

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

Indhold

Indledning:.....	3
Formål/Problemformulering for projektet.....	4
Baggrund	4
Top-down og Bottom-up	4
Amfifile molekyler	5
Tidligere forskning indenfor området	5
Pilotforsøget	6
Forberedelse af vesikler	6
Ekstrudering.....	6
Adskillelse af farvede vesikler og rest farve	6
Injektionsstudier.....	7
Forsøgsresultater:.....	8
Ønskede reguleringer	8
Metoder til undersøgelser af forsøget	9
Dynamisk Lys Spredning (DLS).....	9
Fluorescence resonance energy transfer(FRET).....	9
Tidsramme og Budget.....	10
Tidsramme.....	10
Budget:	11
Budgetoversigt:	11
Outcome:.....	12
Kontakter	12
Referencer:	12
Bilag:	15
Bilag 1: Ekstrudering.....	15
Bilag 2: Størrelses eksklusionssøjle	16
Bilag 3: Billeder fra mikroskopi af vesiklernes forskellige stadier	17
Bilag 4: Forsøgsresultater fra pilotforsøg	18

Indledning:

For cirka 4 mia. år siden menes livet at være opstået her på Jorden. Jorden havde dengang et barskt miljø, præget af mange vulkanudbrud og meteoritnedslag og en atmosfære, som for nulevende organismer ville være giftig. Ud af dette opstod de første primitive livsformer.

Præcis hvordan dette skete, ved vi dog ikke. Det formodes, at dette første liv opstod i vand¹, og at de første levende systemer må have besiddet egenskaber som evne til selvsamling, selvreplikation og evolution^{2,3} for at kunne overleve og udvikle sig. Hvad der mere nøjagtigt skete ved overgangen fra rent fysiske og kemiske mekanismer til noget, der kan kategoriseres som levende, er det dog af gode grunde overordentligt svært at afgøre.

Først og fremmest kræver det en kategorisering af, hvad man overhovedet kan kalde "levende". Denne definition alene er stort set umulig.

Der er dog efterhånden opstået en videnskabelig konsensus om, at en levende celle nødvendigvis skal bestå af tre komponenter: En beholder, en metabolisme og en informationsdel⁴. Professor P.L. Luisi definerer i en artikel fra 1998 liv således:

"A system which is spatially defined by a semipermeable compartment of its own making and which is selfsustaining by transforming external energy/nutrients by its own process of components production".⁵

Moderne tiders videnskabelige og teknologiske fremskridt har givet grobund for nye måder at anskueliggøre livets mysterier. I brændpunktet mellem supramolekylær kemi, nanoteknologi, bioteknologi og molekylærbiologi er en helt ny videnskabelig disciplin opstået, den såkaldte syntesebiologi^{6,7}. Indenfor syntesebiologien arbejdes der med kunstigt at konstruere minimale levende systemer, eller protoceller om man vil.

¹ Monnard et al., 2002

² Monnard et al. 2002

³ Luisi et al. 2006

⁴ Svaneborg et al. 2011

⁵ Reference i: Roodbeen, 2009

⁶ Bøyesen, 2011

⁷ Svaneborg et al.2011

Formål/Problemformulering for projektet

Dette projekt vil helt specifikt dreje sig om den beholder, som skal indkapsle protocellen.

Netop dette område er af afgørende betydning for den videre udvikling af en protocelle, fordi en funktionsdygtig cellemembran, som er i stand til at vokse og dele sig, er en klar forudsætning for tilblivelsen og opretholdelsen af et levende system.

Nærmere bestemt sigter projektet mod at skabe vækst i cellens membranstruktur, modelleret gennem eksperimenter med vesikler, som består af amfifile molekyler med kun en enkelt kulstofkæde.

Baggrund

Top-down og Bottom-up

Der findes to tilgange til konstruktion af minimalt liv: en "top-down"-tilgang og en "bottom-up"-tilgang^{8,9}. Ved top-down fjernes alle dele af cellen, som ikke er strengt nødvendige for at kunne kalde den levende. Der forskes i denne forbindelse ligeledes i det minimale genom¹⁰. Top-down tilgangen anvendes blandt andre af amerikaneren J. Craig Venter, hvis forskningsgruppe kunstigt konstruerede DNA'et til en bakterie og derefter indsatte det i en "tom" bakterieskal, hvor DNA'et forinden var blevet fjernet. Det lykkedes at få denne celle til at leve, om end kun kortvarigt¹¹. Dette kan dog ikke kategoriseres som fuldendt kunstigt liv, da det kun var selve DNA'et, der var skabt syntetisk, men var dog et imponerende fremskridt indenfor området.

