saltpåvirkning

Saltpåvirkning er ikke undersøgt specifikt på lokaliteten. Kloridindholdet er højest i sedimentationsbassin, udløb af vaskevand og grusvaskesø (47-51 mg/l), mens det ligger på omtrent samme niveau i gravesøerne (31-35 mg/l) og referencesøen (29 mg/l). Det lidt højere kloridindhold i bassin, udløb og vaskesø vurderes ikke at skyldes opstigning af saltvand, men snarere en svag overfladepåvirkning.

Der vurderes således ikke at være opstigning af saltvand som følge af råstofindvindingen på lokaliteten.

4.4.3 Pesticider

Der er ikke udført pesticidanalyser på vandprøver fra lokaliteten, da der ikke er marker omkring graveområdet, hvorfra der kan ske en overfladeafstrømning til råstofgraven.

4.4.4 Pyritoxidation

Sulfatindholdet er lavest i de to gravesøer (21-26 mg/l), men også i bassin, udløb og vaskesø er indholdet forholdsvis lavt for overfladenært grundvand (36-40 mg/l) og overskrider ikke indholdet i referencesøen (40 mg/l). Det vurderes derfor ikke, at råstofindvindingen på lokaliteten medfører pyritoxidation.

Indhold af opløst jern er ligeledes på samme lave niveau i råstofsøer m.v. og referencesø, og indhold af partikulært jern (okker) er lavere i de to gravesøer end i referencesøen. Derimod er der højere okkerindhold i udløbsvand, bassin og vaskesø, men dette kan på grund af de lave sulfatindhold ikke skyldes pyritoxidation. Årsagen er snarere frigørelse af okkerpartikler fra sedimentet i forbindelse med op-pumpningen.

Indholdet af opløst nikkel er lavt i alle vandprøver (0,67-1,2 µg/l), hvilket stemmer overens med, at vandkvaliteten ikke påvirkes af pyritoxidation. Derimod er arsenindholdet noget højere i gravesø 1 (2,3-2,5 µg/l) end i de øvrige vandprøver (0,53-1,2 µg/l). Årsagen hertil er ukendt, men kan på grund af de lave sulfatindhold i vandet ikke hænge sammen med pyritoxidation.

Råstofindvindingen på lokaliteten medfører ingen overskridelser af hverken ferske recipientkrav eller drikkevandskrav.

4.4.5 Øvrige parametre

Analyselaboratoriet ALS har målt pH-værdier svarende til det normale i grundvand (7,0-8,5), bortset fra i de tre vandprøver fra den ikke aktive gravesø 1, hvor der blev målt væsentligt forhøjede pH-værdier på 9,3 – 9,5 jævnfør tabel 4-4. Eftersom der ikke var nogen indlysende forklaring på dette, anbefalede COWI feltmåling af pH på de samme lokaliteter, hvor vandprøverne tidligere var udtaget. Disse målinger blev udført med pH-elektrode (Multi 3420 WTW) d. 7. oktober 2014. Måleddybden var 20-40 cm under vandspejlet. I nedenstående tabel 4-5 er resultater af pH-målinger i laboratorium og felt sammenlignet med de teoretiske pH-værdier

ved kalkmætning. Der er generelt nogenlunde overensstemmelse imellem de felt- og laboratoriemålte pH-værdier, undtagen for de to gravesøer og i særdeleshed gravesø 1. COWIs feltmålinger viser pH-værdier i gravesø 1, som er omtrent to pH-enheder lavere end de laboratoriemålte og desuden lavere end den teoretisk beregnede pH ved kalkmætning. Forekomst af kalkundermættet vand er ikke overraskende, idet kalkindholdet generelt er udvasket i de øverste jordlag. Derimod viser feltmålingerne, at pH ligger meget tæt på kalkmætning i den aktive gravesø 2, hvilket kan forklares ved, at der i gravesøen oppumpes dybtliggende og kalkholdigt sediment, hvorved søvandet kommer i kontakt med de dybtliggende kalkholdige aflejringer i et sådant omfang, at kalkmætning indtræder. Efterhånden som oppumpet vand fra den aktive gravesø kommer igennem grusvaskning og sedimentation falder pH og nærmer sig niveauerne i den ikke aktive gravesø og referencesøen.

På baggrund af ovenstående vurderes det, at de laboratoriemålte pH-værdier fra Gravesø 1 er fejlbehæftede, mens de feltmålte værdier er korrekte og derfor bruges i de videre vurderinger.

Lokalitet	pH ved kalkligevægt	pH felt	pH lab
Sedimentationsbassin	8,42	7,62	7,8
Udløb af vaskevand	8,46	7,89	7,5
Grusvaskesø	8,48	8,13	7,8
Gravesø 1 (a)	8,76	7,54	9,3
Gravesø 1 (b)	8,76	7,54	9,5
Gravesø 1 (c)	8,73	7,47	9,6
Gravesø 2 (a)	8,74	8,57	8,1
Gravesø 2 (b)	8,75	8,76	7,8
Gravesø 2 (c)	8,74	8,87	8,3
Referencesø 1	8,64	7,60	7,8

Tabel 4-5. pH-værdier ved Kongensbro målt af analyselaboratorie og i felten.

