

# ÅDSORPSJON AV LIGNOSULFONATER PÅ LEIRE OG KULL - MODELLSTUDIE FOR ØKT FORSTÅELSE AV ROLLEN I CIL/CIP PROSESSER.

ADSORPTION OF LIGNOSULFONATES ON CLAY AND CARBON - MODEL STUDY  
TO INCREASE THE UNDERSTANDING OF THE ROLE IN CIL/CIP PROCESSES.

HEIDI ØSTLID BAGSTEVOLD

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

INSTITUTT FOR KJEMI, BIOTEKNOLOGI OG MATVITENSKAP  
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2012





## Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført som en del av masterstudiet i kjemi og bioteknologi ved Universitetet for miljø- og biovitenskap på Ås. Oppgaven er blitt til gjennom et samarbeid med Borregaard Industries avd. Lignotech. Alle forsøk knyttet til oppgaven er gjort ved forskningsavdelingen ved Borregaard i Sarpsborg. Det har vært en lærerik og spennende tid på Borregaard, og jeg sitter igjen med erfaringer om hvordan forskning kan fungere i industrien. Motivasjonen bak oppgaven var blant annet å se hva min kjemiutdannelse kan brukes til ute i arbeidslivet. Arbeidet med masteroppgaven har gitt meg et godt innblikk i dette.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder ved Borregaard, Rolf Andreas Lauten, for god veiledning og inspirasjon gjennom arbeidet med masteroppgaven.

Andre jeg vil takke er:

Ansatte på Borregaard som bidratt med innføring på laben og besvart spørsmål.

Yngve Stenstrøm, hovedveileder ved UMB.

Tom A. Karlsen for korrekturlesing av oppgaven.

Familie, kjente og kjæreste som har støttet meg gjennom studietiden.

Universitetet for miljø- og biovitenskap, 31.01.2012

Heidi Østlid Bagstevold

## Sammendrag

Lignosulfonater, sulfonert lignin, produseres som et biprodukt gjennom sulfittprosessen i produksjonen av cellulose eller ved å sulfonere Kraft lignin. Produktet har gode egenskaper som dispergeringsmiddel og bindemiddel, og det benyttes i en rekke applikasjoner. Oppgaven baserer seg på lignosulfonat som kan benyttes i gruvedrift. I utvinningen av gull benyttes CIL og CIP prosesser, prosesser der gull løses ut med cyanid og deretter skilles ut ved adsorpsjon til aktivt kull. Lignosulfonat brukes i prosessene til å dispergere gullholdig malm, slik at tørrstoffinnholdet økes uten at viskositeten økes. Malmen består hovedsaklig av leire, og det er leirepartiklene som dispergeres av lignosulfonat. Det er usikkert om lignosulfonat påvirker adsorpsjonen av utløst gull til det aktive kullet. Oppgaven undersøker derfor adsorpsjon av lignosulfonat til kull og leire. Ulike lignosulfonater ble analysert. Forskjellige konsentrasjoner av lignosulfonat ble tilsatt kull og leire. Adsorbent mengde lignosulfonat ble funnet ved hjelp av UV absorpsjon. Langmuirs adsorpsjonsisoterm ble benyttet for utregninger av likevektskonstanter og spesifikk overflate for kull og leire. Spesifikk overflate ble også regnet ut ved hjelp av måling av partikkelstørrelse av kull og leire. Adsorpsjonen av lignosulfonat ble sammenliknet for kull og leire basert på mengde substrat og normalisert overflate. Ved sammenlikning av adsorbent mengde lignosulfonat per gram substrat adsorberte det mest lignosulfonat til kull. Likevektskonstantene viste at lignosulfonat har større affinitet for adsorpsjon til leire enn til kull. Dette ble også bekreftet ved å se på den adsorbente mengden lignosulfonat per normalisert overflate, der adsorpsjon av lignosulfonat til leire var størst. I utvinningen av gull er det mye større mengder malm enn kull, og derfor vil lignosulfonat adsorbere til leirpartiklene, og vil derfor sannsynligvis ikke påvirke adsorpsjonen av det utløste gullet til det aktive kullet.

## Abstract

Lignosulfonates, sulfonated lignins, is produced as a co-product from the sulfite process in the production of cellulose, or by sulfonation of Kraft lignins. The products have excellent properties as dispersants and binders, and are used in a variety of applications. This thesis is based on lignosulfonates used in mining. For the recovery of gold, CIL and CIP processes are used. The gold is leached by cyanide solutions and then separated by adsorbing at active coal. Lignosulfonates can be used in these processes to disperse the ore. The ore consists mainly of clay, and it's the clay particles that are dispersed by lignosulfonate. It is uncertain whether lignosulfonate affect the adsorption of gold on the active coal. The thesis examines the adsorption of lignosulfonates on coal and clay. Different lignosulfonates were analyzed. Different concentrations of lignosulfonate were added to coal and clay. Adsorbed amount of lignosulfonate was found using UV absorption. The Langmuir adsorption isotherm was used for calculations of equilibrium constants and specific surface area of coal and clay. Specific surface was also calculated using particle size measurements of coal and clay. The adsorbed amount of lignosulfonate to coal and clay was compared based on the amount of substrate and normalized surface. For the adsorption of lignosulfonate based on amount substrate, the coal adsorbed most lignosulfonate. The equilibrium constants showed that lignosulfonate has a greater affinity for adsorption to clay than to coal. This was also confirmed by looking at the amount of adsorbed lignosulfonate for the normalized surface, where adsorption of lignosulfonate to clay was greatest. In the process of recovering gold, there are much larger quantities of ore than coal. This means that the lignosulfonate will adsorb to the clay rather than the coal. And therefore, the lignosulfonate will probably not affect the adsorption of the gold on the active coal.

## INNHold

Forord.....	1
Sammendrag .....	2
Abstract .....	3
1 Innledning.....	6
1.1 Bakgrunn og formål med oppgaven .....	6
1.2 Lignosulfonat .....	6
1.2.1 Framstilling .....	6
1.2.2 Kjemiske og fysiske egenskaper .....	8
1.2.3 Anvendelser .....	12
2 Teori.....	14
2.1 Gullutvinning .....	14
2.2 Adsorpsjon og Langmuirs isoterm.....	17
2.3 UV/synlig absorpsjonsspektroskopi .....	21
2.3.1 Generelt om absorpsjon.....	21
2.3.2 Beers lov .....	22
2.3.3 Linearitet i metoden, unntak fra Beers lov .....	23
3 Materiale og metoder .....	25
3.1 Materialer.....	25
3.2 Metoder.....	27
3.2.1 Adsorpsjon av lignosulfonat til kull .....	27
3.2.2 Adsorpsjon av lignosulfonat til leire.....	30
3.2.3 Adsorpsjon av lignosulfonat til leire uten elektrolytt i løsningsmiddelet .....	31
3.2.4 Likevektskonstanter .....	31
3.2.5 Utrekning av spesifikk overflate for kull og leire.....	31

## Adsorpsjon av lignosulfonater på leire og kull – modellstudie for økt forståelse av rollen i CIL/CIP prosesser

4	Resultater .....	33
4.1	Linearitet i metoden .....	33
4.2	Adsorpsjonsisotermer .....	37
4.3	Adsorpsjon av lignosulfonater til kull .....	38
4.4	Adsorpsjon av lignosulfonater til leire .....	39
4.5	Adsorpsjon av lignosulfonater til leire uten elektrolytt i løsningsmiddelet .....	40
4.6	Likevektskonstanter .....	42
4.7	Spesifikk overflate for kull og leire .....	43
5	Diskusjon .....	45
6	Konklusjon .....	49
7	Videre arbeid .....	49
8	Referanser .....	51
	VEDLEGG.....	53

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn og formål med oppgaven

CIL (carbon in leach) og CIP (carbon in pulp) er prosesser som benyttes for utvinning av gull ved cyanidopløsning og adsorpsjon til aktivt kull. Lignosulfonat kan brukes til å dispergere malmen som inneholder gullpartiklene, slik at tørrstoffinnholdet økes samtidig som flyteegenskapene opprettholdes, det vil si at viskositeten ikke blir for høy. Dette fører til at mer malm kan behandles i CIL/CIP prosessene, og dermed også øke mengden gull som utvinnes per prosess. Økt utvinningskapasitet vil kunne gi økonomiske fordeler for gruvebedriften. Malmen består av ulike gullholdige mineraler der mesteparten er leire. Lignosulfonat dispergerer leirepartiklene, og gullet er derfor assosiert med leiren. Det er usikkert om lignosulfonat påvirker adsorpsjonen av utløst gull til det aktive kullet. Hensikten med oppgaven er få en formening om sannsynligheten for at lignosulfonat kan adsorbere på kull i en blanding av kull og leire. Oppgaven går ut på å undersøke i hvilken grad lignosulfonat adsorberer til kull og leire. Forsøkene er en forenkling av virkeligheten og adsorpsjon undersøkes på kull og leire separat. Adsorpsjonsisotermer og likevektskonstanter bestemmes ved hjelp av UV absorpsjon og Langmuirs adsorpsjonsisoterm. Adsorpsjonen evalueres på adsorbent mengde lignosulfonat på henholdsvis kull eller leire, normalisert til masse eller areal. Oppgaven undersøker ulike lignosulfonater ved forskjellige betingelser.

### 1.2 Lignosulfonat

#### 1.2.1 Framstilling

Sammen med cellulose og hemicellulose utgjør lignin hovedbestanddelen i planters cellevegger. Lignosulfonat er sulfonert lignin som produseres som et biprodukt gjennom sulfittprosessen i produksjonen av cellulose. Produktet kan også fremstilles ved å sulfonere Kraft lignin som er biprodukt i sulfatprosessen, også kjent som Kraftprosessen. Verdensproduksjonen av lignosulfonat domineres av utvinningen fra sulfittprosessen.[1] I mange fabrikker som benytter Kraftprosessen,

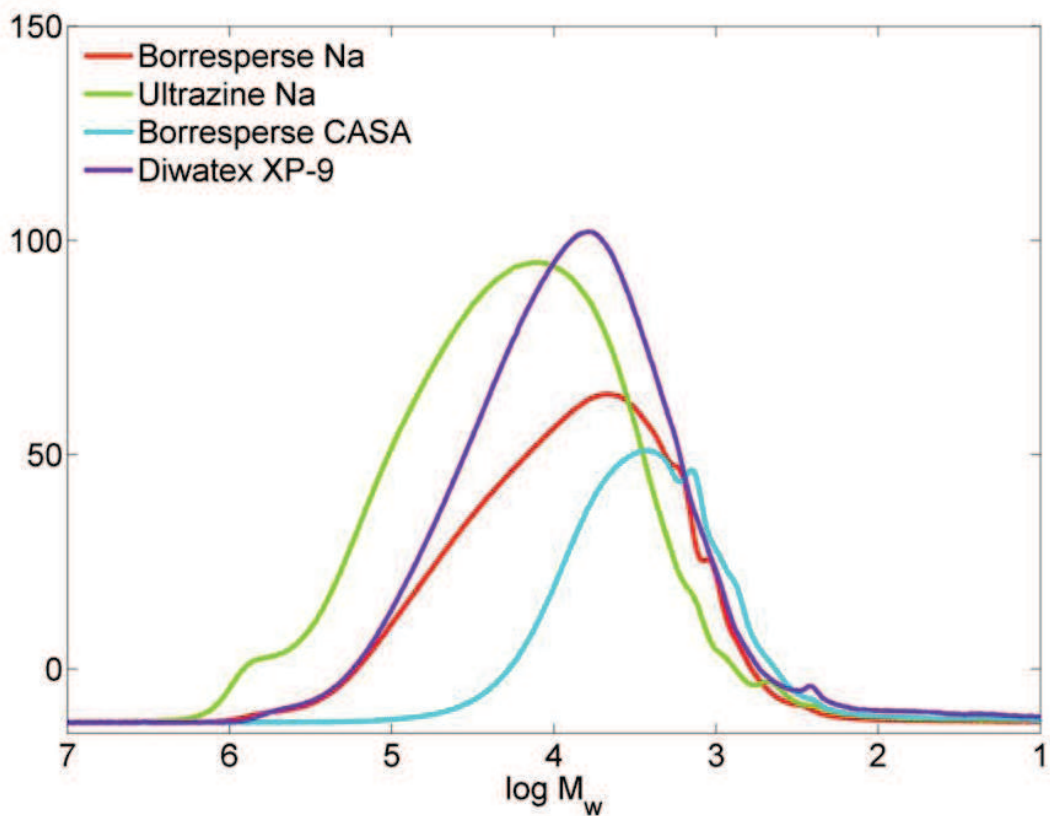


brennes ligninet for å gjenbruke energi og kjemikalier for prosessen. I tillegg er ikke all lignin produsert i Kraft prosessen direkte anvendelig for kommersielle applikasjoner.[2]

Lignin er et vannuløselig materiale. Det antas at lignin har en tredimensjonal struktur og at biosyntesen innebærer radikal polymerisering av fenyl propanoidmolekyler. Disse molekylene er bundet sammen med eterbindinger, hovedsakelig mellom aromatiske hydroksylgrupper og de fenyliske sidekjedene. Gjennom sulfittprosessen brytes disse bindingene og sulfonsyregrupper introduseres. Dette gjør ligninet vannløselig og man kaller det da lignosulfonat. Cellulosen, som er uløselig, skilles fra lignosulfonaten ved filtrering. I tillegg til lignosulfonater inneholder den brukte sulfittvæsken sukker og uorganiske salter. Væsken kan foredles videre. Sukkermolekylene kan fermenteres til bioetanol eller gjær, eller konverteres til andre kjemiske forbindelser ved ulike kjemiske prosesser. Ved hjelp av ultrafiltrering kan lignosulfonater med en smal molekylvektfordeling produseres.[2]

### 1.2.2 Kjemiske og fysiske egenskaper

Lignosulfonater har en bred molekylvektfordeling ettersom ligninmolekylet deles opp i sulfittprosessen. Det antas at denne oppdelingen av ligninmolekylene er tilfeldig og fører derfor til lignosulfonatmolekyler med ulike størrelser. [18] Figur 1 viser eksempel på molekylvektfordelinger for ulike lignosulfonater.



Figur 1. Molekylvektfordeling av ulike lignosulfonater. y-aksen viser absorbanse i mV.[18]

Molekylvekten til lignosulfonat oppgis i en midlere antalls molekylvekt ( $M_n$ ) og en midlere vekt (masse) molekylvekt ( $M_w$ ).  $M_n$  er totalvekt av polymer dividert med antall polymer molekyler og finnes ved

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad \text{Likning 1}$$

der  $N_i$  er antall molekyler med molekylvekt  $M_i$ .

$M_w$  er gjennomsnittlig vekt av alle polymerene og finnes ved

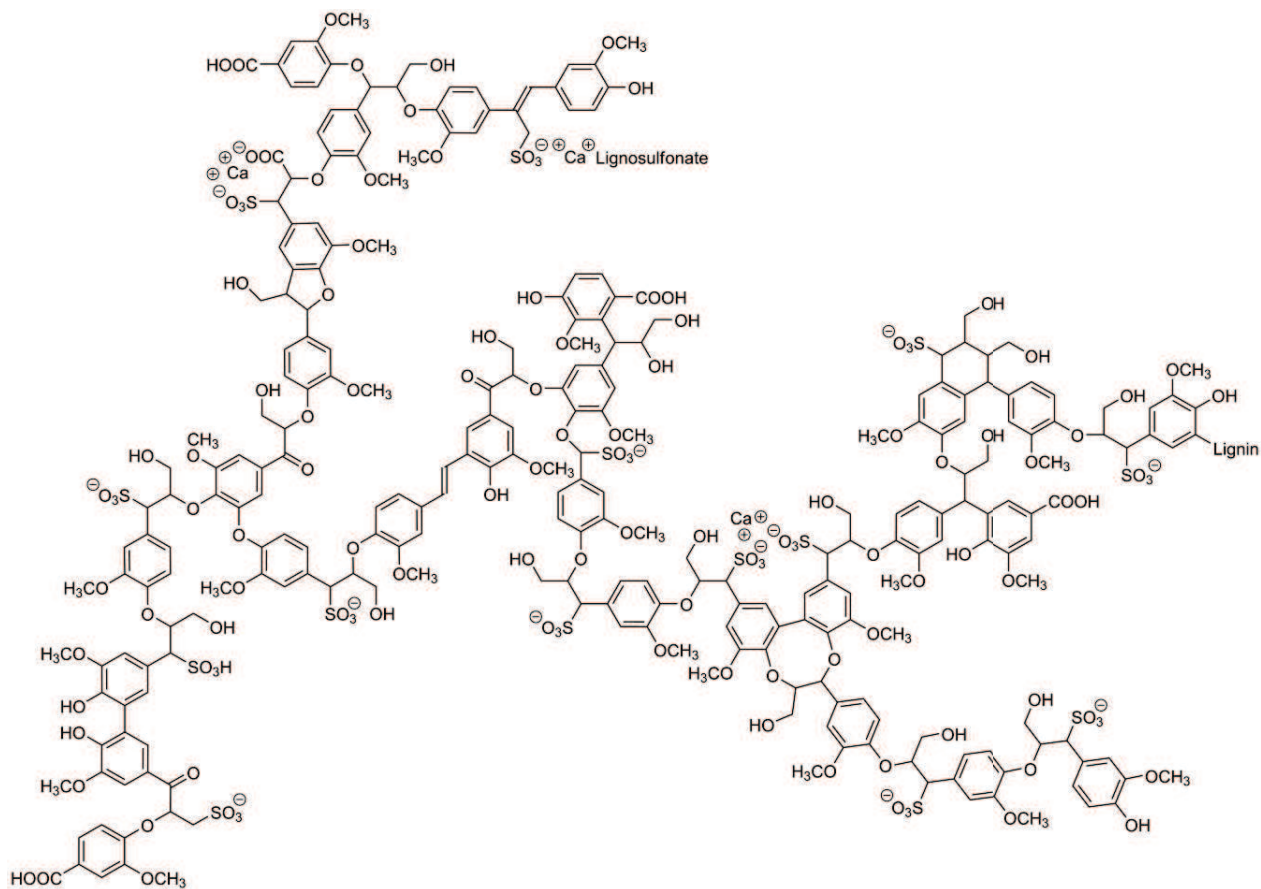
$$M_w = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i} = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i} \quad \text{Likning 2}$$

der vekten,  $w$ , er vektfaktor for hver molekylvekt.[3,4]

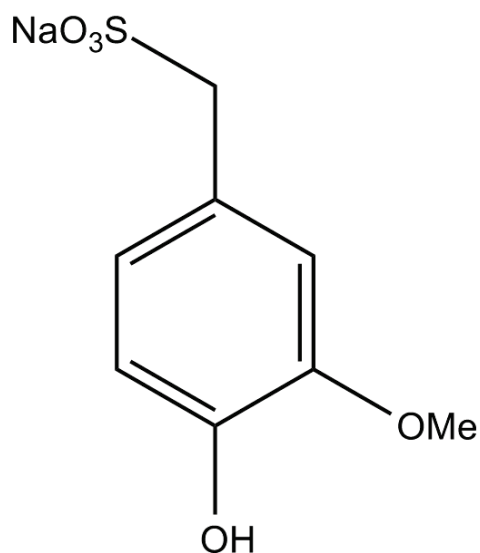
$M_w$  er sensitiv til molekyler med høy molekylvekt og er derfor alltid større enn  $M_n$ . Et illustrerende eksempel er som følger. Dersom en har 100 molekyler med molekylvekt 100 og et molekyl med molekylvekt 10000, så er  $M_n$  ca. 200 og  $M_w$  er ca. 5000. [3,4] Molekylvektsfordeling til lignosulfonater bestemmes med størrelse eksklusjons kromatografi (SEC) kombinert med lysspredningsmålinger (MALLS). Denne metoden er rask og den kan måle molekylvekt over et bredt område (5000 – 400 000 g/mol) i et enkelt eksperiment.[5]

Molekylstrukturen til individuelle lignosulfonatmolekyler har blitt studert av mange forskere. Figur 2 viser en antatt struktur av lignosulfonat som er basert på analyser gjort internt hos Borregaard. Figur 3 viser en gjennomsnittlig monomer av strukturen.

Adsorpsjon av lignosulfonater på leire og kull – modellstudie for økt forståelse av rollen i CIL/CIP prosesser



Figur 2. Tenkt struktur av lignosulfonat.[19]



Figur 3. Monomer av lignosulfonat, der natrium er bundet til den negative sulfonsyregruppen.

Goring introduserte ideen om at lignosulfonatmolekylene danner mikrogeler i løsning. Hovedmassen til gelen er bygd opp av kryssbundet, polyaromatiske kjeder som er tilfeldig kveilet. Negativt ladede sulfonatgrupper er orientert ut mot overflaten, noe som opprettholder molekylets løselighet i vann. Gelen er i stand til å svulle. Grad av kryssbindinger, ladning og svelling er avhengig av metoden lignosulfonatet er isolert.[6] Nylig har Gorings molekylstruktur blitt modifisert. Myrvold foreslår at lignosulfonater beskrives bedre som en tilfeldig grenet polyelektrolytt. Modellen baseres på en analyse av hvordan egenviskositet varierer med molekylvekten. Et av hovedargumentene for Myrvolds struktur i forhold til Goring, er fleksibiliteten til lignosulfonatmolekylene.[2]

Den viktigste egenskapen til lignosulfonatene er deres dispergeringsegenskaper. [2] En dispersjon er et system av to faser, der den ene fasen er partikler som er finfordelt (dispergert) i den andre fasen. For at partiklene skal være jevnt fordelt i dispersjonen, tilsettes ofte dispergeringsmidler.[7] Lignosulfonatmolekylet er bygget opp av et hydrofobt aromatisk skjelett og hydrofile grupper som sulfonsyregrupper, karboksylsyregrupper og fenoliske hydroksylgrupper. Det at lignosulfonat består av både hydrofile og hydrofobe grupper gjør at molekylet har en moderat grenseflateaktivitet. [8] Overflateaktive stoffer karakteriseres med deres evne til å adsorbere på overflater og grenseflater og endre deres egenskaper. Det er ingen fundamental forskjell mellom overflate og grenseflate, og begrepene brukes litt om hverandre. Likevel er det vanlig å snakke om grenseflate mellom to kondenserte faser, f.eks "grenseflate mellom olje og vann", og overflate når vi snakker om en fase, f.eks "overflaten til vann". På grenseflaten mellom to faser eksisterer det en sammentrekkende kraft som vil forsøke å minimalisere grenseflatens areal. Denne kraften måles som overflate- (grenseflate) spenning. På grunn av ubalanse i de intermolekulære kreftene som virker på molekylene i grenseflaten, vil overflate- og grenseflatespenninger oppstå. Hensikten med å adsorbere et overflateaktivt stoff til en grenseflate er å frembringe ønskede endringer i grenseflatens egenskaper. I tillegg til å senke grenseflatespenningen, kan egenskaper endres ved at det dannes en elektrisk ladet eller en mekanisk sterk adsorbent film. Adsorpsjon av polyelektrolytter, slik som lignosulfonat, kan skyldes elektrostatiske tiltrekning, van der Waals krefter, ioniske bindinger eller hydrogenbindinger. I vandige systemer vil dispergererte partikler oftest være negativt ladd. Dette fører til at kationiske polyelektrolytter vil gi sterkest adsorpsjon.

På grunn av økonomi brukes oftest anioniske polyelektrolytter, særlig ved bruk i store volumer og lavkost produkter.[4] Det kjent at en polyelektrolytt som polyakrylsyre danner komplekser med kalsium (eller andre toverdige kationer) i løsning. [22] For lignosulfonat som er en polyelektrolytt, er det rimelig å anta at lignosulfonater også vil danne liknende komplekser. Det er dog ikke gjort kjente studier som bekrefter denne antakelsen.

Det er utført flere studier på adsorpsjon av lignosulfonat til ulike substrater. Studiene finner hovedsakelig ut at et adsorbent lag av lignosulfonat er tynt, faktisk tynnere enn den gjennomsnittlige dimensjonen på lignosulfonat molekyler i løsning. Dette har blitt tolket dit hen at lignosulfonat molekyler er flate og at de adsorberer med den flate enden mot substratet. I løsning har lignosulfonater en negativ ladning, ettersom molekylet har flere ladde grupper som ioniserer i løsning. På grunn av den negative ladningen blir det antatt at adsorpsjon av lignosulfonater på overflater drives av elektrostatiske tiltrekninger mellom overflaten og lignosulfonaten. I senere tid har denne forklaringen blitt utfordret gjennom studier som hevder at både hydrogen bindinger og vekselvirkning mellom kationer og  $\pi$ -elektroner på lignosulfonat driver adsorpsjon. Med andre ord er ikke den eksakte mekanismen for adsorpsjon av lignosulfonat kartlagt fullstendig. [18]

### 1.2.3 Anvendelser

Lignosulfonat er i dag et veletablert produkt på markedet, med mange ulike applikasjoner. Det at produktene kan konkurrere mot dyrere syntetiske produkter, at de ikke er giftige, at de er kostnadseffektive og at de er produsert fra fornybare kilder, gjør de attraktive for miljøbevisste kunder. For noen applikasjoner kan sulfittvæsken som inneholder lignosulfonater benyttes direkte, men for de fleste applikasjoner kreves det at sukker og uorganiske salter fjernes. Urenheter har stort sett negativ effekt for applikasjonene. En del applikasjoner krever i tillegg modifisering av lignosulfonatene. Det benyttes ulike kjemiske metoder for å modifisere lignosulfonater, f.eks sulfonering, desulfonering, oksidering, karboksylering og depolymerisering. Disse modifiseringene utføres for å forbedre egenskapene til lignosulfonatene. Omtrent 50 % av den årlige produksjonen av lignosulfonat brukes som tilsetningsstoff i betong. Lignosulfonat reduserer mengden vann som trengs for å lage en suspensjon med en gitt viskositet. I tillegg til dispergeringsegenskapene bidrar lignosulfonat som bindemiddel og gjør betongen lettere håndterlig.[1] Denne oppgaven baserer

seg på lignosulfonat som dispergeringsmiddel i leire. Som nevnt tidligere, er ikke den eksakte mekaniske mekanismen for adsorpsjon av lignosulfonat kjent. Det er derfor heller ikke mulig å si fullstendig hvordan lignosulfonat adsorberer til leire. Kalsiumioner kan vaskes ut ifra leire, og disse ionene kan bindes opp i et kompleks i løsnings med lignosulfonat. Dette reduserer den frie konsentrasjonen av kalsiumioner i løsningen. Komplekset med lignosulfonat og kalsiumioner adsorberer på overflaten til leirepartiklene. Ladningen på komplekset gjør at adsorberte komplekser vil frastøte hverandre og dermed redusere mengden adsorbent kompleks (lignosulfonat) på overflaten. Denne frastøtningen vil være minst når lignosulfonatmolekylet er mettet av kalsiumioner, der metningsgraden avhenger av mengden ioner i løsningen. Dersom en øker overflatearealet som er tilgjengelig for adsorpsjon, uten å endre mengden lignosulfonat tilsvarende, vil frastøtningen mellom adsorberte lignosulfonat molekyler bli mindre og mer vil kunne adsorbere. [20, 21, 23]

Andre applikasjoner der dispergeringsegenskapene til lignosulfonat benyttes, er innenfor oljeboringsmarkedet. Lignosulfonat tilsettes for å modifisere viskositeten, samt til å øke størkningstiden til sement i oljebrønnene. Ved å øke størkningstiden, vil flytevnene kunne opprettholdes over lengre tidsperioder, hvilket tillater passende installeringsmetoder innenfor det ønskede brønnområdet. Lignosulfonat brukes som dispergeringsmiddel i vannbasert maling og blekk. Tilsetningen forhindrer dannelse av partikler, forbedrer tettheten og reduserer at vann trenger igjennom størknede filmer. Som nevnt over, kan lignosulfonat også fungere som bindingsmiddel. Denne egenskapen benyttes blant annet i produksjon av dyrefor for å forbedre holdbarheten til pellets og øke motstanden mot oppløsning. En annen applikasjon der bindingsegenskapene benyttes, er som støvbinder, for eksempel til å binde veistøv. Av andre applikasjoner med lignosulfonat kan det nevnes bruk i pesticider som dispergeringsmiddel for å forhindre sedimentering, som bindemiddel eller som komplekserende agenter. Modifiserte lignosulfonater er en essensiell komponent i blybatterier. Lignosulfonat hindrer i denne sammenheng krystalldannelse og fører til lengre levetid for batteriet. [1]

Det drives omfattende forskning på lignosulfonater, både for å bedre nåværende applikasjoner og utvikle nye produkter for nye anvendelser.

## 2 Teori

### 2.1 Gullutvinning

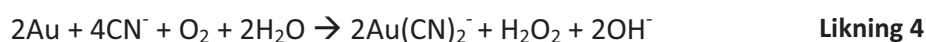
Det finnes flere måter å utvinne gull fra malm, men den mest brukte metoden i dagens industri er cyanidmetoden, som beskrevet av Waroonkarn Srithammavut. [9]

Cyanid brukes for å løse opp gull fordi det er billig og effektivt. Enkle cyanidsalter som natriumcyanid (NaCN), kaliumcyanid (KCN) og kalsiumcyanid (Ca(CN)<sub>2</sub>) er mye brukte kjemikalier for cyanidmetoden. Saltene løses og ioniserer i vann og danner de respektive metallkationene og frie cyanid ioner. Eksempelvis gjelder for natriumcyanid:



Cyanidionene hydrolyserer i vann og det dannes hydrogencyanid (HCN) og hydroksyl ioner (OH<sup>-</sup>) som bidrar til økt pH. Ved pH 9,3 eksisterer halvparten av cyanidmengden som hydrogencyanid og halvparten som frie cyanidioner. Ved høyere pH eksisterer omtrent hele mengden cyanid som frie cyanidioner. Dersom hydrogencyanid og fritt cyanid oksideres dannes cyanat (CNO<sup>-</sup>). Dette er en uønskelig reaksjon ettersom cyanat ikke løser gull, og dessuten reduseres antall frie cyanidioner. Ettersom det er ønskelig med stor mengde frie cyanidioner benyttes det høy pH i prosessen. I oppgaven benyttes pH 10, slik at forsøkene utføres under sammenliknbare forhold som den virkelige prosessen.

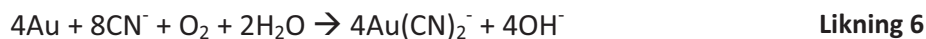
Oksidering av gull er en forutsetning for å kunne oppløses i alkaliske cyanidløsninger. Selv om gull er inert mot oksidering, kan det i nærvær av cyanid både oksideres og løse. Det stabile kompleksionet (Au(CN)<sub>2</sub><sup>-</sup>) dannes. Oksygen reduseres og hydrogenperoksid dannes som et mellomprodukt i det første steget og blir den oksiderende agenten i det andre steget. Dette fører til de følgende kjemiske reaksjonene, som foregår parallelt.





Adsorpsjon av lignosulfonater på leire og kull – modellstudie for økt forståelse av rollen i CIL/CIP prosesser

Dersom Likning 4 og Likning 5 summeres, fås Elsner likning, som beskriver prosessen for å utvinne gull fra malm med cyanid.



Adsorpsjon av gull fra vandig løsninger på aktivt kull har vært kjent siden 1847. To metoder som er utbredt i industrien i dag, er carbon-in-leach (CIL) og carbon-in-pulp (CIP). Disse to metodene har vært brukt siden 1970-tallet og til sammen inngår de i ca 44 % av verdensproduksjonen av gull.

CIP prosessen består av to hovedprosesser, først oppløsningen av gull med cyanid og deretter adsorpsjonen av gullcyanidkomplekset til aktivt kull. Gullopløsningen kontrolleres av oksygen, cyanidkonsentrasjon, pH og temperatur. Først males malmen og deretter løses den i vann. Cyanid og luft/oksygen tilsettes massen. For å oppnå passende konsentrasjon av oksygen slik at gullet kan oppløses, dispergeres et stort antall oksygenbobler inn i massen. Oppløsningen av gull foregår i ulike roterende reaktorer.

Aktivt kull benyttes som adsorbent for gull. Kull er et porøst materiale og kan ha et stort spesifikt overflateareal. Det spesifikke overflatearealet varierer med partikkelstørrelse. I følge [18] er "kullpartiklene som benyttes i CIP og CIL prosessene er store, slik at de lett kan filtreres fra leire. Overflaten kull som er tilgjengelig for adsorpsjon er dermed ikke stor i disse tilfellene. Det er viktig at kullpartiklene ikke males opp til mindre partikler i nærvær av leire som inneholder gull. Man vil da kunne miste kull med adsorbent gull sammen med leiren." Ulike typer aktivt kull brukes. Mye brukt er kull utvunnet fra kokosnøtter. Dette kullet er veldig hardt, det er motstandsdyktig mot avslipning og brudd. Adsorpsjon av gull til karbon er et kompleks fenomen. Mekanismen vises i Likning 7 Komplekset med gull og cyanid adsorberes som ionepar med kation.



M kan være H, Na, K og Ca. Likevekten til adsorpsjonsreaksjonen påvirkes av mange ulike faktorer, som temperatur, konsentrasjon av gull-cyanid komplekset, nærvær av organiske løsemidler, type

Adsorpsjon av lignosulfonater på leire og kull – modellstudie for økt forståelse av rollen i CIL/CIP prosesser

av kationer i løsningen og ionestyrken til løsningen. Når likevekt nærmer seg synker adsorpsjonsraten.

Etter prosessen der gull oppløses, føres massen til CIP adsorpsjonsprosessen. Denne prosessen består av tre steg.

- 1) Adsorpsjon, det oppløste gullet i massen adsorberes til det aktive kullet, og dette komplekset separeres fra den vaskede malmen.
- 2) Eluering, gull fjernes fra kullet inn i en alkalisk cyanidløsning.
- 3) "Electrowinning", en elektrolyseprosess fjerner gullet fra den alkaliske cyanidløsningen og gullet deponeres på katoden.

Carbon-in-leach (CIL) prosessen er lik CIP prosessen, bortsett fra at stegene for oppløsning av gull og adsorpsjon foregår i samme tanker samtidig. Hvilken prosess som blir valgt i en gruve, avhenger av malmens sammensetning. Problemstillingen som er betraktet i denne oppgaven, er uavhengig av hvilken prosess som benyttes i en gruve.