Bottom-up tilgangen beskæftiger sig med at bygge et levende system op fra bunden. Denne forskningsgren kan synes langt mere kompleks, da det kræver en fuldkommen forståelse for hver enkelt af de nødvendige komponenter og deres samspil i cellen. Det har dog også sine fordele, da man med denne tilgang ikke er bundet af at skulle anvende de biokemiske reaktioner og strukturer, som eksisterende organismer er opbyggede af. I stedet kan man

⁸Svanebrog et al. 2011

⁹Roodbeen, 2009

¹⁰Luisi et al., 2006

¹¹Grønli, 2011

sammensætte netop de reaktioner og materialer man ønsker.

Dette projekt hører til under bottom-up tilgangen.

Amfile molekyler

Amfile molekyler med en enkelt, kort kulstofkæde har vist sig at være plausible som prebiotiske membraner for de tidligste livsformer på Jorden, eftersom de er syntetiserede og spontant danner celledignende strukturer i netop barske miljøer¹², som dem man formoder eksisterede på jorden for 4 mia. år siden.

Desuden har de, modsat de mere stabile dobbeltkæde amfiler, som indgår i moderne cellers membraner, en høj permeabilitet, høj pH-følsomhed, deles nemt og fusionerer let med andre membraner, hvorved interne komponenter let deles.

Amfile molekyler kendetegnes desuden ved at have et vandelskende hoved og en vandhadende hale¹³. Strukturerne skifter nemt mellem mange forskellige tilstandsformer, hvoraf de mest normale er olie, vesikler og miceller. Hvilken tilstandsform strukturen antager, afhænger bl.a. af pH, temperatur og solventets ioniske styrke¹⁴.

I dette projekt indgår to forskellige amfile syrer:

- En oliesyre på vesikelform, som udgør membranen i forsøget
- En dekansyre på micelleform, som bruges til at skabe vækst i vesikelmembranens dobbeltlag

Tidligere forskning indenfor området

Der er tidligere foretaget studier af vækst i fedtsyrevesikler. Den første selvreplicerende vesikel foranstaltedes af Peter Walde et al. i 1994¹⁵. Metoden, som anvendes til at skabe vækst i dette projekt er imidlertid en anden tidlige efterprøvet teknik¹⁶, som blev introduceret af P.

¹² Zhu et al., 2006

¹³ Monnard et al. 2002

¹⁴ Monnard et al. 2002

¹⁵ Reference i: Roodbeen, 2009

¹⁶ Zhu et al., 2006

L. Luisi¹⁷, hvor vesikler i opløsning injiceres med miceller. Micellernes struktur er dynamisk. De opløses konstant for derefter omgående at genantage deres form, men i løbet af denne proces kan noget af micelle materialet optages i vesiklens dobbeltlag, hvor det vil blive inkorporeret i strukturen og derved facilitere vækst.

Netop denne blanding af flere forskellige typer af amfile syrer og kædelængder er dog aldrig eksperimentielt undersøgt tidligere, hvorfor dette forsøg vil kunne bidrage med grundforskning.

Pilotforsøget

Forberedelse af vesikler

Til pilotforsøget fremstilles en 20 mM oliesyreopløsning tilsat det selvlysende farvestof carboxyfluorescein ved 5 mM og en bicine buffer ved pH 8.5. Opløsningens pH hæves først til 11 for at opnå en miceltilstandsform. Herefter opvarmes opløsningen for at homogenisere indholdet inden pH igen bringes ned til 8.5, hvorved vesikler dannes. Denne metode kaldes pH-vesikulation. Efter disse forberedelser vil noget af farvestoffet være blevet indkapslet i vesiklerne.

