

# Virtual Reality för byggbranschen

Erik Nilsson och Torbjörn Olausson

ett examensarbete vid Institutionen  
för Form och Teknik, Chalmers  
Tekniska Högskola 1998



## **Sammanfattning**

Virtual Reality har länge varit under utveckling, men har hittills enbart kommit till användning inom ett fåtal områden. Arkitektur är inte ett av dessa, men är ett väl lämpat fält för att nyttja tekniken. Vår avsikt med detta arbete är därför att undersöka Virtual Realitys förtjänster och möjligheter i byggbranschen.

Genom intervjuer med arkitekter och andra berörda, studier av publicerat material och kontakter med systemutvecklare har vi försökt bedöma hur tekniken kan användas och vad ett branschspecifikt VR-system bör innehålla. Resultatet visar att det krävs en utveckling av projekteringsprocessen för att en utbredd användning av Virtual Reality skall bli aktuell. Det krävs också en tvärvetenskaplig utveckling av VR-systemen.

Vi avser med rapporten att presentera tekniken för dess tänkta användare och att ge en bild av byggbranschen för dem som skall utveckla systemen.

## Förord

Den här rapporten är en beskrivning av vårt examensarbete, vilket utförts på Institutionen för Form och Teknik vid Chalmers Tekniska Högskola i samarbete med Prosolvias Clarus AB. Vår ambition har inte varit att göra rapporten till ett heltäckande uppslagsverk inom sitt fält. Det skulle kräva betydligt mer än ett 18 veckors examensarbete. Vi riktar oss istället till personer som vill skaffa en grundläggande kunskap om hur Virtual Reality fungerar och hur mediet kan fungera inom byggbranschen.

Docent Hans Lindgren vid Institutionen för Form och Teknik har varit examinator för arbetet. Civilingenjör Mattias Eriksson på Prosolvias Clarus har varit vår handledare.

Vi vill rikta ett stort tack till ovanstående personer samt till de personer på Prosolvias Clarus som vi varit i kontakt med och som tagit sig tid att diskutera vårt arbete och hjälpa oss vidare med det. Vi vill också tacka Prosolvias Clarus för att de ställt upp med arbetsplatser, datorer och mjukvara som varit nödvändiga för arbetet. En förutsättning för arbetet har varit att arkitektkontor och andra aktörer i byggbranschen har tagit emot oss och ställt upp för intervjuer. Till Er riktar vi ett extra stort tack för Er intresse och välvilliga samarbete. Slutligen vill vi tacka våra familjer som ställt upp på alla tänkbara sätt.

Göteborg, februari 1998

Erik Nilsson och Torbjörn Olausson

## Innehållsförteckning

<b>SAMMANFATTNING.....</b>	<b>I</b>
<b>FÖRORD .....</b>	<b>II</b>
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....</b>	<b>1</b>
Läsanvisning .....	6
<b>VIRTUAL REALITY .....</b>	<b>8</b>
Termen ”Virtual Reality” .....	10
<b>MÅLSÄTTNINGAR.....</b>	<b>12</b>
<b>FRÅGESTÄLLNINGAR.....</b>	<b>12</b>
Var kan VR komma in i arkitekt- och byggbranschen och vilka förtjänster och möjligheter kan det tillföra? .....	12
Vilka möjligheter finns för ett VR-program i arkitekt- och byggbranschen? .....	12
Är arkitektens arbetsmetoder användbara och kan de stödja arbete utanför byggbranschen? .....	13
Varför skall man presentera information med VR? .....	13
<b>METOD.....</b>	<b>14</b>

<b>UTFÖRANDE .....</b>	<b>14</b>
<b>Teknik- och litteraturstudier.....</b>	<b>14</b>
<b>Beskrivning av hur dagens VR-system fungerar .....</b>	<b>16</b>
Förutsättningar.....	16
Ytmodellens uppbyggnad.....	16
Från modell till bild .....	17
Navigation .....	18
<b>INTERVJUFASEN .....</b>	<b>18</b>
<b>Sammanfattning av intervjuer.....</b>	<b>20</b>
Allmänt .....	20
Datoranvändning, kommunikationer och miljökrav .....	21
3D-användning .....	22
Kommentarer om en VR-applikation för arkitekt- och byggbranschen .....	24
Framtidsscenario .....	25
<b>Slutsatser efter intervjuer.....</b>	<b>26</b>
<b>NY KURS.....</b>	<b>28</b>
<b>Bärkraft, estetik och ekonomi - Kulturpropositionen 1997 .....</b>	<b>28</b>
<b>3D-modellen och dess möjligheter .....</b>	<b>32</b>
<b>Byggnadens livscykel .....</b>	<b>33</b>
<b>Projekteringen .....</b>	<b>34</b>
Utformning.....	35

Visualisering av beräkningsresultat .....	37
Presentation för kund / beställare .....	38
Planering av bygget .....	38
<b>Bygge.....</b>	<b>39</b>
Bygganvisning.....	39
Projektstyrning .....	39
<b>Förvaltning .....</b>	<b>40</b>
Manual till byggnaden .....	40
Anpassning, ombyggnad .....	40
Säljstöd och presentation för kund.....	41
Feed-back.....	41
<b>Rivning och återvinning .....</b>	<b>42</b>
Specifikation av innehåll .....	42
Rivningsplan .....	42
<b>SLUTSATSER.....</b>	<b>43</b>
<b>Vilka möjligheter har Virtual Reality som ett nytt arbetsredskap för arkitekt- och byggbranschen? .....</b>	<b>43</b>
Utveckling .....	43
<b>Förutsättningar för att etablera användandet av ett VR-system i byggbranschen .....</b>	<b>43</b>
Fördelar med VR-system.....	44
<b>Är arkitektens arbetsmetoder användbara och kan stödja arbete utanför byggbranschen? .....</b>	<b>46</b>
Projektarbete.....	46

Arkitektens arbetsmetoder .....	46
Arkitektens metoder i databranschen .....	47
Arkitekter för design av virtuella miljöer .....	47
<b>REFERENSER .....</b>	<b>49</b>
<b>Publikationer på Internet.....</b>	<b>49</b>
<b>Tryckt material .....</b>	<b>51</b>
Tidningsartiklar .....	51
Böcker .....	51
<b>Relaterade hemsidor .....</b>	<b>53</b>
Institutioner .....	53
Företag .....	54
<b>FIGURFÖRTECKNING .....</b>	<b>58</b>
<b>BILAGA 1: FORSKNING.....</b>	<b>60</b>
<b>Inledning .....</b>	<b>60</b>
<b>Arbeta med VR .....</b>	<b>62</b>
Närvaro .....	63
Synintryck.....	64
Hårdvara.....	67
Algoritmer .....	69
<b>BILAGA 2: TEKNIKFROSSA .....</b>	<b>70</b>



High- respektive Low-endlösningar .....	70
<b>Hårdvara .....</b>	<b>70</b>
Grafikkort .....	70
3D-glasögon eller LCD shutter glasses .....	70
Hjälm eller Head-Mounted Display (HMD) .....	71
Tracker-system .....	71
Datahandske .....	72
VRD™, Näthinneprojektion .....	72
Olika typer av möss .....	72
Projektionsbord eller Workbench.....	73
CAVE och Immersive Space .....	73
Kontrollstav eller Wand .....	73
<b>Mjukvara .....</b>	<b>74</b>
 <b>BILAGA 3: DEFINITIONER OCH FÖRKLARINGAR .....</b>	 <b>75</b>
Cyberspace .....	75
Rendering .....	75
Realtidsrendering .....	75
Radiosity .....	76
Ray Tracing.....	76
GIS .....	76
VR, Virtual reality .....	77
Desktop-VR.....	77
Fish tank-VR .....	77
Immersive VR .....	78

Augmented reality.....	78
VE, Virtual Environment .....	78
IVS, Interaktiv Visual Simulation.....	78
Display.....	79

## Läsanvisning

Kapitlet "Ny kurs" utgör, tillsammans med kapitlen "Frågeställningar" och "Slutsatser", kärnan i rapporten.

De delar av texten som är placerade i kapitlen "Metod", "Utförande" och "Intervjufasen" beskriver hur vårt arbete fortskridit, samt innehåller slutsatserna efter en rad intervjuer med arkitekter och andra aktörer i byggbranschen. Kapitlen fungerar som bakgrund till det fortsatta arbetet, men är inte nödvändig för förståelsen av det.

Bilagorna fungerar som stöd och referenser för läsningen av den övriga texten.



## Virtual Reality

[V³:t§-\\ rö³/4\\tö]

Virtual Reality, Cyberspace, Internet, smaka på orden och känn efter! Visst är det häftigt! Det är Science Fiction-filmer, fräcka dataspel eller kanske rolig förströelse bland mängder av hemsidor. Det är onekligen en fascinerande värld som teknikens makalösa utveckling öppnat dörren till. Men vad blir kvar när den första tjusningen har lagt sig?

Utvecklingen har länge drivits fram av militären och nöjesindustrin. Militären har hittat andra användningsområden än förströelse, nöjesindustrin spelar givetvis på att VR kan vara underhållande. Som all annan teknik kommer VR förr eller senare till användning i det mer vardagliga livet och det är då som de stora möjligheterna öppnar sig. VR kan jämföras med medier som radio och TV, eller varför inte det tryckta ordet.

Liksom televisionen möttes med stor skepsis från dem som ansåg att radion var ett fullt tillräckligt informationsmedium, har VR fått ett svalt mottagande och dess utveckling är därför svår att förutse. TV:n ansågs fördummande och knappt någon kunde förutse att TV-teamen en dag skulle komma före invasionsstyrkor till krigsskådeplatser. Televisionen erbjöd bilder till ljudet i radions livesändningar och snart erbjuder VR den tredje dimensionen och möjligheten att interagera med det som presenteras. Detta, i kombination med Internets förmåga att göra värdefull information tillgänglig, kan ge oss tillträde till en mängd virtuella miljöer.

Då många endast känner den glättiga bilden av VR vill vi försöka ge en djupare kännedom för att underlätta bedömningen av mediet. Vi vill främst betona mediets förtjänster för att visualisera arkitektur, befintlig och tänkt, och dess möjligheter som arbetsredskap i hela byggbranschen. Det kan kanske låta lite tråkigt, men har man upplevt den underhållande delen av VR, kan det behövas en motvikt. För VR kan vara kul också, #^\*#α/% kull!

*virtual* 1 faktisk, verklig 2 virtuell (=skenbar)  
*reality* verklighet

"Communication in the Age of Virtual Reality",  
Frank Biocca, Mark R Levy, Lawrence Erlbaum  
Associates Inc, Hillsdale, New Jersey, 1995



Figur 1: Den allmänna bilden av VR

## Termen "Virtual Reality"

Vad menas med termen *Virtual Reality*? Den får två diametralt motsatta innebörder, beroende på vilken betydelse man ger det engelska ordet *virtual*. Faktisk verklighet eller skenbar verklighet är två möjligheter, som båda innehåller språkliga eller logiska inkonsekvenser:

*Faktisk verklighet* är språkligt korrekt, men man måste komma ihåg att det i det här fallet handlar om en konstgjord miljö som existerar skild från den fysiska verkligheten. Termen är alltså logiskt inkorrekt.

*Skenbar verklighet* innehåller å sin sida ett språkligt fel, en digital miljö kan skenbart vara verkligheten men detta gör den inte till verkligheten.

*Virtual Reality* (VR) är alltså ett språkligt snedsteg som blivit godtagat och som nu används både om datorsimulerade miljöer och om mediet som miljöerna betraktas genom. VR kan för övrigt, efter termens egentliga betydelse, vara vilken form av konstgjord verklighet som helst, till exempel måleri eller litteratur. I sin uppsats "Virtual Reality as a Communication System" poängterar Biocca och Levy att VR egentligen inte är själva mediet, utan den miljö mediet beskriver. Även andra termer finns men vi kommer, för enkelhets skull, att använda VR i de båda ovanstående betydelserna.

Många har börjat använda termen *Virtual Environment*, konstgjord miljö, istället för VR. Den språkliga skillnaden är liten men den eliminerar de inkonsekvenser som nämns ovan. Vi misstänker också att termen används för att slippa bli förknippad med allmänhetens bild av VR, vilken innehåller

hjälm, handskar och flashiga, men ofta meningslösa, presentationer. Företag och institutioner försöker nu istället utveckla tekniken med konstgjorda miljöer, från att vara ändamålet, till att fungera som ett kraftfullt arbetsredskap.

Forskare vid Human Interface Technology Laboratory (HITL), Seattle, USA sätter upp 4 kriterier för, vad de kallar, äkta VR:

1. *Full field of vision display, usually produced by the wearing of a Head Mounted Display.*
2. *Tracking of the position and attitude of the participant's body.*
3. *Computer tracking of the participant's movements and actions.*
4. *Negligible delay in updating the display with feedback from the body's movements and actions.*

För att skilja mellan olika grad av omslutenhet har termer som *Desktop-* och *Immersive VR* uppkommit, där Immersive VR är den HITL kallar "äkta".

En guide till VR-branschens övriga terminologi återfinns i Bilaga 3, Definitioner.

Från  
[www.hitl.washington.edu/projects/learning\\_center/pf/](http://www.hitl.washington.edu/projects/learning_center/pf/)

#### *Desktop-VR*

Desktop-VR är den enklaste formen av VR. Miljön beskrivs direkt på en vanlig datorskärm, eventuellt tillsammans med stereo- eller 3D-ljud och stereoseende.

#### *Immersive (=omslutande) VR*

Närvarokänslan i den datorgenererade miljön förstärks genom att presentationsverktyget isolerar ett eller flera sinnen från omvärlden så att betraktaren endast upplever den konstgjorda världen.

## **Målsättningar**

- Att undersöka vilka möjligheter Virtual Reality har som ett nytt arbetsredskap för arkitekt- och byggbranschen.
- Att undersöka om arkitektens arbetsmetoder är användbara och kan stödja arbete utanför byggbranschen. Denna uppgift kommer att ligga i bakgrunden under hela arbetet och våra subjektiva slutsatser kommer att presenteras i ett separat stycke.

## **Frågeställningar**

### **Var kan VR komma in i arkitekt- och byggbranschen och vilka förtjänster och möjligheter kan det tillföra?**

De senaste tio åren har datoranvändandet gjort entré i byggbranschen och det har kommit för att stanna. Andra branscher har utvecklat sina system betydligt mer. Finns det även i byggbranschen fler användningsområden för datorer? Hur ser dagens datoranvändning ut i arkitektkåren? Hur ser framtidens projekteringsredskap ut? I vilka delar av arbetet kan VR och övrigt datorstöd vara en ersättning för eller ett komplement till traditionella metoder?

### **Vilka möjligheter finns för ett VR-program i arkitekt- och byggbranschen?**

Vilken efterfrågan finns för dylika program idag? Går det att smidigt jämkas in dem i dagens arbetsrutiner eller krävs det att dessa förändras och i så fall på vilket sätt? Vilka svagheter har nuvarande system?



### **Är arkitektens arbetsmetoder användbara och kan de stödja arbete utanför byggbranschen?**

Finns det arbetsmetoder som används generellt när arkitekter ritar byggnader? Hur ser i så fall dessa ut och kan de appliceras även inom andra branscher?

### **Varför skall man presentera information med VR?**

En fråga som uppkommit och ökat i betydelse under arbetets gång är "Varför skall man presentera information med VR"?

Vilka fördelar har VR jämfört med andra presentationsformer?

