

iKRAFT innovationspuljen

Projektansøgning

***Massiv Acceleration af Fotorealistisk Interaktiv Rendering***  
**- udnyttelsen af grafikkort som generel parallelprocessor til ray tracing**

**Primær ansøger og projektleder:**

navn: Jesper Mosegaard

virksomhed: Alexandra Instituttet A/S

adresse: Åbogade 34, 8200 Århus N.

tlf: 21 66 53 65

email: jesper.mosegaard@alexandra.dk

**Øvrige deltagere/partnere:**

Luxion ApS, Silkeborg

Dato: 02 / 03 / 2010

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>SAMMENFATNING</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>BAGGRUND</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>PROJEKTETS FORMÅL</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>ANDEN FINANSIERING</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>PROJEKTBEKRIVELSE</b> .....	<b>5</b>
5.1	ERHVERVSFREMMEPERSPEKTIV .....	5
5.2	INNOVATIONSHØJDE.....	6
5.3	SAMARBEJDE.....	6
5.4	ADDITIONALITET .....	6
5.5	IT-MÆSSIGT FOKUS.....	6
5.6	PILOTPROJEKT.....	7
5.7	FORMIDLING .....	7
5.8	EFFEKTDOKUMENTATION .....	7
5.9	FORANKRING .....	7
5.10	MEDFINANSIERING .....	8
<b>6</b>	<b>PROJEKTORGANISATION</b> .....	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>PROJEKTPLAN</b> .....	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>PROJEKTBUDET</b> .....	<b>9</b>



Fig. 1. Screenshots fra Luxion's interaktive produkt, KeyShot.

# 1 Sammenfatning

*Visionen for dette projekt er at udvikle nyskabende softwareprodukter indenfor interaktiv fotorealistic billedannelse til film, design og produktvisualiseringer ved at opnå hidtil uset kvalitet og hastighed af den underliggende simulation af interaktionen mellem lys og materiale. Vi vil opnå denne forbedring ved at udnytte moderne grafikort som generelle kost-effektive parallel-beregningsenheder. Denne tilgang benævnes "generel purpose computing on the graphics processing unit (GPGPU), og kan under optimale betingelser give en acceleration på en faktor 250 sammenlignet med en tilsvarende CPU-implementation. En optimal udnyttelse kræver innovation på højt niveau i krydsfeltet mellem GPGPU og de bagvedliggende algoritmer til fotorealistic billedannelse. Det er en del af visionen at generalisere de erkendelser, der opnås igennem projektet indenfor GPGPU, så denne viden bliver anvendelig for dansk erhvervsliv indenfor andre anvendelsesområder.*

**Innovation:** Luxion's<sup>1</sup> softwareprodukter bygger på algoritmer fra den absolutte forskningsfront indenfor fotorealistic simulation af lys og materiale – og ikke mindst ejernes egne forskningsresultater igennem Henrik Wann Jensen's mangeårige forskning og essentielle bidrag til feltet. Disse resultater er bl.a. anvendt i store Hollywood produktioner som Ringenes Herre-Trilogien og Avatar. Alexandra Institut<sup>2</sup> er et anvendelsesorienteret forskningsinstitut hvis medarbejdere har været med til at opdyrke feltet GPGPU siden de første programmerbare grafikort i år 2000. I perioden 2010-2012 satser instituttet strategisk på at opdyrke og konsolidere kompetencer indenfor GPGPU igennem resultatkontraktmidler med forsknings- og innovationsstyrelsen. Både Alexandra Institut og Luxion har derfor alle forudsætninger for at skabe værdi igennem innovation – det forventes derudover at elementer af projektet vil kunne publiceres som egentlige forskningsartikler.

**Forretning:** En effektiv udnyttelse af GPU'en som generel processor vil forbedre hastighed og kvalitet af fotorealistic billedannelse i en grad der åbner op for helt nye anvendelser og dermed nye produkter for Luxion. Interaktiv visualisering af komplekse materialer og avancerede optiske effekter vil nu kunne indgå i en interaktiv design-proces. Luxion har også en kommerciel interesse i en markant forbedring af deres eksisterende produkt, KeyShot, der allerede bruges af firmaer som Apple, Microsoft, HP, Philips, Motorola, Ford, Mercedes Benz, LG, Samsung, Unilever, og Smartdesign. Alexandra Institut har en kommerciel interesse i at opbygge kompetencer indenfor GPGPU, der kan sælges som teknologisk service på markedsvilkår - deriblandt konsulentytelser.