Ekstrudering

Herefter ekstruderes de farveindholdende vesikler, for at opnå en ensartet størrelse¹⁸. Ved ekstrudering presses opløsningen gennem en mini-extruder (her et eksemplar fra Avanti-Polar¹⁹), indeholdende polycarbonatmembraner med en porestørrelse på 400 nm. Opløsningen ekstruderes 11 gange i alt.

Adskillelse af farvede vesikler og rest farve

Efterfølgende adskilles de farvede vesikler fra den omkringliggende farve i opløsningen vha. en størrelses eksklusionssøjle. I søjlen findes Bio-rad biogel 1.5A ligeledes tilsat en bicine buffer på 8.5. I søjlen adskilles molekylerne i opløsningen efter størrelse. Et lille molekyle

¹⁷ Berclaz et al. 2001

¹⁸ Afbildning i bilag 1

¹⁹ http://www.avantilipids.com/index.php?option=com_content&view=article&id=185&Itemid=193

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

(eks. farvestoffet carboxyflourscein) gennemtrænger en stor volumen i gelen, fordi alle porerne er tilgængelige. Et stort molekyle (eks. vesikler) gennemtrænger en langt mindre volumen, fordi færre eller ingen porer er tilgængelige, og disse strukturer vil derfor have en langt hurtigere passage gennem gelen²⁰. På denne måde er det muligt at adskille de farvede vesikler fra den ikke-indkapslede farve.

Når den prøverne med den indkapslede farve er opsamlede udvælges de mest vesikelholdige ved at lyse med UV-lys. De prøver med flest vesikler, vil have et højere indhold af selvlysende farvestof.

Injektionsstudier

Den udvalgte vesikelopløsning kan nu udsættes nu for injektionsstudier i et flourecens spektrometer, indstillet til eksitation ved 492 nm og et emissionsmaksimum ved 520 nm. Instrumentets funktion er at påvise tilstedeværelsen af et bestemt selvlysende farvestof, som vil absorbere og udsende lys ved forskellige bølgelængder. For carboxyflourscein optages lys ved en bølgelængde på 492 nm og lys udsendes ved 520 nm (derfor er netop disse indstillinger valgt).

Inden målingerne foretages, tilsættes 100 µl 200 mM dekansyreopløsning på micelleform til 1ml af prøven. Herefter måles prøvens emission ca. hvert sekund i 70 min., da det vurderes at der efter dette tidspunkt er en vis stagnation i udviklingen.

Vesiklerne er, udover det kvantitative studie i flourecens spectrometeret, også blevet undersøgt kvalitativt gennem mikroskopi. Mikroskopet som anvendtes til dette formål var et Nikon TE2000-S epiflourecens mikroskop med en 100x objektiv. Billeder fra mikroskopien findes i bilag 3.

²⁰ Afbildning i bilag 2

Forsøgsresultater:

Eftersom dette blot var et pilotforsøg var udfaldet endnu ikke optimalt. Målingerne indikerer rent faktisk, at der tilsyneladende optræder en reduktion i vesiklernes størrelse²¹, frem for en forstørrelse. Dette konkluderes på baggrund af en nedgang i fluorescens observeret ved injektionsstudiets databehandling (se bilag 4).

Formindskelsen er dog meget lille, og kan muligvis skyldes at micellerne var for stabile og derfor slet ikke har integreret sig i membranen, men tvært imod optog materiale fra vesiklerne i stedet. En anden forklaring på reduktionen kan være, at der er sket en faseovergang i membranens dobbeltlag^{22,23}, som har udløst et svagt fald i vesiklernes volumen. Dette er dog meget spekulativt, og vil kræve langt flere undersøgelser at konkludere.

Ønskede reguleringer

Eftersom det ønskede resultat ikke kunne realiseres gennem pilotforsøgets opstilling, er der foretaget vurderinger af hvilke ændringer, der bør foretages i forbindelse med udførelsen af det endelige projekt.

1. Større koncentration af miceller

Der er i tidligere eksperimenter med membranvækst gennem injektion af miceller anvendt en langt højere koncentration af miceller²⁴, end i pilotprojektets tilfælde. Det vil i forbindelse med det endelige projekt blive undersøgt nøjagtigt hvilken koncentration, der er den mest effektive.

