## HSR Videowall Evaluation

[I.1.1 Änderungsgeschichte 1](#_Toc327349687)

[I.1.2 Software 3](#_Toc327349688)

[I.1.3 Hardware Evaluation 3](#_Toc327349689)

[I.1.3.1 Monitoranzahl und -anordnung 3](#_Toc327349690)

[I.1.3.1.1 Variante A: 3 x 3 55“ Monitore 3](#_Toc327349691)

[I.1.3.1.2 Variante B: 2 x 2 55“ Monitore 4](#_Toc327349692)

[I.1.3.1.3 Variante C: 1 x 6 55“ Monitore 5](#_Toc327349693)

[I.1.3.1.4 Variante D: 2 x 4 55“ Monitore 7](#_Toc327349694)

[I.1.3.1.5 Fazit Monitorkonstellationen 7](#_Toc327349695)

[I.1.3.2 Grafikkarten 8](#_Toc327349696)

[I.1.3.3 Testhardware 9](#_Toc327349697)

[I.1.3.3.1 Performance Tests mit WPF-Applikationen 10](#_Toc327349698)

[I.1.3.3.1.1 Übersicht 10](#_Toc327349699)

[I.1.3.3.1.2 WDDM 10](#_Toc327349700)

[I.1.3.3.1.3 XDDM 11](#_Toc327349701)

[I.1.3.3.1.4 Darstellungsoptionen Poster / PDF 11](#_Toc327349702)

[I.1.3.3.2 Test mit Direct-Applikationen 11](#_Toc327349703)

[I.1.3.3.2.1 Fazit 12](#_Toc327349704)

[I.1.3.3.3 Tests auf abgeänderter Testhardware mit einer Grafikkarte und acht Monitoren 12](#_Toc327349705)

[I.1.3.3.4 Tests mit verkleinertem Video 12](#_Toc327349706)

[I.1.3.3.5 Fazit der durchgeführten Tests mit unterschiedlicher Hardwarekonstellation 17](#_Toc327349707)

[I.1.4 Mitsubishi Display Wall 19](#_Toc327349708)

[I.1.5 Beschaffungsanalyse 20](#_Toc327349709)

[I.1.5.1 Videowall mit 3 x 3 55“ Monitoren 20](#_Toc327349710)

[I.1.5.1.1 Verwendung von Daisy Chain Board 20](#_Toc327349711)

[I.1.5.2 Videowall mit 3 x 3 46“ Monitoren 20](#_Toc327349712)

[I.1.6 Lesbarkeit der Poster 21](#_Toc327349713)

[I.1.6.1 Prozentuale Lesbarkeit 21](#_Toc327349714)

### Änderungsgeschichte

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Datum | Version | Änderung | Autor |
| 04.05.2012 | 1.0 | Erste Version des Dokuments, kopieren der Hardware Texte in dieses Dokument | CH |
| 06.05.2012 | 1.1 | Mitsubishi Display Wall, Review DirectX | CH |
| 06.05.2012 | 1.2 | Review DirectX, Review Mitsubishi Display Wall | DT |
| 18.05.2012 | 1.3 | Review Variante 4, 2 x 4 55” Monitore | DT |
| 18.05.2012 | 1.4 | Dokumentation 2 x 4 Monitore Performance Test | DT |
| 19.05.2012 | 1.5 | Begründung Gewichtung Nutzwertanalyse | DT |
| 21.05.2012 | 1.6 | Review Monitore Performance Test, Begründung Nutzwertanalyse | CH |
| 24.05.2012 | 1.7 | WPF Video Performance Tests hinzugefügt | LE |
| 24.05.2012 | 1.8 | Review Korrekturen Markus Stolze | DT |
| 24.05.2012 | 1.9 | WPF Video Performance Tests ausgearbeitet | LE |
| 25.05.2012 | 1.10 | Software Kapitel hinzugefügt | LE |
| 27.05.2012 | 1.11 | Lesbarkeit L-Poster | CH |
| 27.05.2012 | 1.12 | Review Verkleinertes Video abspielbar | DT |
| 28.05.2012 | 1.13 | Review Lesbarkeit L-Poster | DT |
| 04.06.2012 | 1.14 | Ergänzung Lesbarkeit | DT |
| 05.06.2012 | 1.15 | Beschaffungsanalyse | CH |
| 10.06.2012 | 1.16 | Review und Korrekturen | LE |
| 10.06.2012 | 1.17 | Todos abgearbeitet | LE |
| 12.06.2012 | 1.18 | Review | DT |

### Software

Um die Hardware zu evaluieren wurde folgende Software verwendet:

* Windows 7 64 Bit
* Microsoft .NET 4.0
* Matrox PowerDesk (Display Manager)

Eine genaue Beschreibung des Testsystems ist im Anhang zu finden. (TODO: HW Spec Dump, Anhang & ref) Weitere Informationen zu den Tools sind im Kapitel (TODO ref) zu finden.

### Hardware Evaluation

Ein wichtiger Teil dieser Arbeit war die Evaluierung der Zielhardware. Zu Beginn war unklar, ob die Wall aus 3 x 3 55“ Monitoren bestehen soll oder ob sich andere Formate besser eignen würden. Für ein angenehmes Lesen der Poster ist eine möglichst hohe Auflösung wünschenswert. Diese könnte jedoch zu Performance-Problemen führen. Diese wiederum würden sich negativ auf das Nutzererlebnis auswirken. Aus diesem Grund galt es auch abzuklären, welche technischen Möglichkeiten es gibt, um mehrere Monitore zusammenzuschliessen und was für eine Auflösung und Performance damit erreicht werden kann.