ClarusEON.se  
[www.prosolvia.se](http://www.prosolvia.se)  
[www.prosolvia.se/eonsim/index.html](http://www.prosolvia.se/eonsim/index.html)

"Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality", Daniela Bertol, John Wiley&Sons Inc, New York, 1997

## Metod

Den ursprungliga uppgiften för examensarbetet var att specificera vilka egenskaper en arkitekturapplikation av VR-programmet Clarus Eon behöver. Det första steget i det arbetet var att skaffa en grundläggande kunskap om var utvecklingen av dylika program och tillhörande hårdvara står idag. Detta skedde genom studier av litteratur, tidskrifter samt artiklar och reklam på Internet. När ordet litteraturstudier förekommer senare i texten syftar det på samtliga av dessa medier.

Det andra steget var att intervjua arkitektkontor och andra aktörer i byggbranschen för att försöka utröna vilka egenskaper de anser vara viktiga i en applikation. Under arbetets gång visade det sig sedan att tyngdpunkten kom att förskjutas från arkitektkontoren till branschen som helhet.

Därefter skulle följa ett moment där den nya programprodukten beskrevs. I det stadiet planerade vi att arbeta mot de programmerare som skulle utveckla programmet och bolla idéer mot dem. På det sättet skulle vi få feed-back på huruvida våra idéer var möjliga att utföra.

## Utförande

### Teknik- och litteraturstudier

Under litteraturstudierna införskaffades baskunskap om var VR-branschen stod i dagsläget. Största delen av det studerade materialet berörde VR i allmänhet och det var svårt att finna sådant som var specialiserat på arkitektur. Ett undantag som är värt att nämna är Daniella Bertols bok "Designing Digital Space

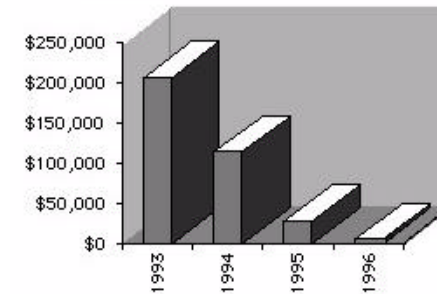
- an Architects Guide to Virtual Reality” som ger en god beskrivning av high-end-applikationer inom arkitektbranschen.

Materialet som studerades kan delas in i två kategorier, forskningsresultat och produktreklam. I den första gruppen kunde tre områden urskiljas som sammanföll med vårt arbete; modellering i VR, presentation för kund samt kommunikation mellan olika parter. Vidare skummades vilket produktutbud som fanns för olika programtyper, såsom modelleringsprogram, renderingsprogram och andra VR-motorer.

På hårdvarusidan kunde konstateras att förutsättningarna för användning av VR har förbättrats de senaste åren i och med en kraftig prisnedgång (se figur 1). PCn's grafikkapacitet ökar i ett sådant tempo att Silicon Graphics' självklara ställning vid grafikhantering hotas av betydligt billigare maskinvara.

Material om olika displaytyper visade att dagens hjälmar (HMD) inte fungerar tillfredsställande. Deras smala bildvinkel och korta betraktningsavstånd ger upphov till tunnelseende, simulatorsjuka och huvudvärk. Detta faktum stödde Clarus önskemål om att utforma ett system som arbetar mot en vanlig färgskärm, eventuellt i kombination med 3D-glasögon (så kallad *fish tank-VR*).

Parallellt med litteraturstudierna testkördes den aktuella versionen av Eon, för att utröna vilka egenskaper programmet har och hur man arbetar med det. Den version som prövades (1.2, september 1997) upplevdes som omogen men har goda förutsättningar att utvecklas till ett kraftfullt verktyg. Två huvudsakliga svagheter kunde bestämmas, modellimport och ljusbehandling. Modellimporten fungerade tillfredsställande endast från ett fåtal format. Dessa var inte anpassade för att passa till de modelleringsprogram som används i



**Figur 2: Minimikostnad för ett Immersive-VR system.**

#### *Hjälm eller Head-Mount-Display (HMD)*

Hjälmen håller en liten LCD-bildskärm framför varje öga och på grund av att skärmarna är något förskjutna, visas en stereobild som ger djupseende. Även 3D-ljudsystem kan integreras i hjälmen för att förstärka graden av omslutenhet.

#### *Fish tank-VR*

Fish tank-VR är en förbättrad version av Desktop-VR. Systemet har förstärkts med ett par 3D-glasögon (*LCD shutter glasses*), vilket ger upphov till djupseende på skärmen. Extra kostnad för glasögon och bildbehandlingsenhet ligger runt 1000 dollar.

#### *3D-glasögon eller LCD shutter glasses*

3D-glasögon fungerar efter samma princip som de glasögon med ett rött och ett grönt filter som användes i TVs 3D-experiment. Tekniken är dock helt annorlunda. I den nya varianten sitter flytkristall-paneler som filter. Beträktaren ser i varje ögonblick endast med det ena ögat, men eftersom filtren arbetar med en hög frekvens

#### Rendering

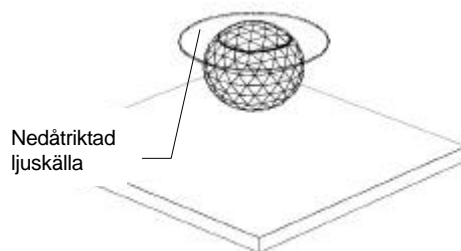
Beräkning som skapar en 3D-bild ur geometriska och belysningstekniska data.

#### Realtidsrendering

Renderingen som sker direkt i samband med att bilderna skall visas. Lagrade bilder som renderas och sparas undan före användning är alltså inte *realtidsrenderade*. Realtidsrendering är en förutsättning för att uppnå full interaktivitet med en modellen som simuleras. För att en simulering skall upplevas som jämt flytande krävs ungefär 20 *renderingar* i sekunden. Detta ställer speciella krav på de modeller som användas.

#### Ray Tracing

Renderingsmetod som följer ljusstrålarna från ögat till ljuskällan. Beträktningspunkten och bildplanet fastställs före renderingen. Bildframställning sker genom att beräkningen från betraktningspunkten följer ljusstrålar, genom varje definierad punkt i bildplanet, tills de träffar en opak yta. Sedan beräknas träffpunktens färg och ljusnivå utifrån dess ytegenskaper och hur de belyses av samtliga närvarande ljuskällor.



Figur 3: Ytmodellen och dess polygoner.

arkitektbranschen. Ljusbehandlingen fungerade dåligt och slagskuggor, som är nödvändiga för volymsstudier, fanns överhuvudtaget inte. Lösningar på problemen finns redan under utveckling för kommande versioner av programmet.

## Beskrivning av hur dagens VR-system fungerar

### Förutsättningar

Det ställs speciella krav på de modeller som skall användas som bas för virtuella miljöer. Eftersom de skall *realtidsrenderas* krävs att de är så enkla som möjligt. Mycket av den information som finns i en objektsorienterad solidmodell från ett CAD-system är inte bara onödig, den är dessutom i vägen. För att använda en sådan modell krävs att den görs om till en förenklad ytmodell.

Ljusberäkningar tillhör de tyngsta uppgifterna för ett VR-program varför de måste förenklas så mycket som möjligt. Slagskuggor och *Ray Tracing* är sådant som saknas idag .

### Ytmodellens uppbyggnad

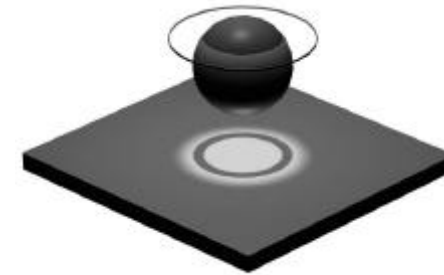
Den geometriska stommen i modellen är dess ytskikt. Detta byggs upp av trianglar, vilka kallas polygoner. En något abstrakt egenskap hos polygonerna är att de är enkelsidiga, om programmeraren inte specifikt ger instruktioner om att de skall vara dubbelsidiga. Detta illustreras i figur 3 och 4 som visar ett sfär, en skiva och en nedåtriktad ljuskälla med stor area. Ljuskällan är placerad så att den skär genom sfären i sfärens bortre del, från skivan sett. Den skugga sfären kastar på skivan är ringformad istället för diskformad som den borde vara. Detta beror på att enbart de polygoner i sfärens yta som

belyses utifrån som kastar skugga. Om ljuskällan skulle bytas ut mot en punktformig ljuskälla placerad inne i sfären, skulle sfären inte kasta någon skugga alls. Figurerna är framtagna i 3D Studio som arbetar med samma sorts ytmodeller som VR-programmen gör.

#### Från modell till bild

Geometrierna fungerar som en form av kantiga kulisser. Med hjälp av olika beräkningsmodeller jämnar programmet, vid renderingen, till kantigheten i ytor vilka skall framstå som krökta. Algoritmer används för att skapa en jämn gradient. Bland dessa utjämningsmetoder kan Gouraud- och Phong-shading nämnas.

För att förbättra autenciteten i ytorna läggs materialegenskaper och texturer på. Materialegenskaperna omfattar parametrar som färg och ytfinish. Texturerna är bilder, till exempel av träådring eller en tegelmur. De kan laddas in i från vanliga bildfiler. Naturtroget ljusfall kan skapas genom att ljus- eller skuggkägler beräknas i förväg och läggs in i texturerna. Ljusföringen blir statisk med modellen blir enklare att rendera och ställer lägre krav på datorns processorkraft. Texturerna lagras i *grafikminnet*, vilket stället krav på kraftfulla *grafikkort* istället.



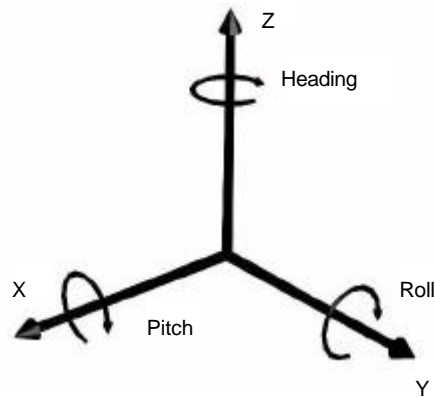
*Figur 4: Ljusfall i polygonmodell; endast de delar av sfären som belyses utifrån kastar skugga.*

#### Grafikkort

Grafikkortet tar över en del arbete som berör grafik och styrning av displayer från centralprocessorn.

#### Grafikminne

Grafikminnet avgör grafikkortets möjligheter att hantera texturer.



Figur 5: Axelikon med 6 DoF

## Navigation

Vid förflyttning i rymden i en virtuell miljö brukar termen *degrees of freedom (DoF)* användas. Den är ett mått på antalet möjligheter till lägesförändring. Maximal rörlighet innefattar 6 DoF (se figur 5), vilka är linjär rörelse längs X-, Y- och Z-axlarna samt rotation kring dem. Rotationerna benämns pitch, roll och heading och mäts i grader.

En beskrivning av hårdvara återfinns i Bilaga 2: 'Teknikfrossa', tillsammans med en rad länkar till intressanta hemsidor.

## Intervjufasen

Ett grundläggande steg i utvecklandet av en arkitektapplikation av Eon var, vid sidan av utvärderingen av programmet, att ta reda på hur arkitektkontoren arbetar idag och hur de avser arbeta i framtiden. Den naturliga metoden för detta var att välja ut och intervjua några arkitektkontor, främst i västsverige. Urvalet baserades på vad vi visste om olika kontor, deras storlek och förväntade IT-nivå. Vad gällde storlek undveks riktigt små kontor (under fem personer), men i övrigt intervjuades kontor med mellan 8 och 2400 anställda (SWECO, med filialer över hela landet och andra kunskapsområden än arkitektur). Vad gällde IT-nivån ville vi tala med ett eller två traditionellt arbetande kontor för att få någon form av referens. De övriga valdes bland kontor som vi ansåg vara progressiva på teknikfronten, eftersom dessa borde ha de bästa förutsättningarna för att ha välgrundade åsikter om teknik och för att komma med konstruktiva förslag om applikationens utformning. Vi gjorde ingående intervjuer med sju privata kontor och hade kortare kontakter med betydligt fler. Vid sidan av de privata kontoren besökte vi också stadsbyggnadskontoren i

Stockholm och Göteborg för att undersöka hur den kommunala verksamheten sköttes. Prosolvias försåg oss med en laptop så vi kunde visa Eon och få reaktioner på den befintliga versionen.

Inför intervjuerna ställde vi upp ett antal frågeställningar som vi kunde ha som diskussionsunderlag. I huvudsak berörde frågeställningarna kontorets nuvarande arbetsgång, dess nuvarande kommunikationsvägar och datoranvändning samt hur de trodde att branschen kommer att utvecklas. Vid sidan av detta avsåg vi diskutera VR i allmänhet med utgångspunkt i Eon.

Efter en första omgång såg vi att de flesta arkitektkontoren hade likvärdiga uppfattningar på många punkter, varför vi antog att de förhållanden vi hittat stämde för branschen som helhet. Med den grunden ansåg vi att det räckte med intervjuer bland arkitektkontoren. Däremot fanns ett behov av att kontakta andra konsulter, beställare och byggare, eftersom arkitekterna ofta refererade till dessa grupper och hävdade att det är de som har behov av rumssimuleringar i datormiljö. De flesta av arkitekterna ansåg sig, från en planritning, kunna bedöma ett rums utseende tillräckligt bra för att inte behöva något VR-system. Man kan fråga sig vad den inställningen bottnar i. Har arkitekter en exceptionellt väl utvecklad förmåga att förstå tänkta rumsliga samband, eller relaterar de en plan till tidigare upplevda rum? Kan de, i det senare fallet, föreställa sig hur ett rum av dittills icke upplevda proportioner kommer att te sig? Eller är det rent av så att inställningen bottnar i att de upplever sin yrkesroll som hotad, om vem som helst, med hjälp av ett VR-system, kan uppleva och forma ej byggda rum?

#### *Rendering*

Beräkning som skapar en 3D-bild ur bland annat geometriska och belysningstekniska data.

## Sammanfattning av intervjuer

### Allmänt

Samtliga privata arkitektkontor lägger stor vikt vid sin tekniska standard för att inte halka efter resten av branschen. Kommunikationsmediet för arkitektens arbete är fortfarande pappersritningar, inte elektronisk information. Därför är få beredda att gå i bränschen för nymodigheter som exempelvis 3D-användning och nya programversioner. Hög teknisk nivå på presentationer är inte avgörande för om man får ett uppdrag, men kan ge ett visst bidrag i rätt riktning. Inget kontor poängterar något speciellt behov av marknadsföring, de plockar istället in uppdrag genom kontakter, gott rykte eller tävlingar. Arkitekter föredrar i allmänhet abstrakta bilder, som konkretiserar de bärande idéerna i projektet och lyfter fram en önskad känsla, medan beställare har betydligt lättare att ta till sig innehållet i en neutral fotorealistisk *rendering*.

Projektgrupper sätts samman för att samla lämplig kompetens. Vad som betraktas som lämplig kompetens, och hur den skall samlas, skiljer något mellan kontoren.

De flesta arkitekterna sköter idag sitt ritande själva, dels för att man ritat och skissat samtidigt, dels för att det ger bättre kontroll över projekten. Ett fåtal gamla arkitekter vägrar dock fortfarande att befatta sig med datorritande och behovet av rena ritslavar har minskat betydligt.

Om man betraktar hela organisationen hos stadsbyggnadskontoren i Stockholm och Göteborg, ligger de på en allmänt låg IT-nivå. Utvecklingsavdelningar finns och på vissa områden är Göteborgskontorets bland de ledande i Europa, men den höga medelåldern bland medarbetarna bidrar starkt till att bevara



status quo. Båda kontoren tror starkt på Internet som en möjlighet att nå ut till kunderna - allmänheten.

Det finns redan möjlighet att hämta en digital 3D-karta från stadsbyggnadskontoret. Kartan innehåller idag enbart topografiska data men planer finns, att även införa enkla modeller av byggnader. Dessa kartor ingår i ett större system, *GIS*, som används för att i en databas knyta information till geografiska förutsättningar.