## 2.2 Adsorpsjon og Langmuirs isoterm

Prosessen som binder partikler til en overflate, kalles adsorpsjon. Det motsatte av adsorpsjon er desorpsjon. Stoffet som adsorberes til en overflate benevnes adsorbat, mens stoffet som adsorberer adsorbaten kalles adsorbent. Molekyler og atomer kan adsorberes til en overflate på to måter, fysisk adsorpsjon og kjemisk adsorpsjon. I den fysiske adsorpsjonen er det van der Waals interaksjoner mellom adsorbaten og adsorbenten og elektrostatiske tiltrekninger. I kjemisk adsorpsjon fester molekylene eller atomene seg til overflaten ved å forme en kjemisk binding. Denne bindingen er oftest en kovalent binding. [10]

Dersom en løsning av et overflateaktivt stoff kommer i kontakt med en adsorberende overflate, vil adsorpsjon skje. Konsentrasjonen av det overflateaktive stoffet i løsningen reduseres. Ved hjelp av data som beskriver endringen av konsentrasjon i løsning og kjennskap til total mengde fast stoff og løsning, kan mengde adsorbent stoff regnes ut. Den adsorberte mengden gis per vektenhet av det adsorberende stoffet. Dersom det spesifikke arealet til stoffet er kjent, kan resultatet oppgis i mengde adsorbent stoff per arealenhet. Resultatet beskriver en adsorpsjonsisoterm.

Det finnes flere ulike isotermer, men en som både er enkel å forstå teoretisk og anvendelig for eksperimentelle data er Langmuir isotermen. [11]

Langmuir isotermen er basert på tre antagelser [10]:

1. Monomolekylær adsorpsjon. Bare et lag av molekyler kan bindes til overflaten.
2. Overflaten har et spesifikt antall seter der adsorbaten kan adsorberes.
3. Evnen et molekyl har til å adsorbere på et bestemt sete er uavhengig av om naboseter er okkupert. (Det er ingen interaksjoner mellom adsorberte molekyler)

Omfanget av overflate som dekkes ved adsorpsjon uttrykkes som dekningsgrad [10],  $\theta$ :

$$\theta = \frac{\text{antall adsorpsjonsseter okkupert}}{\text{antall adsorpsjonsseter tilgjengelig}} \quad \text{Likning 8}$$

Den kjemiske reaksjonen for monomolekylær adsorpsjon, der A er adsorbaten og S er adsorbenten [10, 11]:



**Likning 9**

AS representerer et molekyl bundet til et overflatesete på S. Likevektskonstanten for reaksjonen er gitt ved:

$$K_{ads} = \frac{[AS]}{[A][S]}$$

**Likning 10**

Fra uttrykket for dekningsgraden, er  $(1-\theta)$  et uttrykk for fraksjonen av overflate med tilgjengelige seter. Med disse definisjonene kan man omskrive  $[AS]/[S]$  som:

$$\frac{[AS]}{[S]} = \frac{\theta}{1-\theta}$$

**Likning 11**

Deretter uttrykkes  $[A]$  som konsentrasjon  $c$ , og likning omskrives til:

$$K_{ads} = \frac{\theta}{c(\theta-1)}$$

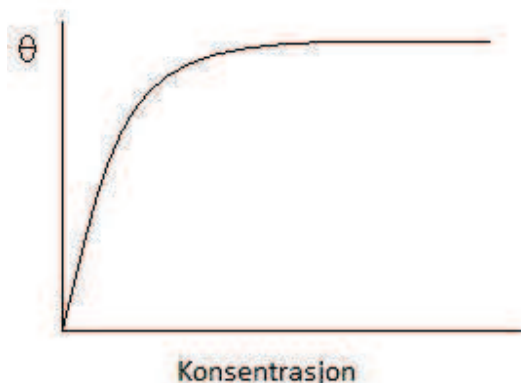
**Likning 12**

Uttrykket omdannes og gir Langmuirs adsorpsjonsisoterm:

$$\theta = \frac{K_{ads}c}{1 + K_{ads}c}$$

**Likning 13**

Figur 4, et plott av Likning 13, viser hvordan andelen okkuperte adsorpsjonsseter øker med økende konsentrasjon av adsorbaten.



Figur 4. Langmuirs adsorpsjonsisoterm.

Eksperimentelt måles ikke graden av adsorpsjonssteder som inneholder adsorbent stoff direkte. Det vanlige er å måle antall mol av løsning adsorbent per vektenhet av adsorbenten,  $n/w$ , eller antall mol per arealenhet av adsorbenten,  $n/A$ . [11] Disse mengdene relateres med likningen:

$$\frac{n}{A} A_{sp} = \frac{n}{w} \quad \text{Likning 14}$$

der  $A_{sp}$  er det spesifikke overflaten til adsorbenten. Graden som er dekket er relatert som følger:

$$\theta = \frac{n}{A} N_A \sigma = \frac{n N_A \sigma}{w A_{sp}} \quad \text{Likning 15}$$

Der  $N_A$  er Avogadros tall og  $\sigma$  er det arealet som er okkupert per molekyl.  $\sigma$  er med andre ord det monomolekylære arealet til adsorbenten. Ved en mettet adsorpsjon vil  $\theta = 1$ , og på grunnlag av Likning 15, vil metningsverdiene til parameterne som måles eksperimentelt bli

$$\left(\frac{n}{w}\right)_{sat} = \frac{A_{sp}}{N_A \sigma} \quad \text{Likning 16}$$

eller

$$\left(\frac{n}{A}\right)_{sat} = \frac{1}{N_A \sigma} \quad \text{Likning 17}$$

Langmuirs likning, Likning 13, skrives ofte som

$$m\left(\frac{n}{w}\right) = \frac{\left(\frac{m}{b}\right)c}{\left(\frac{m}{b}\right)c + 1} \quad \text{Likning 18}$$

Der  $m$  og  $(m/b)$  sees på som empiriske konstanter. For å oppnå tallverdier for disse konstantene fra eksperimentelle data, omformes Likning 18 til formen:

$$\frac{c}{n/w} = mc + b \quad \text{Likning 19}$$

Denne formen av likningen viser at et plot av  $c/(n/w)$  versus  $c$  vil bli en rett linje med stigningstall  $m$  og skjæringspunkt  $b$  med den vertikalkaksen. Dersom det eksperimentelle systemet stemmer med modellen, vil verdiene av  $m$  og  $b$  tilegnes en fysisk betydning ved å sammenlikne Likning 18 med Likning 13 og Likning 15:

$$m = \frac{N_A \sigma}{A_{sp}} \quad \text{Likning 20}$$

og

$$\frac{m}{b} = K_{ads} \quad \text{Likning 21}$$

Med de eksperimentelle verdiene av  $m$  og  $b$  kan  $A_{sp}$  og  $K_{ads}$  regnes ut.  $A_{sp}$  kan finnes dersom  $\sigma$  er kjent. Dersom  $A_{sp}$  er kjent, kan  $\sigma$  finnes. Lav  $K$ -verdi indikerer svak adsorpsjon, mens en høy  $K$ -verdi indikerer sterk adsorpsjon.[11]

Langmuirs modell er en teoretisk modell og ofte vil virkelige systemer kunne avvike fra modellen. En adsorpsjonsprosess er en kompleks prosess, som inneholder interaksjoner mellom løsningsmiddel og stoff, løsningsmiddel og adsorbent og stoff og adsorbent. Uønskede interaksjoner kan påvirke adsorpsjonen man ønsker å utforske. Få faste overflater er homogene på molekylnivå. Ved uhomogene overflater vil det oppstå ulike  $K$  verdier på ulike steder på overflaten. Få monomolekylære lag er ideelle. Eksperimentelt forholder adsorpsjonen seg ofte til et omfang som overgår den monomolekylære kapasiteten til overflaten. Disse eksperimentelle avvikene bør

tas i betraktning når modellen vurderes.[11] Erfaringsmessig gir dog Langmuir isotermen en god beskrivelse av mange adsorpsjonssprosesser [18].

## 2.3 UV/synlig adsorpsjonsspektroskopi

Litteratur er hentet fra referanse nr. 12, dersom ikke annet er referert i teksten.

### 2.3.1 Generelt om adsorpsjon

For å undersøke mengde lignosulfonat adsorbent til kull og leire blir det benyttet spektrofotometer i oppgaven. Intensiteten til en lysstråle som sendes gjennom en løsning med en bestemt tykkelse og en konsentrasjon av et absorberende stoff, vil reduseres. Den opprinnelige intensiteten beskrives som  $P_0$ , og den reduserte intensiteten som  $P$ .  $P$  dividert med  $P_0$  er et uttrykk for den mengde stråling som passerer den absorberende løsningen, og kalles transmittans  $T$ .

$$T = \frac{P}{P_0} \quad \text{Likning 22}$$

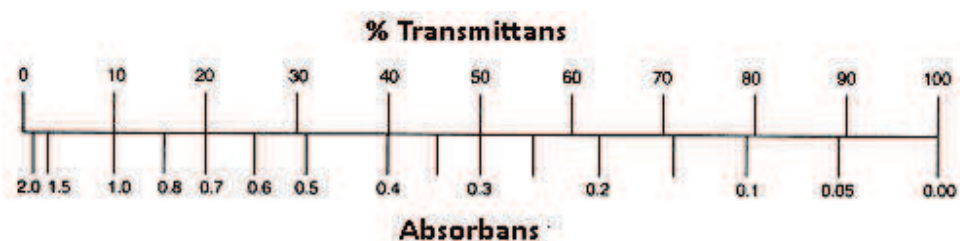
Oftest oppgis transmittans som prosent

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100 \quad \text{Likning 23}$$

Absorbansen  $A$  defineres med likningen

$$A = -\log_{10} T = \log \frac{P_0}{P} \quad \text{Likning 24}$$

Absorbans har ingen enhet, men noen ganger oppgis den som AU (absorbance unit) eller A. Forholdet mellom absorbans og prosent transmittans vises i Figur 5.



Figur 5. Sammenheng mellom transmittans og absorbans. [12]

### 2.3.2 Beers lov

Absorbansen er direkte proporsjonal med lysveien  $b$  gjennom prøven og konsentrasjonen  $c$  til det absorberende stoffet. Denne sammenhengen gir Beers lov.

$$A = \epsilon bc$$

Likning 25

$\epsilon$  er den molare absorptiviteten, en proporsjonalitetskonstant, med enheten  $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ . Når absorbans og transmittans måles i praksis, oppbevares prøven i en kyvette. Noe av strålingen vil reflekteres når den treffer kyvetten. Refleksjonen oppstår i de to grensene mellom luft/vegg og i de to grensene mellom vegg/løsning i kyvetten. Refleksjonen fører til at intensiteten til lysstrålen som når detektor, er lavere enn den teoretisk skal være. For å kompensere for uønsket refleksjon, sammenlignes effekten av strålen som går gjennom prøven med en referanseprøve. Både prøve og referanseprøve analyseres i lik kyvette. Referanseprøven inneholder bare løsningsmiddelet.

Eksperimentell absorbans defineres med likningen:

$$A = \log \frac{P_{\text{løsningsmiddel}}}{P_{\text{løsning}}} \approx \log \frac{P_0}{P}$$

Likning 26

Den eksperimentelle absorbansen er en god tilnærming til den virkelige absorbansen.



### 2.3.3 Linearitet i metoden, unntak fra Beers lov

Beers lov har få unntak når det gjelder generaliseringen av at absorpsjon er lineær i forhold til lysveien. Likevel forekommer det avvikelser fra loven. Noen av disse avvikene er fundamentale og gir begrensninger til loven. Avvikene deles i instrumentelle og kjemiske avvik. De kjemiske avvikene omfatter konsentrasjon av den absorberende løsningen. For høye konsentrasjoner (vanligvis  $> 0,01M$ ), vil ikke Beers lov gi optimale målinger. Dette skyldes at ved høye konsentrasjoner vil den gjennomsnittlige avstanden mellom de absorberende partiklene minske slik at de påvirker nabopartiklenes ladningsfordeling. Denne interaksjonen kan endre partiklenes evne til å absorbere strålingen ved en bestemt bølgelengde. På denne måten blir det avvik fra det lineære forholdet mellom absorpsjon og konsentrasjon. Lignende effekt kan også oppstå i løsninger med lave konsentrasjoner av absorberende stoff, men med høy konsentrasjon av andre stoffer, da særlig elektrolytter. Nærhet av ioner kan endre absorbentens molare absorpsjonskoeffisient pga elektrostatiske interaksjoner. Effekten minskes ved fortynning.

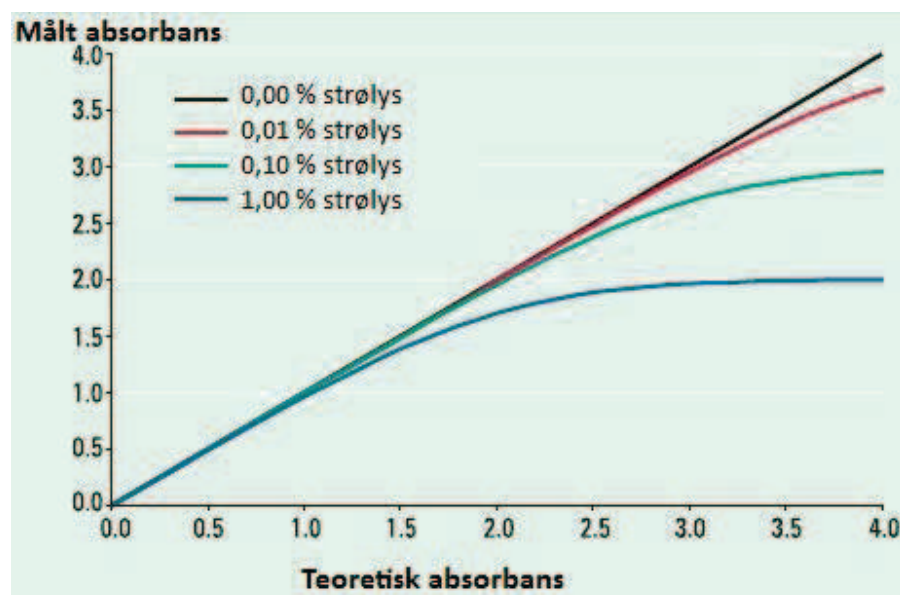
De instrumentelle avvikene oppstår på grunnlag av hvordan instrumentet er bygd opp og de fører til at den målte absorpsjonsverdien er lavere enn den teoretiske verdien. Den øverste grensen for nøyaktig måling av absorpsjon er forbundet med en instrumentell spesifisering kalt strølyset.[13] Strølyset er stråling med bølgelengder utenfor den ønskede bølgelengden som analyseres. Strølyset kommer fra ulike kilder i monokromatoren, som er den delen av spektrofotometeret som velger bølgelengde. Eksempel på strølyset er refleksjoner av strålen fra ulike optiske deler av monokromatoren eller fra refleksjon fra støvpartikler i luften. Ofte er forskjellen mellom strølysets bølgelengde og den bølgelengden instrumentet er stilt inn på stor. Det kan da hende at strølyset som detekteres, ikke har passert gjennom prøven. Strølyset fører til at de eksperimentelle absorpsjonsmålingene er lavere enn de teoretiske. Visse tiltak kan minske strølyset, men noe vil sendes ut. Strølyset er en konstant for ethvert instrument, og det oppgis i instrumentspesifiseringen som en % T verdi. Jo lavere % T verdi, jo mindre strølyset og dermed større lineært absorpsjonsområde.

Ved tilstedeværelse av strølys er den observerte absorbanse gitt ved:

$$A' = \log \frac{P_0 + P_s}{P + P_s} \quad \text{Likning 27}$$

Der  $P_s$  er kraften til strølyset som ikke er absorbert.

Figur 6 viser en sammenheng mellom teoretisk absorbanse og målt absorbanse ved ulike mengder strølys. Figuren demonstrerer tydelig at ved større mengder strølys avviker lineariteten mellom den målte og den teoretiske absorbanse.



Figur 6. Sammenhengen mellom teoretisk absorbanse og målt absorbanse ved ulike mengder strølys. [24]

Som en generell regel vil instrumenter med en enkelt monokromator ha et strølysnivå som korresponderer til 3 i absorbanse, noe som gjør målinger over 2 AU problematisk. [14]

Spektrofotometeret som benyttes i metoden er PerkinElmer Lambda 25. Ifølge produktspesifikasjonene til instrumentet [15] har det strølys  $< 0,01\%$  T i området for absorbansemålingene. I brosjyren til instrumentet [16] oppgis absorbanseområdet til instrumentet til 3,2 A.

### 3 Materiale og metoder

#### 3.1 Materialer

I oppgaven er det benyttet aktivt kull levert fra Jacobi Carbons, USA. Det aktive kullet er produsert kokosnøttskall.

Tilsvarende ble leire fra Abitibi-feltet i Ontario, Canada brukt i forsøkene.

Fire ulike lignosulfonater ble analysert for adsorpsjon til kull og leire, disse betegnes LS1, LS2, LS3 og LS4. LS brukes som en forkortelse av lignosulfonat.

LS1 og LS2 er produsert ved Borregaard fabrikker i Sarpsborg. LS3 er produsert ved LignoTech USA i Rothschild, Wisconsin. LS4 er produsert ved LignoTech Sør Afrika i Umkomaas. Tabell 1 viser de kjemiske analyseresultatene av de ulike lignosulfonatene. LS1, LS2 og LS3 er softwood lignosulfonater, mens LS4 er hardwood lignosulfonat.

**Tabell 1. Kjemiske analyseresultater av lignosulfonater. Tabellen angir molekylvekter til lignosulfonater og prosentvis innhold av ulike kjemiske grupper, aske, pH og uløselig materiale.**

Lignosulfonat	LS1	LS2	LS3	LS4
Mw	35900	40200	20800	6600
Mn	2500	2650	2300	1000
Red Sug	6,3	1,6	0,2	3,2
Tot S	6	6,4	10,1	5,3
Inorg S	0,8	0,8	2	0,5
Org S	5,2	5,6	8,1	4,8
K-Solid	10,5	9,8	8,5	8,4
Phen OH	1,8	1,5	1,4	1,5
Ca	3,8	0,2	0,04	3,2
Na	0,5	8,2	12	3,8
Ash	9,7	25,3	28,9	20,8
SO <sub>4</sub>	1,9	1,6	3,2	0,2
SO <sub>3</sub>	0,4	<0.1	1	0,1
Cl	<0.1	0,03	0,2	0,2
pH	4,4	4,4	5,6	9,7
insol, vol	0,2	0,3	<0.1	0,3

Adsorpsjon av lignosulfonater på leire og kull – modellstudie for økt forståelse av rollen i CIL/CIP prosesser

lonebyttet vann ble benyttet i hele metoden.

Forsøkene er gjort ved romtemperatur.

Stamløsning av  $10^{-4}$  M  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  /  $10^{-2}$  M NaCl ble tillaget som løsningsmiddel. Kalsiumhydroksid ble tilsatt for å ha løsninger med alkalisk pH rundt 10. Prosessene for gullutvinning foregår ved høy alkalisk pH både for størst tilgang på frie cyanidioner, men også for å unngå problemer med cyanidgass. Etersom leiren det jobbes med kommer fra en gullgruve, kan den inneholde spor av cyanid, og man unngår at det oppstår farlige situasjoner ved å arbeide med den i alkalisk pH. NaCl ble tilsatt i løsningsmiddelet for å ha elektrolytt i løsning. Dette ble gjort for å tilpasse forsøket til de virkelige industrielle prosessene, der prosesstrømmene inneholder elektrolytter.

Vekt med 4 desimaler ble benyttet ved alle innveiinger.

## 3.2 Metoder

### 3.2.1 Adsorpsjon av lignosulfonat til kull

Kullet ble kvernet med kaffekvern og partiklene ble siktet med en 0,425 sikt. Det ble målt partikkelstørrelser av det malte kullet med instrumentet Microtrac Bluewave. 4 målinger ble utført, for å kunne si noe om homogenitet av kullpartiklene og for å kunne bruke et gjennomsnitt i utregninger.

Det ble laget 1,0 % og 0,1 % stamløsninger av lignosulfonatene. For rett innveining av LS ble det analysert tørrstoffinnhold. Instrumentet som ble benyttet var Mettler Toledo H343-S Halogen.

Enhver vekt vil ha en måleusikkerhet. Denne usikkerheten ligger i det siste desimalet i avlesningen. I metoden er alle innveide mengder av lignosulfonat (pulver) og lignosulfonatløsning, kull, leire og stamløsning større enn 0,1 gram. Dette betyr at usikkerheten som ligger i det 4 desimale i vekten ikke påvirker resultatene i nevneverdig grad. Dette er grunnen til at fortyninger av 1,0 % stamløsning av lignosulfonat er benyttet, slik at det unngås å måtte veie inn svært lave mengder.

0,5 gram kull ble innveid i et 100 ml begerglass. Deretter ble løsningsmiddel og LS tilsatt slik at den totale mengden løsning var 50 g. Vekten av kull inngikk ikke i disse 50 g. Ulike mengder av de to stamløsningene med LS ble tilsatt kull og løsningsmiddel. For å finne passende konsentrasjonsområde ble det testet en god del prøver med hensyn på absorbansverdi. Kriteriene som lå til grunn var at prøvene lå innenfor absorbansområdet som gav linearitet i metoden, se diskusjonen i kapittel 4.1. I tillegg ble konsentrasjonsområdet tilpasset slik at plottet av adsorberte mengdene lignosulfonat, se eksempel i Figur 11, liknet Langmuirs isoterm som er vist i Figur 4. Tabell 2 viser konsentrasjonsområde med passende konsentrasjoner av tilsatt LS for adsorpsjon til kull.

**Tabell 2. Konsentrasjonsområde for lignosulfonat i adsorpsjonsforsøk til kull.**

Stamløsning LS	Antall gram av stamløsning	Konsentrasjon (g LS/g løsning)
0,10 %	0,5000	1,00E-05
	1,0000	2,00E-05
	2,0000	4,00E-05
	3,5000	7,00E-05
	5,0000	1,00E-04
	7,0000	1,40E-04
	9,0000	1,80E-04
1,00 %	1,0000	2,00E-04

Løsningen med kull, løsningsmiddel og LS ble satt på magnetrører i 30 min. 30 minutter ble benyttet etter oppfordring av veileder. pH ble målt for å kontrollere at den lå rundt 10. Etter de 30 minuttene ble supernatanten filtrert av ved hjelp av sprøyte og sprøytefilter. Porestørrelse på 0,45 µm ble benyttet. Den filtrerte supernatanten, løsning med lignosulfonat som ikke var adsorbent, kalles videre adsorpsjonsprøve.

Det ble målt UV absorpsjon til adsorpsjonsprøven med PerkinElmer Lambda 25 instrument. Prøven ble målt med 1 cm kyvette og scannet fra 210 - 400 nm. Softwood lignosulfonater har absorpsjonsmaksimum fra 280-281 nm, og hardwood lignosulfonater har absorpsjonsmaksimum fra 276-277 nm.[17]

I metoden er 280 nm valgt som bølgelengde for utregning av mengde LS adsorbent for alle de fire lignosulfonatene. Forskjellene i absorpsjon mellom 276 nm og 280 nm er så små, slik at resultatet for Norlig SA kan sammenliknes med de andre lignosulfonatene.

For kvantitativ analyse ble det laget standardprøver. Ulike mengder av stamløsningene av LS ble veid inn og fortynnet med løsningsmiddelet til ønsket konsentrasjon. Standardprøvene ble analysert på UV/Vis spektrofotometeret med samme prosedyre som adsorpsjonsprøvene.

UV-dataene fra spektrofotometeret ble lagt inn i excel. Konsentrasjonen LS (g LS/g løsning) i hver prøve før adsorpsjon og i standardprøvene ble regnet ut, ved hjelp av innveide mengder av LS og

løsningsmiddel. På grunnlag av utregnet konsentrasjon og absorban til standardene ble standardkurver plottet. Ved hjelp av standardkurven kunne konsentrasjonen av LS i adsorpsjonsprøvene regnes ut. Videre kunne mengde LS adsorbent regnes ut. Figur 7 viser et utregningseksempel for en adsorpsjonsprøve av LS1.

LS1 1,0%	
Tørrstoff LS1 93,2% (A)	0,9320
Innveid mengde LS1 korrigert for tørrstoff (1,0730g) (B)	1,0734
Innveid mengde totalt med Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl (C)	99,9950
Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsningsmiddel) C1	1,00E-02

Kull innveid (g)	Innveid mengde Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsning totalt (g)	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsning)
		V1	V2	$C2=(C1*V1)/V2$
0,5021	48,9969	0,9997	49,9966	2,00E-04

Fra standardkurven får man likningen  $y=ax+b$

$y=9938,8x+0,0024$

x er konsentrasjon av LS som ikke er adsorbent (g LS/g løsning)

$x = (y - 0,0024)/9938,8$

y er absorbanen som er målt for prøven= 1,54878.

$x = 1,56E-04$  g LS/g løsning

Antall gram LS adsorbent =  $(C2-x)* V2 = 2,223E-03$  g LS

Antall gram LS adsorbent per gram kull = Antall gram LS adsorbent / Antall gram innveid kull =  $4,43E-03$  g LS/g kull

Figur 7. Beregningseksempel for utregning av antall gram LS adsorbent per gram kull.

For hver av de fire lignosulfonatene ble det laget et plott av den tilsatte konsentrasjonen LS mot mengden adsorbent LS per gram kull. Disse plottene ble sammenliknet i en figur, se Figur 12 i resultatdelen.

### 3.2.2 Adsorpsjon av lignosulfonat til leire

Leiren ble analysert i den formen den forelå. 3 målinger av partikkelstørrelse ble utført.

Samme prosedyre som for kull ble benyttet, men konsentrasjonsområdet var bredere. Det ble analysert prøver med lavere konsentrasjoner enn for kull. Grunnen til dette, var fordi konsentrasjonsområdet analysert for kull ikke gav nok punkter som kunne tilpasses Langmuirs adsorpsjonsisoterm for adsorpsjon til leire. Tabell 3 viser konsentrasjonsområdet til LS analysert på leire. Konsentrasjonsområdet gav gode resultater for tilpassing av Langmuirs adsorpsjonsisoterm. For konsentrasjonene  $5,00E-06$  –  $2,00E-05$  g LS/g løsning ble det benyttet 1 gram leire i stede for 0,5 gram. Dette ble gjort for å oppnå adsorpsjon ved svært lave konsentrasjoner av LS.

**Tabell 3. Konsentrasjonsområde for lignosulfonat i adsorpsjonsforsøk til leire.**

Stamløsning LS	Antall gram av stamløsning	Konsentrasjon (g LS/g løsning)
0,01 %	2,5000	$5,00E-06$
	3,5000	$7,00E-06$
	4,5000	$9,00E-06$
	7,0000	$1,40E-05$
	9,0000	$1,80E-05$
0,10 %	1,0000	$2,00E-05$
	2,0000	$4,00E-05$
	3,5000	$7,00E-05$
	5,0000	$1,00E-04$
	7,0000	$1,40E-04$
	9,0000	$1,80E-04$
1,00 %	1,0000	$2,00E-04$

For hver av de fire lignosulfonatene ble det laget et plott av den tilsatte konsentrasjonen LS mot mengden adsorbent LS per gram kull. Disse plottene ble sammenliknet i en figur, se Figur 12 i resultatdelen.



### 3.2.3 Adsorpsjon av lignosulfonat til leire uten elektrolytt i løsningsmiddelet

For å undersøke hvordan fravær av elektrolytt i løsningen påvirker adsorpsjon til leire, ble det analysert prøver der løsningsmiddelet ikke inneholdt NaCl, bare  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Framgangsmåten for forsøkene var de samme som beskrevet for leire. Standardprøver med løsningsmiddel uten NaCl ble også analysert. Det ble laget en figur, Figur 14, med sammenlikning av alle lignosulfonatene. I tillegg ble det laget en figur, Figur 15, som sammenliknet differanse i mengde adsorbent lignosulfonat mellom adsorpsjon til leire med og uten elektrolytt i løsning. Adsorpsjon til kull antas ikke å påvirkes i like stor grad av elektrolytter i løsning ettersom kullet mangler ladning. Det er derfor ikke analysert adsorpsjon av lignosulfonat til kull uten elektrolytt i løsning.

### 3.2.4 Likevektskonstanter

For hver LS ble det regnet ut likevektskonstanter for adsorpsjon til kull og til leire med og uten elektrolytt. Utregningen ble gjort som beskrevet i teorien under kapittel 2.2. Likning 19 ble benyttet for å lage et lineært plot av adsorpsjonsisotermene. Konsentrasjonen som benyttes i arbeidet, er g LS/g løsning, og denne plottes langs x-aksen. Langs y-aksen plottes  $(\text{g LS/g løsning})/(\text{g adsorbent LS/g substrat})$ . Substratet er henholdsvis leire eller kull. Stigningstallet i den lineære regresjonen har dermed enheten g substrat/g adsorbent LS. Ved hjelp av regresjonslikningen  $y=mx+b$  og Likning 21 ble likevektskonstanten beregnet. En figur med sammenlikning av likevektskonstantene til de ulike lignosulfonatene og adsorpsjonsbetingelsene ble laget, se Figur 16

### 3.2.5 Utregning av spesifikk overflate for kull og leire

Den spesifikke overflaten for kull og leire ble regnet ut på to forskjellige måter, ved hjelp av den målte partikkelstørrelsen og ved hjelp av teorien bak Langmuirs adsorpsjonsisoterm. Utregningene ble gjort for å teste ut to ulike tilnærmelser for å normalisere arealet tilgjengelig for adsorpsjon. På grunnlag av målingene av partikkelstørrelse ble den spesifikke overflaten til kull og leire regnet ut basert på gjennomsnittet av hhv 4 og 3 målinger. Formelen for volum og areal for en kule ble benyttet i utregningene etter oppfordring fra veileder. Dette er ikke en veldig relevant tilnærming ettersom verken kull eller leire er kuleformet. Leire er formet som flak og kull er et porøst materiale med mange porer. Utregningene tar ikke høyde for partiklenes eventuelle porøsitet. Porøsiteten til partikler kan regnes ut ved blant annet BET målinger ved å bestemme hvor mye  $\text{N}_2$

gass som kan adsorbere på kullet. Dette har ikke vært en del av denne oppgaven. I litteraturen er det oppgitt spesifikk overflate til kull, men det er valgt å ikke benytte en litteraturverdi ettersom partikkelstørrelse og opprinnelse kan være forskjellig.

Likning 20 ble benyttet for å regne ut den spesifikke overflaten til kull og leire med grunnlag i Langmuirs isoterm.  $m$  er stigningstallet for den lineære regresjonen i det lineære plottet av adsorpsjonsisotermene.  $\sigma$  er det monomolekulære arealet til LS som er  $20\text{nm}^2$ . [18] Med Likning 20 får den spesifikke overflaten følgende enhet:

$$A_{sp} = \text{mol}^{-1} * \text{m}^2$$

Ved å dividere med molekylvekten til den relevante lignosulfonaten, f.eks  $M_n=2500$  for LS1, vil  $\text{mol}^{-1}$  forsvinne og enheten  $\text{m}^2/\text{g}$  står igjen.

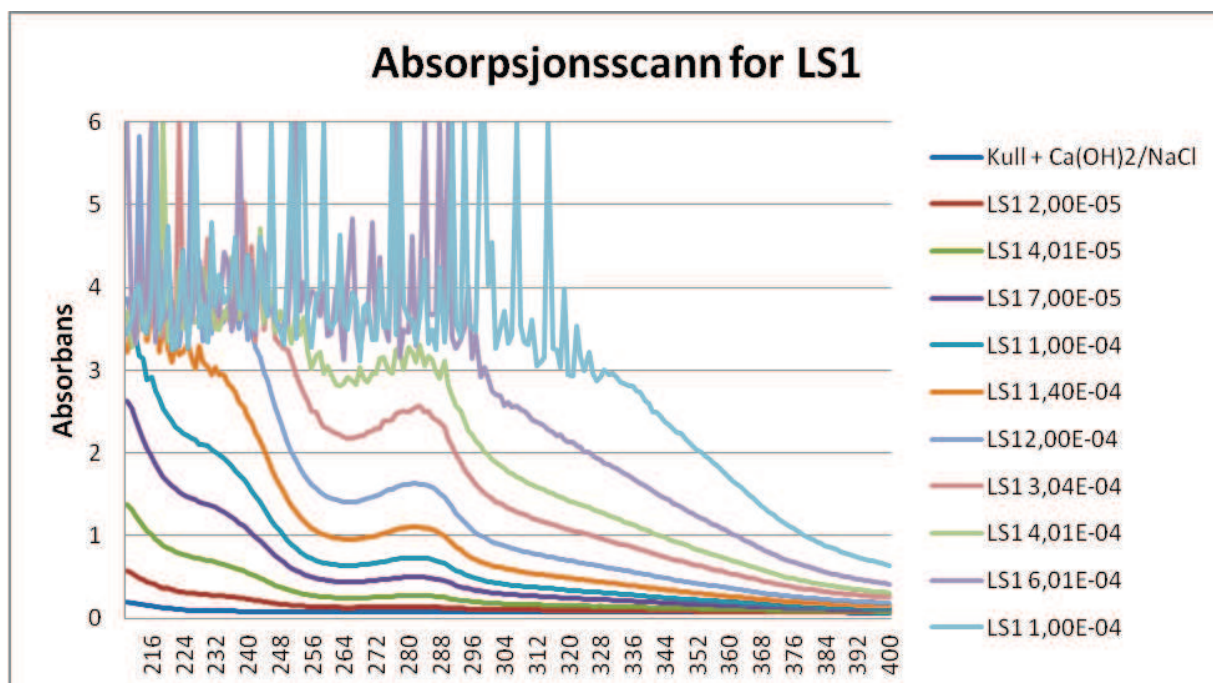
Ettersom kull og leire har et ulikt areal/g er det interessant å dividere den adsorberte mengden lignosulfonat med det spesifikke arealet til substratet. På denne måten kan en finne ut hvilken affinitet lignosulfonatene har til å adsorbere til kull og leire ved like stor overflate er tilgjengelig. Det gjøres da en rimelig antakelse om at lignosulfonat adsorberer med like stort areal på begge substratene. Det ble laget et plot av den adsorberte mengden lignosulfonat dividert med den spesifikke overflaten plottet mot konsentrasjonen av lignosulfonat. Dette plottet kan sees i Figur 17.

## 4 Resultater

### 4.1 Linearitet i metoden

Som beskrevet tidligere, er det begrensninger for hvor høy absorptans som gir linearitet i metoden. Tommelfingerregel sier at absorptans opp til 1 gir best nøyaktighet, men ved lave nok konsentrasjoner og instrument med lite strølys, kan høyere absorptans måles nøyaktig. Gjennom mange målinger av ulike konsentrasjoner av lignosulfonater, sammenlikning av absorpsjonsspektrene og tilpassing av standardkurver, er det grunn til å anta at absorpsjonsmålingene i forsøkene kan gjøres opp til absorptans 2.