2. Ændring i pH til lavere

Denne ændring vil gøre micellerne mindre stabile og dermed øge chancen for at fraktioner af micellemateriale vil udskilles og optages i vesiklernes dobbeltlag.

3. Anvendelse af ethanol

²¹ Afbildning i bilag 4

²² Cistola et al., 1986

²³ Chen, 2004

²⁴ Zhu et al. 2006.

Her erstattes micelleopløsningen med dekansyre molekyler opløst i ethanol. Det antages, at det miljø, som dannes når ethanolopløsningen tilsættes oliesyreopløsningen, vil fremme dekansyrematerialets injektion i vesiklernes dobbeltlag.

Metoder til undersøgelser af forsøget

Udfaldet af projektet vil blive dokumenteret vha. to metoder.

Dynamisk Lys Spredning (DLS)

Dynamisk Lys Spredning²⁵ benytter sig af den egenskab, at vesiklerne har et andet brydningsindeks end vandet de er opløst i.

Partiklerne bevæger sig rundt i opløsningen efter et tilfældigt bevægelsesmønster (Brownske bevægelser). Med en laser lyses der gennemopløsningen, og når strålen rammer en partikel, vil lyset sprede sig i alle retninger. Ved at måle denne spredning kan DLS udregne hvor hurtigt partiklerne bevæger sig og dermed finde vesiklernes gennemsnitlig størrelse, eftersom hastigheden afhænger af hvor store partiklerne er.

Ulempen ved denne metode er at den kun kan beregne størrelse som et gennemsnit. Dette kræver altså gruppe af vesikler med en ensartet størrelse, som under forsøget undergår samme grad af vækst. Ensartede vesikler skal derfor også ved dette forsøg sikres gennem ekstrudering.

Fluorescence resonance energy transfer(FRET)

Denne metode måler ændringer i vesiklernes overfladeareal. I oliesyrevesiklernes dobbeltlag markeres enkelte molekyler med to bestemte farvestoffer: NBD PE og Liss Rhod PE. Disse udgør tilsammen et såkaldt FRET-par, bestående af en donor og en acceptor.

Fra donoren udsendes et en foton, som absorberes af acceptoren, hvorfra signalet sendes videre. Denne overførsel opfanges og måles af instrumentet. Hvis overfladearealet øges (ved vækst) vil afstanden mellem donor og acceptor ligeledes øges, hvilket vil medføre, at donor

²⁵ Chen, 2004

signalet styrkes, mens accepter signalet bliver svagere²⁶. Når acceptor signalet til sidst forsvinder, fordi afstanden til donoren er for stor, afsluttes målingen.

Note: Ved forsøg foretaget med FRET udelades det at lade opløsningen passere en størrelses eksklusions søjle, da farvestoffet her er direkte inkorporeret i membranen, og derfor ikke adskilles fra strukturerne.

Tidsramme og Budget

Tidsramme

Projektets forløb anslås til at have en varighed på omtrent 4 måneder.

Første fase: Forberedelser til forsøg.

Her foretages nøjere planlægning af projektets videre faser. Der foranstalles indkøb af de fornødne kemikalier mv.

Varighed: 1-2 uger.

Anden fase: Undersøgelser af forslåede forbedringer

I denne fase efterprøves de forhold, som skal ændres i forhold til pilotforsøget, for at finde frem til den optimale forsøgsopstilling. Det bør her bemærkes, at alle forsøg udføres tre gange, for at verificere resultatet.

- Tests med forskellig micelle koncentration vha. DLS og FRET
 - Databehandling
- Tests med pH regulering undersøgt vha. DLS og FRET
 - Databehandling
- Tests med ethanolopløsning frem for miceller vha. DLS og FRET
 - Databehandling

Når effekten af hvert af de ændrede forhold er opgjort, kan det endelige forsøg opstilles.

²⁶ Wikipedia, se URL i Referencer.

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

Varighed: 10-12 uger.

Tredje fase: Udførelse af endeligt forsøg.

I denne fase foretages det færdige eksperiment af tre gange, og eventuelle justeringer tilføjes.

Varighed: 4-5 uger

Budget:

Da alt udstyr stilles til rådighed af FLinT, vil forsøgets udførelse kun have meget begrænsede omkostninger. Der beregnes dog ca. 4000 kr. til forbrug af materialer (kemikalier, pipettespidser mv.).