Datoranvändning, kommunikationer och miljökrav

Allt mer arbete sker digitalt. De flesta konsulter har nu tillgång till e-mail och skickar sina filer den vägen. Autodesk's DWG-format är allena rådande.

Faxen behåller en stark position eftersom den når alla aktörer och man kan göra lämpliga beskrivningar för att poängtera vad man vill visa

Trots de ökande möjligheterna till informationsöverföring upplevs fortfarande personliga kontakter som nödvändiga i de flesta fall. Även om man skickar material med e-mail upprätthålls den mänskliga kontakten via telefon. Om man har en *modempool* sker den viktigaste informationsöverföringen ändå på vanliga möten. IT-nivån ökar från entreprenör till beställare till konsult.

I stort sett allt ritarbete sker idag på datorer, men de fungerar fortfarande nästan uteslutande som elektroniska ritbord. AutoCAD, eventuellt med Point-applikation, används mest. AutoCAD's DWG-format har blivit en form av inofficiell branschstandard och dess utformning och kodning försvårar kommunikation med andra system exempelvis ArchiCad och MicroStation. Huvuddelen av kontoren upplever att

*GIS*

Geographic Information System

*Modempool*

Alla handlingar som tillhör ett projekt finns samlade på ett ställe, poolen. De inblandade konsulterna kan sedan hämta och lämna information i poolen via modem. Tjänsten utförs ofta av ett fristående företag, till exempel har kopieringsbyråer här funnit en nya marknad.

AutoCAD

[www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

Point

[www.cadpoint.se](http://www.cadpoint.se)

ArchiCAD

[www.graphisoft.com](http://www.graphisoft.com)

[www.lasercad.se](http://www.lasercad.se)

Microstation

[www.intergraph.com](http://www.intergraph.com)

[www.bentley.com](http://www.bentley.com)

3D-Studio se  
[www.ktx.com](http://www.ktx.com)

Photoshop se  
[www.adobe.com](http://www.adobe.com)

byggbranschen fortfarande är försiktig med att kräva uppgraderingar av programvara. I dagens situation styr lägst version. Detta är en följd av att branschen under högkonjunkturen köpte in en onödigt stor maskinpark, som efter kraschen i början av 90-talet inte använts i planerad omfattning. En annan orsak är att konsultföretagen ofta är små och arbetar med knappa vinstmarginaler.

Skanska är på väg att gå över till AutoCAD R14 WIN med Point 5. Programmet har valts på grund av sin storlek, vilken ses som en garanti för att det kommer att hålla i några år. Det är möjligt att Skanska, tack vare sin storlek, kan driva fram en generell uppgradering i branschen. Detta skulle i så fall leda till att AutoCADs ställning stärks ytterligare.

På arkitektkontoren används vanligen vektorbaserade layoutprogram, ibland i kombination med 3D-Studio och Photoshop, för framställning av presentationsmaterial. Specialister behövs ofta för att sköta dessa program. Många kontor använder AutoCAD för att ta fram perspektivstommar.

### 3D-användning

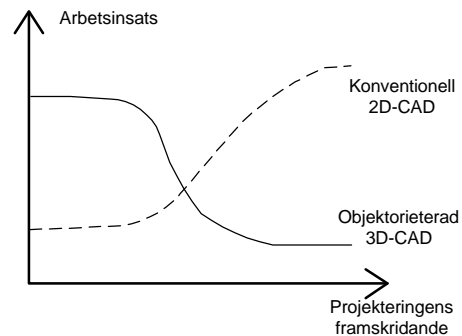
På grund av AutoCADs starka ställning på den svenska byggkonsultmarknaden och programmets nuvarande arbetssätt och utformning har endast ett fåtal konsultföretag kommit igång med 3D-användningen. Det krävs att beställaren och slutanvändaren börjar kräva 3D-presentationer för att detta skall bli aktuellt. Någon måste vara beredd att betala för eventuellt merarbete. LM Ericssons fastighetsbolag är en av de få beställare som redan nu kräver 3D-modeller från sina konsulter.

På de intervjuade kontoren används datorerna främst för framställning av ritningar. För de flesta är det viktigare att kommunikationen med övriga konsulter fungerar klanderfritt och att servern fungerar, än att kunna göra flashiga 3D-modeller.

På ett konstruktionskontor vi intervjuade såg man en möjlighet att genom 3D-användning kunna förutse krockar mellan olika system, till exempel konstruktion (K) och ventilation (VVS), men de hävdade att likaväl som det finns brister i dagens kontroller skulle 3D-modellerna kunna förbli ogranskade. Kontoret ansåg emellertid att felen ofta kan accepteras, eftersom de kan rättas till på byggplatsen. När vi däremot tog upp frågan med en representant för ett byggföretag, ansåg han att det är ett allvarligt problem som leder till stora merkostnader. Krockarna störde uppenbarligen inte konsulterna som orsakar dem lika mycket som de stör byggaren som måste reda upp dem. Byggaren ansåg att 3D-användning skulle spara mer pengar i byggskedet än vad konsulternas merarbete skulle kosta. Detta styrks delvis av forskning som utförts vid Institutionen för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation vid CTH (Josephson, 1994, 1996). Ingen av de intervjuade parterna funderade över värdet av den ökade estetiska kvalitet som ligger i en väljord lösning.

"ORSAKER TILL FEL I BYGGANDET - en studie om felorsaker, felkonsekvenser, samt hinder för inläring i byggprojekt"

"Kvalitetsfelkostnader på 90-talet - en studie av sju byggprojekt, Del I: Resultat", Per-Erik Josephsson, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation", Göteborg 1994, 1996



**Figur 6: Arbetsinsats för ett 3D-program jämfört med 2D.**

De nya objektorienterade CAD-systemen, som är på väg in på marknaden, är en förutsättning för att 3D-modeller skall komma att användas. Dessa i sin tur är en förutsättning för VR-användning i andra fall än stora paradprojekt. På ett arkitektkontor, som arbetar med objektorienterad 3D-modellering fick vi se ett diagram som visade arkitektens arbetsinsats under projekterings löptid (se figur 7). Två kurvor för arbete i 2D- respektive 3D-system presenterades. I 2D-systemet ökar arbetsinsatsen successivt. Allteftersom projekteringen fortskrider måste mer och mer information matas in i systemet. I 3D-systemet får man en stor arbetsinsats i inledningsskedet eftersom man från början arbetar med mycket information i modellen. I ett visst skede når man en brytningspunkt och arbetsinsatsen blir tyngre i 2D- än i 3D-systemet. Ju mer modelleringsprogrammen utvecklas, desto tidigare når man brytningspunkten.

Ett arkitektkontor som vi besökte hade gjort försök med att göra förändringar i sina utkast tillsammans med kunden. Man hade arbetat med 3D Studio mot en over head-display och gjort förändringar av färg och form vid mötesbordet. Arkitektens uppfattning var att försöket hade fallit väl ut och han var positiv till att fortsätta arbeta på det här sättet. En annan arkitekt vi talat med var däremot av motsatt uppfattning. Hon hade inte prövat arbetsmetoden, men hävdade att det ingår i arkitektens yrkesroll att bestämma åt kunden, som på sin höjd skall få ett fåtal alternativ att välja mellan.

Kommentarer om en VR-applikation för arkitekt- och byggbranschen

Programmet måste enkelt kunna användas med AutoCad, eller annat aktuellt projekteringsverktyg, annars blir det någonting

för specialister och kommer enbart att användas i enstaka fall. För att undvika extra kostnader måste programmet vara enkelt att arbeta med och det får inte kräva lång utbildning. Man skall kunna arbeta kontinuerligt med det parallellt med annat arbete. En applikation bör utformas som plug-in till befintliga modelleringsprogram.

Flera personer hävdade att vårt exempel, Clarus Eon, i sin nuvarande form hamnar mellan formgivning och presentation. Bildkvaliteten är otillräcklig för presentation men samtidigt alltför detaljerad för skissarbete. Dessutom saknas slag-skuggor, vilka är en nödvändig förutsättning för volymstudier. Det poängterades att man nog måste beakta vilken del av projekteringen programmet skall användas i, eftersom kraven varierar. VRs främsta fördel gentemot en fysisk modell är att man kan röra sig genom den digitala modellen på ett naturtroget sätt. Därför bör man koncentrera sig på att studera sekvenser och rörelser genom byggnaden. Man kan också med fördel utföra flödesstudier och tillgänglighetstester.

Pris och användargränssnitt måste ligga på rätt nivå för att VR-system skall kunna fungera och slå igenom i arkitektbranschen.

#### Framtidsscenario

De mer insatta av de personer vi talat med är övertygade om att användandet av 3D-modeller kommer att slå igenom i byggbranschen, på samma sätt som det slagit igenom i delar av den övriga tillverkningsindustrin. Det poängterades också att modellerna troligen kommer att bli bärare av mer information än den geometriska, som krävs för att beskriva formen. I ett väggelement bör det till exempel ingå information om hur väggen är uppbyggd, vilken brand- och ljudklass den har och

så vidare. Modellen kan då användas för mängdning och branddokumentation.

Flera personer nämnde också att det håller på att utvecklas standarder för hur modellfilerna skall vara uppbyggda. Ingen kunde dock förutsäga vilken standard som skulle bli gällande. Andra hävdade att de inte trodde på en gemensam standard utan ansåg att det förr skulle utvecklas bra konverteringsprogram. Hur eventuella standarder eller konverterare kommer att påverka AutoCADs ställning var det endast ett fåtal som ville uttala sig om. Det handlade då om användare eller försäljare av ArchiCAD som hävdar att deras program kommer att slå igenom, och att AutoCAD kommer att få det svårt i konkurrensen om de inte har sitt allena rådande DWG-format som säljargument.

### **Slutsatser efter intervjuer**

Arkitekt- och byggbranschen i Sverige är idag inte mogen för VR. Endast ett fåtal aktörer har låtit sina CAD-ritningar resa sig från planen eller sektionen. Så länge de övriga inte tar steget till den tredje dimensionen har de ingen naturlig väg till VR. Dess framtid ligger i de nya CAD-program, som använder den tredje dimensionen som en naturlig del av arbetet. När dessa införs beror främst på hur snart byggbranschen som helhet förstår att värdera användningen av 3D-modeller.

Bland de intervjuade arkitekterna var det ingen som trodde att införandet av VR-teknik kommer att innebära någon direkt revolution i arkitekternas arbetsmetoder. Systemet kommer antagligen att användas som ett av många medier för att få fram sina idéer. Fysiska modeller fungerar fortfarande bäst i de

flesta fall. Detta kan komma att ändras med den nya generation som är uppvuxen med datorer.

Ekonomiska aspekter anges ofta som de främsta hindren för att använda ny teknik. Många kontor hänvisar till att de är små företag på en svår marknad. Oprövad ny teknik innebär en ekonomisk risk som få är villiga att ta, såvida det inte finns eldsjälarna inom företaget, som driver utvecklingen eller är villiga att spendera många timmar av sin fritid för att undersöka och implementera nya system. En kostnad som sällan behandlas är den som inkörning av nya system innebär i form av utbildning, dels som kurskostnader och utebliven arbetstid, dels i form av långsammare arbetsförfarande i initialskedet. I oprövade system är det svårt att bedöma förtjänsterna och det går därför inte att väga dessa mot merkostnaderna. Den eventuella kvalitetshöjning som kan följa av VR-användning, bland annat i form av ökade estetiska värden och minskad mängd fel, är idag svår att värdera och arkitekten kan därför inte använda den för att motivera beställaren att betala för extra arbete och programvara.

En positiv faktor är den stora nyfikenhet som trots allt kan noteras hos de besökta arkitektkontoren. Bland det totala arkitektkontor vi har haft kontakt med har inget avböjt att bli intervjuat när vi presenterat syftet med arbetet. Ingen av de intervjuade har heller direkt avvisat tanken på VR som ett hjälpmedel.

## **Ny kurs**

Efter intervjufasen kunde vi fastslå att det i dagsläget inte fanns någon marknad för en ren arkitekturapplikation av Eon. Vi bestämde oss istället för att undersöka byggbranschen som helhet, för att utröna vilka positiva effekter man kan uppnå genom att simulera olika aspekter av en byggnad. De infallsvinklar vi koncentrerade oss på var bärkraft, estetik och ekonomi. Vår första slutsats var att det krävs en databas eller 3D-modell som bär både geometriska data och egenskaper hos byggnadens delar för att simuleringar skall vara möjliga. Som utgångspunkt för det vidare arbetet valdes byggnadens hela livscykel, vilken delades upp i ett antal delmoment. Dessa granskades sedan och ur resultatet gick det att bestämma ett antal områden, där det skulle vara möjligt att uppnå förbättringar genom datorsimuleringar. Tyngdpunkten i granskningen hamnade vid projekteringsstadiet, dels för att det var vår naturliga utgångspunkt som arkitekter, dels för att vi efter vårt första arbete hade fått grundläggande kunskaper om det stadiet.

En ny frågeställning som kom upp var huruvida VR är det bästa sättet att åskådliggöra simuleringsresultat och att navigera i en databas.

## **Bärkraft, estetik och ekonomi - Kulturpropositionen 1997**

Under våra intervjuer diskuterade vi ofta de ekonomiska aspekterna på datoranvändningen. Då kontoren arbetar under en stark ekonomisk press dyker alltid frågan upp om vad det kostar och vad det kan ge för vinst eller vem som skall betala. Allt värderas i pengar och vi försökte därför se vilken



ekonomisk vinning det kunde ge att använda VR. Vinsten för arkitekter var svår att se. Däremot finns det vinster som inte är lätta att mäta efter ekonomiska normer. Estetiska värden ger förhoppningsvis framtida förtjänster om arkitekter kan få fler uppdrag för att de ritar tilltalande hus, men är i övrigt starkt undervärderade. Bärkraftiga aspekter försvinner också lätt, då de hittills inte haft någon prislapp. Bygger man för ett i längden hållbart samhälle kostar det mer att projektera, då det inte finns färdiga lösningar och riktlinjer anpassade till dagens produktion. Bärkraft och estetik är alldeles för viktiga för att ignoreras med ekonomiska argument, och vi vill därför poängtera dessa. Det samma gör regeringen som i miljö- och framför allt i kulturpropositionen poängterar vikten av starka estetiska värden och hög kvalitet. Det heter bland annat:

*"Kvalitet och skönhetsaspekter bör inte underställas kortsiktiga ekonomiska överväganden*

*/.../*

*Vi har idag en större medvetenhet om att gränserna för vår verksamhet måste sättas av vad miljön tål av resursuttag och deponering - av ett produktcykelperspektiv. Detta perspektiv gör det än mer angeläget att förlänga livslängden på våra investeringar. Ett bra sätt att göra detta är att ge våra produkter en hög kvalitet - inte minst estetiskt. Estetiska och andra immateriella värden höjer dessutom bruksvärdet."*

Som skäl till propositionen anges:

*"Arkitektur och formgivning är kulturyttringar som vi ständigt och oundvikligen kommer i kontakt med. Det är en angelägen*

*kulturpolitisk uppgift att säkerställa hög kvalitet i den byggda och formade miljön med utgångspunkt i människans behov av väl fungerande, konstnärligt genomarbetade och stimulerande omgivningar.*

*/.../*

*En omsorgsfullt gestaltad miljö är av betydelse för vårt välbefinnande. Hög kvalitet i arkitektur och formgivning innefattar en väl sammanvägd helhet av funktionella, tekniska, ekonomiska, miljömässiga, sociala och estetiska krav. Arkitektur och formgivning rör också medmänskligt ansvar, brukbarhet, uthållighet och ekologi.*

*/.../*

*Knappast någon annan företeelse säger så mycket om samhällets resurser och resursfördelning, om beslutsstrukturer, verkliga prioriteringar, värderingar och smakföreställningar, kort sagt om vår kultur.”*

(Utdrag ur Proposition 1996/97:3, kapitel 12 )

Regeringen tycks alltså lägga stor vikt vid arkitekturen som kulturyttring, och som en förutsättning för medborgarnas välbefinnande. Emellertid är det enda konkreta förslaget till hur förbättringarna skall genomdrivas att *”offentligt och offentligt stött byggande, inredande och upphandling blir förebildligt i sina kvalitetskrav”*. Varken fler eller mer kraftfulla åtgärder anges. Regeringen är samtidigt medveten om svagheter hos de myndigheter som skall pröva byggfrågor. I propositionen heter det att de *”saknar idag tillräckligt inflytande, och ibland också kompetens, för att påverka den arkitektoniska kvaliteten.*

Den kompletta texten kan laddas ner från  
[www.regeringen.se/info\\_rosenbad/departement/  
kultur/kulturpolitik/kulturprop.html](http://www.regeringen.se/info_rosenbad/departement/kultur/kulturpolitik/kulturprop.html)

*Betoningen av tekniska och ekonomiska överväganden har bidragit till gestaltungsfrågans svaga ställning."*

Det finns i propositionen uttryckt önskemål om ett bättre fungerande samspel mellan byggbranschens aktörer. Samspelet måste förbättras för att arkitekturen inte skall komma till korta. *"Utan byggherrar med höga ambitioner är det svårt att skapa god arkitektur. Utan producenter och konsumenter med kunskap och intresse för produktens form och gestaltning kommer den bästa formgivare till korta. Det är byggherren och producenten som väljer arkitekt och formgivare och som bestämmer de ramar som de kan arbeta inom."*

De som bygger husen borde ha ett större intresse av en god projektering. Fel som måste rättas till kostar pengar, både i arbetskraft och material, och om VR kan minska mängden fel finns det ekonomiskt underlag för tekniken. Här dyker också den bärkraftiga aspekten upp. Färre fel ger mindre avfall, och en god projektering kan minska transportbehovet och minska påverkan i närmiljön. Steget från bärkraft till ekonomi är inte heller så långt. Straffavgifter för avfall och negativ miljöpåverkan finns i många länder, och miljödebatten leder till att miljövänliga hus får kosta lite mer.