**Samfund:** Alexandra Institut er et almennyttigt aktieselskab, hvilket betyder at et eventuelt overskud geninvesteres i forsknings- og udviklingsprojekter til gavn for dansk erhvervsliv, og samfundet generelt. Både Alexandra Institut og Luxion ønsker at bidrage aktivt til forskningsfelter indenfor "high performance computing" og "computer graphics" og giver på den måde viden tilbage til samfundet. Vi forventer, at de aktiviteter der opstartes igennem dette projekt, vil kunne danne basis for et øget volumen af erhvervsaktiviteter i

---

<sup>1</sup> <http://www.keyshot.com>

<http://www.luxion.com>

<sup>2</sup> <http://www.alexandra.dk>

regionen indenfor computergrafik og udnyttelse af massive parallelle processorer som GPU'en.

## 2 Baggrund

Baggrunden for projektet er tosidet - på den ene side et ønske om at beregne fotorealistiske billeder hurtigt (ray tracing) og på den anden side udnyttelsen af moderne GPU som generel beregningsressource (GPGPU).

**Ray tracing** er en kategori af renderings-teknikker til at beregne et billede ved at følge en sti for lyset igennem de enkelte pixels i et billed-plan, og simulere indflydelsen af objekter og deres materiale på denne sti. Ray tracing er traditionelt brugt når højkvalitets-simulering af optiske effekter er ønsket, heriblandt refleksioner og refraktioner. Effektiv beregning af ray tracing og modellering af komplekse materialer er et meget aktivt forskningsområde.

**GPGPU** (general purpose computing on the graphics processing unit) er udnyttelsen af de moderne programmerbare grafikkort (GPU'er) til generelle beregninger, der normalt beregnes på CPU'en. Dette kan for velegnede beregnings-problemer give accelerationer på op til en faktor 250 ved sammenligning med en tilsvarende CPU-implementation. GPU'en består af et stort antal parallelle processorer<sup>3</sup>, og er specielt velegnet til data-intensive beregninger, hvor en række beregninger gentages for store mængder af data. GPU'en kan groft sagt ses som en moderne SIMD<sup>4</sup> processor. Samtidigt er GPU'en den mest kost-effektive processor i dag, takket være et massivt fokus på grafikkort i computerspilsindustrien. GPGPU er i høj grad et nyt og aktivt forskningsområde. Vi forventer, at GPU'en vil være en del af svaret på den "multi-core krise", der hærger softwareindustrien, idet den enkelte processor-kerne ikke længere bliver hurtigere i de traditionelle CPU'er.

**Luxion** er markedsførende indenfor anvendelsen af CPU'er til højkvalitets ray tracing, og **Alexandra Instituttet** er med på den absolutte forskningsfront hvad angår GPGPU. Baggrunden for projektet er således kombinationen af disse kompetencer og de innovative resultater, der forventes heraf.

## 3 Projektets formål

Formålet med projektet er at kombinere den renderings-motor, Luxion har udviklet, med state-of-the-art teknikker indenfor GPGPU. Projektet består af en række delmål, hvor velegnede moduler i denne renderings-motor vil blive reformuleret som et massivt parallelt beregningsproblem, der matcher GPU'ens mange processorer i et data-intensivt perspektiv. De forventede resultater er tosidede; på den ene side vil projektet kunne give et afgørende boost til renderings-performance i Luxion's produkter, hvilket kan åbne op for nye markeder indenfor interaktiv rendering til fx film, produktion og design. På den anden side vil samarbejdet resultere i konsolidering af konkrete erfaringer og viden om GPGPU

<sup>3</sup> 512 cuda cores i seneste nVidia GPU – GF100

<sup>4</sup> Single instruction, multiple data

til bred anvendelse i den danske software-industri igennem Alexandra Instituttets status som GTS-Institut.

## 4 Anden finansiering

Der er ikke søgt finansiering fra andre puljer.