Figur 8 viser et absorpsjonsspekter for LS1 i bølglengdeintervallet 210-400 nm. Prøvene er for adsorpsjon til kull. UV-instrumentet måler absorptanser opp til 6, men så høye absorptanser kan som nevnt tidligere, ikke måles nøyaktig. Spekteret viser et absorpsjonsmaksimum rundt 280 nm som er forventet for lignosulfonat. Absorptans over 2 gir tydelig hakkete kurver, noe som gjaldt for alle lignosulfonatene.

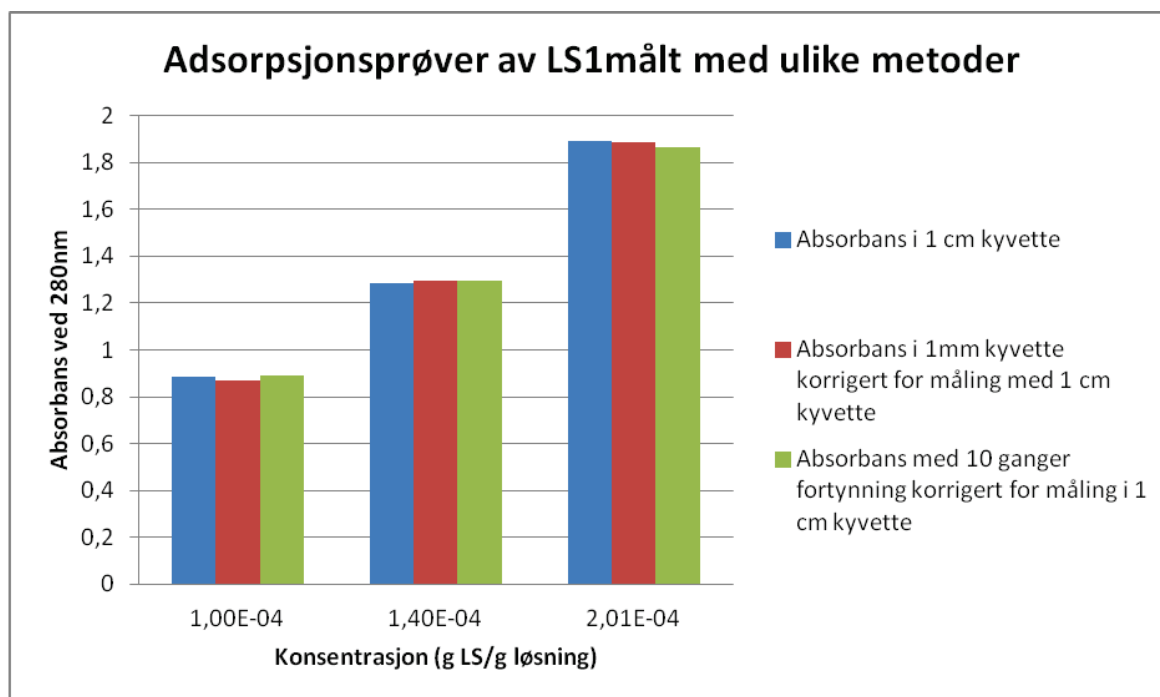


Figur 8. Absorpsjonsspekter for LS1. Figuren viser absorptans plottet mot bølglengde (nm). Plottet er for adsorpsjonsprøver for kull. Hver prøve er oppgitt med konsentrasjon tilsatt LS (g LS/g løsning).

Standardkurvene til de ulike lignosulfonatene gav en god linearitet i regresjonslikningen for målte absorpsjoner opp til 2. For de 12 ulike standardkurvene varierte  $r^2$  fra 0,9998 til 1, der de fleste hadde  $r^2 = 1$ . Standardkurvenes høye regresjonskoeffisient tyder på god linearitet opp til 2 i absorbans.

For å sjekke om de høyeste verdiene stemte med de teoretiske verdiene, ble 3 prøver av LS1 med absorbansverdi mellom 0,8 og 2 fortynnet og målt på nytt. Prøvene ble fortynnet 10 ganger og målt i 1 cm kyvette. Prøvene ble også målt direkte i 1 mm kyvette, som tilsvarer en 10 ganger fortynning.

Figur 9 viser en sammenlikning av de målte absorbansverdiene for de ulike målemetodene, der det er korrigert for fortynning. For de fortynnede prøvene er den målte absorbansverdien multiplisert med fortynningsfaktoren, og for prøvene målt i 1mm kyvette er den målte absorbansverdien multiplisert med 10. Absorbansverdiene varierer lite fra de ulike målingene. Ved strølyss som påvirker lineariteten vil de høye absorbansverdiene måles lavere enn de teoretiske. Dersom spektrofotometeret, som er benyttet i denne oppgaven, har dårlig linearitet pga strølyss, er det å forvente at de korrigerede absorbansverdiene for fortynningene viser høyere absorbans enn prøven målt i 1 cm kyvette. Figur 9 viser at dette ikke er tilfelle for den høyeste konsentrasjonen. Her er de korrigerede absorbansverdiene lavere enn absorbansverdien målt i 1 cm kyvette.



**Figur 9. Adsorpsjonsprøver av LS1 målt med ulike metoder. Alle verdiene for de fortynnede prøvene er korrigert slik at de gjengir absorbansverdier målt ufortynnet i 1 cm kyvette.**

Som nevnt tidligere, oppgis det i spesifikasjonen til instrumentet at strølyset er  $< 0,01\%$  T, og øvre grense for absorpsjonsmåling oppgis til 3,2 A. Disse verdiene gjør absorpsjonsmålinger opp til 2 i absorbans uproblematisk. Instrumentet som er benyttet i forsøkene, er ikke sjekket fysisk for disse referanseverdiene, men det antas at disse verdiene stemmer overens med instrumentets virkelige verdier.

Konsentrasjoner over 0,01M vil vanligvis ikke gi optimale målinger som følger Beers lov. De høyeste konsentrasjonene som det ble målt absorpsjon på er  $2,01 \times 10^{-4}$  g LS/g løsning. Figur 2 viser at lignosulfonat består av mange aromatiske grupper. Disse aromatiske gruppene er kromoforer i molekylet. Det er disse som absorberer UV-lys. I tillegg til å regne ut den molare konsentrasjonen til lignosulfonat, kan man beregne en teoretisk molar konsentrasjon for monomerene. Monomeren i lignosulfonatmolekylet er kromoforen og den har en molar masse på ca 220 g/mol.

Polymeriseringsgraden til lignosulfonat finnes ved å dividere den midlere antall molekylvekten ( $M_n$ ) med den molare massen til monomeren. De fire lignosulfonatene som analyseres i dette arbeidet, har  $M_n$  mellom 1000 og 2500. Dette gir en polymeriseringsgrad for disse lignosulfonatene mellom

5 og 11. Eksemplet som følger, viser utregning av molar konsentrasjon for lignosulfonat og teoretisk molar konsentrasjon for monomerene. For å finne den teoretiske, molare konsentrasjonen for monomerene, multipliseres den molare konsentrasjonen til LS med polymeriseringsgraden, her 10. Molekylvekt og polymeriseringsgraden er valgt tilfeldig fra lignosulfonatene som analyseres.

$$[LS] = \frac{2,01 * 10^{-4} \frac{g \text{ LS}}{g \text{ løsning}} * 1000g/L}{2000g/mol} = 1,0 * 10^{-4} mol/L$$

$$[LS]_{monomer} = 10 * 1,0 * 10^{-4} \frac{mol}{L} = 1,0 * 10^{-3} mol/L$$

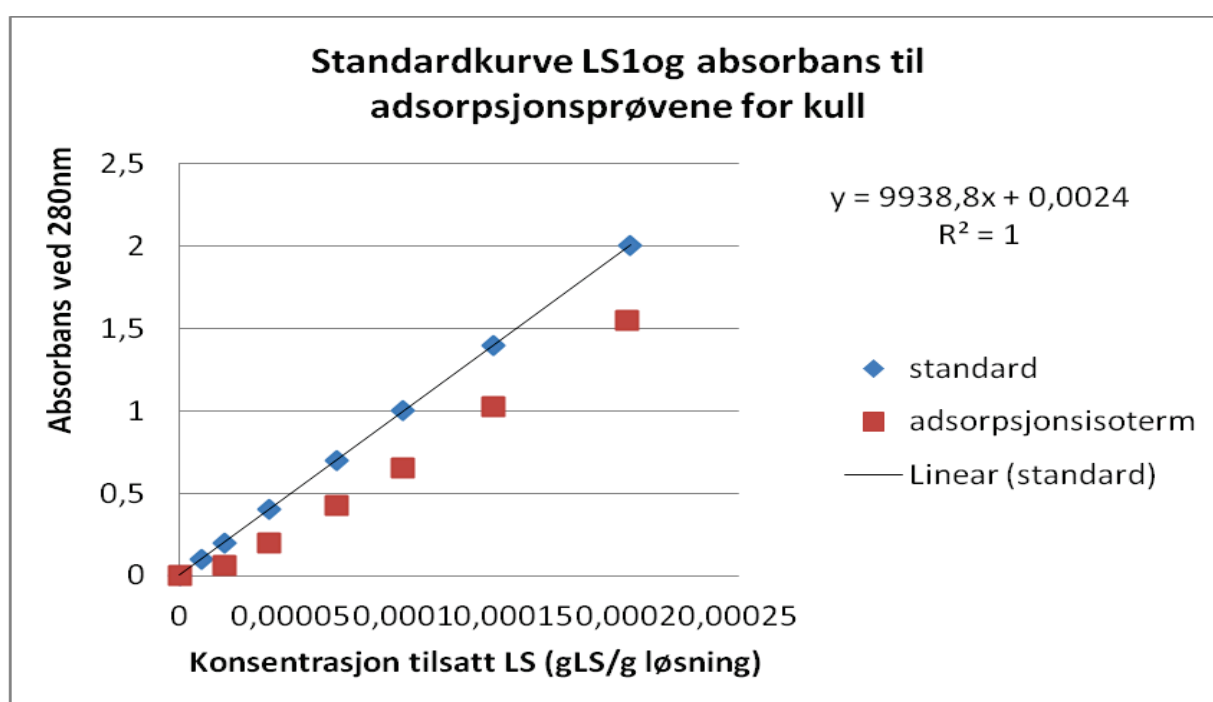
Ved å kombinere de ulike molekylvektene og polymeriseringsgrad vil verken den molare konsentrasjonen for LS eller den teoretiske molare konsentrasjonen for monomerene overstige den anbefalte øvre grensen for optimale målinger med Beers lov. Følgelig vil vi være under den konsentrasjonen hvor kjemiske effekter kan påvirke lineariteten mellom konsentrasjon og UV-absorbans.

I løsninger med lave konsentrasjoner av absorberende stoff og med høy konsentrasjon av andre stoffer, da særlig elektrolytter kan det oppstå avvik fra det lineære forholdet mellom absorbans og konsentrasjon. Denne typen avvik kan man se bort i fra i dette forsøket, ettersom elektrolyttkonsentrasjonen ikke er særlig stor.

Metodens linearitet er grundig sjekket og absorbansverdier opp til 2 kan inngå i resultatene.

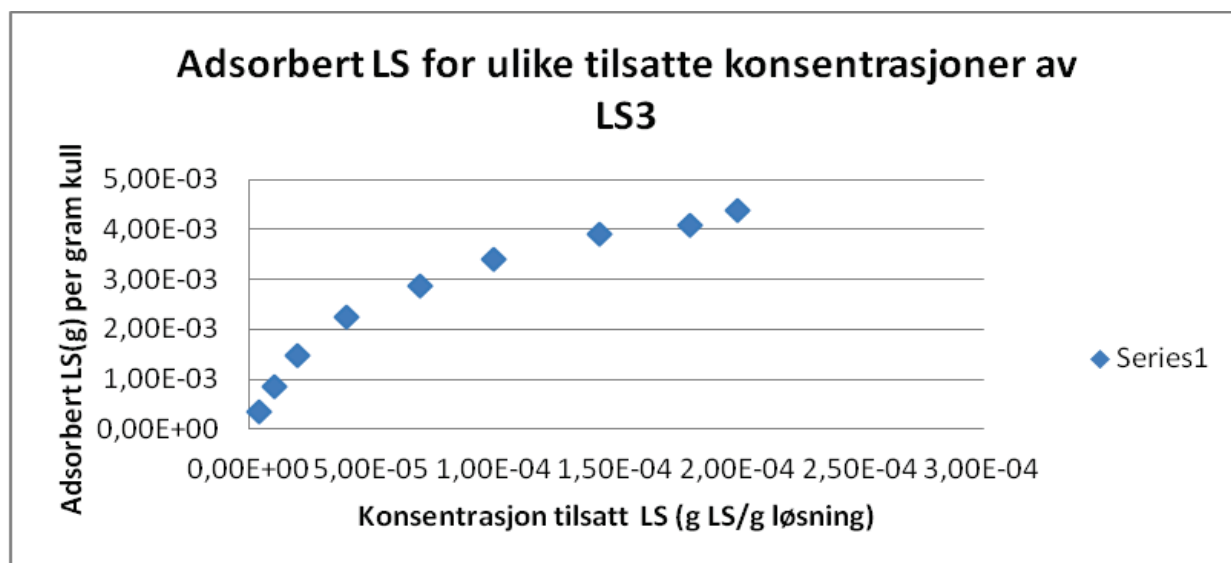
## 4.2 Adsorpsjonsisotermer

Alle utregninger av konsentrasjoner for adsorpsjonsprøver og standardprøver kan sees i vedlegg 1. Absorpsjonsverdier til adsorpsjonsprøver og standarder er vedlagt sammen med standardkurvene som ble plottet i vedlegg 2. Figur 10 viser et eksempel på standardkurve av LS1 og absorpsjonsverdier til adsorpsjonsprøvene for kull. Verdiene til adsorpsjonsprøvene er som nevnt mengden LS som ikke er adsorbent til kullet. Avstanden mellom standardkurven og adsorpsjonsverdiene er proporsjonal med mengden LS adsorbent.



Figur 10. Standardkurve for LS1 og absorpsjon til adsorpsjonsprøvene av LS1 for kull.

I vedlegg 2 sees alle data for å finne adsorbent mengde LS per gram kull/leire for de enkelte lignosulfonatene. Utregningene er gjort som tidligere vist i Figur 7. Figur 11 viser et eksempel på plott av adsorbent mengde LS3 på kull.

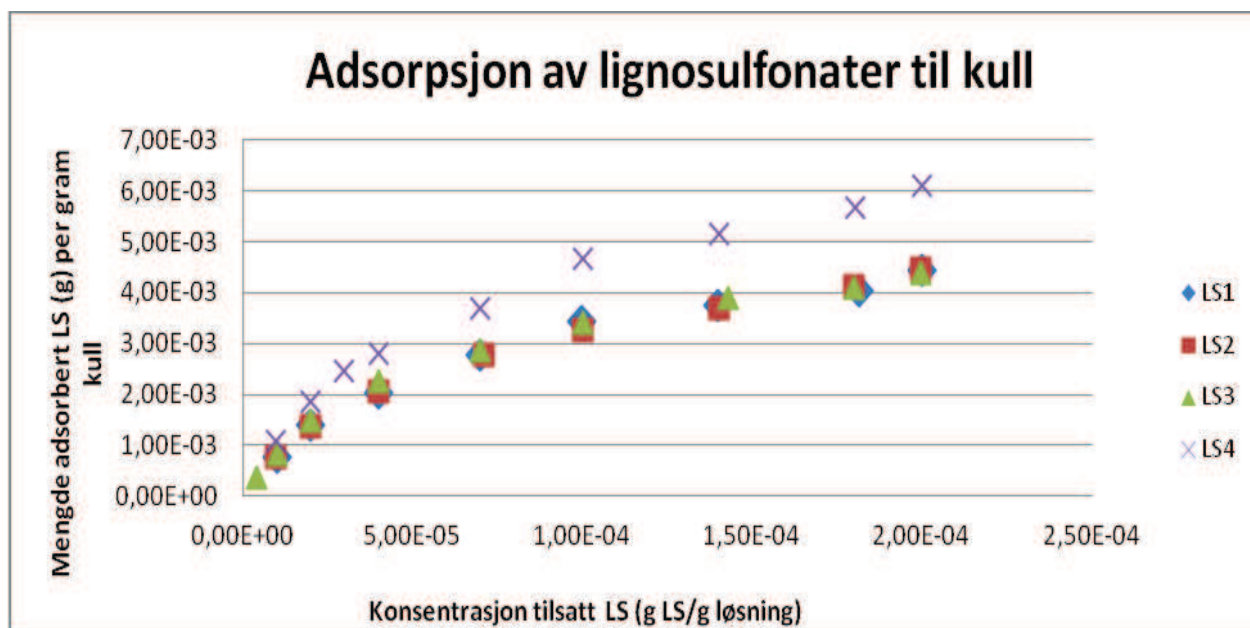


Figur 11. LS3 adsorbent til kull. Adsorbent mengde LS3 per gram kull er plottet mot ulike konsentrasjoner tilsatt LS3.

#### 4.3 Adsorpsjon av lignosulfonater til kull

En sammenlikning av adsorberte mengder LS på kull for de ulike lignosulfonatene vises i Figur 12. Ved økende konsentrasjon tilsatt LS øker den adsorberte mengden LS til kull. LS1, LS2 og LS3 viser et tilnærmet likt adsorpsjonsmønster, mens LS4 adsorberer mer til kullet. Adsorpsjonen øker raskt ved lav konsentrasjon for deretter og flate litt ut. Det er naturlig å tro at etter en tid vil adsorpsjonen gå mot en metningskonsentrasjon, og kurven vil flate helt ut.

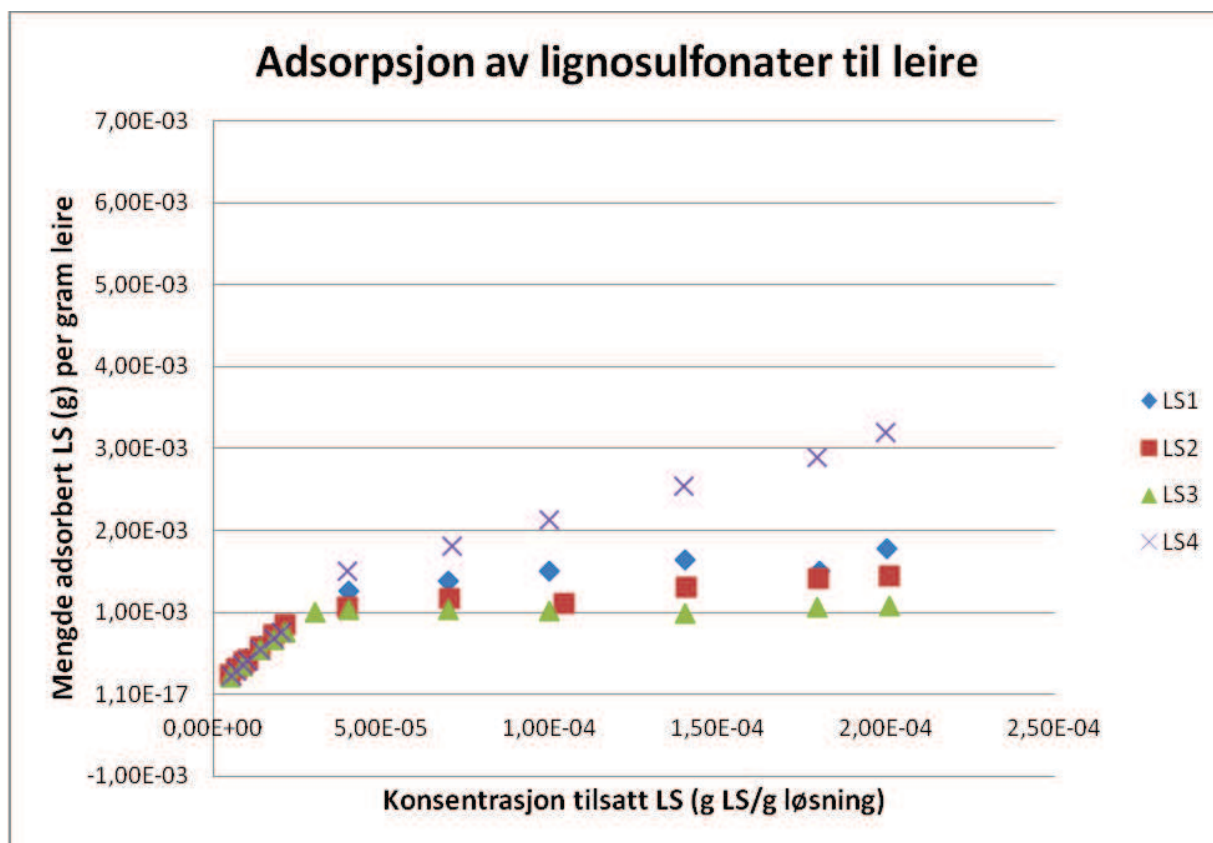




Figur 12 Adsorpsjon av lignosulfonater til kull. Figuren viser antall gram LS adsorbent per gram kull for ulike konsentrasjoner tilsatt LS.

#### 4.4 Adsorpsjon av lignosulfonater til leire

Figur 13 viser de fire ulike lignosulfonatene adsorbent til leire med elektrolytt i løsning. Ved lav konsentrasjon tilsatt LS er den adsorbente mengden relativt lik for de fire lignosulfonatene. Ved økende konsentrasjon adsorberer de ulikt. LS4 har en økende adsorpsjon, mens for LS1, LS2 og LS3 flater adsorpsjonen ut. LS3 adsorberer minst til leire, deretter LS2 og så LS1. LS4 skiller seg fra de tre andre lignosulfonatene ved å adsorbere i større grad, hvilket også var tilfelle for adsorpsjon til kull. Langmuirs isoterm ser ut til å passe bra for LS1, LS2 og LS3. Det er tydelige knekkpunkt på kurven tenkt gjennom punktene. Knekkpunktet beskriver konsentrasjonen av LS der adsorpsjonen nærmer seg metning. LS4 har et mindre markert knekkpunkt enn de andre lignosulfonatene.



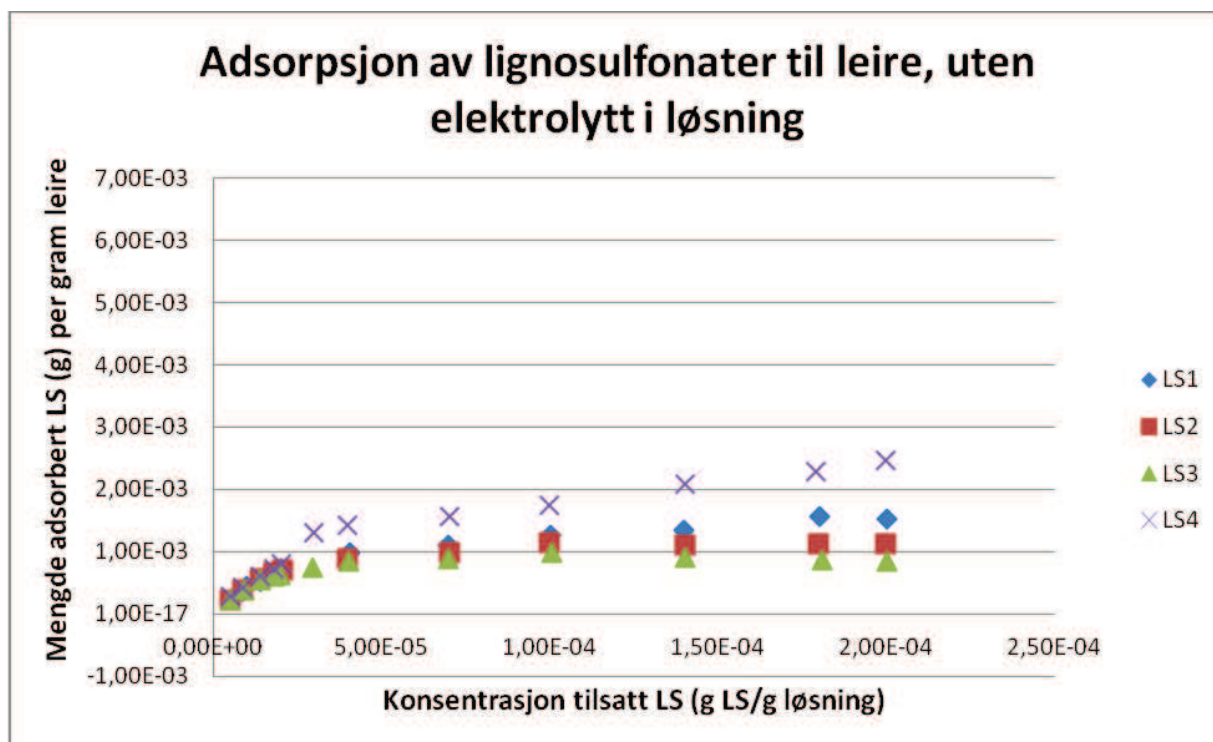
Figur 13. Adsorpsjon av lignosulfonater til leire, med elektrolytt i løsning.

#### 4.5 Adsorpsjon av lignosulfonater til leire uten elektrolytt i løsningsmiddelet

Figur 14 viser de fire ulike lignosulfonatene adsorbert til leire, uten elektrolytt i stamløsningen.

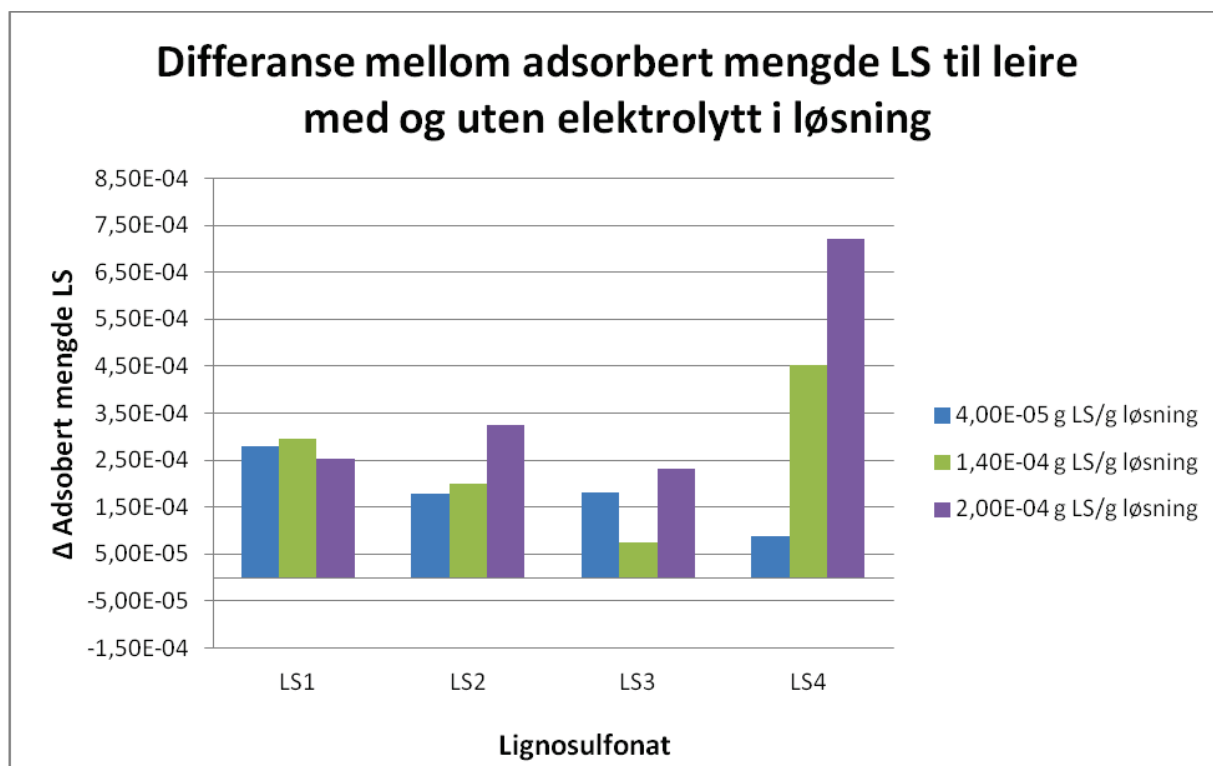
Adsorpsjonsmønsteret er relativt likt som for adsorpsjon til leire med elektrolytt i løsning.

Langmuirs isoterm ser ut til å passe bra for alle fire lignosulfonatene. LS4 adsorberer mer likt som de tre andre lignosulfonatene uten elektrolytt enn med.



Figur 14. Adsorpsjon av lignosulfonater til leire uten elektrolytt i løsnig.

I Figur 15 sammenliknes forskjellen i adsorbent mengde LS til leire med og uten elektrolytt i stamløsningen ved tre ulike konsentrasjoner av LS. Alle lignosulfonatene adsorberer mer til leire med elektrolytt i løsnig enn til leire uten elektrolytt i løsnig. For LS1 er differansen i adsorbent mengde så og si lik ved de ulike konsentrasjonene. For LS2 øker differansen litt med økt konsentrasjon lignosulfonat. Dette gjelder også for LS4 der forskjellen mellom adsorbent mengde med og uten elektrolytt i løsnig øker klart med økende konsentrasjon. For LS3 er avstanden litt varierende mellom de ulike konsentrasjonene.



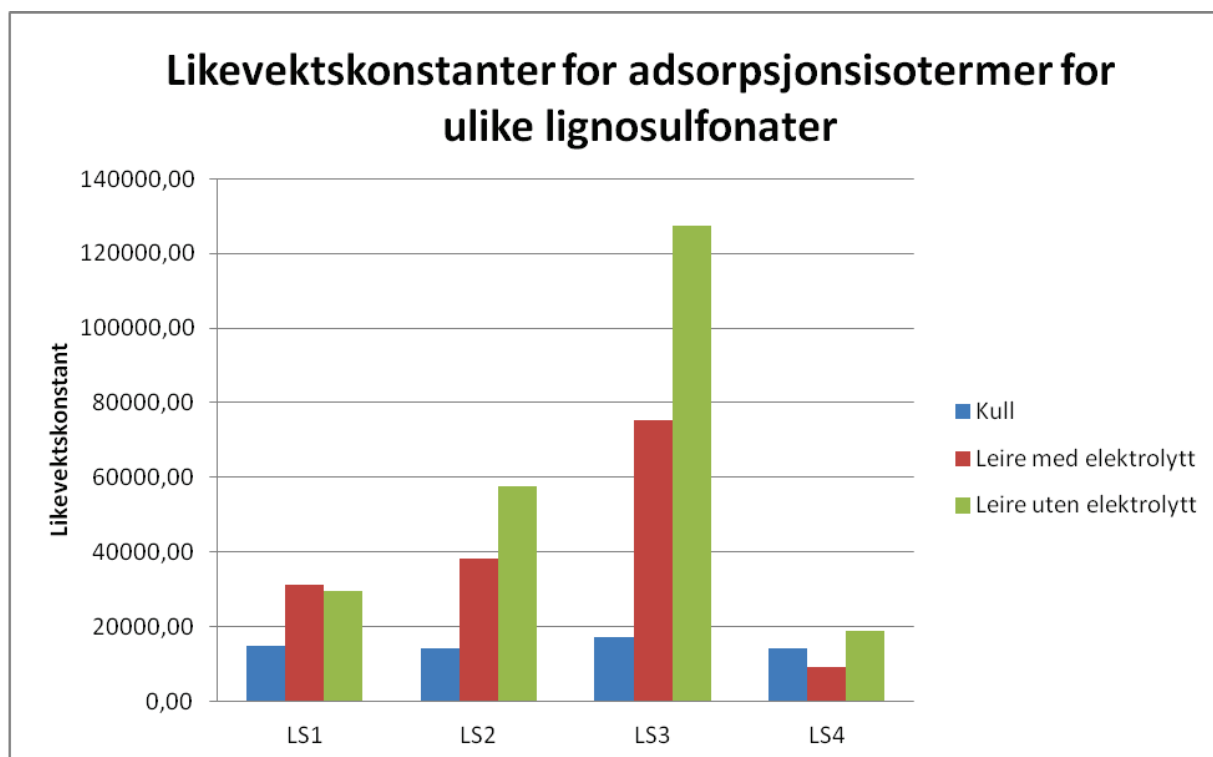
Figur 15. Differanse mellom adsorbent mengde LS til leire, med og uten elektrolytt i løsning. Y-aksen viser differanse mellom adsorbent mengde LS til leire med elektrolytt og adsorbent mengde LS til leire uten elektrolytt.

#### 4.6 Likevektskonstanter

For hver lignosulfonat ble det regnet ut likevektskonstanter for de ulike adsorpsjonsanalysene. De lineære plottene av adsorpsjonen og utregning av likevektskonstantene kan sees i vedlegg 3.

Figur 16 viser likevektskonstantene. De lineære plottene i vedlegg 3 av adsorpsjonen viser en tendens til en knekk i området der de byttes fra å benytte 1 g leire til 0,5 g leire.

For alle lignosulfonatene, bortsett fra LS4, er likevektskonstanten for adsorpsjon til kull lavest. For LS4 er likevektskonstanten for adsorpsjon til leire med elektrolytt lavest. Likevektskonstanten for adsorpsjon til leire uten elektrolytt i løsning er høyest for alle lignosulfonatene unntatt LS1.



Figur 16. Likevektskonstanter for adsorpsjonsisotermene for ulike lignosulfonater.