Den som i första hand bör ta hänsyn till kostnaderna är den som slutligen skall äga och förvalta byggnaden. Förvaltaren får med en bärkraftig byggnad en lägre energianvändning, vilket minskar driftskostnaden. Bärkraftiga hänsynstaganden ger i dagsläget goodwill, men bör i framtiden bli en nödvändighet. En estetiskt tilltalande byggnad bör vara lättare att hyra ut, och VR kan hjälpa till att bära fram byggnadens värden. Rena ekonomiska fördelar ser vi också, men mer om detta följer...

Se även:

"Den digitala byggplatsen är här", Svante Berg,  
Nordisk Infrastruktur, 1/1996, s 12-14

"Om 3D-Simulering i miljöns tjänst", Stein  
Knibestöl, Verkstadsforum, 3/1997, s 46-51

*GIS*

Geographic Information System

### 3D-modellen och dess möjligheter

3D-modellen innehåller inte bara en geometrisk beskrivning utan även övrig information som kan relateras till byggnaden. Den geometriska delen kan liknas vid den geografiska planen i dagens GIS-databaser, den fungerar som navigations-instrument men innehåller i sig själv information. Databasen bör sedan följa med byggnaden under hela dess livscykel, dels för att undvika att värdefull information försvinner, dels för att inte behöva inhämta samma uppgifter igen vid t ex om- och tillbyggnad. Sökning i databasen kan ske genom att man i VR söker det objekt man vill veta mer om, och begär önskad information. Det kan vara sådant som finns i databasen eller en länk vidare till tillverkare eller dylikt.

Databasen ger ett värdefullt tillskott som referensobjekt. Kunskapsåterföringen från byggare och förvaltare tillbaka till arkitekter och projektörer är idag obefintlig, men en databas med tillgängliga erfarenheter är en bra utgångspunkt även vid nybyggnad. Ett referensobjekt kan vara en fiktiv byggnad som speglar ett kontors erfarenheter eller en dokumenterad befintlig byggnad. När väl användandet av databasmodeller kommit igång finns det en omfattande kunskapsbank. Risken finns naturligtvis att ett väl fungerande referensobjekt används om och om igen, men förhoppningsvis kan utvecklingen styras till att referensobjekt istället blir en bra grund till en rik och kreativ designprocess.

Databasen bör i framtiden kunna fungera som en juridisk handling och vara platsen där man noterar alla ändringar som rör byggnaden. Idag är ritningar och fax bindande.

3D modellen kan fungera som diskussionsunderlag och mötesplats för möten relaterade till byggnaden. Projekterings-

möten kan hållas via Internet och möteslokalen kan vara en virtuell konferenslokal eller den design som berörs. Arkitekten kan promenera runt i byggnaden tillsammans med kunder eller konsultgruppen och förklarar sina intentioner. El- och ventilationskonsulterna kan diskutera hur deras respektive installationer skall dras för att inte kollidera. Arkitekten kan direkt bedöma och kommentera förslagen ur estetisk synvinkel. Den sakkunnige i miljöfrågor kan på samma sätt hela tiden finnas med i bakgrunden och göra bedömningar av den aktuella byggnadsdesignens miljöpåverkan.

Om man i en 3D-modell utnyttjar tiden som en fjärde dimension erhåller man ett än mer kraftfullt verktyg för att studera och planera för byggnadens hela livscykel, till exempel under byggskedet, för att studera slitage och för att planera in renoveringstillfällen.

Se även projekten Greenspace I och II hos HITL  
[www.hitl.washington.edu/projects/greenspace/](http://www.hitl.washington.edu/projects/greenspace/)

eller projektet DIVE hos svenska SICS  
[www.sics.se/dce/dive/dive.html](http://www.sics.se/dce/dive/dive.html)

4D-CAD se  
[gaudi.stanford.edu](http://gaudi.stanford.edu) →4D-CAD →INTRO-4DCAD.html

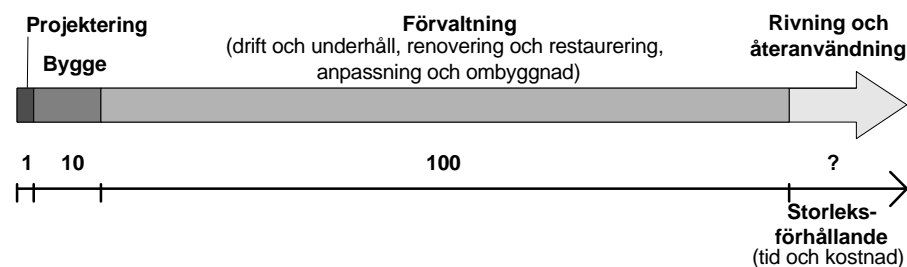
Se även:

"Visualisation in the Integrated IT design process",

[www.caad.lth.se/research/visa/](http://www.caad.lth.se/research/visa/)

## Byggnadens livscykel

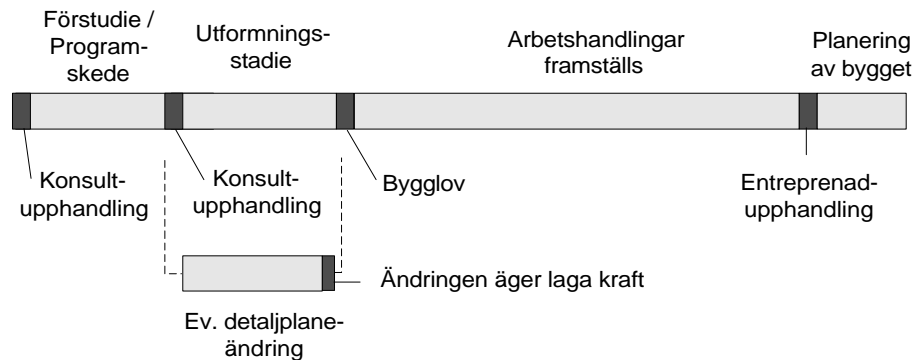
Byggnadens livscykel kan delas upp i fyra delar; *projektering*, *bygge*, *förvaltning* och *rivning/återanvändning*. En i branschen allmänt vedertagen siffra anger att tidsperspektiv och kostnaderna för de tre första delarna har förhållandet 1:10:100. (se figur 7) Kostnaderna för fel, uppkomna under samma perioder, har ungefär omvända proportioner.



Figur 7: Byggnadens livscykel.

## Projekteringen

*Projekteringen* är den process där byggnaden överförs från en idé eller ett behov till konkreta planer för hur den skall uppföras. (se figur 8) Den vanligaste formen av projektering inleds med att en beställare upptäcker sitt behov och *upphandlar en konsult* för att denne skall utföra en förstudie och skriva en kravspecifikation, *program*, för byggnaden. Efter det följer ytterligare en *konsultupphandling* för att samla nödvändig kompetens till en konsultgrupp. Gruppen gör under *skisstadiet* en grundläggande design för byggnaden, som skall användas för att söka *bygglov* från ansvarig myndighet. Om intentionerna med byggnaden bryter mot gällande detaljplan,



**Figur 8: Projekteringsfaser.**

genom att man exempelvis vill placera en verksamhet inom ett bostadsområde eller bygga utanför gällande byggrätt, utformas parallellt ett förslag till ny detaljplan. När byggnadsdesignen godkänts och eventuell *detaljplaneändring* vunnit laga kraft, framställs *arbetshandlingar* för bygget. I dessa ingår en komplett specifikation för byggnadens utformning, *förfrågningsunderlag*, och konstruktion. Handlingarna används sedan dels som förfrågningsunderlag i *entreprenadupphandlingen*, dels som byggbeskrivning. Den sista delen av projekteringsstadiet berör *planeringen av byggets genomförande*.

Exemplet beskriver någon form av general- eller delad entreprenad, men det är mycket generaliserat. Projekterings utförande varierar mycket, bland annat beroende på just entreprenadform. Det är inte ovanligt att projekteringen av interiören fortfarande pågår efter byggstart.

## Utformning

Arkitekten kan vara närvarande i sin byggnad under tiden som designen växer fram. VR används för att visualisera konsekvenserna av designen med avseende på volym, ljus,

Se även;

"Architects early sketching on computer using Multimedia", Jonas af Klercker, 1995,

[www.caad.lth.se/research/visa/](http://www.caad.lth.se/research/visa/)

"Psychological Issues of Virtual Environment Interfaces, A CHI 96 Workshop", Casey Boyd, Rudy Darken, 1996,

[www.acm.org/sigchi/bulletin/1996.4/boyd.html](http://www.acm.org/sigchi/bulletin/1996.4/boyd.html)

*Augmented reality* (=utökad alt. förstärkt verklighet)

Den konstgjorda och den verkliga världen blandas. Den konstgjorda miljön visas, med olika tekniska hjälpmedel, som en överlagrad bild och används för att förstärka eller förvränga olika aspekter i den verkliga världen.

"ORSAKER TILL FEL I BYGGANDET - en studie om felorsaker, felkonsekvenser, samt hinder för inläring i byggprojekt"

"Kvalitetsfelkostnader på 90-talet - en studie av sju byggprojekt, Del I: Resultat", Per-Erik Josephsson, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation", Göteborg 1994, 1996

material, färg och funktion med mera. Byggnadens förhållande till omgivningen kan visualiseras med fler betraktningsvinklar än ett fotomontage, och ändringar syns direkt från alla håll. Eftersom man kan vara närvarande i och omkring sin design och röra sig genom modellen på ett realistiskt sätt, kan man bättre utvärdera flöden i byggnaden och sekvenser som bygger på rörelse.

VR kan vara med redan från första början. Enkla volymsstudier kan göras på en digital karta från ett stadsbyggnadskontor, där topografi och befintliga hus finns som volymer. Enkla geometriska former kan sättas ihop, förlängas, färgläggas etc, och bli en grund för vidare arbete där man hela tiden ger mer och mer innehåll till samma modell/databas. Hur mycket av arbetet som är lämpligt att utföra i VR är däremot svårt att bedöma. Människan upplever sin omgivning i tre dimensioner, men orienterar sig troligtvis i ett tvådimensionellt plan, beroende på att det är en yta som bär henne, och har lättare att bedöma och jämföra avstånd på en plankarta (Boyd). En kombination av en tredimensionell miljö och en tvådimensionell arbetsyta kan kanske vara en lämplig lösning. Arbetsytan kan då bestå av ett objektsorienterat CAD-program, som utväxlar information med VR-miljön.

Med *augmented reality* kan man på det aktuella området åskådliggöra sina idéer, visa olika förslag och införa ändringar direkt på platsen.

Genom att arkitekten får bättre insikt i sin egen design kan mycket tillföras projekteringen. Förutom att det är ett gestaltningsmässigt stöd finns det även en ekonomisk vinning att göra. Studier på Chalmers har visat att mycket av den relativt stora kostnad för fel som måste åtgärdas i en byggnad,



kan härledas till projekteringen och arkitektens arbete (Josephsson 1994, 1996).

#### Visualisering av beräkningsresultat

Till 3D-modellen kan man knyta olika beräkningsmodeller av till exempel luftflöden i och omkring byggnaden. Resultaten visualiseras i VR-miljö och uppdateras kontinuerligt när de fysiska förutsättningarna ändras. Fler beräkningar som kan presenteras på detta sätt är energiförluster, ljus- och värmeinstrålning genom glaspartier, belysningens ljus- och värmeutstrålning, statik, flöden av olika slag etcetera. Alla dessa program finns redan idag men de hanteras var för sig av olika konsulter. De uppgifter som behövs tar var och en fram från ritningar, istället för att utnyttja en fullmatad databas. Ett bra VR-program skulle direkt kunna åskådliggöra komplicerade förhållanden och underlätta förståelsen för medkonsulternas argument.

En byggnads energianvändning är betydande under dess livslängd. Det är av stor vikt för att skapa ett bärkraftigt samhälle, att optimera alla delar till att ge så liten påverkan på omgivningen som möjligt. Ett datorprogram kan inte ersätta den kunskap som behövs, men det kan vara ett bra stöd i projekteringen. Det finns t ex en mängd regler för belysningsstyrka i arbetslokaler, men det finns inga direkta direktiv för hur värdena skall uppnås. Ofta blir lösningen fler energislösande armaturer i taket, istället för funktionella och välriktade ljuskällor. En kunnig person kan pröva olika förslag i modellen för att få en energieffektiv och estetiskt tilltalande lösning.

Minskar man energianvändningen får man på sikt dessutom en ekonomisk vinst, vilket borde vara en morot för dem som skall

förvalta byggnaden att lägga ytterligare resurser på projekteringen.

#### Presentation för kund / beställare

Arkitekten eller projektledaren kan för beställaren presentera byggnaden ur olika aspekter, exempelvis rumssamband och funktionslösningar. Man kan låta kunden själv gå omkring i VR-miljön, arkitekten kan visa runt kunden eller också kan arkitekten ta fram ett presentationsmaterial ur miljön, så som förfinade fotorenderingar och animationer. Kundens förmåga att förstå hur en blivande byggnad kommer att upplevas, underlättas betydligt om byggnaden kan visualiseras så lik det slutliga resultatet som möjligt. Mer om detta finns i Bilaga1: Forskning.

En kundkategori som ofta glöms bort är medborgaren i den demokratiska staten. Stadsbyggnadskontoret har en skyldighet att informera allmänheten i sina ärenden och där erbjuder Internet ett sätt att enkelt nå ut till många människor. VR kan ge information på ett *interaktivt* och lättförståeligt sätt .

#### Planering av bygget

Före byggstart kan hela byggskedet simuleras genom att 3D-modellens delar kopplas till ett planeringsprogram. Detta ger underlag för att planera hur byggplatsen kan organiseras för att logistiska flöden skall fungera optimalt. Undviker man problem finns det inte bara pengar att tjäna, det kan även leda till minskade mängder byggavfall och transporter och därmed mindre negativ miljöpåverkan.