Dertil kommer egne transportomkostninger til og fra SDU.

Herudover budgetteres deltagelse ved en videnskabelig konference, hvor projektets resultater vil kunne præsenteres. Dette kunne eksempelvis være Abscion²⁷, Alife²⁸ eller lignende.

Hvilken konference vil afhænge af hvornår projektet er gennemført. Under dette punkt vil der også være eventuelle transportomkostninger, som dog ikke kan vurderes præcist, før en bestemt konference er valgt ud.

Budgetoversigt:

Materialer.....	4.000 kr
Transportomkostninger.....	2.000 kr
Deltagelse ved videnskabelig konference.....	7.000 kr
Udforudsete udgifter.....	2.000 kr

I alt 15.000 kr

²⁷ URL: <http://abscicon2012.arc.nasa.gov/>

²⁸ URL: <http://alife13.org/>

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

Outcome:

Perspektiverne i protocelle forskning er ufatteligt store. Resultaterne fra netop dette projekt vil kunne bruges i to sammenhænge:

Fordi den anvendte type af molekyler anses som prebiotisk plausible, vil projektet bidrage med en udbygget forståelse for hvordan de tidligste levende systemers membraner kan have set ud og opført sig.

Samtidig vil projektet også have værdi for forskning i udvikling af kunstigt liv. Her vil den fremtidige udfordring være, at kunne integrere stofskifte og arvelig information. Dette har dog naturligvis endnu meget lange udsigter.

En erklæret vision fra forskere på FLinT-centeret²⁹ i Odense er, at benytte forståelsen for liv til at udvikle levende teknologi. Målet for levende teknologi er, at den skal kunne imitere og anvende levende organismers egenskaber, såsom at integrere informationsbehandling og produktion i samme mekanisme.

Hvis dette realiseres, ville det blive muligt at udvikle teknologi, der eksempelvis udfører reparationer af sig selv, automatisk tilpasser sig skiftende miljøer, udvikler nye egenskaber og nedbrydes til direkte genanvendelige byggesten, når funktionen er udført. Kort sagt, teknologi der fungerer på samme vilkår som biologisk liv.

Kontakter

Sarah E. Maurer

PostDoc, Center for Fundamental Living Technology, Fysik og Kemi, Det Naturvidenskabelige Fakultet, SDU Odense.

Anders N. Albertsen

Ph.D. Student, Center for Fundamental Living Technology, Fysik og Kemi, Det Naturvidenskabelige Fakultet, SDU Odense.

Steen Rasmussen

Professor og Centerleder, Center for Fundamental Living Technology, Fysik og Kemi, Det Naturvidenskabelige Fakultet, SDU Odense

Referencer:

Publicerede artikler:

²⁹ Svaneborg et al., 2011

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

Cape, Johathan L., et al. Prebiotically relevant mixed fatty acid vesicles support anionic solutes encapsulation and photochemically catalyzed trans-membrane charge transport. *Chemical Science*, nr 2: 661-671, 2011.

Maurer, Sara E., et al. Chemical Evolution of Amphiphiles: Glycerol Monoacyl Derivates Stabilize Plausible Prebiotic Membranes. *Astrobiology*, vol. 9, nr 10: 979-987, 2006.

Chen, Irene A. og Jack W. Szostak. Membrane growth can generate a transmembrane pG gradient in fatty acid vesicles. *PNAS*, vol 101, nr. 21: 7965-7970, 2004.

Zhu, Ting F. og Jack W. Szostak. Coupled Growth and Division of model Protocell Membranes. *JACS Articles*, 131: 5705-5713, 2006.

Monnard, Pierre-Alain et al. Influence of Ionic Inorganic Solutes on Self-Assembly and Polymerization Processes Related to Early Forms of Life: Implications for a Prebiotic Aqueous Medium. *Astrobiology*, vol 2, nr 2, 2002.

Mansy, Sheref S. og Jack W. Szostak. Thermostability of model protocell membranes. *PNAS*, vol 105, nr. 36: 13351-13355, 2008.