#### 4.7 Spesifikk overflate for kull og leire

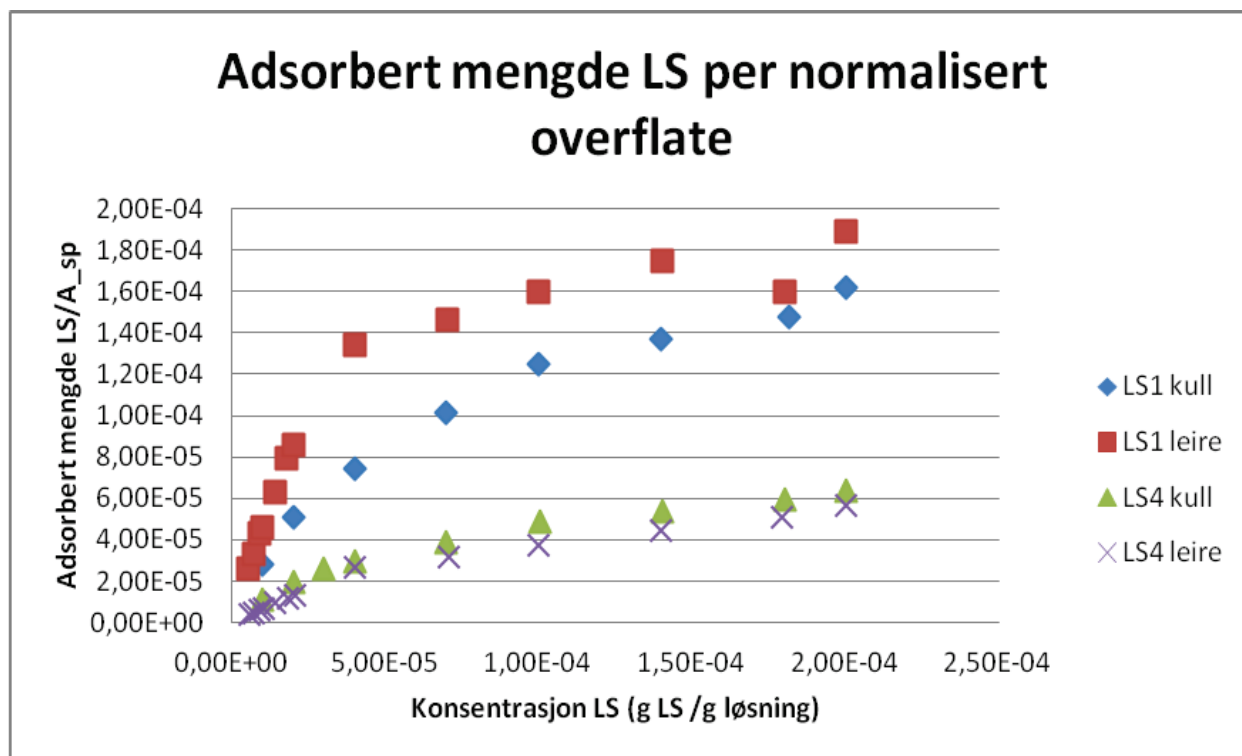
Resultater fra målingene av partikkelstørrelse finnes i vedlegg 4, sammen med utregningen av den spesifikke overflaten til leire og til kull. Den spesifikke overflaten for kullet er utregnet til 0,0581 m<sup>2</sup>/g. Den spesifikke overflaten for leire er 0,3055 m<sup>2</sup>/g. Disse verdiene er svært små med tanke på at kull kan ha flere m<sup>2</sup> overflate. Dessuten har leire i virkeligheten mindre spesifikk overflate enn kull.

Tabell 4 viser de spesifikke overflatene beregnet fra teorien til Langmuir adsorpsjonsisoterm. Utregningene kan sees i vedlegg 3. Den spesifikke overflaten for henholdsvis kull og leire, beregnet fra adsorpsjon av LS1, LS2 og LS3, skiller seg ikke mye mellom disse 3 lignosulfonatene. Den spesifikke overflaten til kull og leire beregnet fra adsorpsjon av LS4 avviker stort fra de andre spesifikke overflatene.

**Tabell 4. Spesifikk overflate beregnet fra data fra adsorpsjonsforsøk.**

LS	A_sp kull (m <sup>2</sup> /g)	A_sp leire (m <sup>2</sup> /g)
LS1	27,35	9,41
LS2	26,18	7,21
LS3	28,76	5,99
LS4	95,50	56,66

Figur 17. beskriver den adsorberte mengden av LS1 og LS4 til kull og leire per normalisert overflate. I vedlegg 3 kan plottene for hver LS sees. LS2 og LS3 viste et liknende mønster som LS1, der LS adsorberer mest til leire der en sammenlikner like stor overflate. LS 1 illustrerer derfor også LS2 og LS3.



**Figur 17. Adsorbert mengde LS per normalisert overflate.**

## 5 Diskusjon

Det antas at adsorpsjons av lignosulfonat till kull og leire oppfyller de tre antagelsene Langmuir isotermeren er basert på. Plottene av standardkurve og absorbanverdier for adsorpsjonsprøvene, som Figur 10 er et eksempel på, viser at adsorpsjonsforsøket gav adsorpsjon av lignosulfonat til kull og leire. Figur 11 viser i tillegg at adsorpsjonen passet bra med Langmuirs adsorpsjonsisoterm som vist i Figur 4. Adsorpsjonsprøvene hadde lavere absorban enn standardprøvene med tilsvarende konsentrasjon LS. I utgangspunktet ble adsorpsjonsforsøkene gjort med 0,5 g substrat. For kull var dette en passende mengde ettersom det adsorbte LS bra. For leire var adsorpsjonen ved de laveste konsentrasjonene veldig lav, og avstanden mellom standardkurven og adsorpsjonsprøvene ble svært liten. Standardkurven er en linearisering av absorbanverdiene til standardprøvene. Absorbanverdier til adsorpsjonsprøver med svært liten grad av adsorpsjon vil ligge svært nærme standardverdiene. Disse punktene til adsorpsjonsprøvene kan derfor, på grunn av lineariseringen, kunne havne rett over, på eller rett under standardkurven. For å unngå feil dette kan medføre i utregninger, ble 1,0 g leire benyttet for å øke adsorpsjonen og avstanden mellom standardpunktene og adsorpsjonsprøvene. Overgangen mellom 1,0 g leire og 0,5 g leire viste en tendens til en knekk i noen av de lineære plottene av adsorbte mengde LS. Dette kan sannsynligvis forklares med teorien beskrevet for adsorpsjon av komplekset av kalsiumioner og polyakrylsyre [22], der en antar at lignosulfonat oppfører seg likt. Dersom en øker overflatearealet som er tilgjengelig for adsorpsjon, uten å endre mengden lignosulfonat tilsvarende, vil frastøtningen mellom adsorbte lignosulfonat molekyler bli mindre og mer LS adsorbere. Dette viser at forholdet mellom mengde tilsatt lignosulfonat og mengde leire har noe å si for graden av adsorpsjon.

Sammenlikning av Figur 12 og Figur 13 viser at lignosulfonat adsorberer mer til kull enn til leire for adsorpsjonsforsøkene. Fra teorien er det kjent at kull er et porøst materiale med stor overflate, noe som gjør det til en god adsorbent. Dersom en bare ser på mengdene LS som adsorberes og en sammenlikner like mye kull og leire, vil kullet ha en større overflate enn leiren.

Gjennom de eksperimentelle adsorpsjonsforsøkene er det kullet som adsorberer mest, men ser man på likevektskonstantene gir disse et annet inntrykk. Likevektskonstantene i Figur 16, viser at lignosulfonat har større affinitet for adsorpsjon til leire enn til kull. Likevektskonstantene er generelt større for adsorpsjon til leire enn for kull. For LS4 er ikke dette tilfellet, der  $K$ -verdien for leire m/elektrolytt er lavest. Adsorpsjonsisotermen til LS4 for adsorpsjon til leire med elektrolytt hadde en mindre god tilpassning til Langmuirs isoterm enn de tre andre lignosulfonatene. Dette kan derfor påvirke utregningen av likevektskonstanten. Figuren som viser likevektskonstantene viser at adsorpsjon uten elektrolytt i løsnings har de høyeste  $K$ -verdiene. En regner de to  $K$ -verdiene til leire for LS1 som tilnærmet like. Dette betyr at lignosulfonat har størst affinitet til leire når det ikke er elektrolytt i løsningen. I adsorpsjonsforsøkene adsorberes det mest lignosulfonat til leire med elektrolytt i løsnings. For å forklare hvorfor lignosulfonat viser størst affinitet til å adsorbere til leire uten elektrolytt, men adsorberer mest til leire med elektrolytt i adsorpsjonsforsøkene, må man se på de elektrostatiske vekselvirkningene. I følge [18] ”kan lignosulfonat uten elektrolytt i løsnings lede til større elektrostatiske vekselvirkninger. Likevel kan mengden som adsorberes reduseres siden det kan være noen elektrostatiske vekselvirkninger mellom adsorberte molekyler som begrenser den adsorberte mengden lignosulfonat.”

Resultatene for likevektskonstantene gir en grunn til å si at elektrostatiske tiltrekninger styrer en del av adsorpsjonsprosessen, men ikke hele, ettersom de ulike lignosulfonatene gir ulike likevektskonstanter.

Differansene i Figur 15 viser at lignosulfonatene adsorberer ulikt til leire med og uten elektrolytt i løsnings og at effekten av elektrolytt i løsnings varierer ulikt fra lignosulfonat til lignosulfonat og for ulike konsentrasjoner.

For alle adsorpsjonsforsøkene adsorberte LS4 mest, og skilte seg ut fra de andre lignosulfonatene. Adsorpsjonsmønsteret til LS4 var ikke like lett å tilpasse til Langmuirs isoterm som de andre lignosulfonatene. Adsorpsjon til leire med elektrolytt viste dårligst tilpassning til isotermen. Dette vil selvfølgelig har påvirkning i utregning av likevektskonstanten, og det kan forklare en veldig lav  $K$ -verdi for adsorpsjon av LS4 til leire med elektrolytt.



LS4 skiller seg ut fra de andre lignosulfonatene ved at den er laget fra hardwood lignin, mens de tre andre lignosulfonatene er laget fra softwood lignin. Den kjemiske analysen for de ulike lignosulfonatene i Tabell 1 viser at molekylvekten for LS4 er en god del lavere enn for de tre andre lignosulfonatene. Ettersom LS4 er et hardwood lignosulfonat har den en litt annerledes kjemisk sammensetning med ulike mengder funksjonelle grupper. Dette er en mulig årsak i den store forskjellen i adsorbent mengde. Hovedgrunnen til at LS4 skiller seg ut, er at den skiller seg kjemisk fra de andre lignosulfonatene.

For adsorpsjon til kull skiller LS1, LS2 og LS3 seg ikke nevneverdig fra hverandre.

Likevektskonstantene viser faktisk at alle de fire lignosulfonatene har relativ lik affinitet for å adsorbere på kull. For adsorpsjon til leire adsorberer de tre lignosulfonatene litt ulikt. LS3 adsorberer mindre enn LS1 og LS2. For å forklare dette benyttes den kjemiske analysen. Innhold av organisk svovel for LS3 er 8,1 mot 5,2 og 5,6 for henholdsvis LS1 og LS2. Det organiske svovelet er bundet til ligninet som sulfonsyregrupper, og disse spiller stor rolle ved adsorpsjon. Gruppene er negativt ladet og ettersom leire er negativt ladet vil lignosulfonat med veldig mange negativt ladde grupper frastøte leirepartiklene. Grunnen til at adsorpsjonen for LS3 likevel er såpass lik som for LS1 og LS2 kan antas å forklares med at det er kalsiumioner tilstede. Kalsiumionene vil kunne interagere med leirepartiklene og de negative ladningene til lignosulfonatet, og det oppstår adsorpsjon. Det virker som økende innhold av organisk svovel reduserer adsorpsjonen til leire. Dersom man ser på likevektskonstantene viser LS3 størst affinitet for å adsorbere på leire. Dette kan indikere at det er flere grupper enn sulfonsyregrupper som bidrar til å bestemme affinitet og mengde adsorbent LS.

Utrekningene av spesifikk overflate for kull og leire fra partikkelmålingene, i vedlegg 4, viser at kull har lavere spesifikk overflate enn leire. Dette stemmer ikke overens med virkeligheten og kan forklares med at utregningene baserer seg på partikkelstørrelsen som er målt og på formelen for en jevn kule. Leirepartiklene som benyttes i forsøkene er mindre enn kullpartiklene, og når det da ikke tas høyde for en eventuell porøsitet, blir leires spesifikke overflate større enn kullets. Den spesifikke overflaten vil variere med partikkelstørrelsen basert på denne målingen. Målingene av partikkelstørrelsen til kull varierer mer enn tilsvarende for leire. Det viser at prøven med kull

inneholder en mer uhomogen prøve enn prøven med leire. Kullpartiklene vil ha varierende størrelse.

Den spesifikke overflaten til kull og leire som presenteres i Tabell 4 er en mer riktig verdi, ettersom den tar høyde for porøsitet. For kull og leire er den spesifikke overflaten basert på adsorpsjon av LS1, LS2 og LS3 relativt lik. Den spesifikke overflaten for kull er 3-4 ganger så stor som for leire. LS4 skiller seg fra de tre andre lignosulfonatene med en mye større spesifikk overflate både for kull og for leire. Forskjellen mellom den spesifikke overflaten for kull og leire er dog under dobbelt så stor. Ettersom LS4 er et hardwood lignosulfonat, har den en litt annerledes kjemisk sammensetning med ulike mengder funksjonelle grupper. Dette er en mulig årsak i den store forskjellen i adsorbent mengde som gir utslag i den spesifikke overflaten. På bakgrunn av de to utregningene av spesifikk overflate for kull og leire er det beregningene fra Langmuirs isoterm som er den beste tilnærmelsen for å normalisere arealet tilgjengelig for adsorpsjon.

Figur 17 viser mengder adsorbent LS der en ser på like stor overflate. Fra figuren ser man at for LS1 (og LS2, LS3) er adsorpsjonen til leire større enn adsorpsjon til kull på like stor overflate. Igjen skiller LS4 seg ut, og dette viser som nevnt tidligere at de kjemiske egenskapene til LS4 påvirker denne lignosulfonaten til å adsorbere annerledes enn de tre andre lignosulfonatene. LS4 viser at adsorpsjon til kull og til leire er omtrent like stor, der adsorpsjonen til kull er litt høyere enn adsorpsjonen til leire. I tillegg er adsorpsjonen mye mindre enn for de tre andre lignosulfonatene. Grunnen til dette er den spesifikke overflaten til kull og leire er såpass stor, og derfor reduserer det den adsorbente mengden LS når en normaliserer mot overflate. Dessuten er LS4 den lignosulfonaten som passer dårligst med Langmuir isotermen.

Resultatene for hvordan ulike lignosulfonater adsorberer til kull og til leire med og uten elektrolytt i løsning, antas å stemme godt med hvordan adsorpsjonen vil foregå i en prosess i stor skala. Likevel er det viktig å huske at adsorpsjon er en kompleks prosess, og derfor er det ikke slik at resultatene må sees på som absolutt eksakte. For å få et bedre bilde på hvordan adsorpsjonen kan variere fra prøve til prøve, burde man ha analysert like adsorpsjonsprøver flere ganger. Dette er ikke gjort i denne oppgaven. Man kan derfor ikke si noe om variasjonen i adsorbent mengde fra en prøve til en annen. En annen viktig parameter som påvirker resultatene, er tiden det tar å oppnå

likevekt for adsorpsjonsisotermen. Når en måler adsorpsjonsisotemer til polymer løsninger, er det viktig å kjenne til tiden det tar for å oppnå likevekt. Når det gjelder porøse materialer, tar det lengre tid for polymeren å diffundere inn i porene til substratet. I følge [3] kan det ta opptil 24 timer med svak risting for å nå likevekt for en adsorpsjonsisoterm med polymer i løsning.

## 6 Konklusjon

Arbeidet i denne oppgaven viser at dersom en sammenlikner like mengder av kull og leire, vil adsorpsjon av lignosulfonat være større til kull enn til leire, selv om lignosulfonat har større affinitet for å adsorbere til leire enn kull. En må derfor sammenlikne overflate som er tilgjengelig for adsorpsjon. Ved like store overflater vil lignosulfonat adsorbere mer til leire enn kull. For å ha like store overflater av kull og leire tilgjengelig, trengs det mye større mengder med leire enn kull. Dersom dette er tilfelle, vil lignosulfonat i utgangspunktet adsorbere i størst mulig grad på leiren. I prosessen ved utvinning av gull er det mye større mengde leire til stede enn mengde kull. Mengdene gull som finnes er så små at det trengs veldig store mengder malm. Typisk kan det finnes 1 gram gull per tonn malm. Ettersom mengdene av gull ikke er særlig store trengs det derfor heller ikke store mengder av aktivt kull. Oppgaven viser derfor at det er stor sannsynlighet å si at lignosulfonat ikke vil påvirke adsorpsjonen av utløst gull til kull.

## 7 Videre arbeid

I denne oppgaven er det bare gjort adsorpsjonsforsøk av lignosulfonat på leire og kull separat. Det kan være interessant å se om konklusjonene fra denne oppgaven også stemmer ved å gjøre adsorpsjonsforsøk i en blanding av kull og leire. Adsorbent mengde lignosulfonat i en blanding kan måles som gjort i denne oppgaven. Utfordringen er å finne ut hvor mye av den adsorberte mengden som er adsorbent til kullet og hvor mye som er adsorbent til leiren. Det må utarbeides en passende metode for å skille leire- og kullpartiklene fra hverandre etter adsorpsjon av lignosulfonat. Dersom man klarer å skille partiklene kan man måle svovelinnhold i kullet og sammenligne med en referanseprøve før adsorpsjon. Metoden som benyttes for å måle

Adsorpsjon av lignosulfonater på leire og kull – modellstudie for økt forståelse av rollen i CIL/CIP prosesser

svovelinholdet er ICP, induktivt koplet plasma. Dette er en metode som er nøyaktig og som kan detektere svært lave konsentrasjoner, slik man vil trenge i dette arbeidet.

Effekten av adsorpsjon til kull uten elektrolytt i løsning er heller ikke utført i denne oppgaven. Det kan være interessant å se om adsorpsjonen til kull påvirkes av elektrolytter, noe det antas at det ikke gjør ettersom kullet ikke er ladet.

Det kan også være interessant å gjøre adsorpsjonsforsøk der blandingene av kull/leire og lignosulfonat blandes over en lengre periode enn 30 minutter, slik det er gjort her. En vil da se hvordan tiden påvirker adsorpsjonen av lignosulfonat til de ulike substratene.

I tillegg til forsøkene nevnt over kan det være interessant å se hvilken effekt adsorpsjon har ved ulike temperaturer og ved ulike mengder substrat.

## 8 Referanser

1. Gargulak, J. D.; Lebo, S. E.; (2000) Commercial Use of Lignin-Based Materials, *in Ligning; Historical, Biological, and Materials Perspectives* (eds Glasser, W. G.; Northey, R. A.; Schultz, T. P.), American Chemical Society, Washington, DC.
2. Lauten, R. A.; Myrvold, B. O.; Gundersen, S. A.; (2010) New Developments in the Commercial Utilization of Lignosulfonates, *in Surfactants from Renewable Resources* (eds Kjellin, M.; Johansson, I.), John Wiley & Sons, Ltd.
3. Holmber, K.; Jönsson, B.; Kronberg, B.; Lindman, B.; (2003) Surfactants and polymers in aqueous solution. England: John Wiley & Sons Ltd.
4. Mørk, P.C; (2004) Overflate og kolloidkjemi – Grunnleggende prinsipper og teorier. Trondheim: Instituttet for kjemisk prosestetnologi, Fakultetet for naturvitenskap og teknologi NTNU.
5. Fredheim, G.E. ; Braaten, S.M.; Christensen, B. E.; (2001) Molecular weight determination of lignosulfonates by size-exclusion, in *Journal of Chromatography A*, Elsevier Science B.V.
6. Goring, D. A. I.; (1962) The physical chemistry of lignin. *Pure Appl. Chem.*, 5, 233-254.
7. Store norske leksikon (14.02.2009) *Dispersjon* [online]. URL: <http://snl.no/dispersjon/kjemi> (17.01.2012)
8. Qiu, X.; Kong, Q; Zhou, M; Yang, D.; (2010) Aggregation Behavior of Sodium Lignosulfonate in Water Solution in *J. Phys. Chem. B*, American Chemical Society.
9. Srithammavut, W; (2008) Modeling of gold cyanidation, Lappeenranta University of Technology, Department of Chemical Technology
10. Atkins, P.; De Paula, J. ; (2006) Atkins' Physical Chemistry 8th edition, Oxford, New York : Oxford University Press
11. Hiemenz, P.C; (1986) Principles of colloid and surface chemistry second edition, New York: Marcel Dekker, inc.
12. Skoog, D. A.; Leary J.J.; (1992) Principles of instrumental analysis. Fourth edition. USA. Saunders College Publishing.
13. Taylor, Jeffrey (2009) The max Max Absorbance Limit of UV/Vis/NIR Instruments: Stray Light Theory [online]. URL: [http://pe.taylorjl.net/PE\\_Blog/?p=28](http://pe.taylorjl.net/PE_Blog/?p=28) (23.11.2011)

14. Wikipedia (27.10.2011) *Ultraviolet–visible spectroscopy* [online]. URL : [http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet%E2%80%93visible\\_spectroscopy](http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet%E2%80%93visible_spectroscopy) (13.11.2011)
15. Produktspesifikasjonene til lambda25, Perkin Elmer Inc. (2004) [online] URL: [http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74790spc\\_LAMBDA253545.pdf](http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74790spc_LAMBDA253545.pdf) (17.11.2011)
16. Produktbrosjyren til lambda 25, Perkin Elmer Inc. (2011) [online] URL: [http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74448BRO\\_LAMBDA.pdf](http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74448BRO_LAMBDA.pdf) (17.11.2011)
17. Gargulak, Jerry D., Bushar, Lory L. (2010) *Hardwood Lignosulfonates for Separating Gangue Materials From Metallic Sulfide Ores* [online]. Lignotech USA. URL <http://www.faqs.org/patents/app/20100233050#ixzz1gaxAhLwG> (15.12.2011)
18. Muntlig kommunikasjon Rolf Andreas Lauten.
19. Nils-Olof Nilvebrandt, Borregaard Ind.
20. Le Bell, J.C.;(1982) Determination of floc sizes in kaolin suspensions dispersed by sodium lignosulphonate, *in Colloids and surfaces 5(1982)*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
21. Le Bell, J.C; (1983) The relation between the structure of lignosulphonates and their effect as stabilizers for latex particulate dispersions, *in Colloids and surfaces 9 (1984)*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
22. Dupont, L.; Foissy A.; Mercier, R.; Mottet, B. ;(1993) Effect of calcium ions on the adsorption of polyacrylic acid onto alumina, *in journal of colloid and interface science*.
23. Deng, Y.; Zhang, W.; Wu, Y.; Yu, H.; Qiu, X.:(2011) Effect of Molecular Weight on the Adsorption Characteristics of Lignosulfonates, *in the journal of physical chemistry B*, American Chemical Society.
24. Bildet er hentet fra Fundamentals of modern UV-visible spectroscopy primer, Owen, T., Tyskland, Copyright Agilent Technologies 2000 [online] URL: [https://www.u-cursos.cl/medicina/2007/2/TM1BIOQ22/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=144797](https://www.u-cursos.cl/medicina/2007/2/TM1BIOQ22/1/material_docente/bajar?id_material=144797)

## **VEDLEGG**

### Vedlegg 1

Utrekninger av konsentrasjoner til stamløsninger av LS, adsorpsjonsprøver og standardprøver.

**Adsorpsjonsprøver LS1 kull**

Tørrstoff LS1 93,2% 0,9320

**LS1 1,0%**

Innveid mengde LS1 (1,0730g) 1,0734

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl) 99,9950

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-02

	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve	0,5021	49,0	48,9969	1	0,9997	49,9966	2,00E-04

**LS1 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS1 1,0% 10,0031

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 99,9970

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-03

	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve	0,5015	49	49,0035	1	0,9996	50,0031	2,00E-05
	0,5007	48	48,0043	2	2,0057	50,01	4,01E-05
	0,5017	46,5	46,5023	3,5	3,499	50,0013	7,00E-05
	0,5002	45	45,0063	5	4,9951	50,0014	1,00E-04
	0,4998	43	43,0082	7	6,9995	50,0077	1,40E-04



**LS1 0,1%**

Konsentrasjon LS1 1,0% 1,00E-02  
 Innveid mengde (g) av LS1 1,0% 10,0036  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 99,9980  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,00E-03

	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnng totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnng) prøve							
1,00E-05	0,4998	49,5	49,7997	0,5	0,5061	50,3058	1,01E-05
1,80E-04	0,5005	41	41,0085	9	9,0865	50,095	1,81E-04
Blank	0,5002	50	50,0053				

**Adsorpsjonsprøver LS2 kull**

Tørrstoff LS2 94,4% 0,9440  
**LS2 1,0%**  
 Innveid mengde LS2 (1,0593g) 1,0602  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0040  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,00E-02

	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnng totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnng) prøve							
2,00E-04	0,501	49,0	49,0169	1	0,9985	50,0154	2,00E-04

**LS2 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS2 1,0% 10,0017  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0000  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning) 1,00E-03

	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve							
2,00E-05	0,5004	49	48,9991	1	1,0081	50,0072	2,02E-05
4,00E-05	0,5012	48	48,0008	2	2,001	50,0018	4,01E-05
7,00E-05	0,5007	46,5	46,5023	3,5	3,5447	50,047	7,09E-05
1,00E-04	0,5013	45	45,0067	5	5,006	50,0127	1,00E-04
Blank (kull + Ca(OH)2/NaCl)	0,5002	50	50,0053				

**LS2 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS2 (0,1059 g) 0,1060  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0010  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning) 1,00E-03

	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve							
1,00E-05	0,4993	49,5	49,7952	0,5	0,4975	50,2927	9,90E-06
1,40E-04	0,5002	43	43,0498	7	7,019	50,0688	1,40E-04
1,80E-04	0,5008	41	41,0281	9	9,0017	50,0298	1,80E-04

### Standard LS1 kull og leire m/elektrolytt

Tørrstoff LS1 93,2%

0,9320

#### LS1 1,0%

Innveid mengde LS1 (1,0730g)

1,0734

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

99,9950

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-02

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2/NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)
2,00E-04	0,2	0,2018	10,0228	2,01E-04

#### LS1 0,1%

Innveid mengde (g) av LS1 1,0%

10,0031

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl)

99,9970

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2/NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)
1,00E-05	0,1	0,1017	10,001	1,02E-05
2,00E-05	0,2	0,2005	10,0062	2,01E-05
4,00E-05	0,4	0,4027	10,0007	4,03E-05
7,00E-05	0,7	0,7005	10,0082	7,00E-05
1,00E-04	1	0,9991	10,0018	1,00E-04
1,40E-04	1,4	1,4026	10,0047	1,40E-04
1,80E-04	1,8	1,8005	10,0031	1,80E-04

**LS1 0,01%**

Innveid mengde (g) av LS1 0,1% 5,0007  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 50,0006  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-04

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2/NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)
5,00E-06	0,5	0,4993	10,0057	4,99E-06
7,00E-06	0,7	0,7001	10,005	7,00E-06
9,00E-06	0,9	0,9008	10,0065	9,01E-06
1,40E-05	1,4	1,4015	10,0173	1,40E-05
1,80E-05	1,8	1,8011	10,0084	1,80E-05

**Standarder LS2 kull og leire m/elektrolytt**

Tørrstoff LS2 94,4%

0,9440

**LS2 1,0%**

Innveid mengde LS2 (1,0593g) 1,0602  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0040  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-02

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2/NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)
2,00E-04	0,2	0,1998	10,0051	2,00E-04

**LS2 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS2 1,0% 10,0017  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl) 100,0000  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning) 1,00E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
1,00E-05	0,1	0,0995	10,007	9,95E-06
2,00E-05	0,2	0,2014	10,0044	2,02E-05
4,00E-05	0,4	0,4003	9,999	4,01E-05
7,00E-05	0,7	0,7007	10,0076	7,01E-05
1,00E-04	1	1,0019	10,0051	1,00E-04
1,40E-04	1,4	1,402	10,0033	1,40E-04

**LS2 0,01%**

Innveid mengde (g) av LS2 0,1% 5,0055  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl) 50,0245  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning) 1,00E-04

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
5,00E-06	0,5	0,5019	10,0131	5,02E-06
7,00E-06	0,7	0,7004	10,015	7,00E-06
9,00E-06	0,9	0,9001	10,0009	9,01E-06
1,40E-05	1,4	1,4013	10,0231	1,40E-05
1,80E-05	1,8	1,7993	10,0029	1,80E-05

**Adsorpsjonsprøver LS3 kull**

Tørrestoff LS3 93,9%

0,9390

**LS3 1,0%**

Innveid mengde LS3 (1,0650g)

1,0647

Innveid mengde totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl)

100,0270

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

9,99E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve	Kull Innveid (0,5 g)	Menge (g) Ca(OH) <sub>2</sub> /aCl	Innveid mengde (g) Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl	Menge LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Menge løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
2,00E-04	0,4998	49,0	49,0096	1	0,9990	50,0086	2,00E-04

**LS3 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS3 1,0%

10,0051

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl)

99,9910

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve	Kull Innveid (0,5 g)	Menge (g) Ca(OH) <sub>2</sub> /aCl	Innveid mengde (g) Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl	Menge LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Menge løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
2,00E-05	0,4995	49	49,0008	1	0,9962	49,997	1,99E-05
4,00E-05	0,5034	48	48,0348	2	1,9992	50,034	4,00E-05
1,00E-04	0,5002	45	44,997	5	5,0068	50,0038	1,00E-04

**LS3 0,01%**

Innveid mengde LS3 (0,0106g) 0,0107  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,015  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,00E-04

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnng) prøve	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/N aCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnng totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)
		48	47,9948	2	1,9992	49,994	4,02E-06
1,00E-05	0,5027	45	45,0187	5	5,0101	50,0288	1,01E-05

**LS3 0,1%**

Konsentrasjon LS3 1,0% 1,00E-02  
 Innveid mengde (g) av LS3 1,0% 10,0050  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0130  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,00E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnng) prøve	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/N aCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnng totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)
		46,5	46,529	3,5	3,4982	50,0272	6,99E-05
7,00E-05	0,5009	43	43,0311	7	7,1791	50,2102	1,43E-04
1,40E-04	0,5011	41	41,0087	9	9,0031	50,0118	1,80E-04

**Standard LS3 kull og leire m/elektrolytt**

Tørrstoff LS3 93,9%

0,939

**LS3 1,0%**

Innveid mengde LS3 (1,0650g)

1,0647

Innveid mengde totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl)

100,0270

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

9,99E-03

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	2,00E-04	0,2	10,0016	2,00E-04

**LS3 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS3 1,0%

10,0051

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl)

99,9910

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	2,00E-05	0,2	10,0083	2,00E-05
	4,00E-05	0,4	10,0096	4,00E-05
	1,00E-04	1	10,0018	9,98E-05
	1,40E-04	1,4	10,0329	1,40E-04
	1,80E-04	1,8	10,0431	1,80E-04



**LS3 0,01%**

Innveid mengde (g) av LS3 1,0% 1,0037  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl) 100,106  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,00E-04

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnng)	4,00E-06	0,4	9,9955	4,04E-06
	1,00E-05	1	9,9987	1,00E-05

**LS3 0,01%**

Stamløsning 0,1 % kons (g LS/g løsnng) 0,00100031  
 Innveid mengde (g) av LS3 1,0% 5,0009  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl) 50,0054  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,0004E-04

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnng)	5,00E-07	0,05	10,0062	5,01E-07
	1,00E-06	0,1	10,007	9,96E-07
	2,00E-06	0,2	10,0055	2,00E-06
	3,00E-06	0,3	10,0237	2,99E-06
	4,00E-06	0,4	9,9955	4,04E-06
	7,00E-06	0,7	10,0431	6,97E-06
	1,00E-05	1	9,9987	1,00E-05

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) stamløsning 0,00010021  
 for utregning av 4,00E-06 og 1,00E-05

**Adsorpsjonsprøver LS4 kull**

Tørrstoff LS4 95,8% 0,9580

**LS4 0,1%**

Innveid mengde LS4 (0,1044g) 0,1045

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0070

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-03

	Kull Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl + kull	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde løsnings totalt med kull	Innveid mengde løsnings totalt uten kull	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
1,00E-05	0,501	49,5	50,203	49,702	0,5	50,7031	50,2021	0,5001	9,97E-06
2,00E-05	0,5019	49,0	49,499	48,9971	1	50,5042	50,0023	1,0052	2,01E-05
3,00E-05	0,5009	48,5	49,0055	48,5046	1,5	50,5030	50,0021	1,4975	3,00E-05
4,00E-05	0,5006	48,0	48,5013	48,0007	2	50,5119	50,0113	2,0106	4,02E-05
7,00E-05	0,5013	46,5	47,0739	46,5726	3,5	50,5730	50,0717	3,4991	7,00E-05
1,00E-04	0,5008	45,0	45,5511	45,0503	5	50,5635	50,0627	5,0124	1,00E-04
1,40E-04	0,5002	43,0	43,514	43,0138	7	50,5191	50,0189	7,0051	1,40E-04
1,80E-04	0,5016	41,0	41,5089	41,0073	9	50,5101	50,0085	9,0012	1,80E-04
2,00E-04	0,5003	40,0	40,522	40,0217	10	50,518	50,0177	9,9960	2,00E-04

**Standard LS4 kull og leire m/elektrolytt**

Tørrstoff LS4 95,8%

0,9580

**LS4 0,1%**

Innveid mengde LS4 (0,1044g)

0,1045

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

100,0070

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2/NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
1,00E-05	0,1	0,1016	10,0187	1,02E-05
2,00E-05	0,2	0,2005	10,0085	2,01E-05
4,00E-05	0,4	0,4002	10,0069	4,00E-05
7,00E-05	0,7	0,7001	10,0214	6,99E-05
1,00E-04	1	1,0015	10,0066	1,00E-04
1,40E-04	1,4	1,3998	10,0059	1,40E-04
2,00E-04	2	1,9997	10,0093	2,00E-04

**LS4 0,01%**

Innveid mengde LS4 0,1%

5,0009

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

50,0463

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-04

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2/NaCl til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
4,00E-06	0,5	0,5006	10,7042	4,68E-06
7,00E-06	0,7	0,6996	10,0064	6,99E-06
9,00E-06	0,9	0,9014	10,0055	9,01E-06
1,40E-05	1,4	1,4009	10,1622	1,38E-05
1,80E-05	1,8	1,8016	10,0025	1,80E-05

**Utrekninger adsorpsjonsprøver LS1 leire**

Tørrstoff LS1 93,2%

0,932

**LS1 1,0%**

Innveid mengde LS1 (1,0730g)

1,0734

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

99,995

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-02

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve							
2,00E-04	0,4998	49	49,0124	1	1,0016	50,014	2,00E-04

**LS1 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS1 1,0%

10,0031

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl)

99,997

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve							
4,00E-05	0,5008	48	48,003	2	2,0092	50,0122	4,02E-05
7,00E-05	0,5018	46,5	46,4992	3,5	3,5034	50,0026	7,01E-05
1,00E-04	0,5017	45	45,0102	5	4,9942	50,0044	1,00E-04
1,40E-04	0,5001	43	43,0042	7	7,0097	50,0139	1,40E-04
Blank (leire + Ca(OH)2/NaCl ekstra (beregnet fra egen stamløøsning med kons 0,0010 g LS/g løøsning) 1,80E-04	0,4996	50	50,006				
	0,5005	41	41,0195	9	9,0178	50,0373	1,80E-04

Tørrstoff LS1 93,2%

0,932

**LS1 0,1%**

Innveid mengde LS1 (0,1073g)

0,1073

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

100,0010

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-03

	Leire Innveid (1,0 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve							
1,00E-05	1,0007	49,5	49,5149	0,5	0,5031	50,018	1,01E-05
2,00E-05	1,0008	49	49,0078	1	1,012	50,0198	2,02E-05