4.5 Trekanten, Samsø

Analyserapporter er vedlagt i Bilag A. Udvalgte analyseresultater er sammenfattet i tabel 4-6.

Trekanten, Samsø									
Prøvenr.		88241	88242	88243	88244	88245	88246	88247	88248
Prøvemrk.		Nuværende gravesø	Tidligere gravesø B	Tidligere gravesø A	Udledning af vaskevand	Vertikal prøve P1, 0-2 m	Vertikal prøve P2, 2-4 m	Vertikal prøve P3, 4-6 m	Vertikal prøve P4, 6-8 m
pH	pH	8,2	8,4	8,1	8,2	8,2	8,2	8,1	7,9
Nitrat, NO ₃ -	mg/l	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Jern, Fe	mg/l	0,03	<0,01	0,18	0,03	0,03	0,03	0,14	0,12
Jern, Fe, opløst	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01				
Hydrogencarbonat, HCO ₃ -	mg/l	117	138	125	126	114	120	120	144
Sulfat, SO ₄ -	mg/l	54	38	27	27	55	54	56	53
Chlorid, Cl-	mg/l	58	59	73	72	58	60	60	61
Arsen, As	µg/l	1,8	0,71	0,73	0,68	1,8	1,9	1,8	2,8
Arsen, As, filt	µg/l	1,6	0,61	0,61	0,6	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Benzen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Toluen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Ethylbenzen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Xylener	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Naphtalen	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Totalkulbrinter	µg/l	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.

Tabel 4-6: Udvalgte analyseresultater, Trekanten, Samsø.

Det bemærkes, at der i den nuværende gravesø er udtaget vandprøver i et vertikalt profil, som repræsenterer søens vand i følgende niveauer: 0-2 m, 2-4 m, 4-6 m og 6-8 m.

4.5.1 Oliespild

Bortset fra det vertikale profil i den nuværende gravesø er alle vandprøver analyseret for kulbrinter og BTEXN, og alle analyseresultater er under detektionsgrænsen. Det vurderes ikke, at råstofindvindingen medfører påvirkning af gravesøerne med kulbrinter eller BTEXN.

4.5.2 Saltpåvirkning

Kloridindholdet er lavere i den nuværende gravesø (58 mg/l) end i de tidligere gravesøer A og B (henholdsvis 73 og 59 mg/l). Der er et lidt højere kloridindhold i udledt vaskevand (72 mg/l) end i gravesøen, hvilket formentlig skyldes tørafsætning af havsalt på det opgravede materiale på grund af lokalitetens kystnære beliggenhed.

Det vertikale profil i den nuværende gravesø viser, at kloridkoncentrationen stiger fra 58 mg/l i 0-2 m dybde til 61 mg/l i 6-8 m dybde. Tilsvarende falder ionbytningsgraden (Na/Cl-forholdet) svagt med dybden. Disse ændringer er dog så beskedne, at der ikke kan trænge saltvand op igennem søbunden i forbindelse med råstofindvindingen.

Der vurderes ikke at ske opstigning af saltvand som følge af råstofindvindingen på lokaliteten.

4.5.3 Pesticider

Der er ikke udført pesticidanalyser på vandprøver fra lokaliteten, da der ikke er markarealer omkring grusgraven.

4.5.4 Pyritoxidation

I den nuværende gravesø er der fundet 53-56 mg/l sulfat (ingen sammenhæng med dybden), mens der i de øvrige vandprøver er 27-38 mg/l. Dette tyder på, at råstofindvindingen på lokaliteten medfører pyritoxidation i et meget begrænset omfang. Sulfatniveauet i gravesøen er dog ikke højere end normalt for overfladenært grundvand (typisk 50-100 mg/l).

Den lineære regressionskurve for sulfat versus calcium har en hældningskoefficient på 1,44 ($R^2=0,83$), hvilket indikerer, at ilt er det primære oxidationsmiddel, men at nitrat i næsten ligeså stort omfang er medvirkende. Det målte nitratinhold ligger under detektionsgrænsen i alle vandprøver, hvilket stemmer overens med, at vandet er nitratreduceret.

Forvittringsgraden ligger fra 1,41-1,75 i gravesøen og 1,36-1,46 i øvrige vandprøver. Forvittringsgraden indikerer altså også, at pyritoxidation i meget begrænset omfang påvirker vandkvaliteten i gravesøen.

Der findes ikke opløst jern (ferrojern) over detektionsgrænsen i vandprøverne, hvorfor pyritoxidationen foregår fuldstændigt. Okkerindholdet i søerne er ligeledes meget lavt, idet indholdet af total-jern er maksimalt 0,18 mg Fe/l (i den tidligere gravesø A), svarende til 0,34 mg/l okker.

Indhold af nikkel ligger på 0,74-3,0 µg/l i gravesøen (gennemsnit 1,51 µg/l), mens indholdene i øvrige vandprøver er 0,22-0,53 µg/l. Nikkelindholdet stiger med dybden i gravesøen. Årsagen hertil kendes ikke, og der er ingen sammenhæng med pH eller sulfatindhold. Dette indikerer, at der kan være andre kilder til nikkelindholdet i gravesøen end pyritoxidation, eksempelvis desorption af nikkel fra bundsedimentet.