#### *Interaktivt*

Ömsesidigt påverkande. Användaren har möjlighet att påverka miljön som betraktas.

## Bygge

### Bygganvisning

3D-modellen bör även innehålla information om hur, och i vilken ordning, byggnaden skall uppföras. Det skulle innebära att man kan studera eller ta ut planer på modellen i byggnadens aktuella byggskede, och få reda på vilka uppgifter som står på tur. Databasen kan innehålla instruktionsdokument eller filmer, riktiga eller datoranimerade, som underlättar komplicerade uppgifter. Genom att visa hur varje del bidrar till helheten ökar man förståelsen för det arbetsmoment som skall utföras, vilket förhoppningsvis kan höja kvaliteten.

Modellen kan länkas till en bärbar dator hos en *utsättare*. Tillsammans med ett trackingsystem kan datorn presentera nästa arbetsuppgift direkt på dess plats genom *augmented reality*. Detta kan även visa var det finns skymda objekt, till exempel ledningar i en vägg.

*utsättare*

Person på bygge som markerar hur byggnadens delar skall placeras.

### Projektstyrning

Under byggets framskridande överförs de planerade byggnadsdelarna till en relationsmodell allt eftersom de färdigställs. Jämförelse mellan planeringsmodell och relationsmodell / verklighet ger snabbt en uppfattning om hur projektet fortskrider i förhållande till tidplan. Vid förseningar har man ett verktyg för att överblicka följderna och att justera kommande verksamhet.

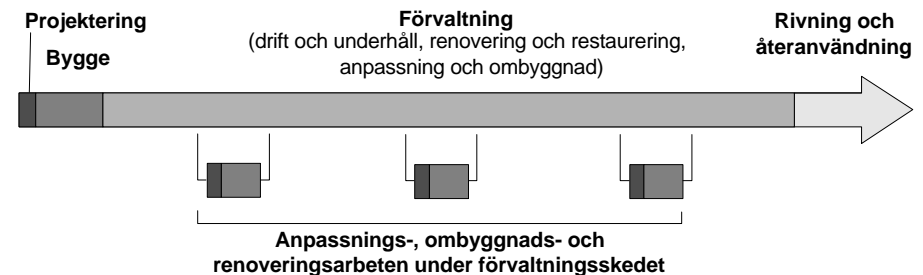
## Förvaltning

### Manual till byggnaden

Manualen är den del av databasen som beskriver åtgärder för byggnadens drift och underhåll. Den innehåller till exempel allt om hur ventilationssystemet fungerar och hur dess delar ser ut och skall skötas. Sökning i systemet kan ske genom att man rör sig i byggnaden och/eller modellen fram till aktuellt objekt och efterfrågar mer information. Hur informationen hämtas och presenteras skall inte begränsas av programmet som läser modellen, den skall bäras fram på ett lämpligt sätt. Likt bygganvisningen kan skötselanvisningar vara dokument eller videofilmer, med en tidsplan över när underhåll ska ske och vilka delar som berörs. Vem som matar in instruktionerna är inte det viktigaste, utan att inga intentioner förloras på vägen och att informationen är lätt att förstå.

### Anpassning, ombyggnad

Under förvaltningsskedet utförs vanligen flera åtgärder i byggnaden för anpassning och renovering (se figur 9). De



*Figur 9: Förvaltningsskedet med återkommande åtgärder.*

består av projektering och byggsked och förfarandet liknar det

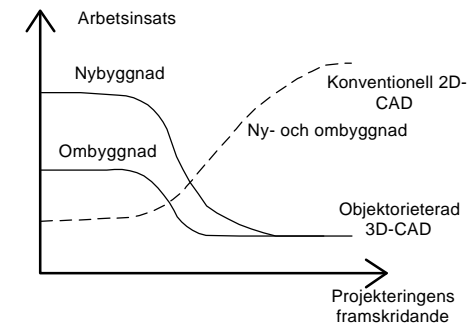
som inleder byggnadens existens. 3D-modellen fungerar som stomme vid skissning för ny kund eller hyresgäst. I och med att all information redan finns i modellen, slipper man arbetet med att lägga in det befintliga utseendet. Konsekvenserna av förändringar syns direkt, exempelvis hur bärande element är placerade och vad som händer om man vill ta upp öppningar i dem, var ventilationskanaler är dragna, hur energibehovet påverkas med mera. Det här är till stor del det samma som utförs i projekteringen. Principdiagrammet i figur 10 visar ungefärlig arbetsinsats för ny- respektive ombyggnad i ett 3D-system och jämför detta med ett konventionellt 2D-system.

#### Säljstöd och presentation för kund

Vid försäljning av fastigheter och uthyrning av lokaler finns i modellen uppgifter om ytor, byggnadens beskaffenhet, ledningsnät och annat som underlättar kommunikationen mellan mäklare och kund. VR kan visa sådant som inte syns i siffror på ett kalkylblad, nämligen hur kvadratmetrarna upplevs och lämpar sig för sin tänkta funktion.

#### Feed-back

Planerade förändringar registreras som gjorda i relationsmodellen när de är genomförda. Dålig disciplin kan leda till att problem uppstår ifall förändringar inte rapporteras till modellen. Händelser och erfarenheter under byggnadens brukande förs in i en loggbok, så att man kan hålla reda på när olika förändringar gjorts och hur de har påverkat byggnaden. Man kan jämföra mätresultat med de simuleringar som utförts under projekteringen och förbättra dessa till gagn för framtida byggnader samt ingrepp i befintligt bestånd. Loggboken kan



**Figur 10: Arbetsinsats vid ombyggnadsprojektering med 3D-modell jämfört med konventionell 2D-CAD. Diagrammet är en utveckling av figur 7.**

också användas till att förebygga uppkomsten av nya problem i byggnaden.

### **Rivning och återvinning**

#### Specifikation av innehåll

När byggnaden har tjänat ut och det är dags att demontera den, finns i databasen information om vilka material som finns i byggnaden och var de är placerade. Det är därför lätt att lokalisera såväl återanvändbara delar som miljöfarligt avfall. Informationen kan läggas ut på Internet innan rivningen görs, för att underlätta hanteringen och handeln med byggdelarna.

#### Rivningsplan

Vänder man på bygghandledningen har man en god stomme till en rivningsplan. Detta kan underlätta för en varsam rivning och återanvändning av byggdelar.

## **Slutsatser**

### **Vilka möjligheter har Virtual Reality som ett nytt arbetsredskap för arkitekt- och byggbranschen?**

#### Utveckling

Det som idag framstår som den troliga fortsättningen i utvecklingen av byggbranschens digitala projekteringshjälpmedel är objektsorienterade 3D-modeller. CAD-programmen utvecklas från digitala ritbord till digitala modellverkstäder. De olika projekteringskonsulterna arbetar med specialiserade applikationer mot en gemensam databas. Abstraktionen av det byggda ökar i ett hänseende, då sådant som tidigare beskrevs av kartongmodeller eller tuschlinjer på plastfilm överförs till binär kod i ett dataminne. Samtidigt ökar detaljeringsgraden, eftersom modellen hanteras som data i en databas och betydligt mer information kan lagras i dess olika element än vad som är möjligt i en analog motsvarighet.

VR-systemen blir ett naturligt sätt att arbeta med modellen, tack vare att de påminner om det sätt som människan är van att uppleva rum och att söka information i dem. Det är givetvis även möjligt, och ibland mer effektivt, att betrakta och bearbeta modellen i plan, sektion och detalj.

#### **Förutsättningar för att etablera användandet av ett VR-system i byggbranschen**

Allmänt användande av 3D-modeller är den grundläggande förutsättningen för att VR-system skall komma i bruk. Det finns i dagsläget inte något arkitektkontor som är berett att skapa 3D-

modeller enkom för att kunna betrakta designen i en virtuell miljö. Endast ett fåtal projekt har en budget som tillåter att modeller skapas för presentationen. Det krävs också att andra aspekter än rent estetiska kan undersökas, då det är enklare att påvisa ekonomiska förtjänster hos dessa. 3D-modellen fungerar idag inte som bygghandling och har inte status av juridiskt dokument.

Ekonomiska förutsättningar kräver också att programmet är kompatibelt med konsultens övriga mjukvara och kan köras med tillfredsställande resultat på samma datorer som dessa. Användargränssnittet måste vara så enkelt att brukaren inte behöver omfattande utbildning för att kunna arbeta med programmet. Då ytterst få byggkonsulter har råd att anställa extra personal, måste det vara användbart för personer som normalt utför andra arbetsuppgifter.

#### Fördelar med VR-system

En självklar användning av VR är att presentera idéer, för sig själv och för andra, för medarbetare, beställare och allmänheten. Det mest naturliga sättet att uppleva rum är inifrån, något som kan erfaras dynamiskt på två sätt, genom en fysisk modell i stor skala eller genom ett VR-system. I en fysisk modell blir proportionerna korrekta men det blir inte avstånden om modellen inte är i skala 1:1. I VR-systemet blir proportionerna korrekta och det är teoretiskt möjligt att ha en modell i vilken man kan variera skalan och även att töja rummet i en eller två riktningar. En likhet mellan de bägge modelltyperna är att detaljeringsgraden ökar ju mer arbete man lägger ner på dem. Oberoende av likheter och skillnader mellan VR-system och andra medier får man inte glömma att de alla är



redskap för kommunikation och inget av dem är något ändamål i sig.

En oomtvistlig fördel hos VR-systemet, är den objektivitet som blir resultatet av att låta betraktaren röra sig fritt i miljön. I ett perspektiv, en fotorendering eller en animation utsätts han för en större grad av regi vad gäller val av betraktningspunkter, bildvinklar och synfält. En VR-förespråkare kan dessutom hävda att en virtuell miljö, genererad ur en modell med hög detaljeringsgrad, är mer objektiv än ett perspektiv, ritat för att framhäva kvaliteter hos designen. Förutsättningarna för sanningsenliga presentationer är bättre för ett VR-system, då det kräver en mindre arbetsinsats än det gör att konstruera ett komplett perspektiv. I perspektivet har obehagliga detaljer som stör ordningen en viss tendens att försvinna. Detta är dock en sanning med modifikation, då attityden till korrekt återgivning finns hos den som producerar presentationen, inte hos mediet.

Begränsningen för att skapa sanna presentationer ligger inte längre hos mediet eller den arbetsmängd som krävs, den ligger istället i projektörens vilja eller mod att visa designen sådan som den verkligen kommer att se ut när den är byggd.

Realtidsrendering möjliggör interaktivitet på ett sätt som inte är möjlig med andra statiska eller förrenderade system. Det här ger möjlighet att från VR-systemet göra större förändringar i en modell med momentan verkan. Interaktiviteten leder vidare till att närvarokänslan i miljön förstärks genom att det finns möjlighet att påverka olika objekt.

## **Är arkitektens arbetsmetoder användbara och kan stödja arbete utanför byggbranschen?**

### Projektarbete

Stor del av allt arkitektarbete sker i projektform, och det är därför naturligt att principerna för det arbetssättet lärs ut vid en arkitektutbildning. Att projekt drivs inom andra branscher var vi medvetna om sedan tidigare, frågan var nu hur den speciella form av projekt vi lärt oss fungerade i en annan omgivning.

### Arkitektens arbetsmetoder

Vilken form har då arkitektens projektarbete? Det första som kan konstateras är att nästan alla projekt som skall resultera i en byggnad, på grund av sin komplexitet, kräver inblandning av flera konsulter i någon slags sam- eller grupparbete. Därför är också projektarbeten i grupp vanliga under skoltiden. Arbetet kan sedan delas in i tre kategorier eller stadier som ibland upprepas och överlappar varandra. Målet med det första stadiet är att definiera vilka problem som skall lösas. Nästa stadium innebär att information, som behövs för att lösa problemen, inskaffas genom bland annat inventering, intervjuer och litteraturstudier. Det följande stadiet syftar till att, med hjälp av problemformuleringar och inhämtad information, skapa en fungerande lösning. Arbetet är hela tiden cykliskt, olika lösningar prövas och förkastas eller godtas, lösningar leder till behov av ny information, nyfunnen information leder till nya problemställningar som behöver lösas. Så fortsätter arbetet tills en godtagbar helhetslösning uppnås. Kärnan i arbetet ligger alltså i att finna problemen och därigenom förstå vilken information som behövs för att lösa uppgiften.

## Arkitektens metoder i databranschen

I vårt examensarbete har vi befunnet oss i en gränszon till byggbranschen då vi arbetat med en arkitekt- eller byggapplikation av Clarus Eon. Vi har dock inte arbetat i byggbranschen, utan i en nisch av databranschen som vår erfarenhet som arkitekter gjort oss speciellt lämpade för.

Vad gäller användandet av erfarenheter från arkitektutbildningen, kan vi konstatera att de fungerar bra även för de här arbetsuppgifterna. Grupparbetet som form har varit ett stort stöd under hela arbetet, då det ofta hjälpt oss när vi kört fast eller en av oss fått tunnelseende runt det han skrivit. De tre projektstadierna har fungerat som ett naturligt schema för arbetet och det har hela tiden stått klart vad som varit nästa steg.

Vi har i dagsläget inte arbetat med att utforma arkitektmodulen av Eon, men det finns ingenting som pekar på att det skissarbete arkitekten normalt använder inte skulle fungera.

## Arkitekter för design av virtuella miljöer

En arbetsuppgift som är en naturlig utökning av arkitektens traditionella fält, är utformning av virtuella miljöer. Likaväl som det krävs arkitektkunskap för att skapa funktionella och estetiskt tilltalande fysiska miljöer, krävs det att den som skall utforma en digital miljö kan sin sak för att designen skall bli lyckad. Och vem, om inte arkitekten, har kunskap om hur man utformar en estetiskt och funktionellt välplanerad organisation på ett tilltalande sätt?