**LS1 0,01%**

Konsentrasjon stamløsnings 0,1%

0,0010

Innveid mengde (g) av LS1 0,1%

5,0007

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl)

50,0006

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-04

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve							
5,00E-06	1,0006	47,5	47,8372	2,5	2,7899	50,6271	5,51E-06
7,00E-06	1,001	46,5	46,4983	3,5	3,5115	50,0098	7,03E-06
9,00E-06	0,9998	45,5	45,4998	4,5	4,5329	50,0327	9,07E-06
1,40E-05	1,0012	43	43,0046	7	6,9985	50,0031	1,40E-05
1,80E-05	1,0016	41	41,0081	9	8,9975	50,0056	1,80E-05

**Utregning adsorpsjonsprøver LS2 leire**

Tørrstoff LS2 94,4%

0,9440

**LS2 1,0%**

Innveid mengde LS2 (1,0593g)

1,0602

Innveid mengde totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl)

100,0040

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-02

**LS2 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS2 1,0%

10,0017

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl)

100,0000

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH) <sub>2</sub> / NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve							
4,00E-05	0,5009	48,0	48,0096	2	1,997	50,0066	4,00E-05
7,00E-05	0,502	46,5	46,5039	3,5	3,5171	50,021	7,04E-05
1,00E-04	0,499	45,0	45,0173	5	5,2454	50,2627	1,04E-04
Blank (leire + Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl)	0,4996	50	50,006				

**LS2 0,1%**

Innveid mengde LS2 (0,1059g)

0,1060

Innveid mengde totalt (Ca(OH)<sub>2</sub>/NaCl)

100,0030

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

	Leire Innveid (1,0 / 0,5g)	Mengde (g) Ca(OH) <sub>2</sub> / NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH) <sub>2</sub> /NaCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve							
1,00E-05	1,0013	49,5	49,5006	0,5	0,5155	50,0161	1,03E-05
2,00E-05	1,001	49	49,0025	1	1,065	50,0675	2,13E-05
1,40E-04	0,5005	43	43,0005	7	7,0282	50,0287	1,41E-04
1,80E-04	0,5002	41	41,0048	9	8,9995	50,0043	1,80E-04
2,00E-04	0,5005	40	40,0171	10	10,0698	50,0869	2,01E-04

**LS2 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS2 (0,1059 g) 0,1060  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0010  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,00E-03

**LS2 0,01%**

Innveid mengde (g) av LS2 0,1% 5,0055  
 Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 50,0245  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng) 1,00E-04

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnng) prøve	Leire Innveid (1,0 g)	Mengde (g)		Innveid mengde Ca(OH)2/NaCl (g)	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnng totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)
		Ca(OH)2/NaCl	NaCl					
5,00E-06	1,0019	47,5	47,4976	2,5	2,5053	50,0029	5,02E-06	
7,00E-06	1,0015	46,5	46,6385	3,5	3,4855	50,124	6,96E-06	
9,00E-06	1,0013	45,5	45,4979	4,5	4,5231	50,021	9,05E-06	
1,40E-05	1,0003	43	43,0051	7	6,9903	49,9954	1,40E-05	
1,80E-05	1,0009	41	41,0089	9	9,0019	50,0108	1,80E-05	

### Utregninger adsorpsjonsprøver LS3 leire

Tørrestoff LS3 93,9%

0,9390

#### LS3 1,0%

Innveid mengde LS3 (1,0650g)

1,0647

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

100,0270

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

9,99E-03

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt	Eksakt konsentrasjo n LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve	0,501	49,0	49,0003	1	1,0052	50,0055	2,01E-04

#### LS3 0,1%

Innveid mengde LS3 (0,1065g)

0,1069

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

99,9930

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl + leire	Mengde LS (g)	Mengde løøsning totalt m leire	Løøsning totalt	Innveid mengde LS	Eksakt konsentrasj on LS (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning) prøve	1,0005	49	50,0008	1	51,0775	50,077	1,0695	2,14E-05
Blank (leire + Ca(OH)2/NaCl)	0,519	50	50,0237					



**LS30,01%**

Innveid mengde LS30,1% 4,9999

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl) 50,0203

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-04

Prøve	leire Innveid (0,1 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl + leire	Mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt m leire	Løsnings totalt	Innveid mengde LS	Eksakt konsentrasjon LS/g løsnings)
	5,00E-06	47,5	48,507	2,5	51,0618	50,0606	2,5548	5,12E-06
	9,00E-06	45,5	46,5382	4,5	51,049	50,0483	4,5108	9,04E-06
	1,40E-05	43	44,0081	7	51,0695	50,0686	7,0614	1,42E-05
	1,80E-05	41	42,0738	9	51,1572	50,1559	9,0834	1,82E-05

**LS3 1,0%**

Innveid mengde LS3 (1,0650g) 1,0651

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0190

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-02

**LS3 0,1%**

Innveid mengde (g) av LS3 1,0% 10,0050

Innveid mengde (g) totalt (Ca(OH)2/NaCl) 100,0130

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-03

Prøve	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2/ NaCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
	3,00E-05	48,5	48,557	1,5	1,51	50,067	3,02E-05
	4,00E-05	48	48,0043	2	2,0136	50,0179	4,03E-05
	7,00E-05	46,5	46,5206	3,5	3,5065	50,0271	7,01E-05
	1,00E-04	45	44,9979	5	5,0009	49,9988	1,00E-04
	1,40E-04	43	43,014	7	7,0165	50,0305	1,40E-04
	1,80E-04	41	41,1062	9	8,99	50,0962	1,80E-04
	Blank (leire + Ca(OH)2/NaCl)	50	50,0141				

**Adsorpsjonsprøver LS4 leire**

Tørrstoff LS4 95,8%

0,9580

**LS4 0,1%**

Innveid mengde LS4 (0,1044g)

0,1045

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

100,0070

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve	Leire Innveid (1/0,5 g)	Menge (g) Ca(OH)2/N aCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl + leire	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl	Menge LS (g)	Innveid mengde løsnings totalt med leire	Innveid mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
1,00E-05	1,0013	49,5	50,5025	49,5012	0,5	51,0131	50,0118	0,5106	1,02E-05
2,00E-05	1,0005	49,0	50,0213	49,0208	1	51,0438	50,0433	1,0225	2,05E-05
4,00E-05	0,5006	48,0	48,5261	48,0255	2	50,5272	50,0266	2,0011	4,00E-05
7,00E-05	0,5011	46,5	47,0161	46,515	3,5	50,5628	50,0617	3,5467	7,09E-05
1,00E-04	0,501	45,0	45,5301	45,0291	5	50,5338	50,0328	5,0037	1,00E-04
1,40E-04	0,5007	43,0	43,549	43,0483	7	50,5448	50,0441	6,9958	1,40E-04
1,80E-04	0,5004	41,0	41,586	41,0856	9	50,5624	50,062	8,9764	1,79E-04
2,00E-04	0,5005	40,0	40,52	40,0195	10	50,5221	50,0216	10,0021	2,00E-04

**LS4 0,01%**

Innveid mengde LS4 0,1%

5,0009

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2/NaCl)

50,0463

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-04

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve	Leire Innveid (1/0,5 g)	Menge (g) Ca(OH)2/N aCl	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl + leire	Innveid mengde (g) Ca(OH)2/N aCl	Menge LS (g)	Innveid mengde løsnings totalt med leire	Innveid mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
5,00E-06	1,0011	47,5	48,507	47,5059	2,5	51,2974	50,2963	2,7904	5,55E-06
7,00E-06	1,0007	46,5	47,5045	46,5038	3,5	51,016	50,0153	3,5115	7,02E-06
9,00E-06	1,0003	45,5	46,5025	45,5022	4,5	51,0152	50,0149	4,5127	9,03E-06
1,40E-05	1,0004	43	44,05	43,0496	7	51,0412	50,0408	6,9912	1,40E-05
1,80E-05	1,0011	41	42,052	41,0509	9	51,12	50,1189	9,068	1,81E-05

### Utganger adsorpsjonsprøver LS1 leire u/elektrolytt

Tørrstoff LS1 93,2% 0,932

### Utganger adsorpsjonsprøver LS1 leire u/elektrolytt

#### LS1 0,1%

Innveid mengde LS1 (0,1073g) 0,1075  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 100,005  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-03

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde leire og Ca(OH)2	Innveid mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt	Innveid mengde løsnings totalt	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasjon LS/g (løsnings)
4,00E-05	0,5003	48	48,5006	48,0003	2	50,5262	50,0259	2,0256	4,06E-05
7,00E-05	0,5005	46,5	47,0125	46,512	3,5	50,514	50,0135	3,5015	7,01E-05
1,00E-04	0,5007	45	45,514	45,0133	5	50,53	50,0293	5,016	1,00E-04
1,40E-04	0,5016	43	43,539	43,0374	7	50,535	50,0334	6,996	1,40E-04
1,80E-04	0,501	41	41,5	40,999	9	50,5057	50,0047	9,0057	1,80E-04
2,00E-04	0,4997	40	40,5018	40,0021	10	50,5104	50,0107	10,0086	2,00E-04
1,00E-05	1,0005	49,5	50,6423	49,6418	0,5	51,1416	50,1411	0,4993	9,98E-06
2,00E-05	1,0006	49	50,026	49,0254	1	51,0239	50,0233	0,9979	2,00E-05
1,80E-04	0,5013	41	41,5244	41,0231	9	50,5216	50,0203	8,9972	1,80E-04
2,00E-04	0,5007	40	40,5062	40,0055	10	50,8082	50,3075	10,302	2,05E-04

**LS1 0,01%**

Innveid mengde av LS1 0,1% 4,9994

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 50,0143

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-04

Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde leire og Ca(OH)2	Innveid mengde Ca(OH)2	Mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt med leire	Innveid mengde løsnings totalt	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasjon on LS (g LS/g løsnings)
1(blank)	0,5004	50	50,5229	50,0225	50,0225		50,5229	50,0225		0
5,00E-06	1,0011	47,5	48,506	47,5049	47,5049	2,5	51,0103	50,0092	2,5043	5,01E-06
7,00E-06	1,001	46,5	47,5132	46,5122	46,5122	3,5	51,0164	50,0154	3,5032	7,01E-06
9,00E-06	1,0007	45,5	46,7407	45,74	45,74	4,5	51,2506	50,2499	4,5099	8,99E-06
1,40E-05	1,0013	43	44,0045	43,0032	43,0032	7	51,0162	50,0149	7,0117	1,40E-05
1,80E-05	1,0003	41	41,9996	40,9993	40,9993	9	51,0126	50,0123	9,013	1,80E-05

### Utrekninger standarder LS1 u/elektrolytt

Tørrstoff LS1 93,2%

0,932

#### LS1 0,1%

Innveid mengde LS1 (0,1073g)

0,1075

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)

100,005

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-03

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings)	2,00E-05	0,1999	10,0034	2,00E-05
	7,00E-05	0,6991	10,0098	7,00E-05
	1,40E-04	1,4002	10,0037	1,40E-04
	2,00E-04	2,0007	10,008	2,00E-04

#### LS1 0,1%

Innveid mengde av LS1 0,1%

4,9994

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)

50,0143

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)

1,00E-04

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings)	5,00E-06	0,5001	10,1012	4,96E-06
	9,00E-06	0,9008	10,0112	9,01E-06
	1,80E-05	1,7997	10,002	1,80E-05

**Utrekning adsorpsjonsprøver LS2 leire u/elektrolytt**

Tørrstoff LS2 93,2% 0,944

**LS2 0,1%**

Innveid mengde LS2 (0,1059g) 0,1059

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 100,002

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-03

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde leire og Ca(OH)2	Innveid mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt med leire	Mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve									
2,00E-05	1,0003	49	50,0369	49,0366	1	51,0662	50,0659	1,0293	2,06E-05
4,00E-05	0,5011	48	48,5521	48,051	2	50,5523	50,0512	2,0002	4,00E-05
7,00E-05	0,5009	46,5	47,0125	46,5116	3,5	50,527	50,0261	3,5145	7,02E-05
1,40E-04	0,5001	43	43,5013	43,0012	7	50,5192	50,0191	7,0179	1,40E-04
1,80E-04	0,5001	41	41,5005	41,0004	9	50,5107	50,0106	9,0102	1,80E-04
2,00E-04	0,5003	40	40,5185	40,0182	10	50,5181	50,0178	9,9996	2,00E-04
1,00E-04	0,5008	45	45,5133	45,0125	5	50,5142	50,0134	5,0009	1,00E-04

**LS2 0,01%**

Innveid mengde av LS2 0,1% 5,0002

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 50,0006

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-04

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde leire og Ca(OH)2	Innveid mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt med leire	Mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve									
1(blank)	0,5004	50	50,5229	50,0225		50,5229	50,0225	0	0
5,00E-06	1,0004	47,5	48,507	47,5066	2,5	51,0295	50,0291	2,5225	5,04E-06
9,00E-06	1,0002	45,5	46,506	45,5058	4,5	51,0333	50,0331	4,5273	9,05E-06
1,40E-05	1,0013	43	44,0046	43,0033	7	51,0107	50,0094	7,0061	1,40E-05
1,80E-05	1	41	42,005	41,005	9	51,0013	50,0013	8,9963	1,80E-05

### Utrekninger standarder LS2 u/elektrolytt

Tørrstoff LS2 93,2%

0,944

#### LS2 0,1%

Innveid mengde LS2 (0,1059g)

0,1059

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)

100,002

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-03

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	2,00E-05	0,2	10,0017	2,00E-05
	7,00E-05	0,7	10,0013	6,99E-05
	1,40E-04	1,4	10,0223	1,40E-04
	2,00E-04	2	10,0068	2,01E-04

#### LS2 0,01%

Innveid mengde av LS2 0,1%

5,0002

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)

50,0006

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

1,00E-04

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)	5,00E-06	0,5	10,1546	4,94E-06
	9,00E-06	0,9	10,0073	9,00E-06
	1,80E-05	1,8	10,0032	1,80E-05

### Utrekninger adsorpsjonsprøver LS3 leire u/elektrolytt

Tørrestoff LS3 93,9% 0,939

#### LS3 0,1%

Innveid mengde LS3 (0,1065g) 0,1068  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 100,005  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-03

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde leire og Ca(OH)2	Innveid mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt med leire	Mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasj on LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve									
2,00E-05	1,0007	49	50,0888	49,0881	1	51,0869	50,0862	0,9981	2,00E-05
3,00E-05	0,5	48,5	49,5065	49,0065	1,5	51,0005	50,5005	1,494	2,97E-05
4,00E-05	0,5011	48	48,5083	48,0072	2	50,5124	50,0113	2,0041	4,02E-05
7,00E-05	0,4998	46,5	47,0353	46,5355	3,5	50,5347	50,0349	3,4994	7,01E-05
1,00E-04	0,5004	45	45,5017	45,0013	5	50,5161	50,0157	5,0144	1,01E-04
1,40E-04	0,5	43	43,5125	43,0125	7	50,5176	50,0176	7,0051	1,40E-04
1,80E-04	0,5005	41	41,5362	41,0357	9	50,5837	50,0832	9,0475	1,81E-04
2,00E-04	0,5001	40	40,5161	40,016	10	50,5124	50,0123	9,9963	2,00E-04

#### LS3 0,01%

Innveid mengde LS3 0,1% 5,0015  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 50,0411  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings) 1,00E-04

	Leire Innveid (0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde leire og Ca(OH)2	Innveid mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Mengde løsnings totalt med leire	Mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasj on LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve									
1(blank)	0,5004	50	50,5229	50,0225		50,5229	50,0225	0	0
5,00E-06	1,0009	47,5	48,5101	47,5092	2,5	51,0215	50,0206	2,5114	5,03E-06
9,00E-06	1,0007	45,5	46,518	45,5173	4,5	51,1225	50,1218	4,6045	9,21E-06
1,40E-05	1,0005	43	44,0048	43,0043	7	51,027	50,0265	7,0222	1,41E-05
1,80E-05	1,0006	41	42,0002	40,9996	9	51,0095	50,0089	9,0093	1,81E-05



### Utrekning standardsprøver LS3 u/elektrolytt

Tørrstoff LS3 93,9% 0,939

#### LS3 0,1%

Innveid mengde LS3 (0,1065g) 0,1068  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 100,005  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning) 1,00E-03

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)				
	2,00E-05	0,2	10,0029	2,01E-05
	7,00E-05	0,7	10,089	6,96E-05
	1,40E-04	1,4	10,0024	1,40E-04
	2,00E-04	2	9,9999	2,01E-04

#### LS3 0,01%

Innveid mengde LS3 0,1% 5,0015  
 Innveid mengde totalt (Ca(OH)2) 50,0411  
 Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning) 1,00E-04

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)				
	5,00E-06	0,5	9,9998	5,03E-06
	9,00E-06	0,9	10,0052	9,01E-06
	1,60E-05	1,6	10,0065	1,60E-05

### Utrekninger adsorpsjonsprøver LS4 leire u/elektrolytt

Tørrstoff LS4 95,8%	0,9580
<b>LS4 0,1%</b>	
Innveid mengde LS4 (0,1044g)	0,1043
Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)	100,0290
Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)	9,99E-04

	Leire Innveid (1/0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde (g) Ca(OH)2 + leire	Innveid mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Innveid mengde løsnings totalt med leire	Innveid mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasj on LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve									
	2,00E-05	49,0	50,0104	49,009	1	51,0351	50,0337	1,0247	2,05E-05
	3,00E-05	48,5	49,0237	48,523	1,5	50,5175	50,0168	1,4938	2,98E-05
	4,00E-05	48,0	48,5089	48,0081	2	50,5009	50,0001	1,992	3,98E-05
	7,00E-05	46,5	47,0294	46,5281	3,5	50,5569	50,0556	3,5275	7,04E-05
	1,00E-04	45,0	45,5033	45,002	5	50,5182	50,0169	5,0149	1,00E-04
	1,40E-04	43,0	43,5088	43,0086	7	50,5365	50,0363	7,0277	1,40E-04
	1,80E-04	41,0	41,5641	41,0633	9	50,5406	50,0398	8,9765	1,79E-04
	2,00E-04	40,0	40,5319	40,0306	10	50,5427	50,0414	10,0108	2,00E-04

### LS4 0,01%

Innveid mengde LS4 0,1%	5,0002
Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)	50,0042
Eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)	9,99E-05

	Leire Innveid (1/0,5 g)	Mengde (g) Ca(OH)2	Innveid mengde (g) Ca(OH)2 + leire	Innveid mengde (g) Ca(OH)2	Mengde LS (g)	Innveid mengde løsnings totalt med leire	Innveid mengde løsnings totalt uten leire	Innveid mengde LS (g)	Eksakt konsentrasj on LS (g LS/g løsnings)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løsnings) prøve									
	5,00E-06	47,5	48,5864	47,5858	2,5	51,0897	50,0891	2,5033	4,99E-06
	9,00E-06	45,5	46,534	45,5331	4,5	51,0446	50,0437	4,5106	9,00E-06
	1,40E-05	43	44,0125	43,0116	7	51,0454	50,0445	7,0329	1,40E-05
	1,80E-05	41	42,0251	41,0243	9	51,024	50,0232	8,9989	1,80E-05

### Utrekninger standarder LS4 u/elektrolytt

Tørrstoff LS4 95,8%

0,9580

#### LS4 0,1%

Innveid mengde LS4 (0,1044g)

0,1043

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)

100,0290

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

9,99E-04

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)				
	2,00E-05	0,2	10,0038	2,00E-05
	7,00E-05	0,7	10,0412	6,97E-05
	1,40E-04	1,4	10,0079	1,40E-04
	2,00E-04	2	10,009	2,00E-04

#### LS4 0,01%

Innveid mengde LS4 0,1%

5,0002

Innveid mengde totalt (Ca(OH)2)

50,0042

Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)

9,99E-05

	Mengde LS (g)	Innveid mengde LS (g)	Fortynne med Ca(OH)2 til totalt 10 g	Eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)
Teoretisk konsentrasjon (g LS/g løøsning)				
	5,00E-06	0,5	10,0357	4,98E-06
	9,00E-06	0,9	10,0009	8,99E-06
	1,60E-05	1,6	10,144	1,58E-05

## Vedlegg 2

Absorbansverdier til adsorpsjonsprøver og standardprøver.

Plott av standardkurver.

Utrekning og plott av adsorbent mengde LS per gram substrat.

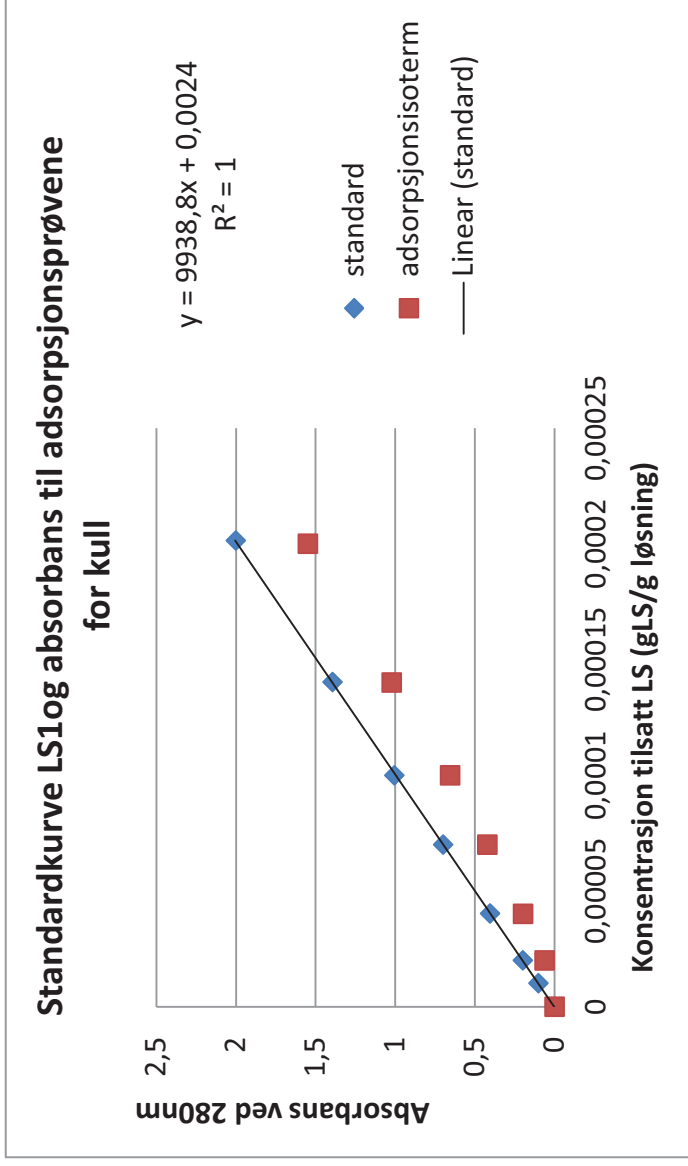
### Absorbans for LS1 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til kull

Bølglengde 280nm

Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07578	0
1,02E-05	0,17726	0,10148
2,01E-05	0,27513	0,19935
4,03E-05	0,48089	0,40511
7,00E-05	0,77545	0,69967
1,00E-04	1,08168	1,0059
1,40E-04	1,46962	1,39384
2,01E-04	2,07692	2,00114

Bølglengde 280nm

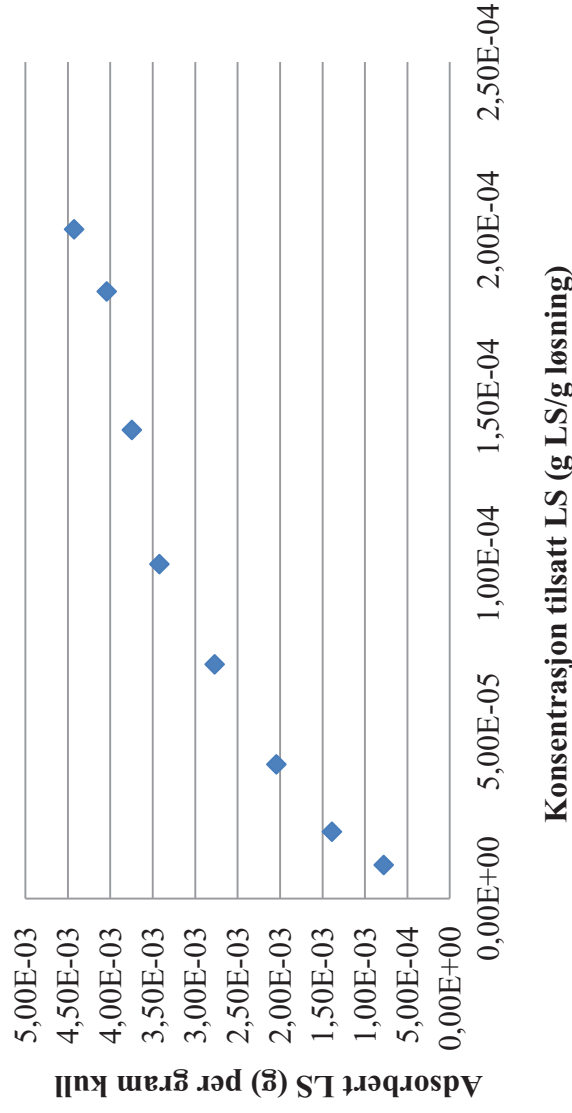
Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07573	0
2,00E-05	0,13849	0,06276
4,01E-05	0,27369	0,19796
7,00E-05	0,49789	0,42216
1,00E-04	0,73159	0,65586
1,40E-04	1,09827	1,02254
2,00E-04	1,62451	1,54878



### Adsorberte mengder LS1 til kull

Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Innveid mengde kull (g)	Absorbans korrigert for blank	Mengde LS i supernatant fra ABS	Mengde løøsning totalt	adsorbert mengde LS (g)	adsorbert mengde (g) LS pr g kull
2,00E-05	0,5015	0,06276	6,07E-06	50,0031	6,967E-04	1,39E-03
4,01E-05	0,5007	0,19796	1,97E-05	50,01	1,023E-03	2,04E-03
7,00E-05	0,5017	0,42216	4,22E-05	50,0013	1,390E-03	2,77E-03
1,00E-04	0,5002	0,65586	6,57E-05	50,0014	1,712E-03	3,42E-03
1,40E-04	0,4998	1,02254	1,03E-04	50,0077	1,872E-03	3,75E-03
2,00E-04	0,5021	1,54878	1,56E-04	49,9966	2,223E-03	4,43E-03
1,01E-05	0,4998	0,02551	2,33E-06	50,3058	3,894E-04	7,79E-04
1,81E-04	0,5005	1,4046	1,41E-04	50,095	2,023E-03	4,04E-03

### Adsorbent LS til ulike tilsatte konsentrasjoner

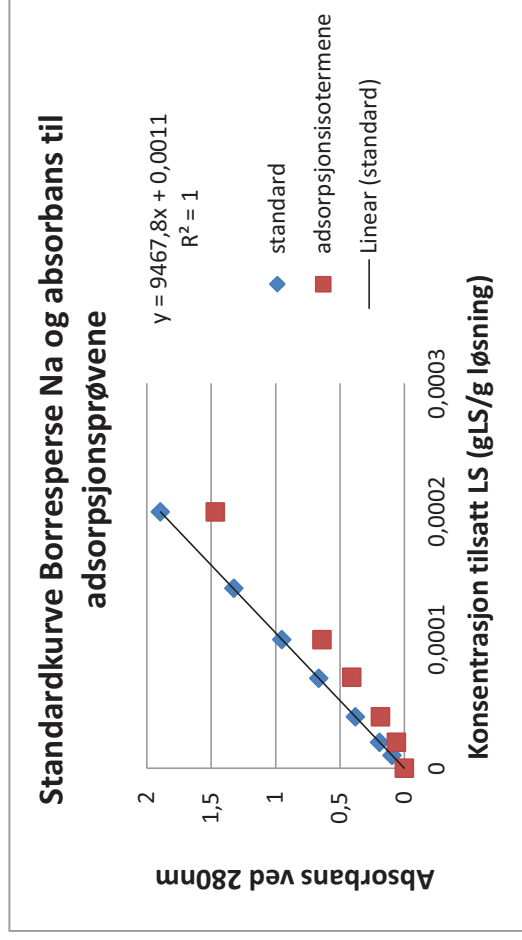


## Absorbans for LS2 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til kull

Bølglengde 280nm

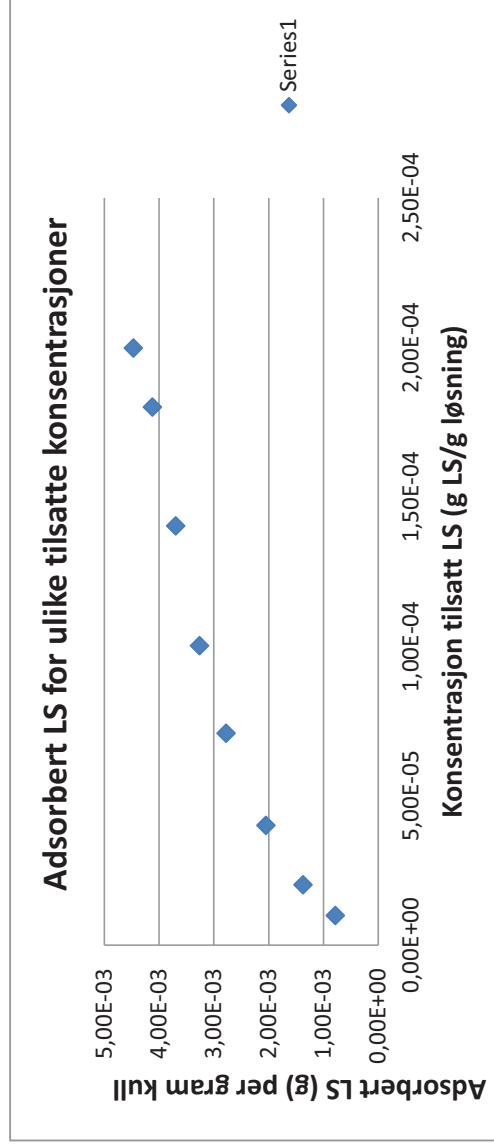
Standardprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,06518	0
9,95E-06	0,16121	0,09603
2,02E-05	0,25805	0,19287
4,01E-05	0,44557	0,38039
7,01E-05	0,72997	0,66479
1,00E-04	1,01721	0,95203
1,40E-04	1,38959	1,32441
2,00E-04	1,96076	1,89558

Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,06865	0
2,02E-05	0,13071	0,06206
4,01E-05	0,25438	0,18573
7,09E-05	0,4776	0,40895
1,00E-04	0,70864	0,63999
2,00E-04	1,53734	1,46869
9,90E-06		0,02075
1,40E-04		0,97904
1,80E-04		1,31474



### Adsorberte mengder LS2 til kull

Innveid mengde kull (g)	Adsorpsjonspr øver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng)	Absorbans korrigert for blank	Mengde LS i supernatant fra ABS	Mengde løsnng totalt	adsorbert mengde LS (g)	adsorbert mengde LS (g) pr g kull
0,5004	2,02E-05	0,06206	6,44E-06	50,0072	6,87E-04	1,37E-03
0,5012	4,01E-05	0,18573	1,95E-05	50,0018	1,03E-03	2,05E-03
0,5007	7,09E-05	0,40895	4,31E-05	50,047	1,39E-03	2,78E-03
0,5013	1,00E-04	0,63999	6,75E-05	50,0127	1,64E-03	3,26E-03
0,501	2,00E-04	1,46869	1,55E-04	50,0154	2,24E-03	4,47E-03
0,4993	9,90E-06	0,02075	2,08E-06	50,2927	3,91E-04	7,83E-04
0,5002	1,40E-04	0,97904	1,03E-04	50,0688	1,85E-03	3,70E-03
0,5008	1,80E-04	1,31474	1,39E-04	50,0298	2,06E-03	4,12E-03



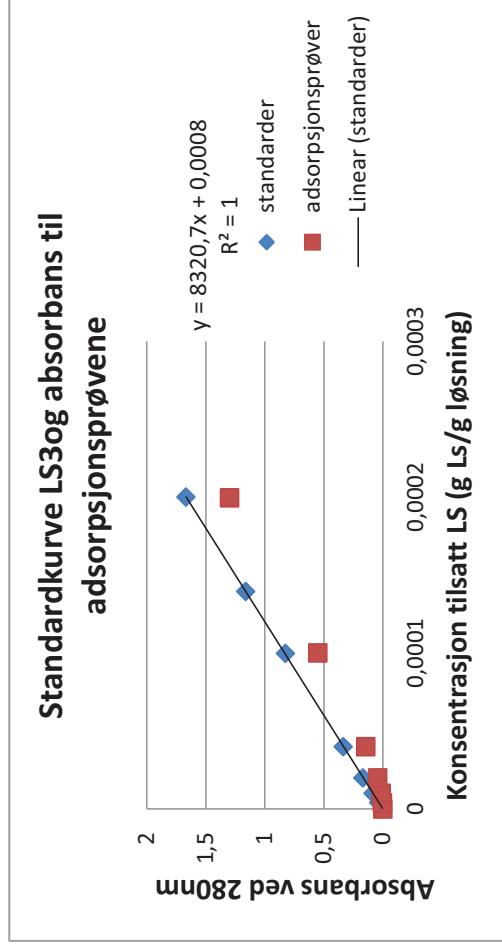


### Absorbans for LS3 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til kull

Bølgelengde 280nm

konsentrasjon (g LS/g løsnng)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,08439	0
4,04E-06	0,1195	0,03511
1,00E-05	0,16752	0,08313
2,00E-05	0,25345	0,16906
4,00E-05	0,42038	0,33599
9,98E-05	0,90995	0,82556
1,40E-04	1,24662	1,16223
2,00E-04	1,753	1,66861

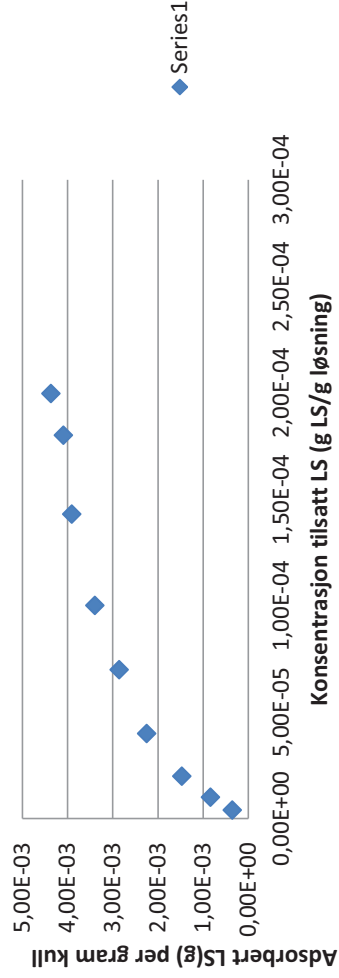
konsentrasjon (g LS/g løsnng)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07539	0
4,02E-06	0,0794	0,00401
1,01E-05	0,089649	0,014259
1,99E-05	0,11948	0,04409
4,00E-05	0,22019	0,1448
1,00E-04	0,6266	0,55121
2,00E-04	1,37412	1,29873
6,99E-05		0,34455
1,43E-04		0,86629
1,80E-04		1,15842