Indhold af arsen ligger på 1,6-2,8 µg/l i gravesøen (gennemsnit 2,0 µg/l), mens indholdene i øvrige vandprøver er 0,60-0,73 µg/l. Ligesom for nikkel stiger arsenindholdet med dybden i gravesøen, og der er ingen sammenhæng med pH eller sulfatindhold. Dette indikerer, at der kan være andre kilder til arsenindholdet i gravesøen end pyritoxidation – også her kan der være tale om desorption fra bundsedimentet.

Pyritoxidationen i gravesøen medfører ingen overskridelser af ferske recipientkrav, og sulfatkoncentrationerne ligger langt under drikkevandskravet på 250 mg/l.

Sammenfattende medfører råstofgravningen pyritoxidation i et meget begrænset omfang, svarende til en maksimal koncentrationsstigning for sulfat ca. 30 mg/l. Pyritoxidationen medfører ikke overskridelser af recipientkvalitetskrav eller drikkevandskrav og omfanget indikerer, at indholdet af reaktivt pyrit i det indvundne sediment er meget lavt.

4.6 Tulstrup, Region Midtjylland

Analyserapporter er vedlagt i Bilag A. Udvalgte analyseresultater er sammenfattet i tabel 4-7 og tabel 4-8. For placering af prøvetagningssteder, se situationsplanen for Tulstrup figur 2-22.

Tulstrup, Ikast																		
Prøvenr.		134579	134580	134581	134582	134583	134584	134585	134586	134587	134588	134589	134590	134591	134592	134593		
Prøvemrk.		Aktiv Gravesø P1	Aktiv Gravesø P2	Aktiv Gravesø P3	Aktiv Gravesø P4	Aktiv Gravesø P1-P4	Grusvas kesø P1	Grusvas kesø P2	Grusvas kesø P3	Grusvas kesø P4	Grusvas kesø P5	Grusvas kesø P6	Grusvas kesø P1- P6	Referen cesø 3 P1	Referen cesø 4 P1	Referen cesø 5 P1		
Dybde	m	0-0.5	0,2	9,9	0-2.0	0-9.9	0-1.0	0-2.0	0,2	3,5	0-2	0-1	0-3.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5		
pH		5,4	4,5	4,8	4,5	i.a.	3,8	4,4	4,3	4,5	4,3	4,2	i.a.	7,4	7,7	8		
Ammonium, NH4+	mg/l	0,164	0,189	0,19	0,185	i.a.	0,59	0,148	0,14	0,172	0,24	0,25	i.a.	0,158	0,064	0,011		
Nitrat, NO3-	mg/l	0,41	0,5	0,69	0,336	i.a.	0,06	0,092	0,069	0,098	0,108	0,095	i.a.	0,278	0,83	0,71		
Jern, Fe	mg/l	17	0,8	8,6	1,2	i.a.	13	0,49	0,44	4,2	2,5	6,4	i.a.	0,76	0,05	0,15		
Jern, Fe, opløst	mg/l	17	0,07	0,64	0,21	i.a.	6,3	0,21	0,44	1,3	1	1	i.a.	0,05	<0,01	0,03		
Hydrogencarbonat, HCO3-	mg/l	<1	14	<1	<1	i.a.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	i.a.	52	84	110		
Sulfat, SO4--	mg/l	190	270	270	270	i.a.	470	460	460	480	480	480	i.a.	190	110	68		
Chlorid, Cl-	mg/l	31	31	29	29	i.a.	30	27	27	30	29	30	i.a.	24	23	20		
Aluminium, Al filt F	µg/l	330	1500	1200	1400	i.a.	300	890	870	770	820	850	i.a.	20	20	20		
Arsen, As, filt F	µg/l	3,8	4,3	5,8	4,7	i.a.	3,1	1	1	1,3	1,2	1,2	i.a.	0,27	0,54	0,51		
Nikkel, Ni, filt F	µg/l	65	180	170	180	i.a.	100	110	110	110	100	110	i.a.	5	1,7	0,94		
Benzen	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.		
Toluen	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.		
Ethylbenzen	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.		
Xylener	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.		
Total kulbrinter	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.		
Mechlorprop(MCPP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	0,013		
MCPA	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Dichlorprop(2,4-DP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
2,4-D	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Simazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Dichlobenil	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
4-Chlorprop (4-CPP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
2,6-Dichlorprop (2,6-DCPP)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Desisopropylatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Desethylatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Hydroxyatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	0,011	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Bentazon	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Hexazinon	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
ETU (Ethylthiourea)	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Aminomethylphosphonsyre, AMPA	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Desethylterbutylazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Glyphosat	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Hydroxysimazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Desethyl-desisopropylatrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Desethyl-hydroxy-atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	0,02	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Didealkyl-hydroxy-atrazin	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
2,6-dichlorbenzoesyre	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
4-nitrophenol	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	0,038	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	0,032	<0,010	<0,010	<0,010		
2,4-dichlorphenol	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
2,6-dichlorphenol	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		

Tabel 4-7: Udvalgte analyseresultater, Tulstrup, Region Midt.