Chakrabarti, Ajoy C. og David W. Deamer. Permeation of Membranes by the Natural Form of Amino Acids and Peptides: Relevance to the Origin of Peptide Translocation. *Journal of Molecular Evolution*, nr. 39: 1-5, 1994.

Roodbeen, Renée og Jan C. M. van Herst. Synthetic cell and organelles: Compartmentalization strategies. *BioEssays*, nr 39: 1299-1308, 2009.

Maurer, Sarah Elizabeth og Pierre-Alain Monnard. Primitive Membrane Formation, Characteristics and Roles in Emergent Properties of a Protocell. *Entropy*, nr. 13: 466-484, 2011.

Luisi, Pier Luigi, et al. Approaches to semi-synthetic minimal cells: A review. *Naturwissenschaften*, nr. 93: 1-13, 2006.

Svaneborg, Carsten et al.: Fra syntetisk liv til levende teknologi. *Aktuel Naturvidenskab*, nr. 4, 2011.

Cistola, David P. et al. Phase Behavior and Bilayer Properties of Fatty Acids: Hydrated 1: 1 Acid-Soaps. *Biochemistry*, 25:2804-2812, 1986.

Cheng, Anchi et al. Kinetics and Mechanism of the Barotropic Lamellar Gel/Lamellar Liquid Crystal Phase Transition in Fully Hydrated Dihexadecylphosphatidylethanolamine: A Time-

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

Resolved X-Ray Diffraction Study Using Pressure Jump. Biophysical Journal, vol 67: 293-303. 1994.

Bøyesen, Rikke og Birger Lindberg Møller. Biologien på arbejde – dansk satsning på syntesebiologi. Aktuell Naturvidenskab, nr 1:35-38, 2011.

Berclaz, Nathalie et al. Growth and Transformation of Vesicles Studied by Ferritin Labeling and Cryotransmission Electron Microscopy. Journal of Physical Chemistry B, nr. 105: 1056-1064, 2001.

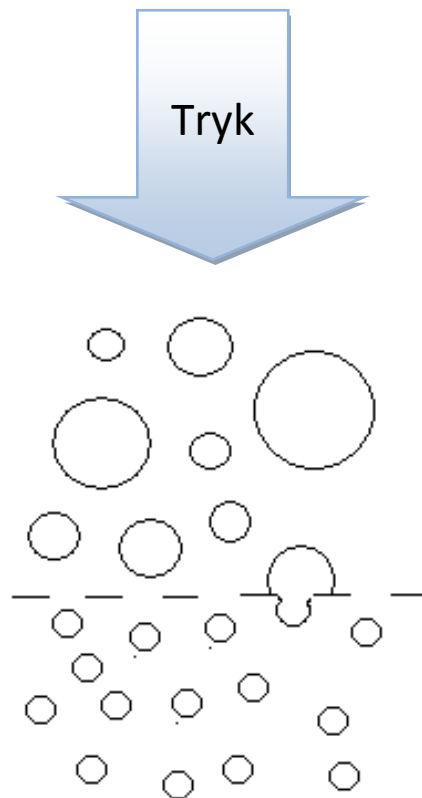
URL:

Grønli, Kristin S. Kunstigt liv er stadig langt væk. <http://videnskab.dk/print/8866>, 2011. Siden besøgt d. 27.09.11.

http://en.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6rster_resonance_energy_transfer . Siden besøgt d. 30.10.11.

Bilag:

Bilag 1: Ekstrudering



Figur 1: Ekstrudering. Egen figur.