### Adsorberte mengder LS3 til kull

Innveid mengde kull (g)	Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Konsentrasjon i LS i supernatant fra ABS (g LS/g løøsning)	Mengde løøsning totalt	Adsorbent mengde (g) LS	Adsorbent mengde (g) per g kull
0,5077	4,02E-06	3,8578E-07	49,994	1,82E-04	3,58E-04
0,5027	1,01E-05	1,6175E-06	50,0288	4,22E-04	8,40E-04
0,4995	1,99E-05	5,2027E-06	49,997	7,36E-04	1,47E-03
0,5034	4,00E-05	1,7306E-05	50,034	1,13E-03	2,25E-03
0,5002	1,00E-04	6,6149E-05	50,0038	1,70E-03	3,40E-03
0,4998	2,00E-04	1,5599E-04	50,0086	2,18E-03	4,37E-03
0,5009	6,99E-05	4,1313E-05	50,0272	1,43E-03	2,86E-03
0,5011	1,43E-04	1,0402E-04	50,2102	1,96E-03	3,91E-03
0,5003	1,80E-04	1,3913E-04	50,0118	2,05E-03	4,09E-03

### Adsorbent LS for ulike tilsatte konsentrasjoner av LS3

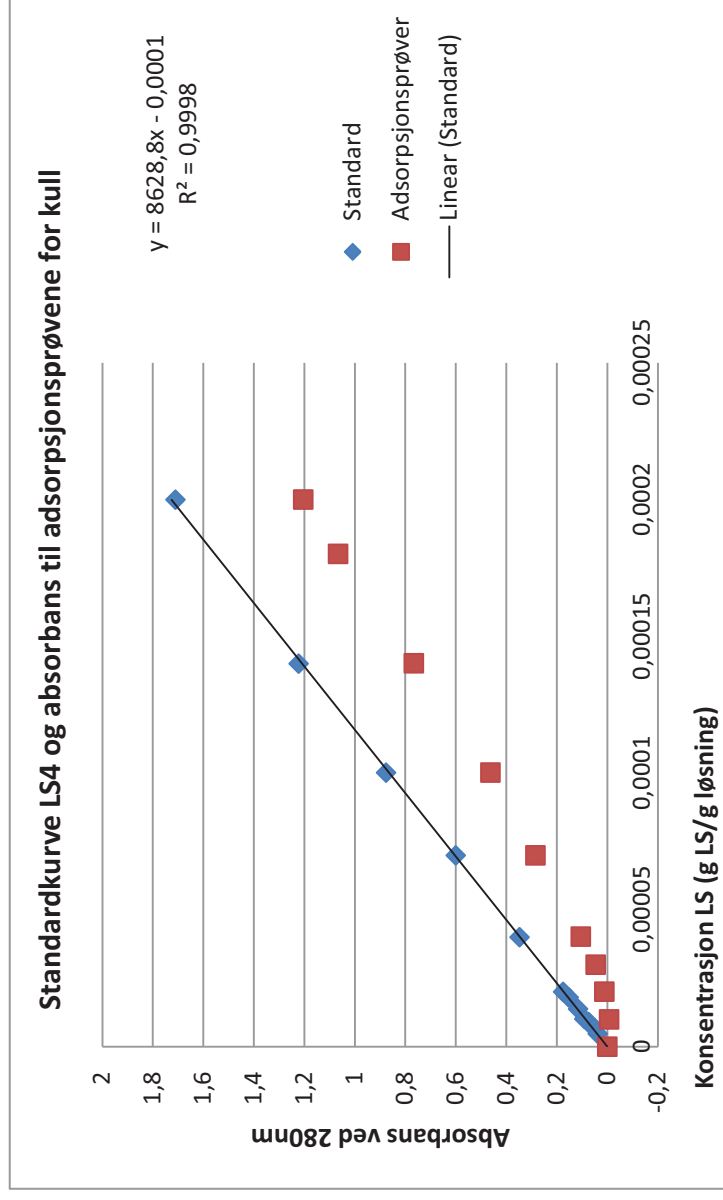


## Absorbans for LS4 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til kull

Bølglengde 280nm

Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,0721	0
4,68E-06	0,10989	0,03779
6,99E-06	0,12735	0,05525
9,01E-06	0,14586	0,07376
1,38E-05	0,18786	0,11576
1,80E-05	0,22499	0,15289
1,02E-05	0,16341	0,09131
2,01E-05	0,24724	0,17514
4,00E-05	0,41975	0,34765
6,99E-05	0,67241	0,60031
1,00E-04	0,94836	0,87626
1,40E-04	1,29472	1,22262
2,00E-04	1,78265	1,71055

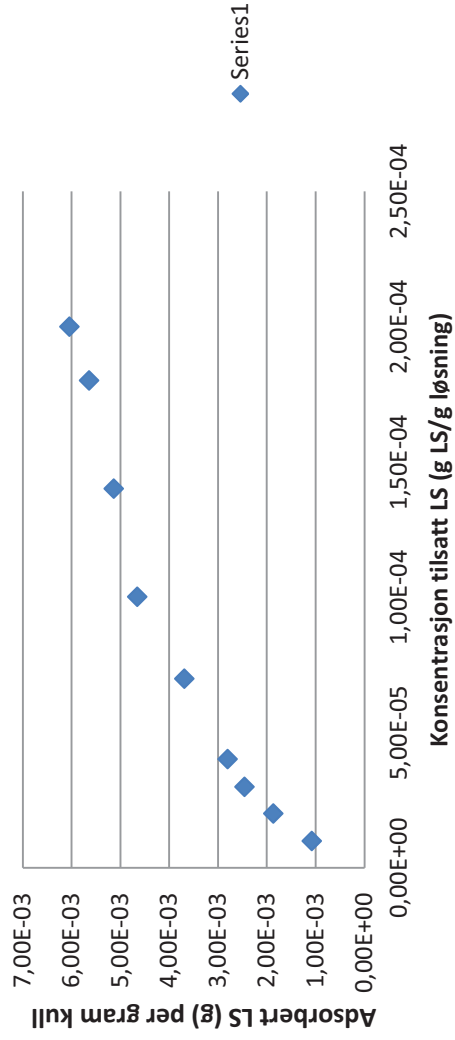
Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,08226	0
9,97209E-06	0,07524	-0,00702
2,0124E-05	0,09403	0,01177
2,99799E-05	0,12839	0,04613
4,02447E-05	0,18722	0,10496
6,99545E-05	0,36695	0,28469
0,000100227	0,54515	0,46289
0,000140195	0,84865	0,76639
0,000180181	1,14863	1,06637
0,000200057	1,28671	1,20445



### Adsorberte mengder LS4 på kull

Innveid mengde kull (g)	Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnng)	Mengde LS i supernatant fra ABS	Mengde løsnng totalt	adsorbert mengde LS (g)	adsorbert mengde LS pr g kull
0,501	9,97E-06	-8,02E-07	50,2021	5,41E-04	1,08E-03
0,5019	2,01E-05	1,38E-06	50,0023	9,37E-04	1,87E-03
0,5009	3,00E-05	5,36E-06	50,0021	1,23E-03	2,46E-03
0,5006	4,02E-05	1,22E-05	50,0113	1,40E-03	2,80E-03
0,5013	7,00E-05	3,30E-05	50,0717	1,85E-03	3,69E-03
0,5008	1,00E-04	5,37E-05	50,0627	2,33E-03	4,66E-03
0,5002	1,40E-04	8,88E-05	50,0189	2,57E-03	5,14E-03
0,5016	1,80E-04	1,24E-04	50,0085	2,83E-03	5,64E-03
0,5003	2,00E-04	1,40E-04	50,0177	3,02E-03	6,04E-03

Adsorbent LS til ulike tilsatte konsentrasjoner

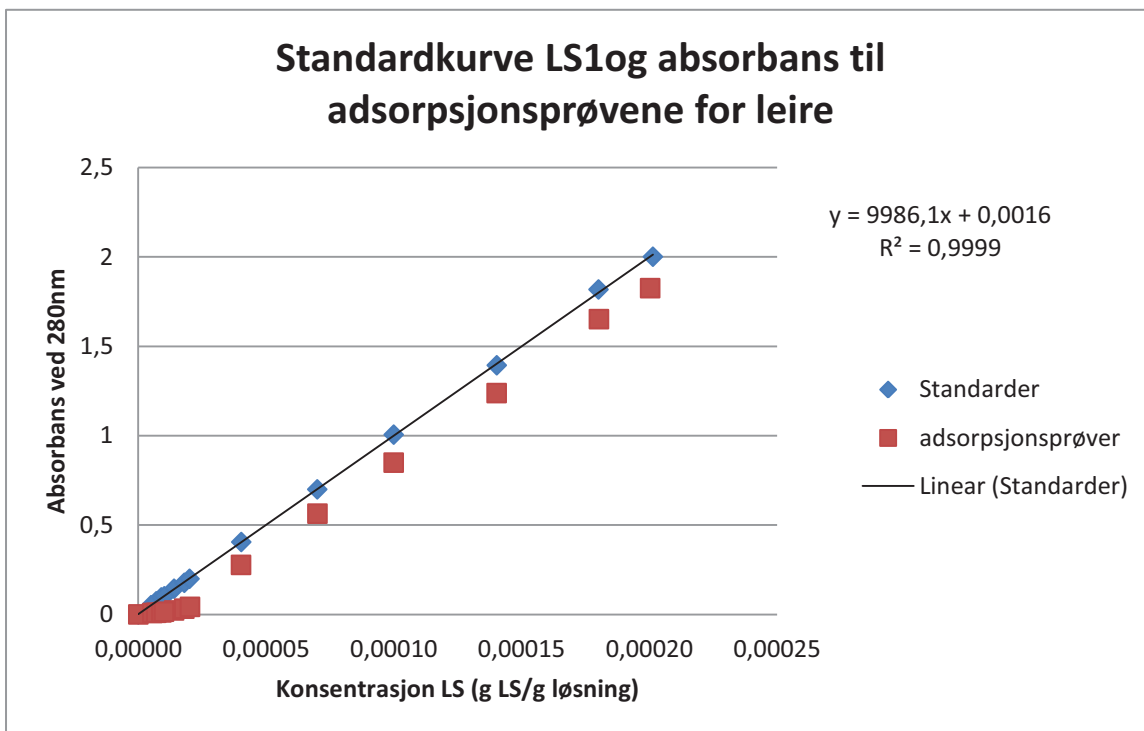


## Absorbans for LS1 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire

Bølgelengde 280nm

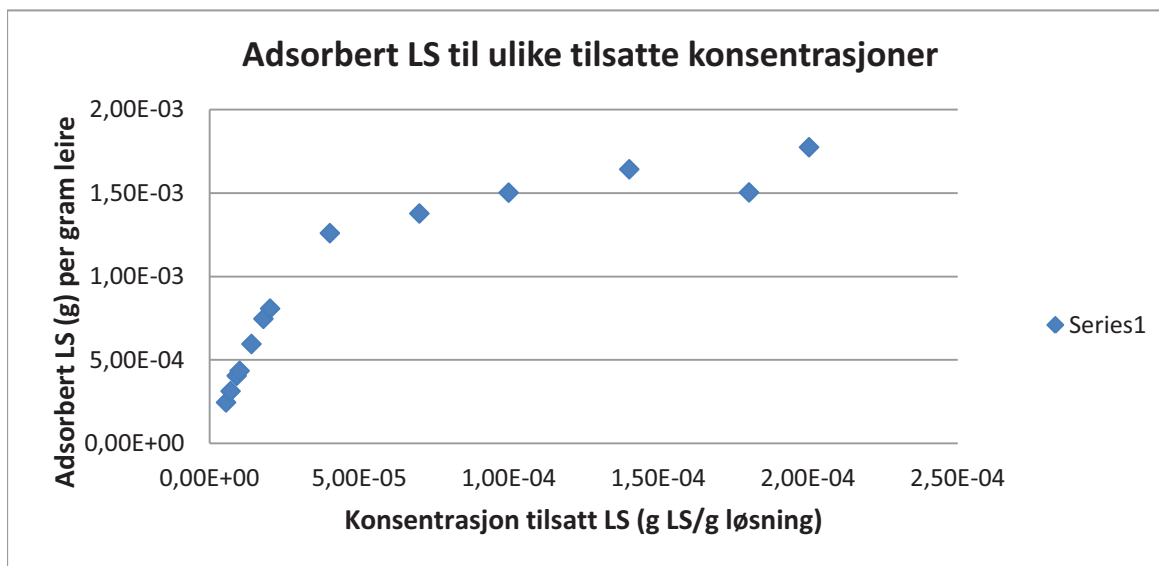
Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsning)	Absorbans korrigert for blank
0	0
4,99E-06	0,05149
7,00E-06	0,07309
9,01E-06	0,09529
1,40E-05	0,14379
1,80E-05	0,17694
1,80E-04	1,81805
1,02E-05	0,10148
2,01E-05	0,19935
4,03E-05	0,40511
7,00E-05	0,69967
1,00E-04	1,0059
1,40E-04	1,39384
2,01E-04	2,00114

Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsning)	Abs korrigert for blank
0	0
5,51E-06	0,00814
7,03E-06	0,00917
9,07E-06	0,01124
1,40E-05	0,02232
1,80E-05	0,03205
1,80E-04	1,65194
4,02E-05	0,27715
7,01E-05	0,56378
1,00E-04	0,84925
1,40E-04	1,23833
2,00E-04	1,82529
1,01E-05	0,01513
2,02E-05	0,04225



## Adsorberte mengder LS1 til leire

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)	Konsentrasjon LS i supernatant fra ABS (g LS/g løsnings)	Mengde løsnings totalt	Mengde LS (g) adsorbent	Mengde LS (g) adsorbent per g leire
1,0006	5,51E-06	6,55E-07	50,6271	2,46E-04	2,46E-04
1,001	7,03E-06	7,58E-07	50,0098	3,13E-04	3,13E-04
0,9998	9,07E-06	9,65E-07	50,0327	4,05E-04	4,05E-04
1,0012	1,40E-05	2,07E-06	50,0031	5,97E-04	5,96E-04
1,0016	1,80E-05	3,05E-06	50,0056	7,48E-04	7,47E-04
0,5005	1,80E-04	1,65E-04	50,0373	7,53E-04	1,50E-03
0,5008	4,02E-05	2,76E-05	50,0122	6,31E-04	1,26E-03
0,5018	7,01E-05	5,63E-05	50,0026	6,91E-04	1,38E-03
0,5017	1,00E-04	8,49E-05	50,0044	7,54E-04	1,50E-03
0,5001	1,40E-04	1,24E-04	50,0139	8,21E-04	1,64E-03
0,4998	2,00E-04	1,83E-04	50,014	8,87E-04	1,77E-03
1,0007	1,01E-05	1,35E-06	50,018	4,35E-04	4,35E-04
1,0008	2,02E-05	4,07E-06	50,0198	8,08E-04	8,08E-04



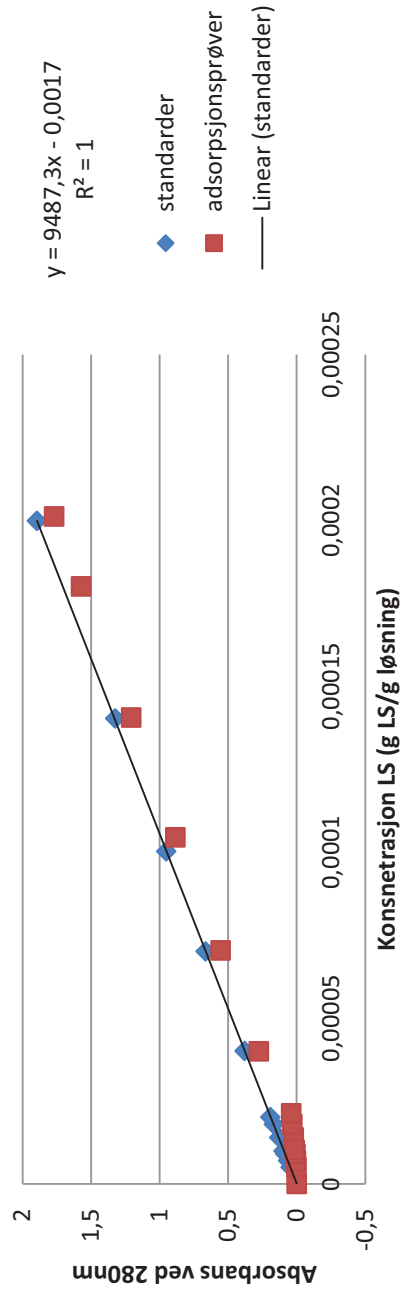
## Absorbans for LS2 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire

Bølglengde 280nm

Prøve standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans korrigert for blank
0	0
5,02E-06	0,04429
7,00E-06	0,06222
9,01E-06	0,08239
1,40E-05	0,1278
1,80E-05	0,16705
9,95E-06	0,09603
2,02E-05	0,19287
4,01E-05	0,38039
7,01E-05	0,66479
1,00E-04	0,95203
1,40E-04	1,32441
2,00E-04	1,89558

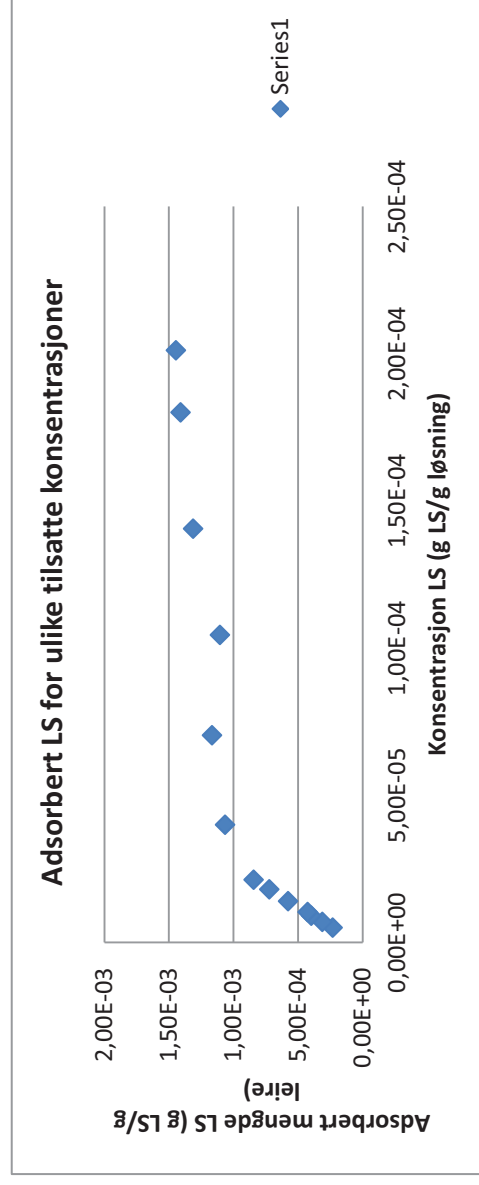
Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans korrigert for blank
0	0
5,02E-06	0,00184
6,96E-06	0,00522
9,05E-06	0,00872
1,40E-05	0,02157
1,80E-05	0,03205
4,00E-05	0,27631
7,04E-05	0,55495
1,04E-04	0,88526
1,03E-05	0,01525
2,13E-05	0,04013
1,41E-04	1,20731
1,80E-04	1,573
2,01E-04	1,76975

## Standardkurve LS2 og adsorbans til adsorpsjonsprøvene for leire



### Adsorbent LS2 til leire

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Konsentrasjon LS i supernatant fra ABS (g LS/g løøsning)	Mengde løøsning totalt	Mengde LS (g) adsorbent	Mengde LS (g) adsorbent per g leire
1,0019	5,02E-06	3,73E-07	50,0029	0,0002	2,32E-04
1,0015	6,96E-06	7,29E-07	50,124	0,0003	3,12E-04
1,0013	9,05E-06	1,10E-06	50,021	0,0004	3,97E-04
1,0003	1,40E-05	2,45E-06	49,9954	0,0006	5,77E-04
1,0009	1,80E-05	3,56E-06	50,0108	0,0007	7,23E-04
0,5009	4,00E-05	2,93E-05	50,0066	0,0005	1,07E-03
0,502	7,04E-05	5,87E-05	50,021	0,0006	1,17E-03
0,499	1,04E-04	9,35E-05	50,2627	0,0006	1,11E-03
1,0013	1,03E-05	1,79E-06	50,0161	0,0004	4,26E-04
1,001	2,13E-05	4,41E-06	50,0675	0,0008	8,44E-04
0,5005	1,41E-04	1,27E-04	50,0287	0,0007	1,31E-03
0,5002	1,80E-04	1,66E-04	50,0043	0,0007	1,41E-03
0,5005	2,01E-04	1,87E-04	50,0869	0,0007	1,45E-03



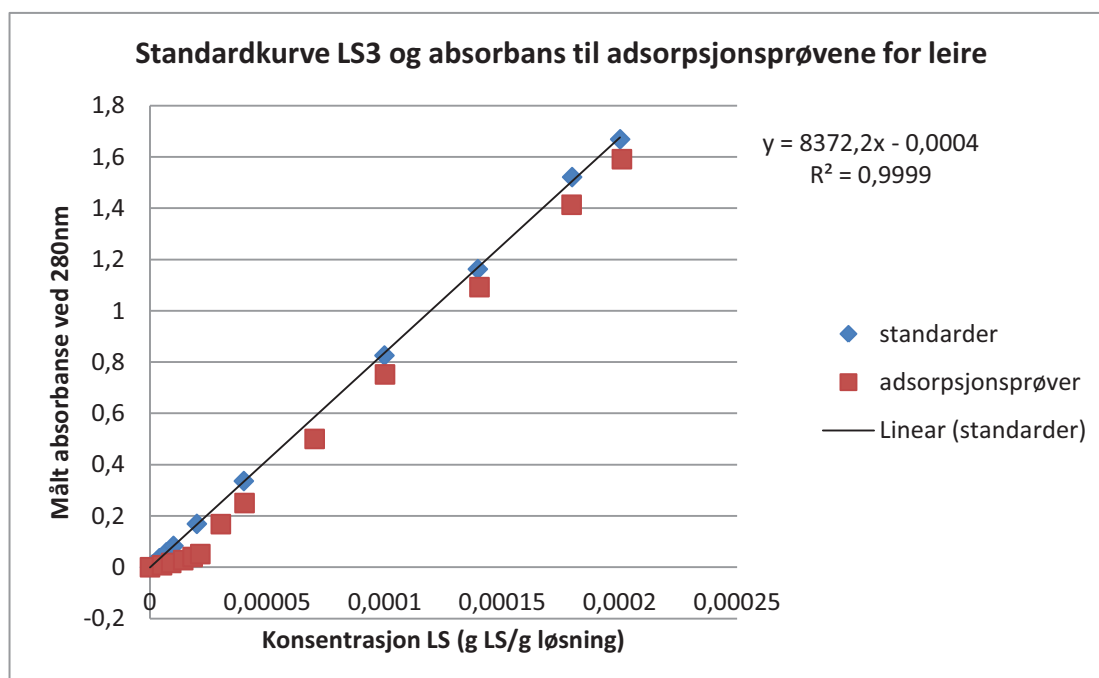


## Absorbans for LS3 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire

Bølgelengde 280nm

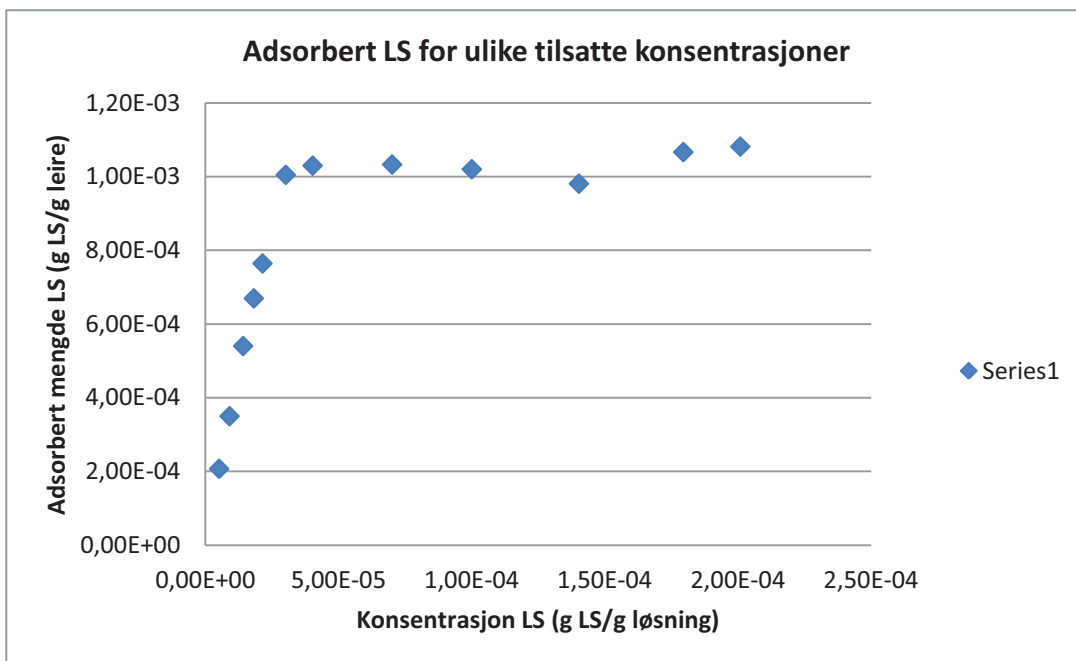
Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsning)	Absorbans korrigert for blank
0	0
5,01E-07	0,00399
9,96E-07	0,00984
2,00E-06	0,01442
2,99E-06	0,02387
4,04E-06	0,03511
6,97E-06	0,05788
1,00E-05	0,08313
2,00E-05	0,16906
4,00E-05	0,33599
9,98E-05	0,82556
1,40E-04	1,16223
1,80E-04	1,52118
2,00E-04	1,66861

Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsning)	Abs korrigert for blank
0	0
5,12E-06	0,0078
9,04E-06	0,016759
1,42E-05	0,02767
1,82E-05	0,03983
2,14E-05	0,05126
3,02E-05	0,16801
4,03E-05	0,25024
7,01E-05	0,50021
1,00E-04	0,75184
1,40E-04	1,09214
1,80E-04	1,41324
2,01E-04	1,59098



### Adsorbent mengde LS3 til leire

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)	Konsentrasjon LS i supernatant fra ABS (g LS/g løsnings)	Mengde løsnings totalt	Mengde LS (g) adsorbent	Mengde LS (g) adsorbent per g leire
1,0012	5,12E-06	9,79E-07	50,0606	2,07E-04	2,07E-04
1,0007	9,04E-06	2,05E-06	50,0483	3,50E-04	3,50E-04
1,0009	1,42E-05	3,35E-06	50,0686	5,41E-04	5,40E-04
1,0013	1,82E-05	4,81E-06	50,1559	6,70E-04	6,70E-04
1,0005	2,14E-05	6,17E-06	50,077	7,65E-04	7,64E-04
0,501	3,02E-05	2,01E-05	50,067	5,03E-04	1,00E-03
0,5019	4,03E-05	2,99E-05	50,0179	5,17E-04	1,03E-03
0,4999	7,01E-05	5,98E-05	50,0271	5,16E-04	1,03E-03
0,5001	1,00E-04	8,98E-05	49,9988	5,10E-04	1,02E-03
0,4995	1,40E-04	1,30E-04	50,0305	4,90E-04	9,81E-04
0,5008	1,80E-04	1,69E-04	50,0962	5,34E-04	1,07E-03
0,501	2,01E-04	1,90E-04	50,0055	5,42E-04	1,08E-03

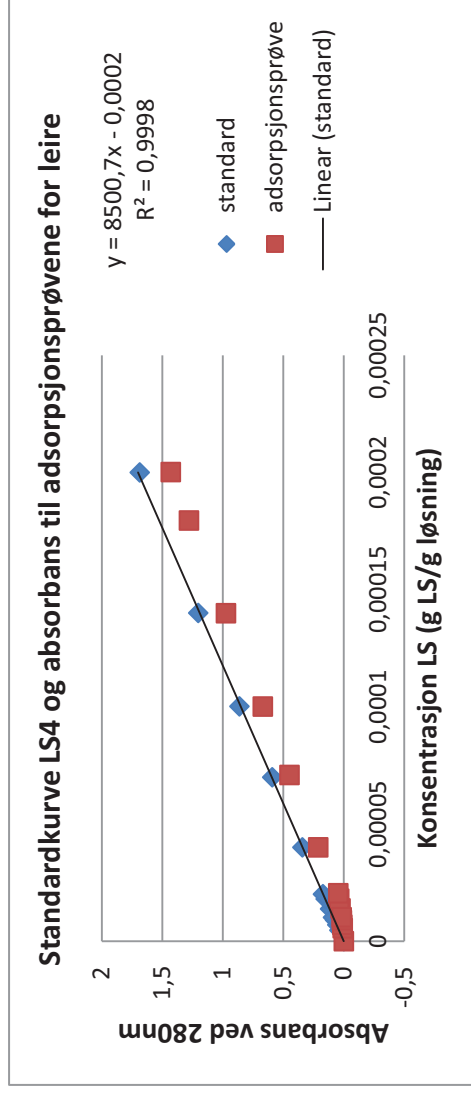


## Absorbans for LS4, standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire

Bølgelengde 280nm

Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07173	0
4,68E-06	0,10881	0,03708
6,99E-06	0,1261	0,05437
9,01E-06	0,14437	0,07264
1,38E-05	0,18565	0,11392
1,80E-05	0,22205	0,15032
1,02E-05	0,16169	0,08996
2,01E-05	0,2444	0,17267
4,00E-05	0,41424	0,34251
6,99E-05	0,66333	0,5916
1,00E-04	0,93431	0,86258
1,40E-04	1,27467	1,20294
2,00E-04	1,75789	1,68616

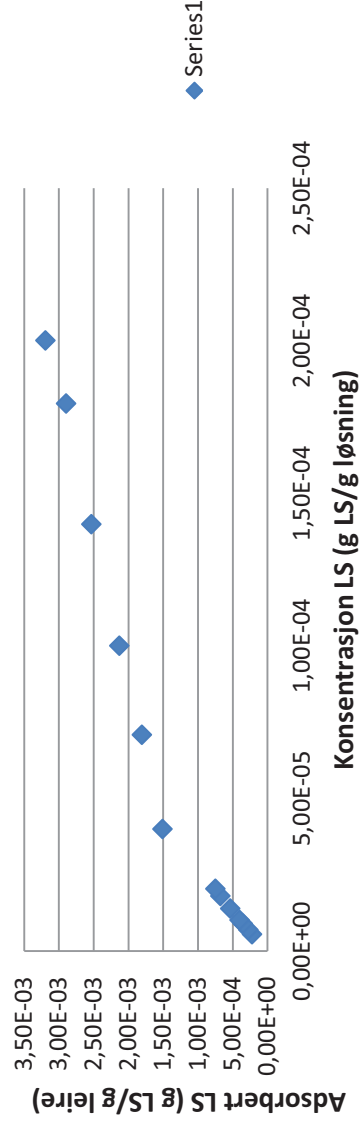
Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,0772	0
5,55E-06	0,086389	0,009189
7,02E-06	0,08968	0,01248
9,03E-06	0,09322	0,01602
1,40E-05	0,10459	0,02739
1,81E-05	0,11561	0,03841
1,02E-05	0,09537	0,01817
2,05E-05	0,12333	0,04613
4,00E-05	0,28887	0,21167
7,09E-05	0,526089	0,448889
1,00E-04	0,74658	0,66938
1,40E-04	1,05107	0,97387
1,79E-04	1,35665	1,27945
2,00E-04	1,50681	1,42961



## Adsorbte mengder LS4 til leire

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løsnings)	Mengde LS i supernatant fra ABS	Mengde løsnings totalt	adsorbent mengde LS (g)	adsorbent mengde LS pr g leire
1,0011	5,55E-06	1,10E-06	50,2963	2,24E-04	2,23E-04
1,0007	7,02E-06	1,49E-06	50,0153	2,77E-04	2,76E-04
1,0003	9,03E-06	1,91E-06	50,0149	3,56E-04	3,56E-04
1,0004	1,40E-05	3,25E-06	50,0408	5,37E-04	5,37E-04
1,0011	1,81E-05	4,54E-06	50,1189	6,79E-04	6,79E-04
1,0013	1,02E-05	2,16E-06	50,0118	4,03E-04	4,03E-04
1,0005	2,05E-05	5,45E-06	50,0433	7,51E-04	7,50E-04
0,5006	4,00E-05	2,49E-05	50,0266	7,56E-04	1,51E-03
0,5011	7,09E-05	5,28E-05	50,0617	9,06E-04	1,81E-03
0,501	1,00E-04	7,88E-05	50,0328	1,07E-03	2,13E-03
0,5007	1,40E-04	1,15E-04	50,0441	1,27E-03	2,53E-03
0,5004	1,79E-04	1,51E-04	50,062	1,45E-03	2,90E-03
0,5005	2,00E-04	1,68E-04	50,0216	1,60E-03	3,19E-03

### Adsorbent LS for ulike tilsatte konsentrasjoner



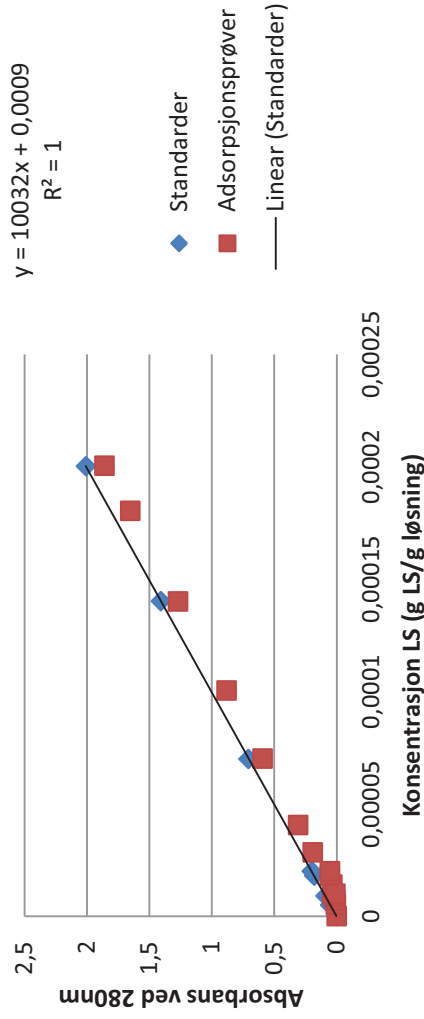
## Absorbans for LS1 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire uten elektrolytt i løøsning