Tulstrup Ikast														
Prøvenr.		134594	134595	134596	134597	67345	67346	67347	67348	67349	67350	67351	67352	67353
Prøvemrk.		Udløb P1	Udløb P2	Udløb P3	Udløb P4	Udløbsv and 1	Udløbsv and 2	Udløb 3	Indtag	Sø	Prøve A, Graves ø 1	Prøve A, Graves ø 2	Referencese ø 1	Referencese ø 2
Dybde	m	0-0.2	0-0.5	0-0.5	0-0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	pH	7,1	7,2	6,6	6,9	7,3	6,9	5,0	6,9	7,6	5,7	6,7	7,7	7,5
Ammonium, NH4+	mg/l	0,143	0,128	0,166	0,158	0,182	0,23	0,22	0,165	0,155	0,21	0,42	0,184	0,158
Nitrat, NO3-	mg/l	0,52	0,51	0,238	0,254	0,040	0,169	0,067	0,062	0,094	0,078	0,116	0,107	0,045
Jern, Fe	mg/l	1,3	1,2	0,77	2,2	0,38	0,18	0,99	2,1	0,20	0,60	0,35	0,29	0,24
Jern, Fe, opløst	mg/l	0,15	0,38	0,34	0,49	0,24	0,13	0,45	1,1	0,11	0,08	0,28	0,14	0,02
Hydrogencarbonat, HCO3-	mg/l	27	33	7	21	41	13	<1	19	42	<1	1	59	20
Sulfat, SO4--	mg/l	66	68	110	100	430	470	500	450	74	250	130	160	85
Chlorid, Cl-	mg/l	25	26	28	27	28	30	28	28	32	30	33	29	28
Aluminium, Al filt F	µg/l	10	20	130	60	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Arsen, As, filt F	µg/l	0,17	0,24	0,31	0,31	1,2	0,38	1,5	2,1	0,63	0,92	0,33	0,31	0,17
Nikkel, Ni, filt F	µg/l	7,4	7,5	27	23	13	23	120	14	3,1	47	23	0,74	2,4
Benzen	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Toluen	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Ethylbenzen	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Xylener	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Total kulbrinter	µg/l	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Mechlorprop(MCPP)	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
MCPA	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Dichlorprop(2,4-DP)	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
2,4-D	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Simazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Atrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Dichlobenil	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
4-Chlorprop (4-CPP)	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
2,6-Dichlorprop (2,6-D CPP)	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Desisopropylatrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Desethylatrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Hydroxyatrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	µg/l	0,014	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Bentazon	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Hexazinon	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
ETU (Ethylthiourea)	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Aminomethylphosphorsyre, AMPA	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Desethylterbutylazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Glyphosat	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Hydroxysimazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Desethyl-desisopropylatrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Desethyl-hydroxy-atrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Desisopropyl-hydroxy-atrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Didealkyl-hydroxy-atrazin	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
2,6-dichlorbenzoesyre	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
4-nitrophenol	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
2,4-dichlorphenol	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
2,6-dichlorphenol	µg/l	<0,010	i.a.	i.a.	<0,010	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.

Tabel 4-8: Udvalgte analyseresultater, Tulstrup, Region Midt.

4.6.1 Oliespild

Jævnfør tabel 4-8 er i alt 9 vandprøver fra både gravesøer og referencesøer analyseret for kulbrinter og BTEXN. Alle analyseresultater er under detektionsgrænsen.

På dette grundlag vurderes det ikke, at råstofindvindingen medfører påvirkning af vandet i gravesøerne med kulbrinter eller BTEXN.

4.6.2 Saltpåvirkning

Saltpåvirkning er ikke undersøgt specifikt på lokaliteten. Kloridindholdet er blot 20-33 mg/l i alle vandprøver, hvilket er et helt normalt baggrundsniveau i grundvand og overfladevand.

Der vurderes derfor ikke at forekomme opstigning af saltvand som følge af råstofindvindingen på lokaliteten.

4.6.3 Pesticider

Der er udført pesticidanalyser på en blandeprøve af vand fra den aktive gravesø (aktiv gravesø, P1-P4). Prøven indeholder tre nedbrydningsprodukter, nemlig 0,011

$\mu\text{g/l}$ BAM, $0,020 \mu\text{g/l}$ desethylhydroxyatrazin og $0,038 \mu\text{g/l}$ 4-nitrophenol. Disse nedbrydningsprodukter er dannet ud fra aktivstoffer, som alle har været forbudt i en årrække, henholdsvis dichlobenil (forbud 1997), atrazin (forbud 1994) og parathion (forbud 1990) eller methylparathion (forbud 1980). Eftersom disse stoffer ikke har været anvendt i en længere årrække, vurderes der at være tale om en grundvandsbåren forurening.

I en blandeprøve fra grusvaskesøen (Grusvaskesø, P1-P6) er der udelukkende detekteret 4-nitrophenol ($0,032 \mu\text{g/l}$), og af samme årsag som nævnt ovenfor vurderes også denne forurening at være grundvandsbåren.