Se även:

"Vers Une Architecture Virtuelle...", Dace A Campbell, 1994,

[www.hitl.washington.edu/people/dace/portfolio/arch560.html](http://www.hitl.washington.edu/people/dace/portfolio/arch560.html)

"Community and Environmental Design and Simulation, The CEDeS Lab at the University of Washington", James N Davidsson, 1996,

[www.hitl.washington.edu/people/dace/portfolio/cedes.html](http://www.hitl.washington.edu/people/dace/portfolio/cedes.html)

"När väggarna kan tala", Claes Caldenby, artikel i Göteborgs-Posten, 19/1 1998, sidan 36

Som avslutning vill vi använda ett citat som vi lånat från Claes Caldenbys artikel om den framväxande cyberrymden:

*"Det här håller på och händer just nu och det är alltför stort och viktigt för att lämnas i händerna på teknikerna."*

## Referenser

### Publikationer på Internet

"Does Immersion Make a Virtual Environment More Usable?",  
Casey Boyd, 1997,

*[www1.acm.org:82/sigs/sigchi/chi97/proceedings/short-talk/cb.htm](http://www1.acm.org:82/sigs/sigchi/chi97/proceedings/short-talk/cb.htm)*

"Psychological Issues of Virtual Environment Interfaces, A CHI  
96 Workshop", Casey Boyd, Rudy Darken, 1996,

*[www.acm.org/sigchi/bulletin/1996.4/boyd.html](http://www.acm.org/sigchi/bulletin/1996.4/boyd.html)*

"Vers Une Architecture Virtuelle...", Dace A Campbell, 1994,

*[www.hitl.washington.edu/people/dace/portfoli/arch560.html](http://www.hitl.washington.edu/people/dace/portfoli/arch560.html)*

"Community and Environmental Design and Simulation, The  
CEDeS Lab at the University of Washington", James N  
Davidsson, 1996,

*[www.hitl.washington.edu/people/dace/portfoli/cedes.html](http://www.hitl.washington.edu/people/dace/portfoli/cedes.html)*

"Impossible Figures in Perceptual Psychology", Kevin Fink,  
1991

*[www.fink.com/papers/impossible.html](http://www.fink.com/papers/impossible.html)*

"Spatial Perception in Virtual Environments: Evaluating an  
Architectural Application", Daniel Henry

*[www.hitl.washington.edu/publications/henry/home.html](http://www.hitl.washington.edu/publications/henry/home.html)*

"Visualisation in the Integrated IT design process",  
"Architects early sketching on computer using Multimedia",  
Jonas af Klercker, 1995,

[www.caad.lth.se/research/visa/](http://www.caad.lth.se/research/visa/)

"Virtual Environments and Visual Depth Cues", Jonathan  
Pfautz, 1997,

[www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html](http://www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html)

"Virtual Reality: Heir apparent to CAD", Céline Pinet, 1996,

<http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JCAEDE/v1n1/fall96/1-97pinet.html>

"Research in 3D user interfaces", Ivan Poupyrev, 1994,

[www.isl.hiroshima-u.ac.jp/~poup/research/publish/lookfwd.html](http://www.isl.hiroshima-u.ac.jp/~poup/research/publish/lookfwd.html)

"Usability and Learning in Educational Virtual Realities",  
Marilyn C Salzman, Chris Dede, R Bowen Loftin, 1995,

[www.virtual.gmu.edu/usabpdf.htm](http://www.virtual.gmu.edu/usabpdf.htm)

"kap12 Arkitektur och formgivning", Del av kulturpropositionen,  
Prop. 1996/97:3,

[www.sb.gov.se/info\\_rosenbad/departement/kultur/kulturpolitik/prop3b.pdf](http://www.sb.gov.se/info_rosenbad/departement/kultur/kulturpolitik/prop3b.pdf)

## Tryckt material

### Tidningsartiklar

"Den digitala byggplatsen är här", Svante Berg, Nordisk Infrastruktur, 1/1996, s 12-14

"När väggarna kan tala", Claes Caldenby, artikel i Göteborgs-Posten, 19/1 1998, sidan 36

"Om 3D-Simulering i miljöns tjänst", Stein Knibestöl, Verkstadsforum, 3/1997, s 46-51

"The Outlook for Head-Mounted Displays", författare okänd, Real Time Graphics, 2/1997, 1-16

"The Visual Image in Mind an Brain", Semir Zeki, Scientific American, september 1992, s 43-50

### Böcker

"Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality", Daniela Bertol, John Wiley&Sons Inc, New York, 1997

"Communication in the Age of Virtual Reality", Frank Biocca, Mark R Levy, Lawrence Erlbaum Associates Inc, Hillsdale, New Jersey, 1995

"Se Människan: Psykologi för gymnasieskolan", Leif-Åke Fröjelin, Kjell Åhslund, Almqvist&Wiksell Läromedel, Solna, 1987

"Neuromancer", William Gibson, Norstedts Förlag, Stockholm, 1995

"Mediekunskap och Mediekommunikation", Hans-Erik Hallin, Jörgen Hallström, Bonnier Utbildning, Stockholm, 1997

"ORSAKER TILL FEL I BYGGGANDET - en studie om felorsaker, felkonsekvenser, samt hinder för inläring i byggprojekt", Per-Erik Josephsson, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation", Göteborg 1994

"Kvalitetsfelkostnader på 90-talet - en studie av sju byggprojekt, Del I: Resultat", ", Per-Erik Josephsson, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation", Göteborg 1996

"Virtuell Virkelighet", Carl Eugene Loeffler, Tim Anderson, Spartacus Förlag AS, Oslo, 1994

"IT and the Architect's Role", Mina Popova, Chalmers Tekniska Högskola, CTH-A CADLab, Göteborg, 1997



## Relaterade hemsidor

### Institutioner

*[www.hitl.washington.edu](http://www.hitl.washington.edu)*

Human Interface Technology Laboratory (HITL), University of Washington i Seattle, USA. De har många intressanta projekt med VR och annat som rör gränsnittet mellan människa och dator.

*[web.mit.edu](http://web.mit.edu)*

*[www.media.mit.edu](http://www.media.mit.edu)*

Massachusetts Institute of Technology och MediaLAB i Cambridge, Boston, USA. Berör liknande ämnen som HITLab.

*[www.cc.gatech.edu](http://www.cc.gatech.edu)*

*[www.cc.gatech.edu/gvu/gvutop.html](http://www.cc.gatech.edu/gvu/gvutop.html)*

Georgia Institute of Technology i Atlanta, USA. Berör liknande ämnen som HITLab.

*[www.evl.uic.edu/EVL](http://www.evl.uic.edu/EVL)*

Electronic Visualization Laboratory, University of Illinois i Chicago. Har bland annat tagit fram CAVE-systemet.

*[gaudi.stanford.edu](http://gaudi.stanford.edu) → 4D-CAD → INTRO-4DCAD.html*

Stanford University i San Fransisco, USA. Utökar 3D-CAD till ett planeringsverktyg med tiden som en fjärde dimension.

[vlib.stanford.edu/NG/Home.html](http://vlib.stanford.edu/NG/Home.html)  
[vlib.stanford.edu/NG/Computing.html](http://vlib.stanford.edu/NG/Computing.html)  
[neuro.med.cornell.edu/VL](http://neuro.med.cornell.edu/VL)

The WWW Virtual Library. Det första länkbiblioteket på webben, med mängder av länkar inom forskningsvärlden.

[www.caad.lth.se](http://www.caad.lth.se)

Arkitektursektionen på Lunds Tekniska Högskola bedriver forskning som rör datoranvändning inom flera olika delar av byggbranschen.

[www.sics.se](http://www.sics.se)

The Swedish Institute of Computer Science, Kista. En icke vinstdrivande stiftelse som skall bidra till att stärka konkurrenskraften hos svensk industri. Bedriver bland annat forskning. Finansieras till en tredjedel av Nutek och en rad större svenska företag.

Företag

[www.prosolvia.se](http://www.prosolvia.se)  
[www.prosolvia.se/eonsim/index.html](http://www.prosolvia.se/eonsim/index.html)

Svenskt företag, världsledande inom VR och datorsimuleringar. Har VR-system för både PC, Clarus EON, och Silicon Graphics-maskiner, Oxygen. VR-läsare och demos finns på sidan.

*www.superscape.com*  
*vwww.com*

Har program för att skapa VR-miljöer på PC, VRT. The Virtual WWW är ett tredimensionellt Internet som använder Superscapes produkter.

*www.sense8.com*

Har program för att skapa VR-miljöer på PC, The World Tool Kit och World Up.

*www.autodesk.com*  
*www.cadpoint.se*

Autodesk har AutoCad som sin största produkt, och Cadpoint i Borås utvecklar Point-applikationerna till AutoCad.

*www.ktx.com*

Kinetix är ett mer multimedialinriktat dotterbolag till Autodesk. Bland produkterna märks modelleringsprogrammen 3D Studio MAX och VIZ, där VIZ är anpassat för arkitekter, samt Hyperwire, ett multimedieverktyg som ger interaktivitet åt internetpresentationer och modeller.

*www.intergraph.com*  
*www.bentley.com*

Intergraph utvecklar bland annat CAD-system, till exempel Microstation 95 från Bentley.

*[www.graphisoft.com](http://www.graphisoft.com)*

*[www.lasercad.se](http://www.lasercad.se)*

Graphisoft utvecklar ArchiCad och LaserCad är den svenska återförsäljaren. LaserCad har även andra program för visualisering, till exempel Artlantis.

*[www.lightscape.com](http://www.lightscape.com)*

*[www.lightscape.com/productinfo/techoverview.asp#globali](http://www.lightscape.com/productinfo/techoverview.asp#globali)*

Renderingsprogram som sätter material och ljus till 3D-modeller och räknar fram imponerande fotorealistiska bilder. Radiosity-funktionen ger en statisk ljusberäkning till en hel 3D-modell. Den senare av de ovanstående sidorna beskriver Radiosity och Ray Trace och skillnaden mellan dem.

*[www.mvis.com](http://www.mvis.com)*

Microvision Inc, utvecklar VRD™, näthinneprojektion, i samarbete med HITL.

*[tmgweb.com/psi](http://tmgweb.com/psi)*

Pyramide Inc, har bland annat utvecklat CAVE™ och ImmersaDesk™.

*[www.thevrsource.com/industrial.htm](http://www.thevrsource.com/industrial.htm)*

Bra exempel på lite av varje...

*[www.sgi.com](http://www.sgi.com)*

Silicon Graphics Inc., traditionellt sett den främsta datortillverkaren för grafiktillämpningar.

*www.apple.com*

Apple Computer Inc, har alltid saker på gång som rör visualisering, till exempel QuickTime™ och QTVR.

## Figurförteckning

Figur 1: Den allmänna bilden av VR	
(Bild: General Reality Company, <a href="http://www.genreality.com">www.genreality.com</a> ) ....	10
Figur 2: Minimikostnad för ett Immersive-VR system	
(Bild: Amerikanskt universitet, urspr. källa okänd) .....	15
Figur 3: Ytmodellen och dess polygoner .....	16
Figur 4: Ljusfall i polygonmodell .....	17
Figur 5: Axelikon med 6 DoF .....	18
Figur 6: Arbetsinsats för ett 3D-program jämfört med 2D.	
(Bild: författarna, källa Bergs Arkitektkontor AB) .....	24
Figur 7: Byggnadens livscykel .....	34
Figur 8: Projekteringens faser.....	35
Figur 9: Förvaltningskedet med återkommande åtgärder .....	40
Figur 10: Arbetsinsats vid ombyggnadsprojektering	
(Bild: författarna, källa Bergs Arkitektkontor AB) .....	41
Figur 11: 3D-glasögon med styrenhet	
(Bild: StereoGraphics, <a href="http://www.stereographics.com">www.stereographics.com</a> ) .....	70
Figur 12: Head-Mounted Display	
(Bild: Kaiser Electro-Optics Inc., <a href="http://www.keo.com">www.keo.com</a> ).....	71
Figur 13: Princip för näthinneprojektion	
(Bild: MicroVision Inc., <a href="http://www.mvis.com">www.mvis.com</a> ) .....	72

Figur 14: Princip för konventionell display	
(Bild: MicroVision Inc., <a href="http://www.mvis.com">www.mvis.com</a> ) .....	72
Figur 15: Arbete i Workbench-miljö	
(Bild: Stanford Computer Graphics Labotry, <a href="http://graphics.stanford.edu">http://graphics.stanford.edu</a> ).....	73
Figur 16: Princip för CAVE-systemets uppbyggnad	
(Bild: Electronic Visualization Labotory, University of Illinois at Chicago, <a href="http://www.evl.uic.edu">www.evl.uic.edu</a> ) .....	73
Figur 17: Principen för radiosityberäkningar	
(Bild: Lightscape Technologies, <a href="http://www.lightscape.com">www.lightscape.com</a> ).....	76
Figur 18: Principen för Ray Tracing	
(Bild: Lightscape Technologies, <a href="http://www.lightscape.com">www.lightscape.com</a> ).....	76
Där ingen källa anges, bild: författarna	

## Bilaga 1: Forskning

### Inledning

Under arbetets gång har vi märkt att ny teknik, som datorernas väldiga utveckling har möjliggjort, ofta godtagits utan kritisk granskning. Det är mestadels från teknikutvecklare / -tillverkare som man kan få tag i information om nya produkter. Så länge produkterna utan problem kan säljas, har tillverkaren inte något intresse av att motivera användningen av sina nyheter. Då vi i våra kontakter mötte en förhållandevis restriktiv hållning till VR, började vi leta efter forskning som berörde den klara kopplingen mellan virtuella världar och arkitektur, någonting många ändå kände som naturlig. Vi sökte stöd för att implementera VR i arbetet med att designa, bygga och förvalta byggnader, inte för teknikens skull utan för att det kan leda till ett bättre resultat.

En bra början fann vi i en kort introduktion till ett arbete vid HITL, Seattle, skrivet av Daniel Henry. Rapporten hade titeln "Spatial Perception in Virtual Environments: Evaluating an Architectural Application", och var ett att få arbeten vi hittade med den direkta föresatsen att utvärdera VR och dess praktiska användning inom arkitektur. I inledningen står det, fritt översatt:

*"...medan det finns många potentiella områden som skulle tjäna på att presenteras i en virtuell miljö, så är simuleringen av arkitektur kanske den mest uppenbara. Den tillfredsställer ett verkligt behov inom arkitekturbranschen, nämligen att förbättra kommunikationen mellan designern, som lutar till sina arkitekturrepresentationer, och kunden, som i sin tur bäst*



*förstår designen när de verkligen får närvara i det gestaltade rummet. Det traditionella sättet att representera design kräver en intellektuell abstraktion och erbjuder endast begränsade vyer. Perspektivbilder är fasta och visar designerns val av vyer. Fysiska modeller är tredimensionella men de går inte att gå in i. Datoranimationer är rörliga, men då kamerans väg är förutbestämd erbjuder även de endast begränsade vyer. I virtuella miljöer kan deltagarna titta vart de vill, röra sig och uppleva designen närmast som de skulle i den verkliga miljön. Den virtuella presentationen blir den ultimata perspektivbilden, den ultimata modellen och den ultimata datorgenererade animationen för att beskriva ett arkitekturprojekt...”*

Det arkitekter arbetar med är, förenklat, att gestalta ett tredimensionellt rum för en visst ändamål, och deras skisser, modeller, ritningar är ett medel för att visualisera och utvärdera sina idéer för sig själva och andra. Då den slutliga produkten är det som egentligen skall utvärderas, har den mesta forskningen tagit avstamp i tesen att ju närmare den blivande verkligheten man kan komma, desto bättre är det, och inriktad sig främst på hur man skall uppnå detta. Att upphöja VR till det ultimata mediet är dock en överdrift, som nog bör beaktas så att beprövade metoder inte ersätts med sämre.

"Spatial Perception in Virtual Environments: Evaluating an Architectural Application", Daniel Henry

[www.hitl.washington.edu/publications/henry/home.html](http://www.hitl.washington.edu/publications/henry/home.html)

Se även kapitel 1 i "Communication in the Age of Virtual Reality", ed. Frank Biocca, Mark R Levy, Lawrence Erlbaum Associates Inc, Hillsdale, New Jersey, 1995

## Arbeta med VR

Utvärderingar av VR sker inom tre huvudområden:

*Presence* - hur väl känner man sig närvarande i den virtuella miljön

*Usability* - är miljön lämplig/användarvänlig för att utföra en uppgift

*Taskevaluation* - hur bra blir uppgiften man utför i miljön

När vi sökte efter forskning om VR var vi mest intresserade av huruvida VR verkligen är det bästa sättet att kommunicera på och om man får bättre produkter med hjälp av det. Det är svårt att göra en sådan utvärdering när det gäller en såpass ny teknik, som dessutom utvecklas i en rasande fart. För att få en riktig jämförelse skulle man i princip behöva uppföra två byggnader parallellt och med samma förutsättningar, ställa upp kriterier för vad det innebär med en väl utförd uppgift, och sedan ändå bara ha ett exempel att referera till. När utvärderingen är färdig vet man inte om det är tekniken i sig eller den ändring i designprocessen det resulterar i att arbeta med VR, som är orsaken till eventuella skillnader. Dessutom är tekniken som värderades redan vidareutvecklad. Ändringar i arbetsgång och -metoder gör även mindre jämförelser i delar av processen svåra, då man arbetar från olika förutsättningar. De arbeten som rör VR och arkitektur är än så länge inriktade på att hitta lämplig teknik och sätt att arbeta med den. Nästa steg dröjer fortfarande, men många arbeten nämner själva inom vilka områden det behövs mer forskning.