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

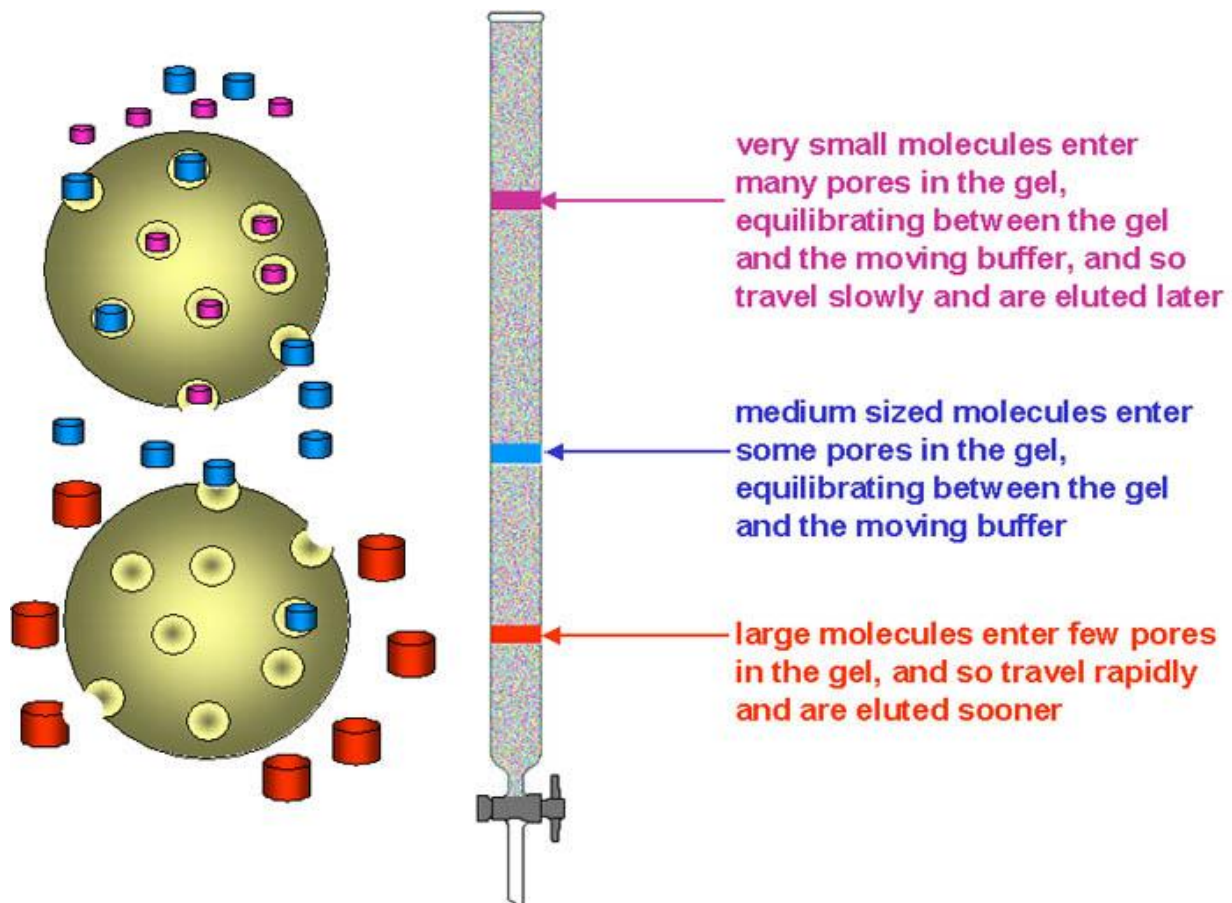
NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

Bilag 2: Størrelses eksklusionssøjle



Figuren er taget fra siden <http://www.ucl.ac.uk/~ucbcdab/enzpur/gelexcl.htm>.

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

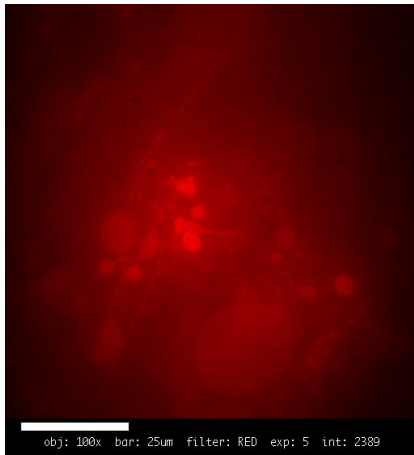
NAT

Kirstine la Cour

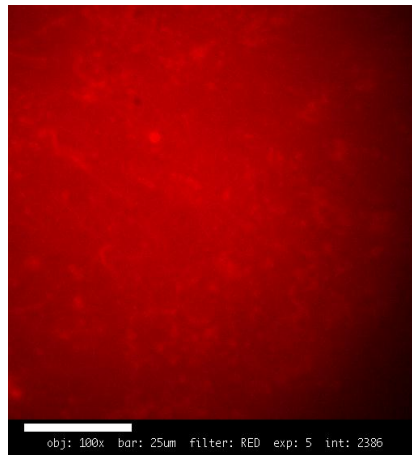
Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