Der er desuden udført pesticidanalyser på tre referencesøer vest for det nuværende indvindingsområde. Der er tale om tidligere gravesøer, som er afsluttet i perioden 2005-2010. Der er ikke fundet hverken pesticider eller nedbrydningsprodukter i referencesø 3 og 4, mens der i referencesø 5 er fundet $0,013 \mu\text{g/l}$ mechlorprop. Mechlorprop blev tidligere anvendt i store mængder til ukrudtsbekæmpelse i landbruget, men siden 1997 er der lagt restriktioner på anvendelsen, og i dag må stoffer kun anvendes af private til ukrudtsbekæmpelse i græsplæner. Det vurderes på den baggrund, at påvirkningen mest sandsynligt er grundvandsbåren.

Endelig er der udført pesticidanalyser på vandprøver fra "Udløb P1", som repræsenterer vandkvaliteten i referencesø 2, og "Udløb P4", hvor bækken desuden har modtaget udløbsvand fra gravesø 2. I førstnævnte prøve er der fundet $0,014 \mu\text{g/l}$ BAM (igen sandsynligvis en grundvandsbåren påvirkning), mens alle analyserede stoffer er under detektionsgrænsen i "Udløb P4".

Den samlet set største mængde pesticid (sum $0,067 \mu\text{g/l}$) er fundet i den aktive gravesø, men der er også fundet pesticid i flere prøver fra referencesøerne. Ud fra stofernes anvendelsesperiode vurderes påvirkningen i alle tilfælde at være grundvandsbåren.

I/3/ findes der kun ferske recipientkrav for enkelte pesticider, og der er ingen overskridelser af disse.

4.6.4 Pyritoxidation

Aktiv gravesø og grusvaskesø

Den 10. juli 2013 blev der udtaget tre vandprøver af udløbsvand fra grusvaskeanlægget, én vandprøve fra grusvaskesøen ved indtaget og én vandprøve fra den aktive gravesø. Som supplement hertil blev der d. 18. december 2013 udtaget yderligere fire vandprøver fra den aktive gravesø (heraf to på samme lokalitet, henholdsvis lige under overfladen og ved bunden) samt seks vandprøver fra grusvaskesøen (heraf to på samme lokalitet, henholdsvis lige under overfladen og ved bunden). Alle disse vandprøver forventes at være direkte påvirkede af råstofgravningen.

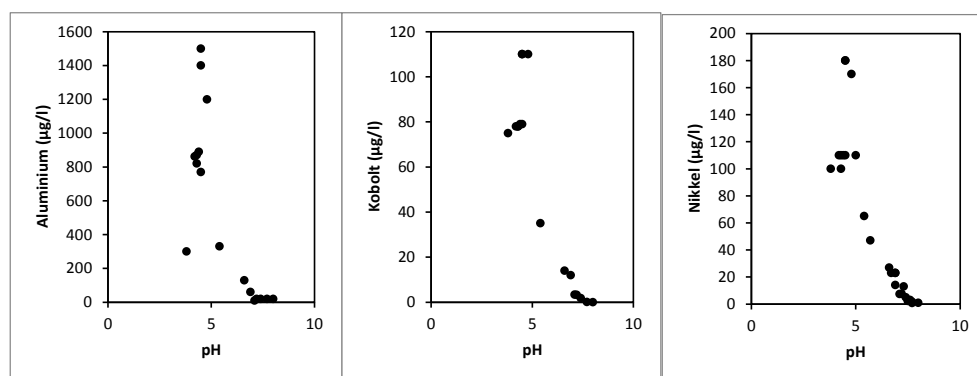
Med $190\text{-}270 \text{ mg/l}$ er sulfatindholdet mindst i den aktive gravesø, mens indholdet i udløbsvand og grusvaskesø ligger på $430\text{-}500 \text{ mg/l}$. Der er således ingen tvivl om, at selve råstofgravningen afstedkommer pyritoxidation, men grusvaskningen betyder langt mere. Dels frigøres og findeles pyritkorn i sedimenterne, så de bliver me-

re reaktive, og dels fremkommer der noget nær optimale iltningsforhold for pyriten.

Indholdet af opløst jern (ferrojern) er i de fleste prøver relativt beskedent. Dog skiller P1 i den nordlige del af grusvaskesøen sig ud med et indhold på ikke mindre end 17 mg/l, og hele jernindholdet i denne prøve findes på reduceret form. Årsagen til at netop denne prøve skiller sig ud med hensyn til jernindholdet kendes ikke, men der er tydelige udfældninger af jernoxiderende bakterier i den nordlige ende af grusvaskesøen. Forskellen på opløst jern og total-jern (som findes i form af okkerpartikler) varierer fra 0 til 7,96 mg/l, idet det højeste indhold er fundet i vandprøven udtaget ved bunden (9 m dybde) af den aktive gravesø. Bortset fra jernindholdet er der meget lille forskel på indholdene af parametre relateret til pyritoxidation i prøverne udtaget i forskellige dybder.