## 5 Projektbeskrivelse

### 5.1 Erhvervsfremmeperspektiv

Kvalitet og hastighed i rendering er vigtige konkurrence-parametre for Luxion. Luxion's produkt, KeyShot, hører allerede til blandt de bedste applikationer til udnyttelsen af multiple processorer og har ikke derudover specielle hardwarekrav – og dette er et vigtigt salgsargument. Samtidigt er der dog en stor beregningsressource i GPU'en som ikke udnyttes af KeyShot, selvom den er tilgængelig i langt de fleste pc'ere i dag. Det forventes at en succesfuld reformulering af individuelle moduler i Luxions' renderings-motor til udnyttelse af tilgængelige GPU'er vil give Luxion et afgørende boost i performance, der kan åbne op for en række nye anvendelser af deres allerede succesfulde produkt.

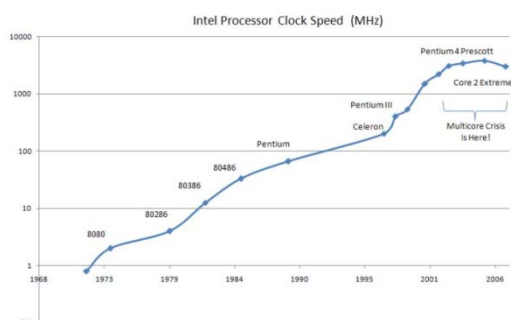


Fig 2. Intel processor clock speed

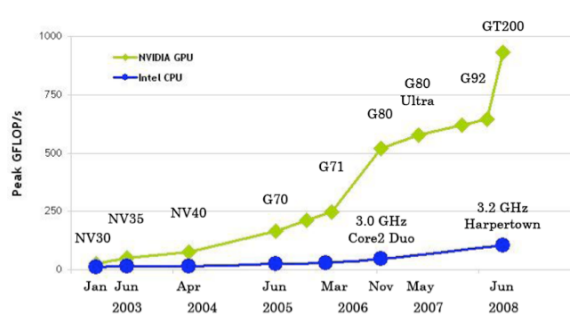


Fig 3 nVidia GPU vs. Intel CPU

Siden årtusindeskiftet er den traditionelle enkelt-kernede CPU ikke blevet hurtigere, hvilket skyldes fysiske barrierer - se Fig 2 a). I stedet har CPU-producenterne satset på at konstruere multi-core processorer. Den store mængde af software, der alene udnytter en enkelt CPU, bliver ikke automatisk hurtigere ved indkøb af en ny multi-core processor med flere kerner. Indenfor de næste år vil software-industrien derfor i højere grad blive tvunget til at bruge alle tilgængelige parallelle beregningsressourcer. GPU'en er opbygget efter en alternativ arkitektur, der i højere grad fokuserer på massive parallelle beregninger på data intensive problemer. Ved optimal udnyttelse er GPU'en en kost-effektiv generel beregningsressource med en ydeevne, der langt overstiger CPU'en – se Fig 2. Transitionen fra programmering af enkelt-kernede processorer til udnyttelse af multi-core CPU'er og GPU'er er en vanskelig proces, idet multi- og many-core programmering er en yderligere abstraktion, og øger kompleksiteten i software-udviklingen. Især en effektiv udnyttelse af GPU'en vil være vanskelig for traditionelle softwareudviklere, idet programmerings-modellen er væsentligt anderledes end almindelig udvikling til sekventiel processering - og væsentlig anderledes end tråd-programmering til udnyttelse af flere CPU'er. På langt sigt forventer vi en sammensmeltning af CPU og GPU. Alexandra Institutet har som opgave at opbygge forsknings-baserede kompetencer, der forventes efterspørgsel på i dansk erhvervsliv, og sælger disse som konsulenttjenester på

markedsvilkår. Vi forventer at Alexandra Instituttet vil kunne sælge kompetencer indenfor GPGPU som teknologisk service, herunder konsulenttydelser og softwareudvikling til dansk erhvervsliv – men også internationalt.

## 5.2 Innovationshøjde

Både Luxion og Alexandra Instituttet er indenfor hvert deres felt med på den absolutte forskningsfront – og er derfor begge garanter for en høj grad af forskning og innovation i dette projekt. Henrik Wann Jensen, partner og Chief Scientist ved Luxion, er Associate Professor ved University of California, San Diego hvor han leder deres ”computer graphics lab”. Han hører til den absolutte forskningselite indenfor ray tracing, og har bl.a. modtaget en Oscar (Technical Achievement Award) for sit arbejde med rendering af semitransparente materialer. Samtidigt har Luxion demonstreret af de kan omsætte disse kompetencer til konkrete salgbare produkter.