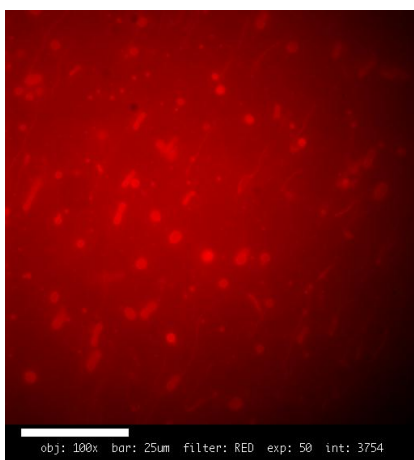
Bilag 3: Billeder fra mikroskopi af vesiklernes forskellige stadier



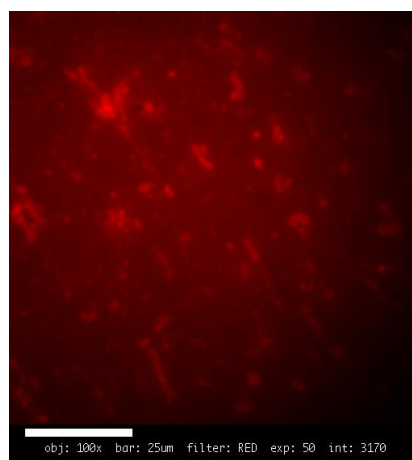
Figur 1: Vesikler ved forsøgets start



Figur 2: Vesikler efter ekstrudering



Figur 3: Vesikler efter størrelses eksklusions søjle



Figur 4: Vesikler efter injektion med miceller

Billederne viser vesiklernes udvikling gennem pilotforsøgets stadier. Det kan dog være vanskeligt og upræcist at foretage konklusioner udelukkende på baggrund af mikroskopi, hvorfor disse billeder blot bør anvendes som supplement til mere pålidelige kvantitative data.

Vækst i en protocellulær membran gennem vesikelstudier

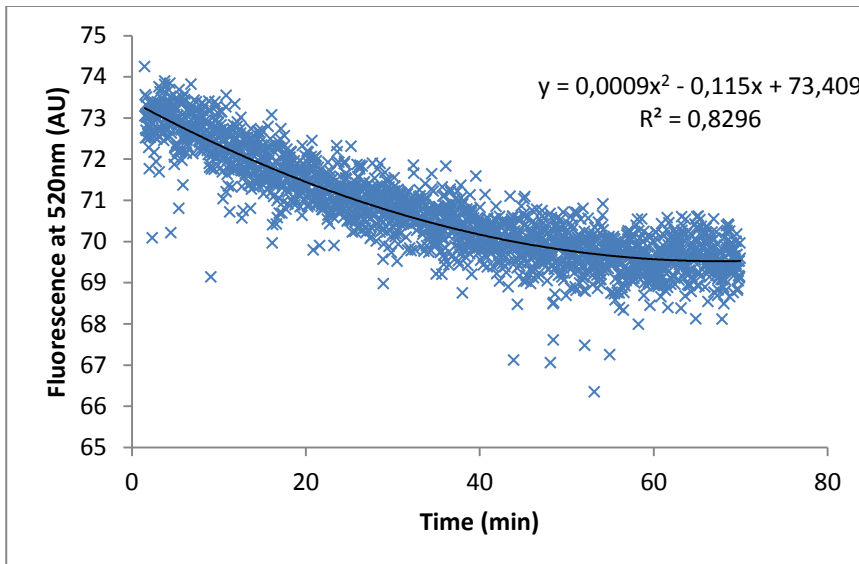
NAT

Kirstine la Cour

Munkensdam Gymnasium

Oktober 2011

Bilag 4: Forsøgsresultater fra pilotforsøg



Grafen over udviklingen i flouescens er tegnet i excel med brug af de indsamlede data fra Flouescens Spektrometeret. En polynimial tendenslinje er tilføjet for at tydeliggøre udviklingen. AU står for arbitrary units, hvilket en standard måleenheden ved spektroskopi.