Vandprøverne er meget tydeligt påvirket af både syredannelse og kalkmangel i sedimenterne. pH varierer fra 3,8 til 7,3, men ligger kun omkring neutral i udløbsvandet samt i den enlige vandprøve udtaget i grusvaskesøen nær vandindtaget. Dette må betyde, at selve pyritoxidationen for hovedpartens vedkommende foregår i selve søerne, men at selve grusvaskningen giver optimale betingelser for, at processen kan foregå.

Der er konstateret en tydelig negativ korrelation imellem pH og indhold af metallerne aluminium, kobolt og nikkel, hvilket er illustreret på figur 4-1. Der er tale om en generel sammenhæng, hvorfor alle data (også fra referencesøer og bæk) er medtaget på figuren. Alle tre metaller har stigende opløselighed ved lav pH, hvilket udgør den direkte forklaring, men kilden til de høje koncentrationer af både kobolt og nikkel er formentlig pyritoxidation, mens kilden til aluminium snarere er mineralet gibbsit ($Al(OH)_3$), der fungerer som pH-buffer, når der er kalkmangel i sedimenterne.



Figur 4-1: Aluminium, kobolt og nikkel versus pH for samtlige vandprøver fra Tulstrup, Region Midtjylland.

Der er intet fersk recipientkrav for aluminium, men drikkevandskravet på 200 µg/l (ved forbrugers taphane) overskrides i alle vandprøver med pH mindre end 6. Der forekommer overskridelser af de ferske recipientkvalitetskrav for kobolt (0,28 µg/l + baggrund) og nikkel (3 µg/l) i alle vandprøver, som er direkte påvirkede af råstofgravningen. Indholdet af sulfat overskrider drikkevandskravet på 250 mg/l i alle vandprøver fra grusvask/grusvaskesø samt i 3 ud af 5 vandprøver fra den akti-

ve gravesø. Derimod overskrides det ferske recipientkrav for arsen ($4,3 \mu\text{g/l}$) kun i to vandprøver fra den aktive gravesø. Maksimum er $5,8 \mu\text{g/l}$.

Den tydelige sammenhæng med pH indikerer, at problemerne med kobolt og nikkel kan løses ved at kalke vandet, hvorved pH hæves. Drikkevandskravet for sulfat (250 mg/l) overskrides i alle prøver af udløbsvand samt i den sø, der fungerer som recipient for dette. Sulfat kan ikke umiddelbart nedbringes, men det kan anbefales at hente skyllevandet fra en anden, og mindre sulfatholdig sø, end den som det udledes til. En anden afhjælpende foranstaltning kunne være etablering af et slambassin med udfældning af finkornede partikler i skyllevandet inden videre udledning til recipient.

Referencesøer og afløb

Den 10. juli 2013 blev der udtaget én vandprøve fra henholdsvis den nyligt afsluttede gravesø imod nordøst (på figur 2-22 blot benævnt ”sø”), den midlertidigt lukkede gravesø 2 samt referencesøerne 1 og 2 (begge tidligere råstofsøer, færdigopgravede i henholdsvis 1998 og 2010). Som supplement hertil blev der d. 18. december 2013 udtaget én vandprøve fra hver af referencesøerne 3, 4 og 5 (færdigopgravede henholdsvis 2005, 2005 og 2010). Desuden blev der udtaget fire vandprøver (Udløb P1, Udløb P2, Udløb P3 og Udløb P4) fra den bæk, som afvander referencesø 2 og siden gravesø 2. Alle disse vandprøver forventes umiddelbart at være relativt upåvirkede af råstofgravningen, da den primære påvirkning forventes at være i forbindelse med den aktive indvinding.

Sulfatindholdet varierer fra 66 mg/l i Udløb P1 til 190 mg/l i referencesø 3. Gennemsnittet er 106 mg/l . Relativt lave sulfatindhold findes desuden i den nyligt afsluttede gravesø (74 mg/l) samt i referencesø 2 (85 mg/l). Den store spredning på sulfatindholdene indikerer, at nogle af referencesøerne er påvirket af pyritoxidation.

Det er tydeligt, at forhøjede sulfatindhold i referencesøer forekommer vest-nordvest for de søer, som er direkte påvirkede af aktiv råstofgravning. Dette stemmer overens med grundvandets forventede strømningsretning. Det vurderes, at baggrundsniveauet for sulfat i grundvandet ligger omkring $60\text{-}70 \text{ mg/l}$. Det er desuden tydeligt, at sulfatindholdet i en gravesø hurtigt falder efter endt råstofindvinding. På den baggrund er det sandsynligt, at forhøjet sulfatindhold i referencesøerne vest og vest-nordvest for råstofområdet skyldes grundvandsbåren påvirkning fra råstofområdet. Særligt bemærkes det høje sulfatindhold i den centralt beliggende referencesø 3.