Inom forskning kring inläring finns det däremot en hel del att hämta. Det går att avgränsa uppgiften väl, vad man skall lära

Se även "Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality", Daniela Bertol, John Wiley&Sons Inc, New York, 1997

sig och sedan utföra, och man kan ha en bred referensgrupp. Tendensen visar där, att ett engagemang av flera sinnen och att man interagerar med informationen leder till bättre utförda uppgifter och, framförallt, en ökad förståelse för det man gör. Människan tar in information främst genom synen och en förstärkning av den visuella stimuleringen till att närma sig verkligheten, ger goda resultat. Däremot ligger brister i användarvänlighet fortfarande i vägen för den forskning som rör uppgiftsutförande. Mycket tid går åt till att lära sig att använda verktygen i den virtuella miljön och bläddra i menyer.

## Närvaro

Det är givetvis även viktigt att kunna känna närvaro i den design man utvecklar. En term som vanligen används är *Immersive VR*, där immersive syftar på att man är fysiskt omsluten av någonting. Detta innebär ofta att man använder det som populärt kallas VR-hjälm och som har blivit synonymt med VR. Ser man på den bildliga översättningen öppnar sig en vidare tolkning, nämligen att vara försjunken i någonting. Alla har väl någon gång fastnat i en bok och haft svårt att ta sig ur den värld som beskrivs av bokstäver på papper. Barn är experter på att skapa uppslukande fantasivärldar med enkla medel, och har också lättare att ta till sig datormiljöer. Arbeten som rör *presence* tenderar dock till att generalisera över vad som ger känslan av att vara inne i en miljö, och verkar för att få in så mycket av vår reella värld som möjligt. Detta resulterar i att det är datorernas beräkningskapacitet och dess displayer sätter gränserna för närvaron. Hårdvaruutvecklingen är visserligen imponerande, men mer intressanta är de arbeten som försöker utröna vilka delar av den tänkta miljön som är signifikativa och mest lämpade att låta datorn simulera. För

Sammanfattning av innehållet i:

"Psychological Issues of Virtual Environment Interfaces, A CHI 96 Workshop", Casey Boyd, Rudy Darken, 1996,

[www.acm.org/sigchi/bulletin/1996.4/boyd.html](http://www.acm.org/sigchi/bulletin/1996.4/boyd.html)

"Research in 3D user interfaces", Ivan Poupyrev, 1994,

[www.isl.hiroshima-u.ac.jp/~poup/research/publish/lookfwd.html](http://www.isl.hiroshima-u.ac.jp/~poup/research/publish/lookfwd.html)

"Usability and Learning in Educational Virtual Realities", Marilyn C Salzman, Chris Dede, R Bowen Loftin, 1995,

[www.virtual.gmu.edu/usabpdf.htm](http://www.virtual.gmu.edu/usabpdf.htm)

"Se Människan: Psykologi för gymnasieskolan", Leif-Åke Fröjelin, Kjell Åhslund, Almqvist&Wiksell Läromedel, Solna, 1987

"Virtuell Virkelighet", Carl Eugene Loeffler, Tim Anderson, Spartacus Förlag AS, Oslo, 1994

"Does Immersion Make a Virtual Environment More Usable?", Casey Boyd, 1997,

[www1.acm.org/82/sigs/sigchi/chi97/proceedings/short-talk/cb.htm](http://www1.acm.org/82/sigs/sigchi/chi97/proceedings/short-talk/cb.htm)

"Virtual Environments and Visual Depth Cues", Jonathan Pfautz, 1997

[www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html](http://www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html)

Sammanfattning av artikeln

"The Visual Image in Mind and Brain", Semir Zeki,  
Scientific American, september 1992, s 43-50

varje användningsområde ställs olika krav och VR:s möjligheter bör därför behandlas var för sig. Ett bra exempel är de tredimensionella spel som finns på marknaden. På, idag, relativt enkla datorer kan man springa genom händelserika världar i ett högt tempo. Närvaron bygger där till stor del på rörelser och spelets stressande moment, och miljöerna behöver därför inte så väldetaljerade texturer och har relativt få friliggande / rörliga objekt. Detta är raka motsatsen till ett stilla begrundande av arkitektur och skall därför inte behandlas på samma sätt.

### Synintryck

Hur uppfattar vi då signalerna som ögonen skickar till vår hjärna? Längre trodde man att ögonen skickar en mängd impulser till bakre delen av hjärnan, som sedan skapar en bild och skickar den vidare för tolkning. Det är emellertid en förenkling som fick ge vika så sent som på 1970-talet. Tolkningen av bilden är långt mer fysiologisk än den föreställning psykologer hade och strävade efter att bibehålla. För stor del tillmättes vårt psyke och dess mer abstrakta jämförelse med bland annat minnen och förväntningar. När vi föds är det område som först tar emot signalerna förhållandevis moget och fungerar som det traditionellt antagits. Runt detta område finns det däremot specialiserade områden som med tiden lär sig tolka signaler till form, färg och rörelse. Detta sker var för sig i olika områden, men det växer även fram kopplingar mellan dem. Det betyder att signalerna skickas fram och tillbaks tills det att den första tolkningen är klar att skickas vidare av den första mottagaren. Vid extremt lokala hjärnblödningar kan det primära området skadas och inte

kunna ge ifrån sig en bild, men personen kan ändå förnimma former, skillnader i färg och "se" rörelser i totalt mörker.

Mognadsprocessen sker i vårt möte med vår omgivning och därför kan man kanske tänka sig att om man efterliknar verkligheten är det lättare, mindre abstrakt, att tolka bilderna till form, färg och rörelser.

De områden av hjärnan som är inriktade på form använder inte färger i sig utan ljusintensitet och kontraster, vilket ställer höga krav på datorer och dess displayer som skall förmedla tredimensionella modeller. Finns det inte tillräckligt med skillnader i ytor upplevs de som platta och intetsägande, men man kan tolka dem rätt. Är det formen som skall framhävas kanske bilden bör förenklas till en monokrom bild för tydlighetens skull.

Bilderna tolkas sedan vidare av människans medvetande som jämför dem med tidigare erfarenheter, behov, förväntningar och logiska resonemang som kan ge ett innehåll till bilden. Om man tidigare har varit i en liknande situation finns det färdiga tolkningar av den visuella informationen. Andra sinnesintryck beaktas, från till exempel hörseln, för att förstå det man ser. Befinner man sig i en stor öppen kyrka låter det inte likadant som under en filt, för att ta till ytterligheter. Förstärker man bilder med ljud blir uppfattningen av rymd tydligare, vilket inte får underskattas. De förväntningar man har på innehållet kan hjälpa till att sälla i det digra informationsflödet, men även få oss att se sådant som inte finns. Känner man igen föremål på avstånd och vet dess storlek, spelar det ingen roll att bilden man får på näthinnan visar ett mindre, utan det tolkas till sin faktiska storlek, ett så kallat konstansfenomen. Kan man bedöma avståndet eller jämföra med objekt man känner till, kan

"Se Människan: Psykologi för gymnasieskolan",  
Leif-Åke Fröjelin, Kjell Åhslund, Almqvist&Wiksell  
Läromedel, Solna, 1987

"Impossible Figures in Perceptual Psychology",  
Kevin Fink, 1991

[www.fink.com/papers/impossible.html](http://www.fink.com/papers/impossible.html)

även tidigare okända former få rätt storlek i medvetandet. Den träning man får i livet ger oftast en god uppfattning av föremål när man ser dem i horisontal riktning, men står man t ex uppe i ett torn blir riktningen mer vertikal och man förlorar kostansuppfattningen. Människan är också van att röra sig på en konstant höjd över marken. Flyger man fritt i rymden, som ofta är fallet i VR-tillämpningar, kan man bli sjösjuk då bilderna inte stämmer med de förväntade.

Vad vi kommer fram till beror på våra tidigare förehavanden och det finns skillnader i olika geografiska och kulturella förutsättningar. Det finns t ex beskrivet ett fall med en man som levt hela sitt liv i tät djungel där möjligheter för längre utblickar saknas. När han på långt avstånd fick se föremål han kände igen, tolkade han dessa som små istället för långt bort. När han sedan närmade sig dessa trodde han att de växte, vilket naturligtvis var skrämmande och svårt att förstå. Skrämmande är också en undersökning som visade att barn har sämre avståndsbedömning idag, kanske beroende på att de vistas för lite utomhus och att de är uppvuxna med televisionen som faktiskt lurar ögat. På TVn ser man bilder som visar långa avstånd, men ögonen fokuserar på skärmen, och detta kan kanske störa synens mognad, såväl fysiskt som psykiskt.

De olika sätt som finns för att få i tvådimensionella bilder är i allra högsta grad aktuella i VR. Det finns visserligen teknik för att projicera stereobilder, men stereoseendet är inte det enda sättet att ta till sig djupet i sin omgivning. En undersökning bland elever på en högskola i USA visade att 4% av eleverna helt saknade stereoseende och ytterligare 10% hade stora svårigheter med att uppfatta djup i stereobilder. Då många av de problem som följer med användning av VR-hjälm, till exempel illamående och huvudvärk, inte är lika vanliga utan

"Virtual Environments and Visual Depth Cues",  
Jonathan Pfautz, 1997,  
[www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html](http://www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html)

stereobilder, borde mer kraft gå till andra knep för att få djup i den konstgjorda världen. Rörliga bilder och att kunna förflytta sig genom miljön är ett värdefullt tillskott. I tecknade filmer är det till exempel vanligt att ha flera bakgrunder som rör sig olika fort i sidled, vilket ger ett djup i bilderna helt utan linjeperspektiv. Hur mycket som rörelse kan ge, och vad det kan ersätta för uppfattningen av djup i en arkitekturtillämpning av VR är tyvärr bara påbörjad forskning.

## Hårdvara

Människans synfält, Field of View (FoV), ligger på ca 180° i horisontalt led och 120° i vertikalt led, och är en viktig del i vår rumsuppfattning och känsla av omslutenhet. För att visa ett såpass vitt synfält krävs det stora displayer eller alternativt att de sitter nära ögonen. I båda fallen får man dock än så länge göra avkall på detaljeringsgraden. I det första fallet beror det på den avsevärda datorkraft som behövs, i det senare på att man ser skärmens enskilda punkter som bygger upp bilden, då dessa inte går att göra hur små som helst med dagens teknik. Tills hårdvaran är tillräckligt utvecklad är därför balansen mellan detaljeringsgrad och FoV för ändamålet viktig.

Displayer som finns idag är oftast varianter av rum man går in i, till exempel *CAVE-system*, eller olika sorters hjälmar. De stora systemen är dyra och även om datorkraften som behövs ständigt blir billigare är kringutrustningen, till exempel projektorerna, alltför kostsam. Hjälmar är obehagliga och ger en rad biverkningar. Då displayerna sitter så nära ögonen fokuserar man ständigt på ett par centimeters avstånd, vilket är ansträngande i längden. Har man dessutom stereobilder luras ögonen att konvergera, vinklas, på ett annat avstånd än det som fokuseras, vilket ger illamående och huvudvärk. Bilden

"Virtual Environments and Visual Depth Cues",  
Jonathan Pfautz, 1997,

[www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html](http://www.cl.cam.ac.uk/users/jdp25/1styrreport/1styr.html)

"The Outlook for Head-Mounted Displays",  
författare okänd, Real Time Graphics, 2/1997, s1-16

## *CAVE-system*

CAVE-systemet faller inom *immersive VR*-kategorin. Det arbetar efter konceptet att det på väggar och golv i ett fysiskt rum projiceras realtidsrenderade bilder av den simulerade miljön. Till konceptets stora fördelar hör att det ger ett mycket brett synfält och att betraktaren upplever sig vara inne i miljön med hela kroppen på ett annat sätt än vid annan *immersive-VR*, samtidigt som han slipper den instängdhet hjälmanvändning ger upphov till.

Se även kapitel 8 i "Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality", Daniela Bertol, John Wiley&Sons Inc, New York, 1997

#### VRD™, Näthinneprojektion

Till skillnad från dagens system som måste skapa bilder på en betraktningsskärm, kan det VRD™-systemet projicera direkt på näthinnan, överlagrat och oberoende av omgivningen. Enligt tillverkaren uppnår man med VRD™ bättre upplösning, kontrast och ljusnivå än med konventionella bildrör eller flytkristallpaneler.

[www.mvis.com](http://www.mvis.com)

Mer om displayer; se "Does Immersion Make a Virtual Environment More Usable?", Casey Boyd, 1997,

[www1.acm.org/ord/sigs/sigchi/chi97/proceedings/short-talk/cb.htm](http://www1.acm.org/ord/sigs/sigchi/chi97/proceedings/short-talk/cb.htm)

kan visserligen flyttas ut med hjälp av optik till att motsvara till exempel 10 meter, men då tappar man förmågan att fokusera närmare än denna gräns. När man har en hjälm följer bilden med huvudets rörelser. Små skillnader som uppkommer när det blir en liten fördröjning mellan rörelse och bild och om hjälmen sitter något löst, om än så lite, får större konsekvenser ju närmare displayen ögonen befinner sig. Åksjuka, beroende på att bilden inte stämmer överens med den förväntade, är därför vanligare med hjälmar. Fördelarna med hjälmar, att de kan följa huvudets rörelser och är omslutande, väger dock tungt.

I vårt arbete ser vi VR som ett vardagsredskap och vi efterfrågar därför alternativ till hjälmar och skrymmande rumssystem. Försök har gjorts med arbetsbänkar på vilka man visualiserar och modellerar fram byggnader och stadsbilder, men dessa utnyttjar inte VRs möjlighet att vara inuti modellen utan arbetet sker fortfarande med ett utifrånperspektiv. En variant på liknande tema är vinklad mot betraktaren så att man kan träda in sin modell. Mindre varianter på *CAVE-systemet* finns också, men det är inget man har på skrivbordet än så länge. HITL håller på att utveckla ett system som projicerar bilder direkt på näthinnan, VRD™, som kan bli ett intressant alternativ. Hur långt fram i tiden som den ligger har vi tyvärr ingen bra uppfattning om. En tid framöver kommer nog de traditionella bildskärmarna att vara det mest realistiska alternativet för vardagsarbetet. Med stereoglasögon kan man med en enkel anordning få så kallad *Fishtank-VR*, som även fungerar bra på storbildsskärm. Med denna teknik lämnar modellen bildskärmens plan utan att ögonen blir alltför ansträngda. Mer om detta finns att läsa i Bilaga 3: Teknikfrossa.



## Algoritmer

Ett område som vi inte har gett oss in i är algoritmernas värld. För att få realistiska bilder kan verkliga ljusförhållanden efterliknas genom att datorerna följer ljusstråle för ljusstråle, så kallad *Ray-Tracing*, för att räkna fram bilder ur 3D-modeller. Programmen som används till simuleringar använder sig däremot av matematiska formler för att räkna fram naturogna miljöer. Denna form av fusk är under ständig utveckling, och har stor betydelse för datorernas kapacitet att skapa realistiska rörelser genom den virtuella världen.

För mer material om hårdvara se:

[www.imaginative.com/VRResources/vr\\_hardw/vr\\_hardw.html](http://www.imaginative.com/VRResources/vr_hardw/vr_hardw.html)

"Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality", Daniela Bertol, John Wiley&Sons Inc, New York, 1997

Kapitel 4 i "Communication in the Age of Virtual Reality", Frank Biocca, Mark R Levy, Lawrence Erlbaum Associates Inc, Hillsdale, New Jersey, 1995

samt "Intressanta länkar" i Litteraturförteckningen i detta arbete.