I det konkrete projekt kræver kombinationen af state-of-the-art teknikker indenfor ray tracing og GPGPU en høj grad af innovation.

## 5.3 Samarbejde

Luxion er et privat firma, og Alexandra Instituttet en videninstitution. Alexandra Instituttet deltager med forskningskompetencer indenfor rasteriserings-baseret realtidsgrafik og GPU'en som many-core. Luxion har spidskompetence indenfor fysisk baseret billeddannelse på mange CPU'er. Luxion og Alexandra Instituttet har ikke tidligere arbejdet sammen.

## 5.4 Additionalitet

Det er vigtigt at bemærke at GPU'er i deres natur som hardware-accelererede grafikort oprindeligt er bygget til at beregne en ganske særlig type grafisk fremstilling, nemlig rasteriseringsbaseret rendering - primært henvendt til spilsektoren. Algoritmer til rendering baseret på ray tracing er væsentligt forskellige fra rasteriseringsbaseret rendering. Det er derfor nødvendigt at analysere og udnytte GPU'en som generel beregningsenhed for at kunne udnytte den massive beregningskapacitet til rendering baseret på ray tracing.

Luxion har ikke tidligere arbejdet med udnyttelsen af GPU'en som generel processor. Dette er i høj grad et arbejde der kræver spidskompetencer og innovation - begge krav kan indfries af Alexandra Instituttet. De biblioteker, Luxion bygger deres aktuelle produkter på, er resultatet af 10 års udvikling – med et sigte på udnyttelsen af mange CPU'er. Det er således et projekt hvor kombinationen af de forskellige kompetencer kræver tid og risikovillighed, der ikke alene kan drives af rendyrkede kommercielle interesser.

Acceleration igennem GPU'er, eller andre fremtidige data-intensive beregningsressourcer, af afgørende betydning i fremtidens software-udvikling. Dette projekt vil give konkrete erfaringer med et problemområde. Samtidigt kan Luxion og Alexandra Instituttet på lang sigt se gode muligheder for strategisk samarbejde med de komplementerende kompetencer vi har indenfor computergrafik og udnyttelsen af parallelle processorer på GPU og CPU.

## 5.5 IT-mæssigt fokus

Luxion udvikler og markedsfører software-applikationen keyshot, der i høj grad er et resultat af innovation og forskning indenfor it. Alexandra Instituttet er et anvendelsesbaseret forskningsinstitut indenfor pervasive computing. Det foreslåede projekt er rettet direkte mod innovation indenfor it.

## 5.6 Pilotprojekt

Projektets generelle viden fastholdes i Alexandra Instituttet – og vil igennem Alexandra Instituttet's aktiviteter som GTS-Institut blive spredt til dansk erhvervsliv til gavn for Danmarks konkurrenceevne i fremtiden. Målgruppen for denne viden er næsten samtlige software-virksomheder – men også firmaer, hvor softwareudvikling blot er en del af en større forretning.

Luxion er et enestående firma i dansk erhvervsliv, og der findes således ingen direkte konkurrenter på dansk jord. Luxion vil igennem projektet få opbygget vigtige kompetencer og software, der giver bedre og hurtigere fotorealistic visualisering. Luxion tilbyder disse kompetencer som konsulentydelse, og de vil på den måde være til rådighed for dansk industri. Luxion's produkt, KeyShot, er i høj grad også vendt mod det internationale marked, og har allerede nu store kunder som bl.a. Apple, Microsoft, HP, Philips, Motorola, Ford, Mercedes Benz, LG, Samsung, Unilever, og Smartdesign.

Både Luxion og Alexandra Instituttet har forskningsinteresser, og lever i høj grad af åbenhed om anvendelse og teknikker. Det er således også vores mål at publicere forskningsegne resultater ved konferencer og tidsskrifter indenfor computergrafik og high-performance computing.

## 5.7 Formidling

Resultaterne fra projektet vil blive formidlet igennem de generelle vidensspredningsaktiviteter på Alexandra Instituttet. Alexandra Instituttet har en stor kontaktflade til dansk erhvervsliv igennem vores projektsamarbejde, teknologisk service, og deciderede vidennetværk. Derudover har Alexandra Instituttet et stort fokus på traditionel kommunikation igennem PR, print og web.