Indholdet af opløst jern (ferrojern) varierer fra under detektionsgrænsen til $0,49 \text{ mg/l}$ (gennemsnit $0,18 \text{ mg/l}$). De højeste indhold findes dog i bækken, som kan være påvirket af drænvand. I referencesøerne er det gennemsnitlige indhold blot $0,09 \text{ mg/l}$, hvilket indikerer, at der stort set ikke forekommer aktiv pyritoxidation i nærområdet. Dette støtter yderligere, at sulfatkilden er pyritoxidation i forbindelse med råstofgravningen. Også forskellen på opløst jern og total-jern (som findes i form af okkerpartikler) er begrænset med imellem $0,05$ og $0,71 \text{ mg/l}$ i referencesøer og $0,43 - 1,17 \text{ mg/l}$ i bækken.

Der er tydelig kalkmangel i sedimenterne, men pH ligger alligevel omkring neutral (6,6-8,0), hvilket tyder på, at vandet i referencesøer og bæk kun i mindre grad er direkte påvirket af syredannende processer. Der er ingen negativ korrelation imellem pH og sulfat. Også disse forhold underbygger, at vandet kun i meget begrænset omfang er direkte påvirket af pyritoxidation.

Der forekommer overskridelser af de ferske recipientkvalitetskrav for kobolt (0,28 µg/l + baggrund) og nikkel (3 µg/l) i alle vandprøver fra bækken samt henholdsvis 1 ud af 3 og 2 ud af 7 vandprøver fra referencesøer. Som beskrevet ovenfor er der en tydelig sammenhæng imellem høje metalindhold og pH. Dette gælder dog ikke for arsen, hvor indholdet er meget lavt i alle vandprøverne (max. 0,54 µg/l).

Recipientkvalitetskravene er fastlagt for at undgå uacceptable miljøpåvirkninger. De konstaterede indhold har dermed en størrelse, som kan udgøre en risiko for recipienter og lignende.

5 Samlet vurdering

Undersøgelsen omfatter 80 boringskontrolanalyser, 21 analyser af pesticider + nedbrydningsprodukter, 48 analyser af BTEXN og kulbrinter samt 17 analyser for aluminium fra 6 råstofgrave i Region Midtjylland og i Region Hovedstaden. Undersøgelserne er udført med henblik på at klarlægge om råstofindvinding under grundvandet påvirker grundvandets kvalitet. Det er i projektets fase 1 godtgjort, at kvaliteten af grundvandet kan belyses ved grundvandets indhold af oliestoffer (oliespild), salt fra opstigende saltvand, pesticidindholdet og ved at måle størrelsen af pyritoxidationen.

5.1 Oliespild

Der er ikke påvist kulbrinter over detektionsgrænsen (5 µg/l) i nogen af råstofgravene. Der er påvist spor af BTEXN i Store Rosenbusk, hvilket relateres til et baggrunds niveau i grundvandet, og i Kongensbro råstofgrav, hvor indholdet formentlig er relateret til en påvirkning fra oplandet til grusgraven, eller eventuelt kan være relateret til grusgravsaktiviteten. Den maksimale koncentration af benzen er 0,92 µg/l, hvilket er væsentligt lavere end det ferske recipientkvalitetskrav på 10 µg/l.

Undersøgelsens resultater viser, at råstofindvinding ikke kan betragtes som en kilde til forurening af grundvandet med olieprodukter, og at der ikke sker en væsentlig påvirkning af grundvandet.

5.2 Saltpåvirkning

Der er udført analyse for klorid og andre hovedkomponenter som en del af boringskontrolanalyserne på de 6 lokaliteter. Råstofgraven Trekanten, Samsø, er undersøgt indgående, da der indvindes råstoffer under kote 0 m på en smal landtange som er omgivet af hav på begge sider og med mindre end 500 m til den nærmeste kyst. Der er dermed potentiel risiko for saltvandsopstigning.

Der er imidlertid ikke påvist indikationer på opstigning af saltvand som følge af råstofindvinding på nogen af lokaliteterne.

På baggrund af undersøgelsen vurderes risikoen for saltpåvirkning ikke at udgøre en generel risiko. Problemstillingen kan være relevant i særlige situationer, f.eks. ved meget kystnære indvindinger.

5.3 Pesticider

Der er primært påvist ikke godkendte midler samt glyphosat og nedbrydningsproduktet AMPA. Der er ingen overskridelser af ferske recipientkrav, men nedbrydningsproduktet BAM overskrider i en enkelt sø drikkevandskravet på 0,1 µg/l, idet det er fundet i en koncentration på 0,17 µg/l. Den højeste sumkoncentration er 0,25 µg/l, som dog repræsenterer en sø, der efter de øvrige vandkemiske forhold at dømme er påvirket af udsivning fra en eller flere fyldpladser. De påviste koncentrationer er ikke højere i aktive gravesøer end i referencesøer – snarere tværtimod. Hertil kommer, at der kun er fundet ikke godkendte midler i gravesøerne, hvilket

peger i retning af en grundvandsbåren påvirkning. I Store Rosenbusk er der i en undersøgelsesboring påvist fund af pesticider i grundvandet, som ikke er fundet i gravesøen. Indholdet vurderes ikke at skyldes råstofindvindingen. Der er sandsynligvis tale om en lokal påvirkning, som ikke nødvendigvis er generel for grundvandet i området.