[www.matrox.com](http://www.matrox.com)



**Figur 11: 3D-glasögon med styrenhet.**

## Bilaga 2: Teknikfrossa

### High- respektive Low-endlösningar

I debatten kring VR talas det ofta om high-end- respektive low-endlösningar. Termerna syftar till i vilket kostnadsläge den aktuella lösningen befinner sig. High-endvarianten är den bästa och dyraste lösningen som den dagsaktuella tekniken klarar och low-end är den billigaste. I dagsläget (jan '98) är ett *CAVE-system* en typisk high-endlösning medan *Desktop-VR* är en low-endlösning.

### Hårdvara

#### Grafikkort

Grafikkortet tar över en del arbete som berör grafik och styrning av displayer från centralprocessorn. Företaget Matrox tillhör de ledande utvecklarna av grafikkort.

#### 3D-glasögon eller LCD shutter glasses

3D-glasögon fungerar efter samma princip som de glasögon med en röd och en grön lins som användes till TVs 3D-experiment. Tekniken är dock totalt annorlunda. I den nya varianten sitter flytkristall-paneler som linser. Dessa kan styras så att de slår om momentant mellan läge noll och läge ett, genomskinligt respektive tätt. Datorns *grafikkort* skickar ut två bilder, en för vänster och en för höger öga. Mellan grafikkortet och skärmen sitter en bildbehandlingsenhet, som tänder respektive släcker de två bilderna samtidigt som den styr vilket av glasögonens filter som skall vara genomskinligt. Beträktaren

ser i varje ögonblick endast med det ena ögat, men eftersom filtren arbetar med en hög frekvens upplevs bilden som kontinuerlig och med djupverkan.

### Hjälm eller Head-Mounted Display (HMD)

Den allmänna bilden av ett VR-system brukar innefatta att användaren bär en hjälm, något som även vissa forskare sätter upp som kriterium för att uppnå äkta *Immersive-VR*. Framför varje öga sitter en liten LCD-bildskärm. Genom att skärmarna är något förskjutna, visas en stereobild som ger djupseende. Även 3D-ljudsystem kan integreras i hjälmen för att förstärka graden av omslutenhet.

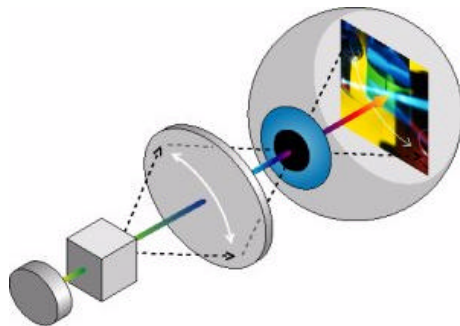
### Tracker-system

Tracker-system används för att datorn skall kunna hålla reda på var en viss punkt befinner sig, och hur den rör sig i det fysiska rummet. I VR-sammanhang används systemet för att ge datorn information om brukarens position och rörelser. I vissa program används denna information enbart för att uppdatera de bilder som visas för att kompensera för brukarens förhållande till displayen medan det i andra används för att röra sig i den konstgjorda världen.

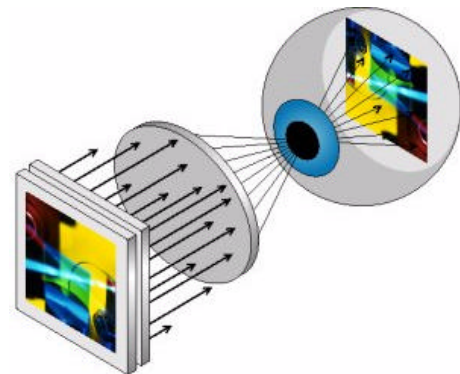
Systemen arbetar vanligen optiskt eller magnetiskt. I de optiska systemen kopplas en videokamera till datorn och någon form av fixmarkeringar till brukaren. Kameran filmar brukaren och datorn kan tolka bildinformationen och upptäcka fixpunkternas positioner. De magnetiska systemen består av en moderenhet med magnetfältsalstrare och en positionsgivare. Den senare placeras vanligen på brukarens *VR-hjälm* eller *3D-glasögon*. Moderenheten avger ett magnetfält som systemet använder för att bestämma givarens relativa position till fältalstraren.



*Figur 12: Head-Mounted Display*



Figur 13: Princip för näthinneprojektion



Figur 14: Princip för konventionell display

Värdena skickas till datorn som bestämmer positionen och riktningen hos betraktarens huvud.

### Datahandske

Datahandsken är ett lokalt *tracker-system* för handen som kan bestämma fingrarnas positioner. Den används för att kommunicera med datorn genom gester.

### VRD™, Näthinneprojektion

Företaget Microvision Inc. håller i samarbete med HITL på att utveckla en ny typ av display som de kallar Virtual Retinal Display, VRD™. Till skillnad från dagens system som måste skapa bilder på en betraktningsskärm, kan det nya systemet projicera direkt på näthinnan, överlagrat och oberoende av omgivningen. Enligt Microvision uppnår man med VRD™ bättre upplösning, kontrast och ljusnivå än med konventionella bildrör eller flytkristallpaneler. Avsaknaden av mellanliggande visningsskärm gör dessutom att systemet blir energisnålare och billigare.

### Olika typer av möss

Vid sidan av den traditionella typen av mus med kula och en till tre knappar utvecklas nya som klarar att känna av rörelser längs tre axlar och ibland också rotation kring dessa. Funktionen kan uppnås magnetiskt som ett *tracker-system* eller med en givarkula kombinerad med flera knappar på samma sätt som i dagens möss.

### Projektionsbord eller Workbench

Ett projektionsbord är en horisontell yta där VR-modellen visas genom backprojection från en videoprojektor. Till systemet kopplas 3D-glasögon som ger illusionen av att modellen står upp från ytan. Detta leder till att arbetsmetoden som workbench-användning resulterar i blir ganska lik byggandet av fysiska modeller. Forskare vid Stanford hävdar att denna likhet gör verktyget mycket väl lämpat för och populärt bland arkitekter. Miljön betraktas ut fågelperspektiv, vilket är en nackdel om man vill ha möjlighet att komma in i den.

### CAVE och Immersive Space

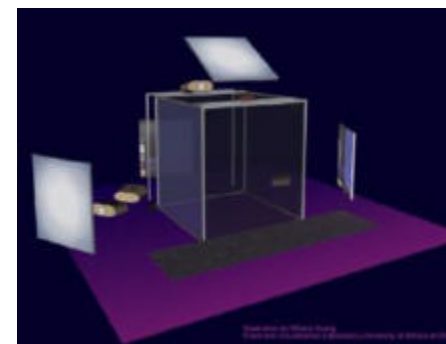
CAVE och Immersive Space är varumärken på system som faller inom immersive VR-kategorin. De arbetar efter konceptet att det på väggarna och golvet i ett fysiskt rum projiceras realtidsrenderade bilder av den simulerade miljön. Hårdvarumässigt är det uppbyggt av en kraftfull dator, 4-6 projektionsskärmar med tillhörande videoprojektorer, tracker-system och 3D-glasögon. Till konceptets stora fördelar hör att det ger ett mycket brett synfält och att betraktaren upplever sig vara inne i miljön med hela kroppen på ett annat sätt än vid annan immersive-VR. Samtidigt slipper han den instängdhet hjälmanvändning ger upphov till.

### Kontrollstav eller Wand

Ett annat navigationsredskap är kontrollstaven. Den består av en givare som talar om för datorn mot vilken punkt i den konstgjorda miljön staven pekar. Punkten visas hos några produkter genom att staven sänder ut en laserstråle. Staven är dessutom försedd med ett antal knappar, vilka i kombination



*Figur 15: Arbete i Workbench-miljö.*



*Figur 16: Princip för CAVE-systemets uppbyggnad.*

För mer information om CAVE och Immersive Space se:

[tmgweb.com/psi](http://tmgweb.com/psi)

[www.prosolvia.se](http://www.prosolvia.se)

QTVR  
[www.apple.com](http://www.apple.com)

med riktningsangivelsen ger tillgång till olika funktioner så som förflyttning eller påverkan av miljön.

### **Mjukvara**

*Quick-Time VR* från Apple och *Real Space VR* (eller Real VR) från PhotoVista är varumärken på två likartade system. Bägge arbetar efter principen att en betraktningspunkt placeras i en digital modell. Därefter gör systemen en rendering som täcker önskat synfält. När man sedan betraktar miljön ser man de förrenderade bilderna. Systemen har den fördelen att man uppnår mycket hög bildkvalitet och bra flyt, samtidigt som de resulterande filerna blir relativt kompakta. Den stora nackdelen med dem är att miljöerna endast kan betraktas från ett antal förutbestämda punkter. Systemen räknas, trots namnen, normalt inte som VR på grund av att de saknar realtids-rendering och den frihet den ger.

### Bilaga 3: Definitioner och förklaringar

Det har i och runt forskningen om datorgenererade miljöer dykt upp en mängd olika benämningar, förkortningar och varunamn. Vi skall i det följande kapitlet försöka reda ut dessa, samt definiera vad vi menar med de begrepp som återfinns i texten.

#### Cyberspace

I science-fictionromanen *Neuromancer* från 1984 beskrev författaren William Gibson för första gången *Cyberspace*. Det är en datorgenererad miljö som används för att navigera genom ett världsomfattande datornätverk. Begreppet har sedan spridit sig som en löpeld genom media och reklam. Termen *Cyberspace* används inte i det här arbetet.

"*Neuromancer*", William Gibson, Norstedts Förlag, Stockholm, 1984, 1995

#### Rendering

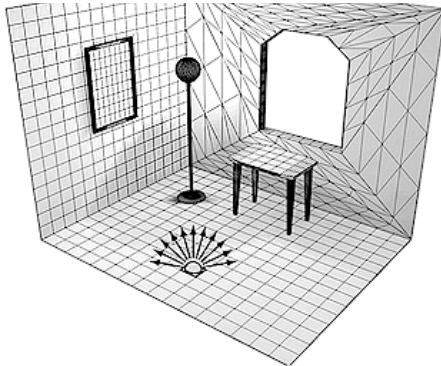
Beräkning som skapar en 3D-bild ur geometriska och belysningstekniska data.

#### Realtidsrendering

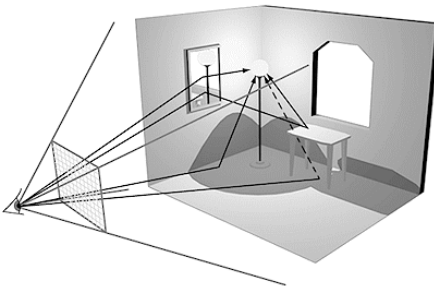
*Rendering* som sker direkt i samband med att bilderna skall visas. Lagrade bilder som renderas och sparas undan före användning är alltså inte *realtidsrenderade*. Realtidsrendering är en förutsättning för att uppnå full interaktivitet med en modellen som simuleras. För att en simulering skall upplevas som jämt flytande krävs ungefär 20 *renderingar* i sekunden. Detta ställer speciella krav på de modeller som användas, vilket beskrivs i kapitlet "Beskrivning av hur dagens VR-system fungerar".

Radiosity och Ray-Tracing

[www.lightscape.com/productinfo/techoverview.asp#globali](http://www.lightscape.com/productinfo/techoverview.asp#globali)



**Figur 17: Principen för radiosityberäkningar**



**Figur 18: Principen för Ray Tracing**

## Radiosity

Renderingsmetod där beräkningarna utgår från de närvarande ljuskällorna. Radiosity följer ljuset och beräknar dess energi-innehåll och hur detta förändras då ljuset träffar olika objekt. Samtidigt beräknas hur mycket ljusenergi som överförs till de träffade ytorna. Resultatet blir en ljussatt modell som kan betraktas från olika punkter. En stor fördel hos metoden är att den tar hänsyn till att närliggande ytor påverkar varandras ljushet och färg.

## Ray Tracing

Renderingsmetod som följer ljusstrålarna från ögat till ljuskällan. Beträktningspunkten och bildplanet fastställs före renderingen. Bildframställning sker genom att följa ljusstrålar från betraktningspunkten, genom varje definierad punkt i bildplanet, tills de träffar en opak yta. Sedan beräknas träffpunktens färg och ljusnivå utifrån dess ytegenskaper och hur de belyses av samtliga närvarande ljuskällor. Styrkan hos metoden, jämfört med Radiosity, är att den klarar att beräkna speglingar och högdagrar. Radiosity klarar inte dessa beräkningar eftersom de förutsätter en bestämd betraktningspunkt.

Det finns program som använder både Radiosity och Ray Tracing för att utnyttja deras respektive fördelar.

## GIS

(Geographic Information System)

GIS är ett sätt att strukturera databaser där informationen sorteras efter sitt geografiska läge. Information kan därmed sökas och visas relaterat till planer.



VR, Virtual reality

(Skenbar alt. faktisk verklighet)

VR kan egentligen, efter termens egentliga betydelse, vara vilken form av konstgjord verklighet som helst, till exempel måleri eller litteratur.

I sin uppsats "Virtual Reality as a Communication System" poängterar Biocca och Levy (1995) att VR inte är mediet, utan den miljö mediet beskriver. I dagligt tal brukar begreppet användas både för att beskriva en miljö som byggts i en dator och själva presentationen i form av realtidsrenderade bilder. För att skilja mellan olika grad av omslutenhet har termer som Desktop- och Immersive VR uppkommit.

"Communication in the Age of Virtual Reality",  
Frank Biocca, Mark R Levy, Lawrence Erlbaum  
Associates Inc, Hillsdale, New Jersey, 1995

Desktop-VR

Desktop-VR är den enklaste formen av VR. Miljön beskrivs direkt på en vanlig datorskärm, eventuellt tillsammans med stereo- eller 3D-ljud och stereobilder. Programvaror som Clarus Eon och Superscape hamnar i den här kategorin. Det gör även olika spelprogram som Doom, Quake och Descent.

Somliga vill att även system som Real VR och Apples Quick-Time VR skall räknas som desktop-VR. Man kan då invända att dessa bägge system inte uppfyller flera av de grundläggande kraven för VR, nämligen realtidsrendering och fri rörlighet.

Fish tank-VR

Fish tank-VR är en förbättrad version av Desktop-VR. Systemet har förstärkts med ett par *3D-glasögon (LCD shutter glasses)*, vilket ger upphov till djupseende på skärmen. Extra kostnad för

glasögon och bildbehandlingsenhet ligger runt 1000 dollar (januari '98).

Immersive VR

(Omslutande VR)

Närvarokänslan i den datorgenererade miljön förstärks genom att presentationsverktyget isolerar ett eller flera sinnen från omvärlden så att betraktaren endast upplever den konstgjorda världen. Det är den här nivån av VR som forskarna vid HITL refererar till som "äka VR"

Augmented reality

(Utökad alt. förstärkt verklighet)

Den konstgjorda och den verkliga världen blandas. Den konstgjorda miljön visas, med olika tekniska hjälpmedel, som en överlagrad bild och används för att förstärka eller förvränga olika aspekter i den verkliga världen.

VE, Virtual Environment

(Skenbar alt. faktisk miljö)

Begreppet förekommer ofta i nyare arbeten och texter istället för VR, troligen för att komma ifrån den filosofiska paradox som en faktisk verklighet, vid sidan av den fysiska världen, utgör.

IVS, Interactiv Visual Simulation

(Interaktiv visuell simulering)

Begreppet syftar på själva mediet, till skillnad från VR eller VE som istället syftar på vad mediet beskriver. Företag använder termen för att poängtera vad de verkligen arbetar med och för

att komma ifrån den allmänna bild, med hjälm och handskar, som vanligen förknippas med VR.

Det finns tre kriterier för IVS:

- Interaktivitet, brukaren skall kunna påverka simuleringen

- Realtidsrendering

- Simuleringen presenteras främst mot synen

Display

Den hårdvara som svarar för den visuella kommunikationen från dator till brukare, från vanliga 14"-skärmar till hjälmar och *CAVE-system*.