Efter projektets afslutning, og i forbindelse af Alexandra Instituttets generelle aktiviteter indenfor vidensspredning forventes at blive afholdt 2-3 vidensspredningsarrangementer hvori de generelle erfaringer med projektet bliver oplyst.

Det er vores mål at publicere forskningsegne resultater ved konferencer og tidsskrifter indenfor computergrafik og high-performance computing.

## 5.8 Effektdokumentation

Projektets resultater vil medføre hastighedsforbedringer i Luxions renderingsbiblioteker, der vil resultere i mere interaktive renderinger med bedre kvalitet. Denne hastigheds- og kvalitetsforbedring vil kunne måles og rapporteres. I Luxion's produkt, KeyShot, vil udnyttelsen af GPU'en samtidigt have betydning for markedspotentiale – på denne ene side fordi det er en åbenlys ny feature på linje med hurtig rendering på mange CPU'er, men også fordi Luxion således vil indtage en markedsposition, hvor de er førende på både udnyttelsen af GPU og CPU til fotorealistic rendering.

Vi vil kvalitativt måle antallet af vidensspredningsarrangementer, hvori vi udbreder viden om GPGPU – og håndtering af massive datamængder.

## 5.9 Forankring

Alexandra Instituttet er en konkret forankring for de generelle løsninger. Luxion fungerer bl.a. som konsulentvirksomhed indenfor fysisk baseret simulation af lys, og er dermed en forankring for den domænespecifikke viden.

De succesfulde prototyper vil blive videreudviklet af Luxion og integreret i deres produkt, keyShot. Samtidigt vil både Alexandra Instituttet og Luxion løbende vurdere om der opstår

nye anvendelser og produkter som resultat af de innovative it-løsninger, der opstår som resultat af samarbejdet.

## 5.10 Medfinansiering

Luxion medfinansierer med egne timer; 1666 timer af 600kr/t.

## 6 Projektorganisation

**Alexandra Instituttet A/S** ([www.alexandra.dk](http://www.alexandra.dk)) er en almennyttig virksomhed, der arbejder med anvendelsesorienteret it-forskning. Alexandra Instituttet har fokus på pervasive computing og aktiverer vores medlemmers og kunders udviklingspotentiale via forskningsbaseret innovation. Den gode matchmaking mellem offentlige og private miljøer baserer sig på dyb respekt for de deltagende parters interesser. Virksomheder deltager for at få innovationsløft og vækst, forskere for at kunne publicere og få ny inspiration. Vores forsknings- og udviklingsprojekter er den motor, der skaber ny viden. Denne viden kommer deltagerne i de enkelte projekter til gode. Desuden bringer vi den i spil som konsulentydelse og videreformidler den i instituttets vidennetværk. På den måde yder Alexandra Instituttet et bidrag til at forbedre danske virksomheders innovationsprocesser og øge deres konkurrenceevne. Alexandra Instituttet har en lang tradition for brugerdrevet innovation. Brugere inddrages i alle innovationsforløbets faser. Dermed sikrer vi, at design og funktionalitet udspringer af reelle behov og udfordringer. Som GTS Institut har opgave er på basis af forskning at udvikle teknologiske serviceydelser. Disse ydelser skal efterfølgende sælges på almindelige markedsvilkår.

**Alexandra Instituttet** er ansvarlig for udvikling af GPGPU og rasteriseringsbaseret computergrafik. Alexandra Instituttet har i projektet et forskningsmæssigt fokus og de konkrete aktiviteter er af mere undersøgende karakter.