Bølgelengde 280nm

Prøve standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07205	0
4,96E-06	0,12481	0,05276
9,01E-06	0,16185	0,0898
1,80E-05	0,25206	0,18001
2,00E-05	0,27214	0,20009
7,00E-05	0,77973	0,70768
1,40E-04	1,48062	1,40857
2,00E-04	2,0801	2,00805

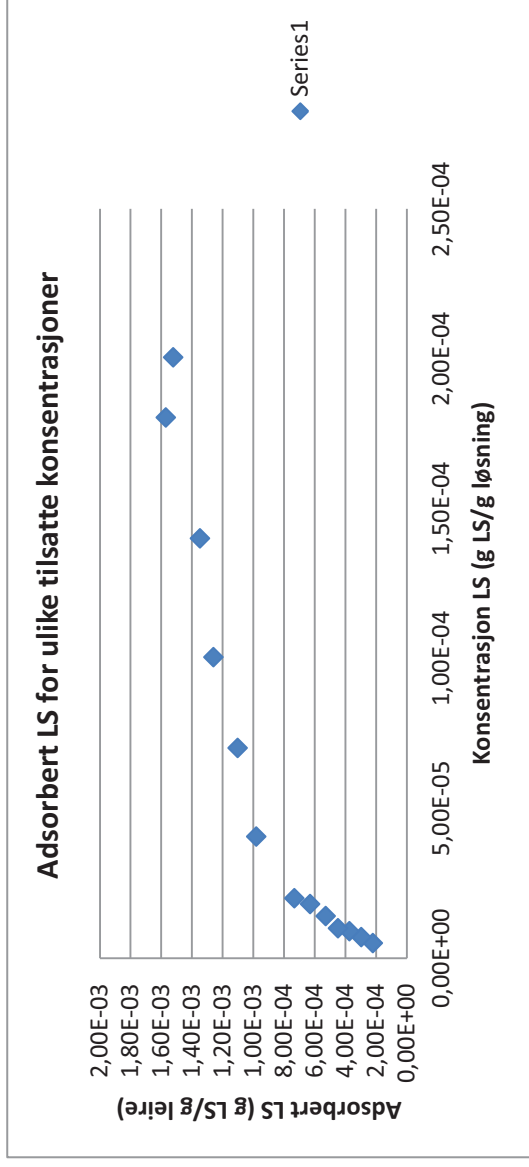
Adsorpsjonsprøve, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,074149	0
5,01E-06	0,08097	0,006821
7,01E-06	0,08587	0,011721
8,99E-06	0,09055	0,016401
1,40E-05	0,10975	0,035601
1,80E-05	0,12972	0,055571
1,01E-05	0,11114	0,036991
2,84E-05	0,26638	0,192231
4,06E-05	0,38358	0,309431
7,01E-05	0,66803	0,593881
1,00E-04	0,95621	0,882061
1,40E-04	1,34481	1,270661
1,80E-04	1,72727	1,653121
2,00E-04	1,93386	1,859711
9,98E-06	0,08696	0,01125
2,00E-05	0,13009	0,05438
1,80E-04		1,62242
2,05E-04		1,86163

## Standardkurve LS1 og absorbans til adsorpsjonsprøvene for leire uten elektrolytt



### Adsorberte mengder LS1 til leire uten elektrolytt i løøsning

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Konsentrasjon LS i supernatant fra ABS (g LS/g løøsning)	Mengde løøsning totalt	Mengde LS (g) adsorbent per g leire
1,0011	5,01E-06	5,90E-07	50,0092	2,21E-04
1,001	7,01E-06	1,08E-06	50,0154	2,97E-04
1,0007	8,99E-06	1,55E-06	50,2499	3,74E-04
1,0013	1,40E-05	3,46E-06	50,0149	5,28E-04
1,0003	1,80E-05	5,45E-06	50,0123	6,30E-04
0,5003	4,06E-05	3,08E-05	50,0259	4,91E-04
0,5005	7,01E-05	5,91E-05	50,0135	5,52E-04
0,5007	1,00E-04	8,78E-05	50,0293	6,31E-04
0,5016	1,40E-04	1,27E-04	50,0334	6,76E-04
0,501	1,80E-04	1,65E-04	50,0047	7,87E-04
0,4997	2,00E-04	1,85E-04	50,0107	7,61E-04
1,0005	9,98E-06	1,03E-06	50,1411	4,48E-04
1,0006	2,00E-05	5,33E-06	50,0233	7,33E-04

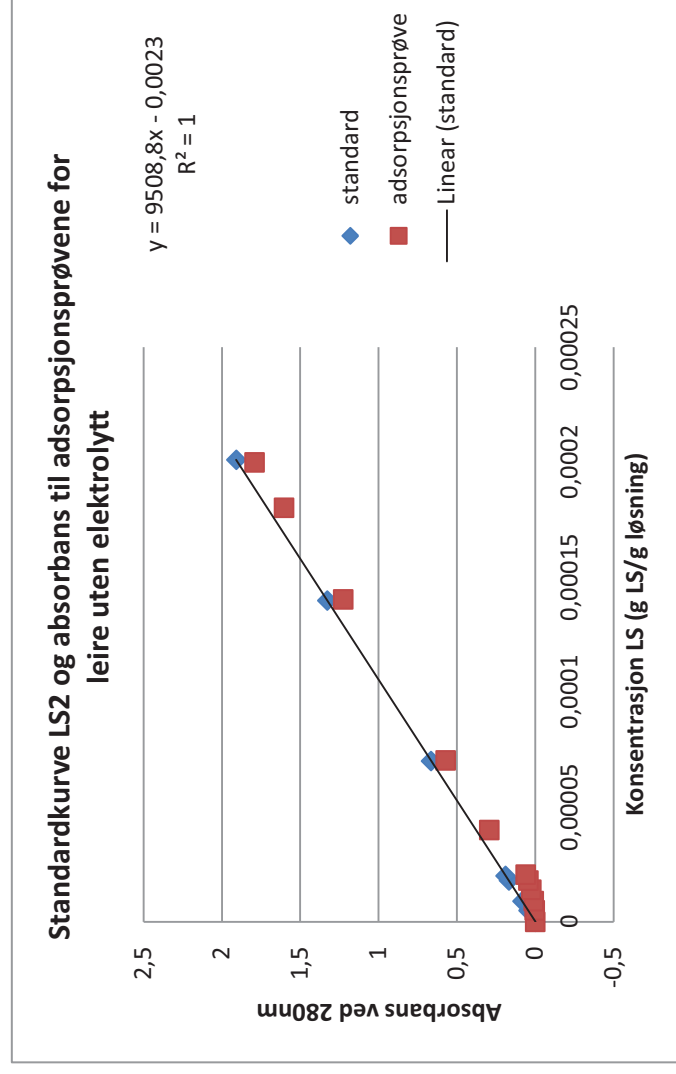


## Absorbans for LS2 standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire uten elektrolytt i løøsning

Bølgelengde 280nm

Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07152	0
4,94E-06	0,1142	0,04268
9,00E-06	0,15257	0,08105
1,80E-05	0,23934	0,16782
2,00E-05	0,2608	0,18928
6,99E-05	0,73659	0,66507
1,40E-04	1,39857	1,32705
2,01E-04	1,9792	1,90768

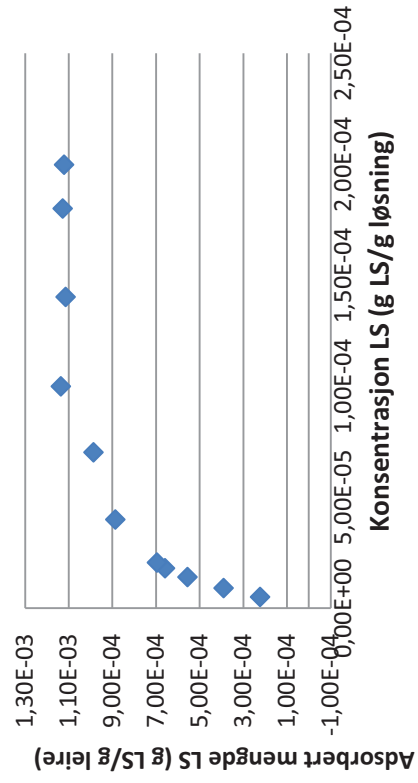
Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07367	0
5,04E-06	0,07681	0,00314
9,05E-06	0,08315	0,00948
1,40E-05	0,09866	0,02499
1,80E-05	0,11709	0,04342
2,06E-05	0,13458	0,06091
4,00E-05	0,36683	0,29316
7,02E-05	0,64523	0,57156
1,40E-04	1,29911	1,22544
1,80E-04	1,67673	1,60306
2,00E-04	1,86509	1,79142
1,00E-04		0,83999



### Adsorbent mengde LS2 til leire uten elektrolytt i løøsning

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Konsentrasjon LS i supernatant fra ABS (g LS/g løøsning)	Mengde løøsning totalt	Mengde LS (g) adsorbent	Mengde LS (g) adsorbent per g leire
1,0004	5,04E-06	5,72E-07	50,0291	2,24E-04	2,23E-04
1,0002	9,05E-06	1,24E-06	50,0331	3,91E-04	3,91E-04
1,0013	1,40E-05	2,87E-06	50,0094	5,57E-04	5,56E-04
1	1,80E-05	4,81E-06	50,0013	6,59E-04	6,59E-04
1,0003	2,06E-05	6,65E-06	50,0659	6,96E-04	6,96E-04
0,5011	4,00E-05	3,11E-05	50,0512	4,44E-04	8,87E-04
0,5009	7,02E-05	6,04E-05	50,0261	4,94E-04	9,87E-04
0,5001	1,40E-04	1,29E-04	50,0191	5,57E-04	1,11E-03
0,5001	1,80E-04	1,69E-04	50,0106	5,64E-04	1,13E-03
0,5003	2,00E-04	1,89E-04	50,0178	5,61E-04	1,12E-03
0,5008	1,00E-04	8,86E-05	50,0134	5,69E-04	1,14E-03

### Adsorbent LS for ulike tilsatte konsentrasjoner



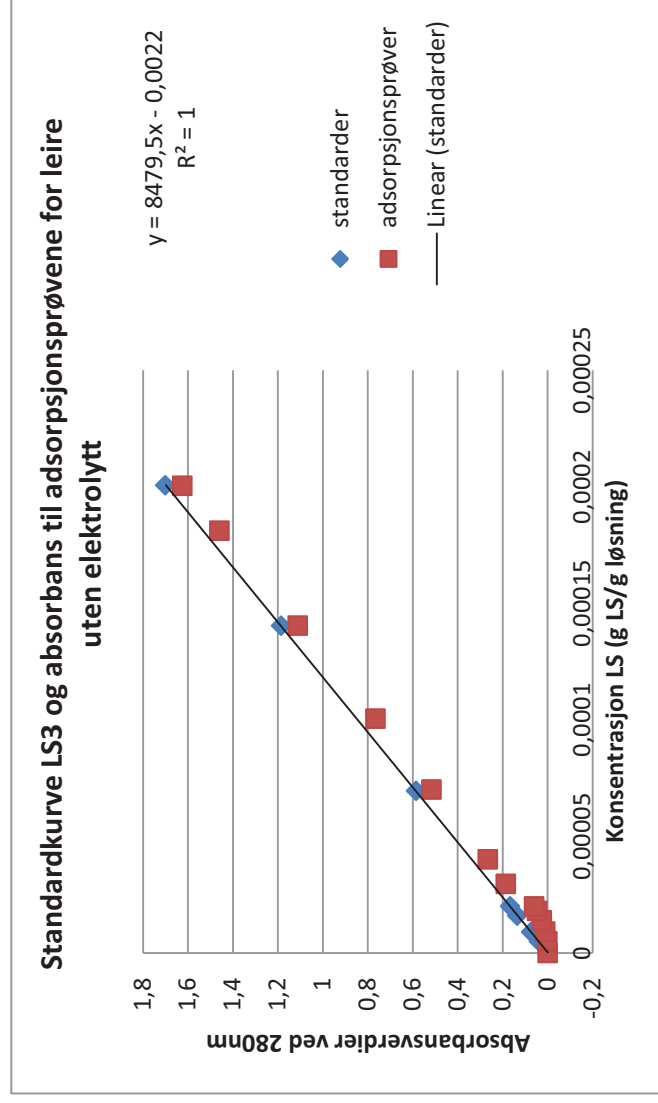


## Absorbans for LS3, standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire uten elektrolytt i løøsning

Bølglengde 280nm

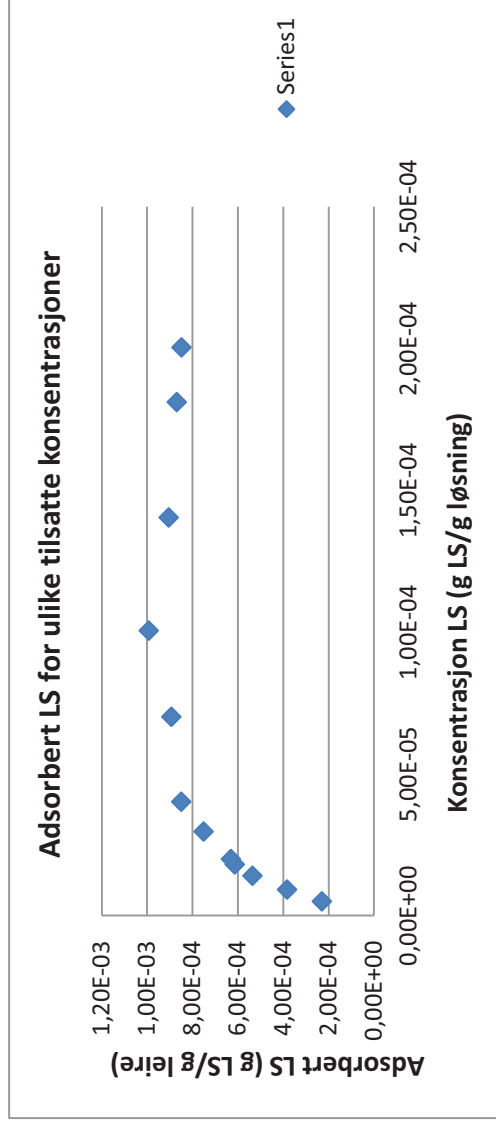
Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,06094	0
5,03E-06	0,1	0,03906
9,01E-06	0,13484	0,0739
1,60E-05	0,19673	0,13579
2,01E-05	0,22797	0,16703
6,96E-05	0,64653	0,58559
1,40E-04	1,24699	1,18605
2,01E-04	1,7623	1,70136

Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,06372	0
5,03E-06	0,06518	0,00146
9,21E-06	0,07473	0,01101
1,41E-05	0,08994	0,02622
1,81E-05	0,11051	0,04679
2,00E-05	0,1241	0,06038
2,97E-05	0,25002	0,1863
4,02E-05	0,33007	0,26635
7,01E-05	0,58056	0,51684
1,01E-04	0,82979	0,76607
1,40E-04	1,1757	1,11198
1,81E-04	1,52394	1,46022
2,00E-04	1,68916	1,62544



Adsorberte mengder LS3 til leire uten elektrolytt i løøsning

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøven, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Konsentrasjon LS i supernatant fra ABS (g LS/g løøsning)	Mengde løøsning totalt	Mengde LS (g) adsorbent	Mengde LS (g) adsorbent per g leire
1,0009	5,03E-06	4,32E-07	50,0206	2,30E-04	2,30E-04
1,0007	9,21E-06	1,56E-06	50,1218	3,83E-04	3,83E-04
1,0005	1,41E-05	3,35E-06	50,0265	5,36E-04	5,36E-04
1,0006	1,81E-05	5,78E-06	50,0089	6,14E-04	6,14E-04
1,0007	2,00E-05	7,38E-06	50,0862	6,31E-04	6,31E-04
0,5	2,97E-05	2,22E-05	50,5005	3,76E-04	7,51E-04
0,5011	4,02E-05	3,17E-05	50,0113	4,26E-04	8,50E-04
0,4998	7,01E-05	6,12E-05	50,0349	4,47E-04	8,93E-04
0,5004	1,01E-04	9,06E-05	50,0157	4,97E-04	9,93E-04
0,5	1,40E-04	1,31E-04	50,0176	4,53E-04	9,05E-04
0,5005	1,81E-04	1,72E-04	50,0832	4,35E-04	8,70E-04
0,5001	2,00E-04	1,92E-04	50,0123	4,24E-04	8,49E-04

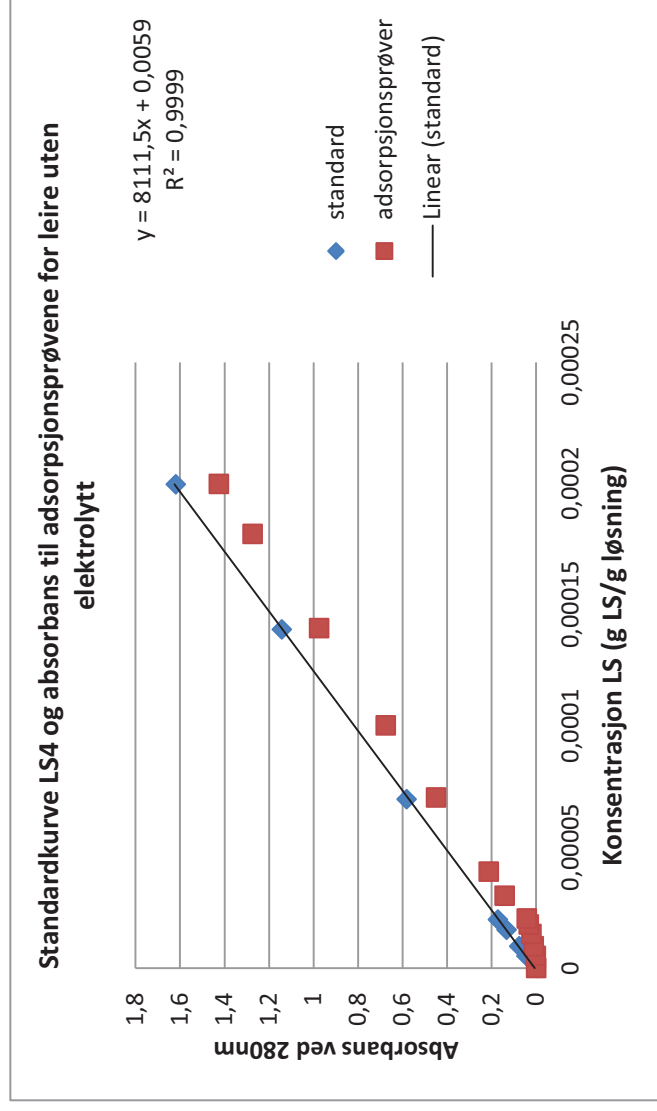


## Absorbans for LS4, standarder og adsorpsjonsprøver, adsorbent til leire uten elektrolytt i løøsning

Bølglengde 280nm

Prøver standard, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,07628	0
4,98E-06	0,12012	0,04384
8,99E-06	0,15249	0,07621
1,58E-05	0,20908	0,1328
2,00E-05	0,24821	0,17193
6,97E-05	0,65834	0,58206
1,40E-04	1,2191	1,14282
2,00E-04	1,6955	1,61922

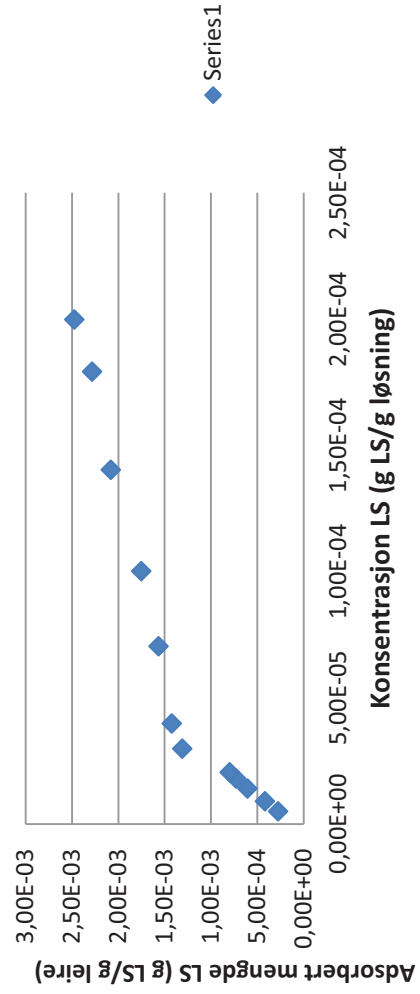
Adsorpsjonsprøver, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Absorbans	Absorbans korrigert for blank
0	0,08588	0
4,99E-06	0,08728	0,0014
9,00E-06	0,096769	0,010889
1,40E-05	0,10703	0,02115
1,80E-05	0,11919	0,03331
2,05E-05	0,12796	0,04208
2,98E-05	0,22733	0,14145
3,98E-05	0,29893	0,21305
7,04E-05	0,53556	0,44968
1,00E-04	0,76168	0,6758
1,40E-04	1,06109	0,97521
1,79E-04	1,35997	1,27409
2,00E-04	1,51165	1,42577



Adsorberte mengder LS4 til leire, uten elektrolytt i løøsning

Innveid mengde leire (g)	Adsorpsjonsprøve r, eksakt konsentrasjon (g LS/g løøsning)	Mengde LS i supernatant fra ABS	Mengde løøsning totalt	adsorbert mengde LS (g)	adsorbert mengde LS pr g leire
1,0006	4,99E-06	-5,55E-07	50,0891	2,78E-04	2,78E-04
1,0009	9,00E-06	6,15E-07	50,0437	4,20E-04	4,19E-04
1,0009	1,40E-05	1,88E-06	50,0445	6,08E-04	6,08E-04
1,0008	1,80E-05	3,38E-06	50,0232	7,30E-04	7,29E-04
1,0014	2,05E-05	4,46E-06	50,0337	8,00E-04	7,99E-04
0,5007	2,98E-05	1,67E-05	50,0168	6,56E-04	1,31E-03
0,5008	3,98E-05	2,55E-05	50,0001	7,13E-04	1,42E-03
0,5013	7,04E-05	5,47E-05	50,0556	7,85E-04	1,57E-03
0,5013	1,00E-04	8,26E-05	50,0169	8,79E-04	1,75E-03
0,5002	1,40E-04	1,19E-04	50,0363	1,04E-03	2,08E-03
0,5008	1,79E-04	1,56E-04	50,0398	1,14E-03	2,28E-03
0,5013	2,00E-04	1,75E-04	50,0414	1,24E-03	2,47E-03

Adsorbent LS for ulike tilsatte konsentrasjoner



## Vedlegg 3

Lineære plott av adsorpsjonsisotermer.

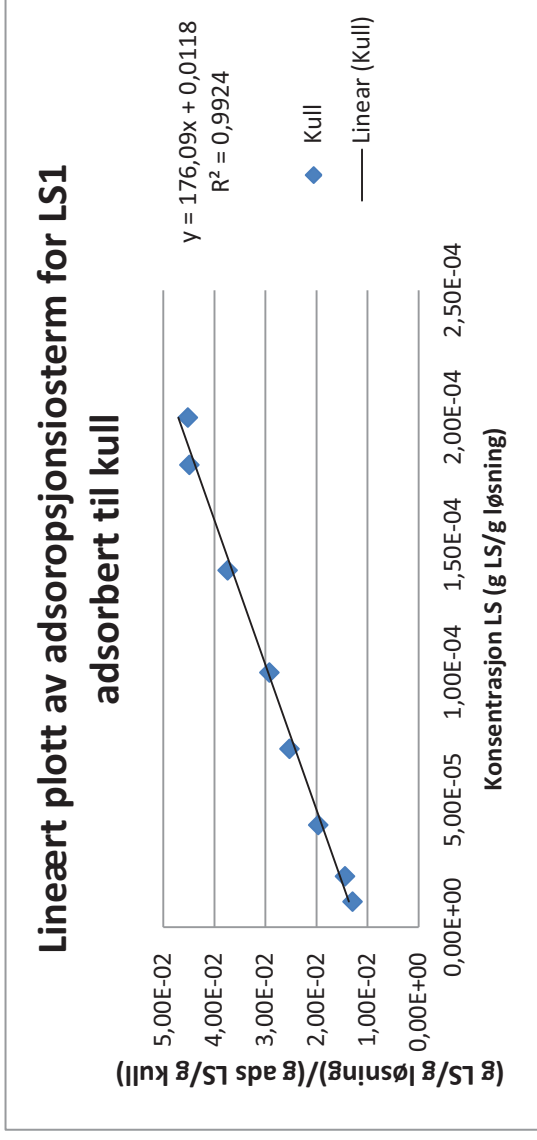
Utregning av likevektskonstanter og spesifikk overflate.

Plott av adsorbert mengde LS per normalisert overflate.

### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS1 adsorbent til kull

Kull

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g kull	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g kull)
2,00E-05	1,39E-03	1,44E-02
4,01E-05	2,04E-03	1,96E-02
7,00E-05	2,77E-03	2,53E-02
1,00E-04	3,42E-03	2,92E-02
1,40E-04	3,75E-03	3,74E-02
2,00E-04	4,43E-03	4,52E-02
1,01E-05	7,79E-04	1,29E-02
1,81E-04	4,04E-03	4,49E-02



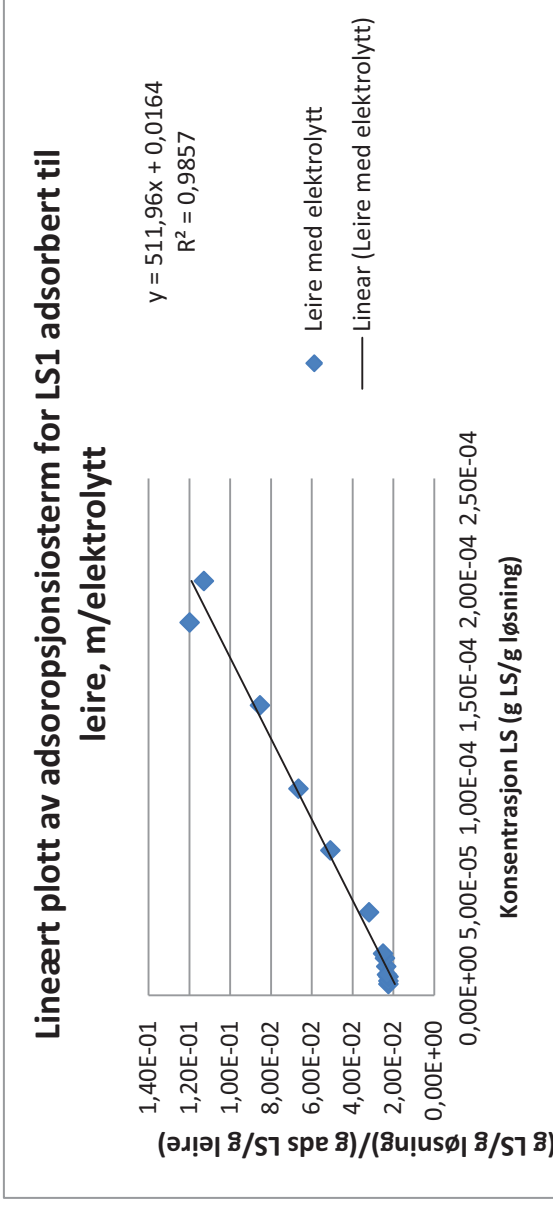
### Utregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

Mn LS1 (g/mol)	2500
(20 nm <sup>2</sup> )	2,00E-17
Avogadros tall	6,02E+23
m	176,09
b	0,0118
A <sub>sp</sub> (m <sup>2</sup> /g)	27,35
K	14922,88

### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS1 adsorbent til leire, m/elektrolytt

Leire med elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løsnng)/(g ads LS/g leire)
5,51E-06	2,46E-04	2,24E-02
7,03E-06	3,13E-04	2,24E-02
9,07E-06	4,05E-04	2,24E-02
1,40E-05	5,96E-04	2,35E-02
1,80E-05	7,47E-04	2,41E-02
1,80E-04	1,50E-03	1,20E-01
4,02E-05	1,26E-03	3,19E-02
7,01E-05	1,38E-03	5,09E-02
1,00E-04	1,50E-03	6,65E-02
1,40E-04	1,64E-03	8,54E-02
2,00E-04	1,77E-03	1,13E-01
1,01E-05	4,35E-04	2,31E-02
2,02E-05	8,08E-04	2,50E-02



Utregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

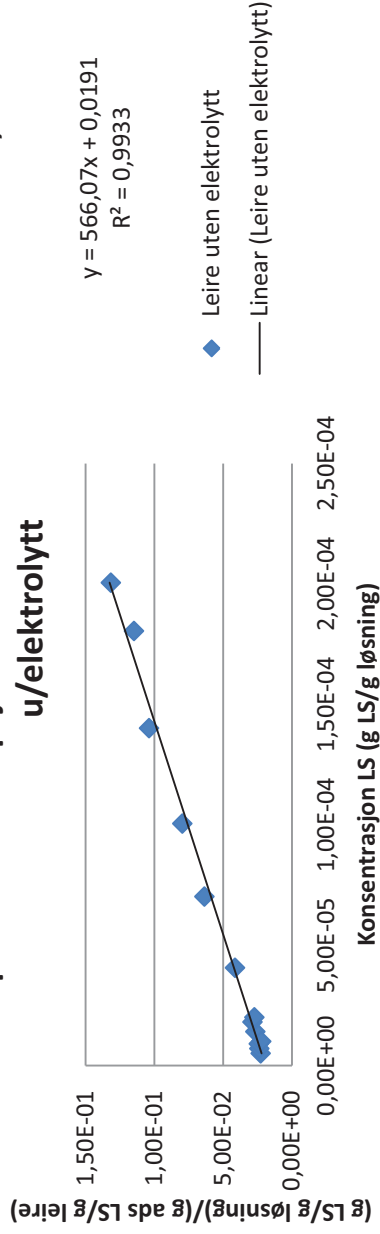
Mn LS1 (g/mol)	2500
areal lignosulfonat	2,00E-17
Avogadros tall	6,02E+23
m	511,96
b	0,0164
A_sp (m <sup>2</sup> /g)	9,41
K	31217,07

## Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS1 adsorbent til leire, u/elektrolytt

Leire uten elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løsnng)/(g ads LS/g leire)
5,01E-06	2,21E-04	2,27E-02
7,01E-06	2,97E-04	2,37E-02
8,99E-06	3,74E-04	2,40E-02
1,40E-05	5,28E-04	2,66E-02
1,80E-05	6,30E-04	2,87E-02
4,06E-05	9,81E-04	4,13E-02
7,01E-05	1,10E-03	6,36E-02
1,00E-04	1,26E-03	7,97E-02
1,40E-04	1,35E-03	1,04E-01
1,80E-04	1,57E-03	1,15E-01
2,00E-04	1,52E-03	1,32E-01
9,98E-06	4,48E-04	2,23E-02
2,00E-05	7,33E-04	2,73E-02

## Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS1 adsorbent til leire, u/elektrolytt



Utrekning av likevektskonstant

m	566,07
b	0,0191
K	29637,173

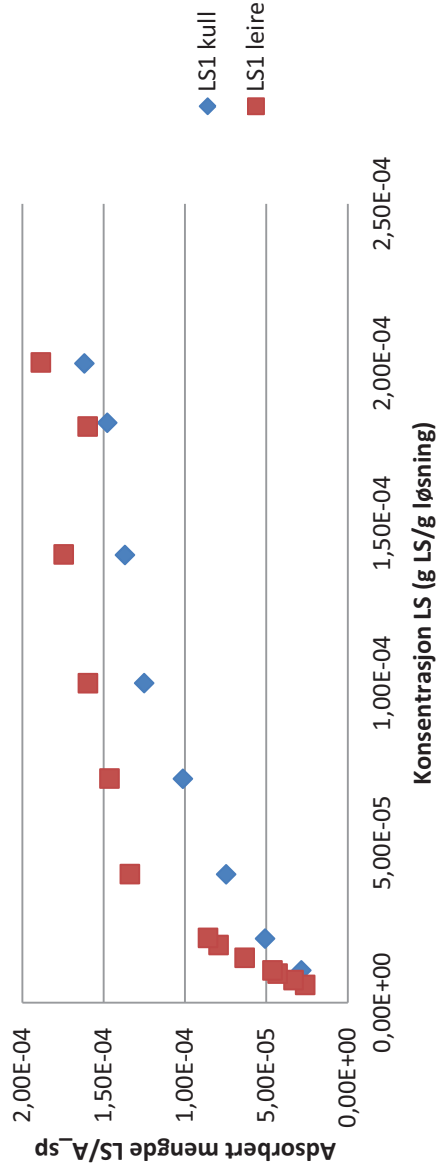


### Adsorbent LS1 per normalisert overflate

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)	Adsorbent mengde LS/g kull	Adsorbent mengde LS/A_sp
2,00E-05	1,39E-03	5,08E-05
4,01E-05	2,04E-03	7,47E-05
7,00E-05	2,77E-03	1,01E-04
1,00E-04	3,42E-03	1,25E-04
1,40E-04	3,75E-03	1,37E-04
2,00E-04	4,43E-03	1,62E-04
1,01E-05	7,79E-04	2,85E-05
1,81E-04	4,04E-03	1,48E-04

LS/SAKT konsentrasjon LS (g LS/g løsnng)	Adsorbent mengde leire	Adsorbent mengde LS/A_sp
5,51E-06	2,46E-04	2,61E-05
7,03E-06	3,13E-04	3,33E-05
9,07E-06	4,05E-04	4,31E-05
1,40E-05	5,96E-04	6,33E-05
1,80E-05	7,47E-04	7,94E-05
1,80E-04	1,50E-03	1,60E-04
4,02E-05	1,26E-03	1,34E-04
7,01E-05	1,38E-03	1,46E-04
1,00E-04	1,50E-03	1,60E-04
1,40E-04	1,64E-03	1,75E-04
2,00E-04	1,77E-03	1,89E-04
1,01E-05	4,35E-04	4,62E-05
2,02E-05	8,08E-04	8,59E-05