Undersøgelsen viser dermed, at der ikke kan registreres en påvirkning af pesticidholdigt overfladevand fra omkringliggende markarealer til råstofsøer samt at råstofgravning i øvrigt ikke kan betragtes som en transportvej for pesticider fra overfladevand til grundvandet.

5.4 Pyritoxidation

Omfanget af pyritoxidation og den heraf følgende påvirkning af vandkvaliteten på råstoflokaliteterne er undersøgt ud fra boringskontrolanalyser på i alt 52 vandprøver fra de seks lokaliteter.

Idet det ferske recipientkrav er anvendt som indikatorparameter, er graden af påvirkning sammenfattet i tabel 5-1:

Grusgrav	Overskridelse af recipientkrav
Tulstrup (Ikast)	Ja
Kongensbro	Nej
Store Rosenbusk	Nej
Trekanten (Samsø)	Nej
Store Havelse	Nej
Tulstrup (Alsønderup)	Nej

Tabel 5-1: Pyritoxidation målt i forhold til det ferske recipientkvalitetskrav.

Det er kun på lokaliteten Tulstrup Region Midtjylland, at råstofindvindingen afstedkommer overskridelser af det ferske recipientkrav for nikkel. Overskridelserne er i høj grad et resultat af kalkmangel i sedimenterne, hvorved frigivelsen af svovlsyre i forbindelse med pyritoxidationen medfører faldende pH og dermed stigende opløselighed af nikkel. Cirkulering af pyritholdigt grusvaskevand igennem udledningssøen medfører endvidere sulfatkoncentrationer, der overskrider drikkevandskravet.

Sammenhængen imellem pH og nikkel indikerer, at problemet kan afhjælpes ved at hæve pH – eksempelvis ved at kalke vandet. Sulfat kan ikke umiddelbart nedbringes, men det kan anbefales at hente skyllevandet fra en anden, og mindre sulfatholdig sø, end den som det udledes til. En anden afhjælpende foranstaltning kunne være etablering af et slambassin med udfældning af finkornede partikler i skyllevandet inden videre udledning til recipient.

Sammenfattende vurderes det, at pyritoxidation kan være en relevant problemstilling, når der indvindes råstoffer i okkerpotentielle områder. Påvirkningerne på grundvandet kan nedbringes ved at tilrettelægge indvindingen og forarbejdningen af materialer i relation til pyritoxidation. Dette kan styres gennem vilkår i indvindingstilladelsen.

6 Konklusioner

Der er udført undersøgelser i 6 råstofgrave i Region Midtjylland og i Region Hovedstaden med henblik på at klarlægge, om råstofindvinding under grundvandspejlet medfører en påvirkning af grundvandskvaliteten. Det er i fase 1 af projektet godtgjort, at en eventuel påvirkning kan afdækkes ved at undersøge grundvandets indhold af oliestoffer og pesticider, samt påvirkning af grundvandskvaliteten som følge af pyritoxidation eller saltvandsoptrængning.

De vandkemiske undersøgelser omfatter 80 boringskontrolanalyser, 21 analyser for pesticider og nedbrydningsprodukter, 48 analyser for BTEXN og kulbrinter samt 17 analyser for aluminium.

På baggrund af undersøgelsen konkluderes det, at råstofgravning under grundvandet på de undersøgte lokaliteter ikke giver anledning til forurening med oliestoffer i grundvandet eller til saltvandsoptrængning.

Der er påvist pyritoxidation, som giver anledning til overskridelser af ferske recipientkvalitetskrav på én af lokaliteterne, hvilket betragtes som en uacceptabel påvirkning. Lokaliteten ligger i et okkerpotentielt område. Pyritoxidationen sker primært i forbindelse med vask af materialer og i mindre grad som følge af selve råstofgravningen. Påvirkningen forsvinder hurtigt efter afslutning af gravning og grusvask. På de resterende 5 lokaliteter er der ikke påvist nogen væsentlig påvirkning af grundvandskvaliteten som følge af pyritoxidation (ingen overskridelser af ferske recipientkvalitetskrav).

På baggrund af undersøgelsen konkluderes det, at pyritoxidation er et relevant opmærksomhedspunkt ved råstofindvinding under grundvand på okkerpotentielle lokaliteter. Det anbefales at minimere påvirkningen ved at tilrettelægge gravning og vask i forhold til pyritoxidation. På lokaliteter, som ikke er okkerpotentielle, vurderes der ikke at være behov for særlige tiltag i forhold til at minimere pyritoxidation.

Endeligt konkluderes det, at råstofindvinding på de undersøgte lokaliteter ikke medfører transport af pesticidholdigt overfladevand til grundvandet eller i øvrigt medfører en forøget belastning af grundvandet med pesticider.

7 Referencer

- /1/ Region Hovedstaden. Konsekvenser for grundvandskvaliteten ved råstofindvinding under grundvandsspejlet. Teknisk notat, fase 1. COWI, januar 2013.
- /2/ Miljøministeriet. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. BEK nr. 1024 af 31/10/2011.
- /3/ Miljøministeriet. Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet. BEK nr. 1022 af 25/08/2010.

For øvrige referencer henvises til notatet fra projektets fase 1.

Bilag A Analyserapporter

Se særskilt bilagsdokument.