**Luxion ApS** ([www.luxion.dk](http://www.luxion.dk)) er specialister i teknologi indenfor lys-simulering på computeren. Luxion er eksperter indenfor modellering af dagslys og lys der spredes i materiale (BRDF- og BSSRDF-modeller) samt algoritmer til lystransport som fx photon mapping. Luxion tilbyder konsulenttjenester og udvikler software til kunder, der kræver præcise beregninger af lys i komplekse 3D-omgivelser. Luxion har udviklet og sælger et produkt, keyShot ([www.keyshot.com](http://www.keyshot.com)), der ved hjælp af ray tracing laver interaktiv fotorealistisk visualisering af 3D-produkter med trinvis forfinelse af billedkvaliteten. Dette produkt markedsføres som et "digitalt fotografiapparat", hvor man kan opsætte belysning og materialer på en 3D-model. Luxion har hidtil udelukkende brugt CPU'en som processor, men er her markedsførende i udnyttelsen af flere processorer. KeyShot, bruger en fysisk korrekt og CIE<sup>5</sup> verificeret renderings-motor, der indeholder mange nyskabelser fra Henrik Wann Jensens forskning. KeyShot bliver anvendt af en række store internationale firmaer, bl.a. Apple, Microsoft, HP, Philips, Motorola, Ford, Mercedes Benz, LG, Samsung, Unilever, og Smartdesign. Henrik Wann Jensen er Chief Scientist og Partner i Luxion. Henrik er også Associate Professor ved University of California, San Diego og leder "computer graphics laboratory" ved universitetets datalogiske institut. Henrik har arbejdet som konsulent for bl.a. Pixar og Weta Digital – og resultaterne kan ses i store Hollywood film som Ringenes Herre Trilogien (Gollums hud) og Avatar (Na'vi'ernes blå hud, våde materialer, hår mm.). I 2004 modtog Henrik en Oscar (Technical Achievement Award) for sit arbejde med rendering af semitransparente materialer.

<sup>5</sup> Commission Internationale de l'Eclairage (Den Internationale Belysningskommission) er en anerkendt internationale autoritet indenfor lys, belysning, farve og farverum.



**Luxion** er ansvarlig for den domænespecifikke viden om ray tracing og anvendelsen af mange CPU processorer. Luxion vil stå for den optimering af algoritmer og udvikling af robuste implementationer, der kræves for kommercialisering af forskningen.

## 7 Projektplan

Projektets løber fra 01.07.2010 til 30.12.2011

ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Haf1, 2010					Haf2, 2010					Haf1, 2011					Haf2, 2011					Haf1, 2012				
					J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
1	A	102 days	Thu 01-07-10	Fri 19-11-10																									
2	B	125 days	Mon 22-11-10	Fri 13-05-11																									
3	C	160 days	Mon 23-05-11	Fri 30-12-11																									
4	D	392 days	Thu 01-07-10	Fri 30-12-11																									

**A:** *Data parallel tone-mapping og rekonstruktion af samples på GPU.* Denne opgave er en optimering af det billede brugeren ser, hvor en anisotrop distribution af samples skal interpoleres og vises med den korrekte intensitet. Dette er umiddelbart et parallelt problem, men det kompliceres af det forhold, at input-samples ikke er distribueret uniformt. Der skal udvikles en algoritme, der kan håndtere denne distribution på en GPU, og som kan lave en højkvalitets-interpolation og efterfølgende billedvisning (tone-mapping).

**B:** *Udvikling af en ray tracing kerne på en GPU med tilhørende shading baseret på Monte Carlo sampling.* Denne er en stokastisk algoritme, som er let at parallelisere, men hvor den stokastiske natur af beregningerne gør det kompliceret at anvende en GPU, der er SIMD orienteret i dens beregninger. Dette betyder, at der skal laves en analyse af de mønstre, hvormed hukommelsen tilgås for at undgå unødvendige flaskehalse på hukommelsesbussen på GPU'en

**C:** *Integration af ray tracing kernen i Luxion's beregningsbiblioteker som et alternativ til CPU modellen.* Denne opgave vil involvere en betydelig indsats, hvor Luxion skal flytte de eksisterende lysberegnings-moduler til GPU'en, så de kan drage fordel af den ray tracing kerne, der udvikles ved Alexandra Instituttet.

**D:** *Opsamling af general viden om anvendelse af GPU'en som accelerator.* Generaliserbare løsninger opsamles og konkretiseres i software-toolkits til andre anvendelser af GPGPU.

## 8 Projektbudget

	Videninstitution	Virksomhed	total
	Alexandra Instituttet	Luxion	
<b>Udgifter</b>			
Personel (inkl. Rejser)	-959.400	999.600	40.200
revision	-30.000		-30.000
Udstyr (GPU'er)	-10.200		-10.200
Udgifter total	-999.600	999.600	-
<b>Finansiering</b>			
iKraft	999.600		999.600
egenfinansiering personel		999.600	999.600
Finansiering total	999.600	999.600	1.999.200

Alle timer afregnes til 600 kr/t. Medfinansiering fra Luxion er tilgængelig som egenfinansierede timer.

Finansiering fra iKraft innovationspuljen der ansøges: **1.000.000 DKK**