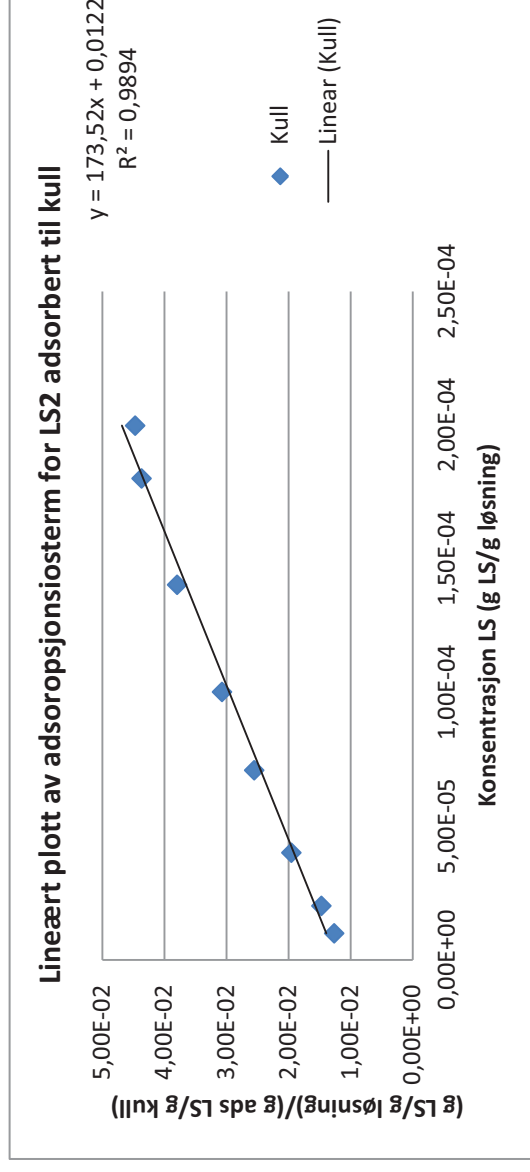
### Adsorbent LS1 per normalisert overflate



### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS2 adsorbert til kull

Kull

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbert LS (g) per g kull	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g kull)
2,02E-05	1,37E-03	1,47E-02
4,01E-05	2,05E-03	1,95E-02
7,09E-05	2,78E-03	2,55E-02
1,00E-04	3,26E-03	3,07E-02
2,00E-04	4,47E-03	4,47E-02
9,90E-06	7,83E-04	1,26E-02
1,40E-04	3,70E-03	3,79E-02
1,80E-04	4,12E-03	4,37E-02



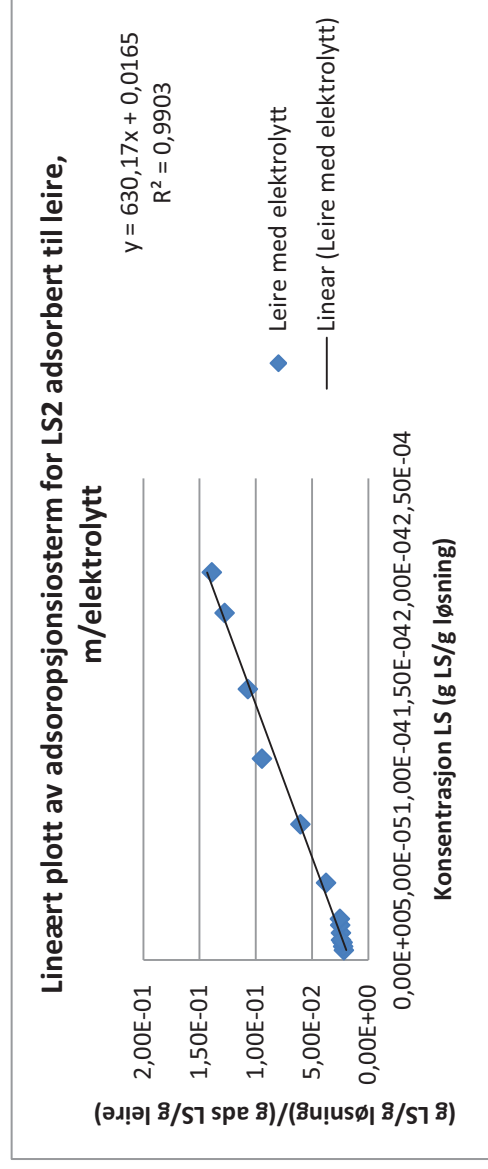
Utregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

Mn LS2 (g/mol)	2650
lignosulfonat (20 nm2)	2,00E-17
Avogadros tall	6,02E+23
m	173,52
b	0,0122
A_sp (m2/g)	26,18
K	14222,95

### Lineært plott av adsorpsjonssterm for LS2 adsorbent til leire, m/elektrolytt

Leire med elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g leire)
5,02E-06	2,32E-04	2,16E-02
6,96E-06	3,12E-04	2,23E-02
9,05E-06	3,97E-04	2,28E-02
1,40E-05	5,77E-04	2,43E-02
1,80E-05	7,23E-04	2,49E-02
4,00E-05	1,07E-03	3,75E-02
7,04E-05	1,17E-03	6,03E-02
1,04E-04	1,11E-03	9,45E-02
1,03E-05	4,26E-04	2,42E-02
2,13E-05	8,44E-04	2,52E-02
1,41E-04	1,31E-03	1,07E-01
1,80E-04	1,41E-03	1,28E-01
2,01E-04	1,45E-03	1,39E-01



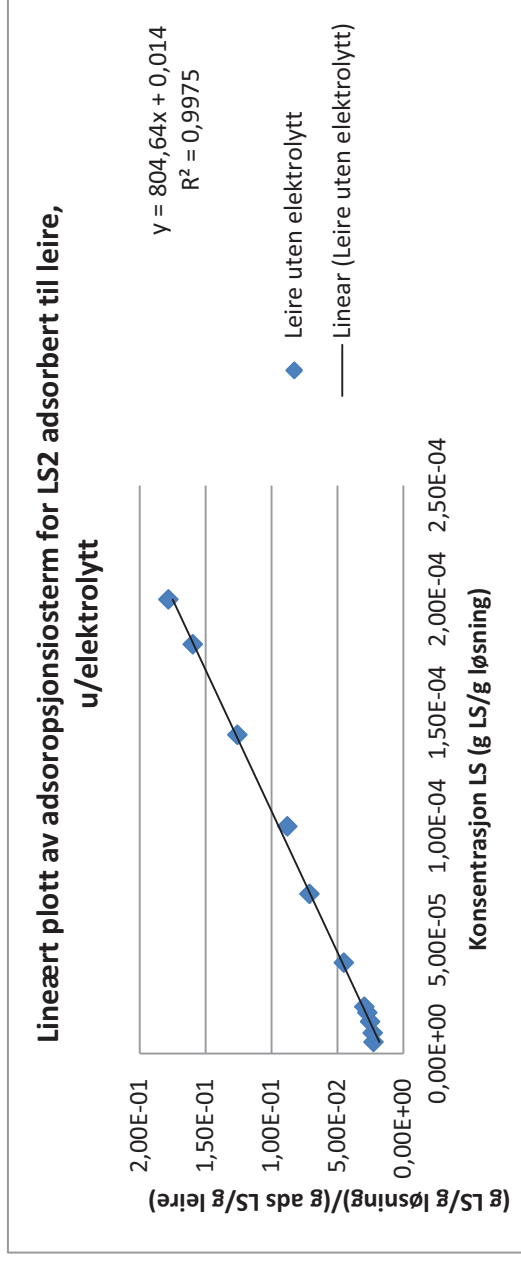
Utregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

Mn LS2 (g/mol)	2650
lignosulfonat (20 nm2)	2,00E-17
Avogadros tall	6,02E+23
m	630,17
b	0,0165
A_sp (m2/g)	7,209794542
K	38192,12121

### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS2 adsorbent til leire, u/elektrolytt

Leire uten elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g leire)
5,04E-06	2,23E-04	2,26E-02
9,05E-06	3,91E-04	2,32E-02
1,40E-05	5,56E-04	2,52E-02
1,80E-05	6,59E-04	2,73E-02
2,06E-05	6,96E-04	2,95E-02
4,00E-05	8,87E-04	4,51E-02
7,02E-05	9,87E-04	7,12E-02
1,40E-04	1,11E-03	1,26E-01
1,80E-04	1,13E-03	1,60E-01
2,00E-04	1,12E-03	1,78E-01
1,00E-04	1,14E-03	8,80E-02



Utregning av likevektskonstant

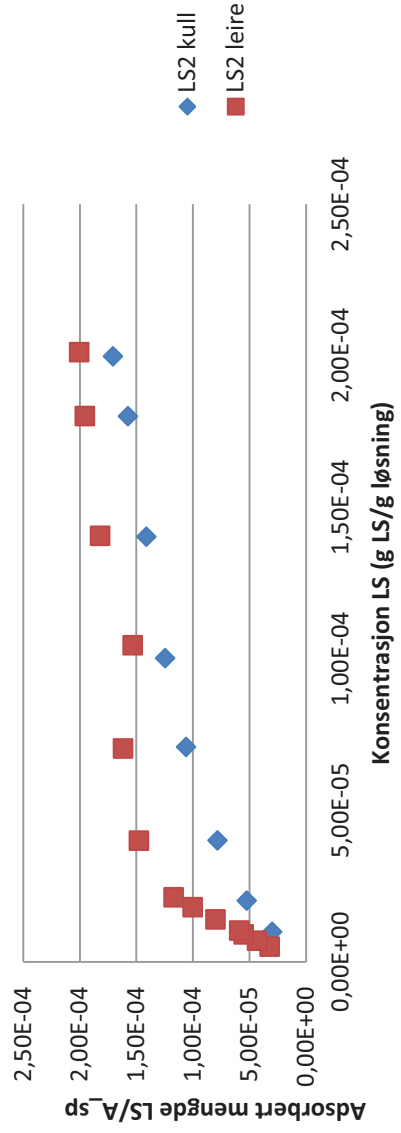
m	804,64
b	0,014
K	57474,28571

### Adsorbent LS2 per normalisert overflate

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løsnings)	Adsorbent mengde LS/g kull	Adsorbent mengde LS/A_sp
2,02E-05	1,37E-03	5,24E-05
4,01E-05	2,05E-03	7,83E-05
7,09E-05	2,78E-03	1,06E-04
1,00E-04	3,26E-03	1,25E-04
2,00E-04	4,47E-03	1,71E-04
9,90E-06	7,83E-04	2,99E-05
1,40E-04	3,70E-03	1,41E-04
1,80E-04	4,12E-03	1,57E-04

Eksakt konsentrasjon LS/g LS/g løsnings)	Adsorbent mengde LS/g leire	Adsorbent mengde LS/A_sp
5,02E-06	2,32E-04	3,21E-05
6,96E-06	3,12E-04	4,33E-05
9,05E-06	3,97E-04	5,51E-05
1,40E-05	5,77E-04	8,00E-05
1,80E-05	7,23E-04	1,00E-04
4,00E-05	1,07E-03	1,48E-04
7,04E-05	1,17E-03	1,62E-04
1,04E-04	1,11E-03	1,53E-04
1,03E-05	4,26E-04	5,91E-05
2,13E-05	8,44E-04	1,17E-04
1,41E-04	1,31E-03	1,82E-04
1,80E-04	1,41E-03	1,96E-04
2,01E-04	1,45E-03	2,01E-04

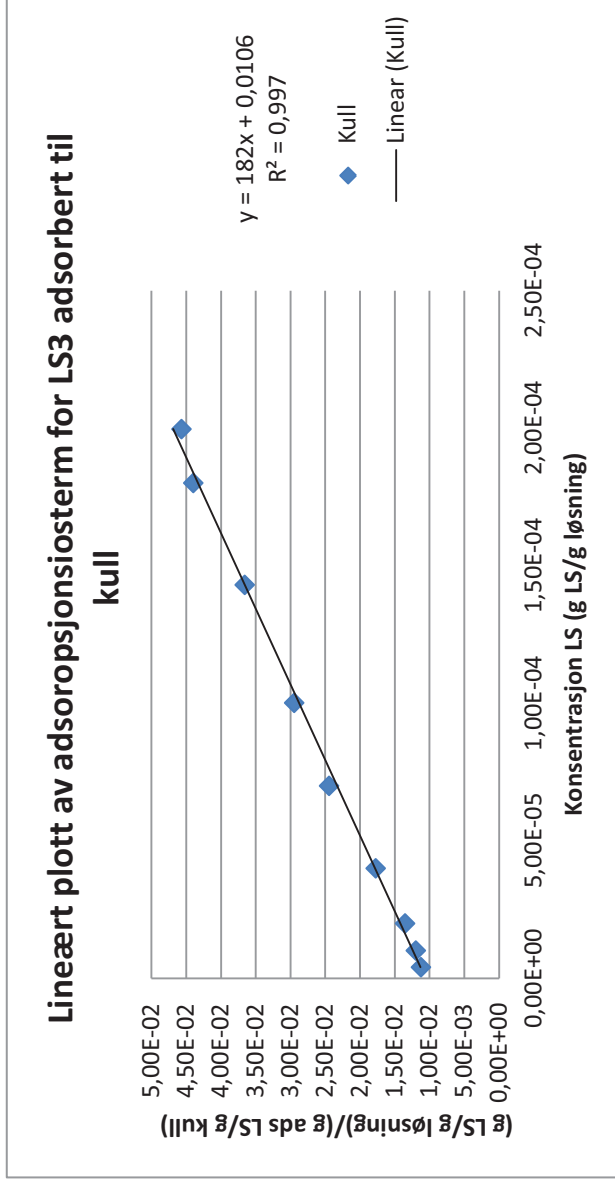
### Adsorbent LS2 per normalisert overflate



### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS3 adsorbent til kull

Kull

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g kull	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g kull)
4,02E-06	3,58E-04	1,12E-02
1,01E-05	8,40E-04	1,20E-02
1,99E-05	1,47E-03	1,35E-02
4,00E-05	2,25E-03	1,77E-02
1,00E-04	3,40E-03	2,95E-02
2,00E-04	4,37E-03	4,57E-02
6,99E-05	2,86E-03	2,45E-02
1,43E-04	3,91E-03	3,66E-02
1,80E-04	4,09E-03	4,40E-02



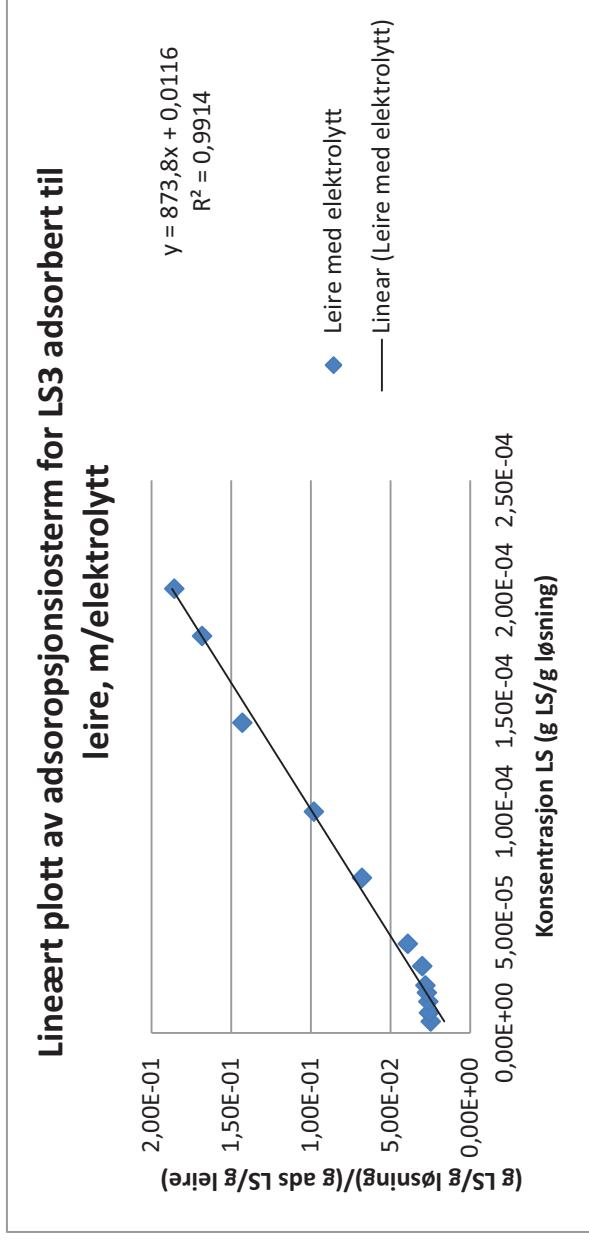
### Utregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

Mn LS3 (g/mol)	2300
lignosulfonat (20 nm <sup>2</sup> )	2,00E-17
Avogadros tall	6,02E+23
m	182
b	0,0106
A_sp	28,76
K	17169,81

### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS3 adsorbent til leire, m/elektrolytt

Leire med elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g leire)
5,12E-06	2,07E-04	2,47E-02
9,04E-06	3,50E-04	2,59E-02
1,42E-05	5,40E-04	2,62E-02
1,82E-05	6,70E-04	2,71E-02
2,14E-05	7,64E-04	2,81E-02
3,02E-05	1,00E-03	3,00E-02
4,03E-05	1,03E-03	3,91E-02
7,01E-05	1,03E-03	6,79E-02
1,00E-04	1,02E-03	9,81E-02
1,40E-04	9,81E-04	1,43E-01
1,80E-04	1,07E-03	1,68E-01
2,01E-04	1,08E-03	1,86E-01



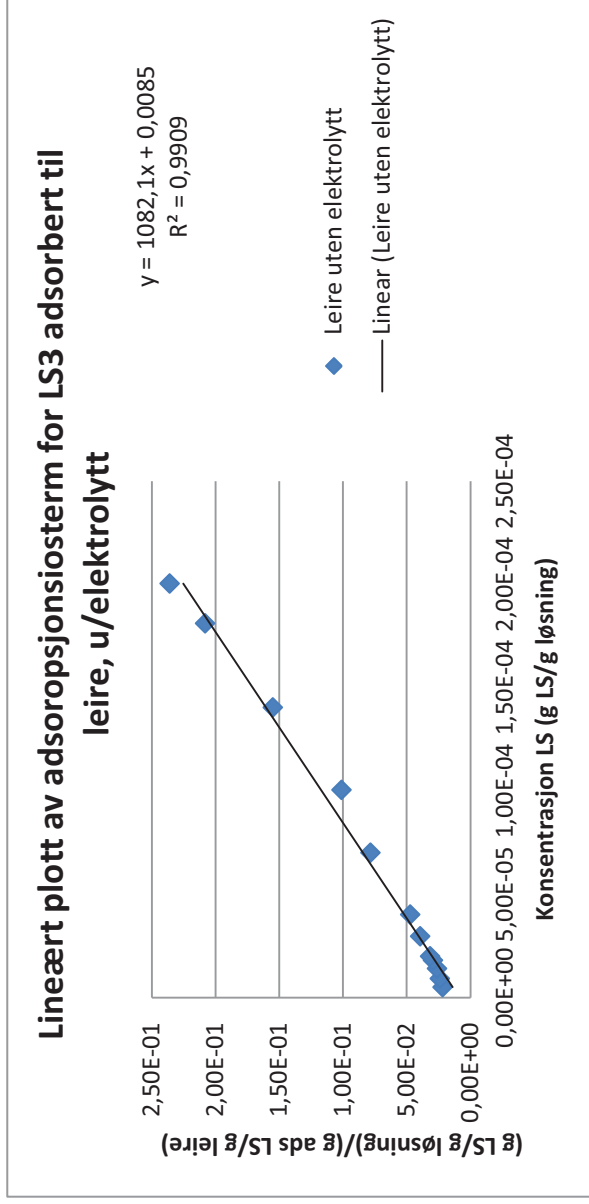
### Utregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

Mn LS3 (g/mol)	2300
lignosulfonat (20 nm2)	2,00E-17
Avogadros tall	6,02E+23
m	873,8
b	0,0116
A_sp	5,99
K	75327,59

### Lineært plott av adsorpsjonssterm for LS3 adsorbent til leire, u/elektrolytt

Leire uten elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g leire)
5,03E-06	2,30E-04	2,19E-02
9,21E-06	3,83E-04	2,40E-02
1,41E-05	5,36E-04	2,63E-02
1,81E-05	6,14E-04	2,94E-02
2,00E-05	6,31E-04	3,17E-02
2,97E-05	7,51E-04	3,95E-02
4,02E-05	8,50E-04	4,73E-02
7,01E-05	8,93E-04	7,85E-02
1,01E-04	9,93E-04	1,01E-01
1,40E-04	9,05E-04	1,55E-01
1,81E-04	8,70E-04	2,08E-01
2,00E-04	8,49E-04	2,36E-01



Utrekning av likevektskonstant

m	1082,1
b	0,0085
K	127305,8824

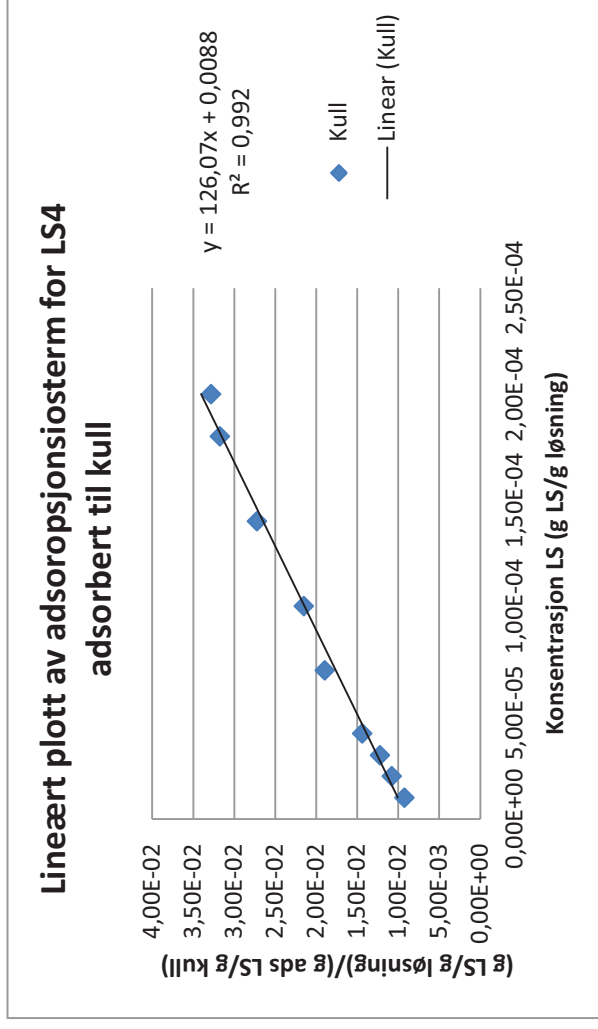




### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS4 adsorbert til kull

Kull

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbert LS (g) per g kull	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g kull)
9,97E-06	1,08E-03	9,24E-03
2,01E-05	1,86E-03	1,08E-02
3,00E-05	2,45E-03	1,22E-02
4,02E-05	2,80E-03	1,44E-02
7,00E-05	3,69E-03	1,90E-02
1,00E-04	4,66E-03	2,15E-02
1,40E-04	5,15E-03	2,72E-02
1,80E-04	5,67E-03	3,18E-02
2,00E-04	6,09E-03	3,28E-02



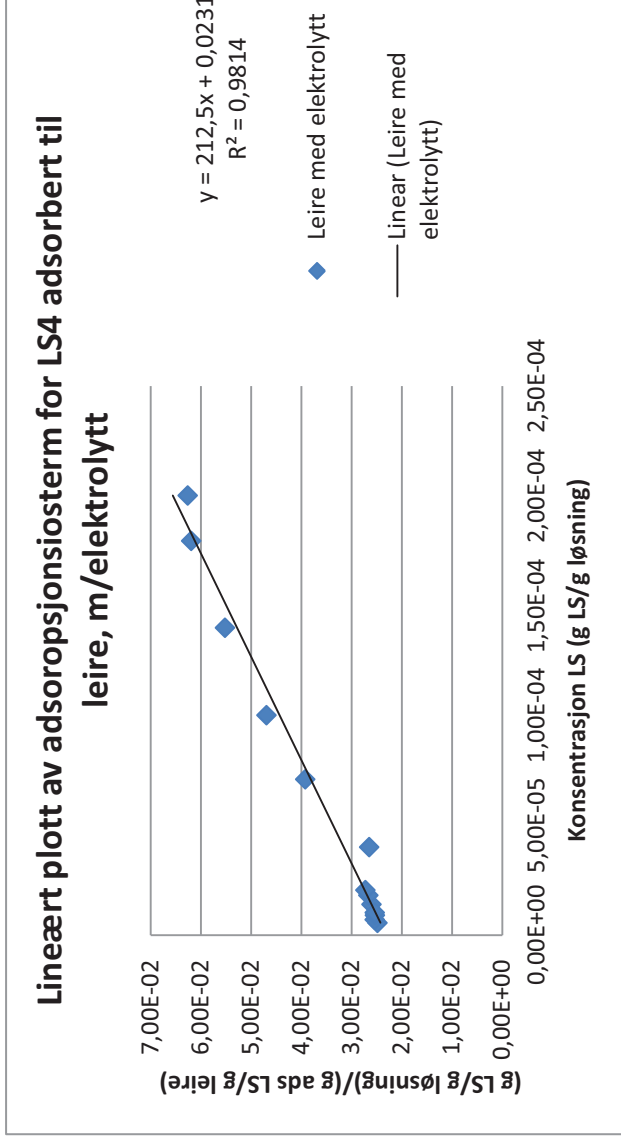
### Utgregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

Mn LS4 (g/mol)		1000
Monomolekylært areal		2,00E-17
Avogadros tall		6,02E+23
m	126,07	
b	0,0088	
A_sp	95,502499	
K	14326,136	

### Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS4 adsorbent til leire, m/elektrolytt

Leire med elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g leire)
5,55E-06	2,23E-04	2,48E-02
7,02E-06	2,76E-04	2,54E-02
9,03E-06	3,56E-04	2,54E-02
1,40E-05	5,37E-04	2,60E-02
1,81E-05	6,79E-04	2,67E-02
1,02E-05	4,03E-04	2,54E-02
2,05E-05	7,50E-04	2,73E-02
4,00E-05	1,51E-03	2,65E-02
7,09E-05	1,81E-03	3,92E-02
1,00E-04	2,13E-03	4,70E-02
1,40E-04	2,53E-03	5,52E-02
1,79E-04	2,90E-03	6,20E-02
2,00E-04	3,19E-03	6,27E-02



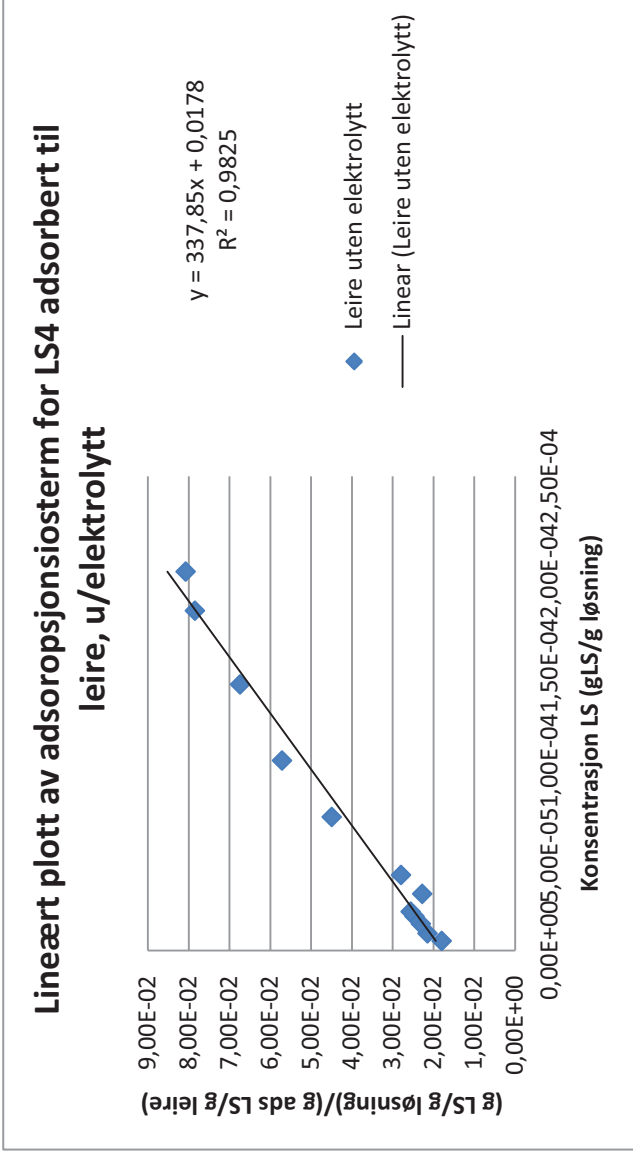
Utregning av likevektskonstant og spesifikk overflate

Mn LS4 (g/mol)	1000
Monomolekylært areal	2,00E-17
Avogadros tall	6,02E+23
m	212,5
b	0,0231
A_sp	56,658824
K	9199,1342

**Lineært plott av adsorpsjonsiosterm for LS4 adsorbent til leire, u/elektrolytt**

Leire uten elektrolytt

Eksakt konsentrasjon LS (g LS/g løøsning)	Mengde adsorbent LS (g) per g leire	(g LS/g løøsning)/(g ads LS/g leire)
4,99E-06	2,78E-04	1,80E-02
9,00E-06	4,19E-04	2,15E-02
1,40E-05	6,08E-04	2,31E-02
1,80E-05	7,29E-04	2,46E-02
2,05E-05	7,99E-04	2,56E-02
2,98E-05	1,31E-03	2,28E-02
3,98E-05	1,42E-03	2,80E-02
7,04E-05	1,57E-03	4,49E-02
1,00E-04	1,75E-03	5,71E-02
1,40E-04	2,08E-03	6,74E-02
1,79E-04	2,28E-03	7,85E-02
2,00E-04	2,47E-03	8,08E-02



Utgregning av likevektskonstant

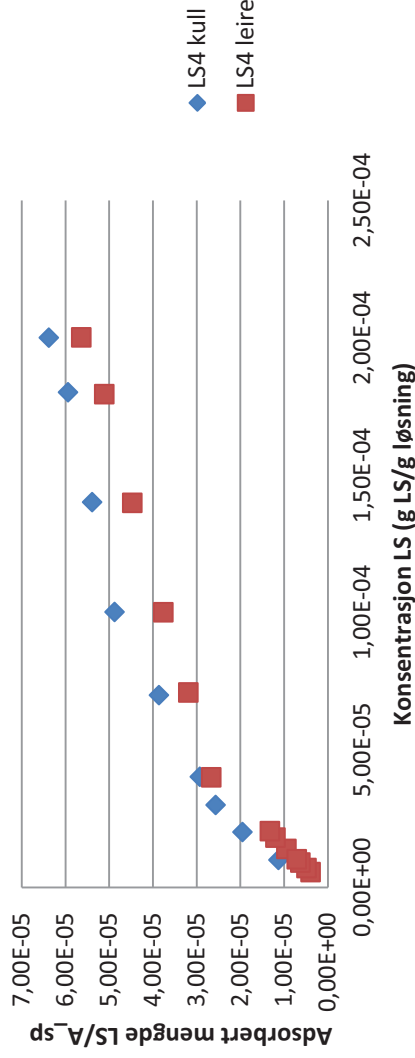
m	337,85
b	0,0178
K	18980,337

### Adsorbent LS4 per normalisert overflate

Eksakt konsentrasjon LS/g løøsning)	Adsorbent mengde LS/g leire	Adsorbent mengde LS/A_sp
5,55E-06	2,23E-04	3,94E-06
7,02E-06	2,76E-04	4,88E-06
9,03E-06	3,56E-04	6,28E-06
1,40E-05	5,37E-04	9,47E-06
1,81E-05	6,79E-04	1,20E-05
1,02E-05	4,03E-04	7,10E-06
2,05E-05	7,50E-04	1,32E-05
4,00E-05	1,51E-03	2,67E-05
7,09E-05	1,81E-03	3,19E-05
1,00E-04	2,13E-03	3,76E-05
1,40E-04	2,53E-03	4,47E-05
1,79E-04	2,90E-03	5,11E-05
2,00E-04	3,19E-03	5,64E-05

Eksakt konsentrasjon LS/g løøsning)	Adsorbent mengde LS/g kull	Adsorbent mengde LS/A_sp
9,97E-06	1,08E-03	1,13E-05
2,01E-05	1,86E-03	1,95E-05
3,00E-05	2,45E-03	2,57E-05
4,02E-05	2,80E-03	2,93E-05
7,00E-05	3,69E-03	3,86E-05
1,00E-04	4,66E-03	4,88E-05
1,40E-04	5,15E-03	5,39E-05
1,80E-04	5,67E-03	5,94E-05
2,00E-04	6,09E-03	6,38E-05

### Adsorbent LS4 per normalisert overflate



## Vedlegg 4

Resultater for målinger av partikkelstørrelse.

Utregning av spesifikk overflate for leire og kull.

## Resultater av partikkelstørrelsemålinger og utregning av spesifikk overflate

### Partikkelstørrelse måling kull

Prøve	MV(μm)	MN (μm)	MA (μm)	CS
1	191,8	8,2	53,28	0,1130
2	186,8	5,78	40,73	0,1470
3	187,4	6,55	45,06	0,1330
4	183,6	6,79	42,99	0,1400
Gjennomsnitt:	187,4	6,83	45,515	0,1333

### Partikkelstørrelse måling leire

Prøve	MV(μm)	MN (μm)	MA (μm)	CS
1	24,13	2,399	8,2	7,31E-01
2	25,74	2,402	8,24	7,28E-01
3	24,98	2,125	7,91	7,59E-01
Gjennomsnitt:	24,95	2,309	8,12	7,39E-01

Tetthet kull og leire er hentet fra wikipedia. Tetthet leire er et gjennomsnitt av intervall 2160 - 2680 kg/m<sup>3</sup>

I partikkelmålingene er  
 MV = midlere volum diameter  
 MN = midlere antall diameter

### Spesifikk overflate kull

tetthet kull (kg/m <sup>3</sup> ):	2267	Formler
r(areal) μm :	22,7575	gjennomsnitt MA/2
V(partikkel) m <sup>3</sup> :	4,937E-14	$(4/3)\pi r^3$
m(partikkel) kg:	1,119E-10	$V \cdot \rho$
A(partikkel) m <sup>2</sup> :	6,508E-09	$4\pi r^2$
Spesifikk overflate m <sup>2</sup> /g:	0,0581	$A/(m \cdot 1000)$
Spesifikk overflate cm <sup>2</sup> /g:	581	$m^2/g \cdot 10000$

### Spesifikk overflate leire

tetthet leire (kg/m <sup>3</sup> ):	2420
r(areal) μm :	4,0583333
V(partikkel) m <sup>3</sup> :	2,8E-16
m(partikkel) kg:	6,776E-13
A(partikkel) m <sup>2</sup> :	2,07E-10
Spesifikk overflate m <sup>2</sup> /g:	0,3055
Spesifikk overflate cm <sup>2</sup> /g:	3055