#### Monitoranzahl und -anordnung

Es ist geplant, die Videowall im Verwaltungsgebäude an der Wand zwischen dem Rektorat und dem Eingang für die Post zu montieren. Die Raumhöhe dieses Gebäudes ist im Vergleich zu anderen Räumen an der HSR eher tief, sie beträgt 2.81 Meter. Daher war es fraglich, ob sich eine grosse Videowall gut in diesen Raum einbringen kann.

Neben dem Finden der passenden Räumlichkeiten ist auch die optimale Anzahl der Bildschirme und deren Anordnung ein wichtiges Thema. Folgende drei Varianten standen zur Diskussion:

* 3 x 3 55“ Monitore
* 2 x 2 55“ Monitore
* 1 x 6 55“ Monitore

An der wöchentlichen Sitzung mit Markus Stolze vom 14.05.2012 wurde diskutiert, ob sich die Performance-Probleme, welche im Kapitel I.1.3.3 Testhardware festgehalten sind, durch die Eliminierung eines Bildschirmes lösen liessen. Werden nur acht Monitore genutzt, so wird nur eine Grafikkarte (die Matrox M9188 mit 8 Anschlüssen, siehe Kapitel I.2.2 Grafikkarten) benötigt. Das Ergebnis des Tests ist im Unterkapitel I.1.3.3.3 Tests auf abgeänderter Testhardware mit 1 Grafikkarte und 8 Monitoren nachzulesen. Daher stand noch eine vierte Variante zur Diskussion:

* 2 x 4 55“ Monitore

Um eine realistische Einschätzung machen zu können, wie die unterschiedlichen Monitorkonstellationen im für die Videowall vorgesehenen Raum wirken, wurde eine Visualisierung mithilfe eines Hellraumprojektors durchgeführt. Dazu wurden die Seitenverhältnisse der verschiedenen Konstellationen aufgezeichnet und auf eine A4 Folie gedruckt. Zusätzlich wurde ein gewünschtes Anzeigemedium, in diesem Fall ein Poster, ebenfalls auf der Folie platziert. Da sich an der Wand, an welcher die Videowall installiert werden soll, zurzeit noch ein Infostand (Möbel-Elemente mit Broschüren, eine Pinnwand mit Plakaten und ein öffentlich zugänglicher PC) befindet, wurden die Montagevarianten an die dem Infostand gegenüberliegenden Wand projiziert. Der Hellraumprojektor wurde so im Raum platziert, dass die Projektion jeweils soweit vergrössert wurde, dass sie den echten Massen der Monitore entsprach.

##### Variante A: 3 x 3 55“ Monitore



Abbildung - Variante A: 3 x 3 55" Monitore, Ansicht

Wie aus der Aufgabenstellung ersichtlich ist (TODO: Aufgabenstellung), wurde eine Monitorwand mit 3 x 3 55“ Monitoren vorgeschlagen. Zu Beginn wurde befürchtet, dass diese durch ihre Abmessungen übermässig gross in dem Raum erscheinen würde. Auch wurde davon ausgegangen, dass die auf der Videowall dargestellten Elemente nicht auf einen Blick erfasst werden können.



Abbildung 2 - Variante A: 3 x 3 55" Monitore, Hellraumprojektor Test

Durch die anschauliche Projektion konnte sich das Team jedoch vom Gegenteil überzeugen. Das auf der Videowall dargestellte Poster besitzt in dieser Variante eine angenehme Grösse, um die darauf platzierten Texte zu lesen und die Bilder zu betrachten. Auch die Wall wirkt nicht zu massiv, dafür sehr eindrücklich. Das klassische Format mit dem Seitenverhältnis 16:9 eignet sich auch gut für Spiele und die Darstellung von Videos.

##### Variante B: 2 x 2 55“ Monitore



Abbildung - Variante B: 2 x 2 55" Monitore, Ansicht

Wie im Unterkapitel I.1.3.1.1 Variante A: 3 x 3 55“ Monitore erwähnt, wurde bei der Variante A davon ausgegangen, dass die Monitorwand im Gebäude 4 an der vorgesehenen Wand zu gross wirken würde. Daher wurde eine kleinere Variante mit 2 x 2 55“ Monitoren ebenfalls getestet.



Abbildung - Variante B: 2 x 2 55" Monitore, Hellraumprojektor Test

Aus Abbildung 4 - Variante B: 2 x 2 55" Monitore, Hellraumprojektor Test (auf dem Hellraumprojektor sind immer noch 3 x 3 Monitore sichtbar, da diese auf der Folie fest eingezeichnet wurden) ist jedoch schnell ersichtlich, dass diese Konstellation klein und verloren wirkt im Raum. Die Eindrücklichkeit, welche Variante A (siehe I.1.3.1.1 Variante A: 3 x 3 55“ Monitore) vermittelt, entfällt hier.

##### Variante C: 1 x 6 55“ Monitore



Abbildung - Variante C: 1 x 6 55" Monitore, Ansicht

Diese Variante fügt sich von den Abmessungen her perfekt in den Gang des Verwaltungsgebäudes ein. Die Personen, die an der Videowall vorbei gehen, müssen bei dieser Variante eine längere Strecke bewältigen, bis sie das andere Ende der Wall erreichen. Daher ist die Zeit, in der sich die Passanten vor der Videowall bewegen, bei dieser Monitorkonstellation grösser. Die längere Zeitspanne bietet noch bessere Gelegenheit, die vorbeilaufende Person zu animieren, die Videowall zu benutzen. Denkbar ist bei dieser Lösung, dass die Möbel-Elemente des Infostandes (siehe Kapitel I.1.3.1 Monitoranzahl und -anordnung) ihren Platz behalten und die sechs Bildschirme darüber montiert werden. Das 1 x 6 Format ist jedoch für klassische Anwendungen wie Videos oder Spiele unvorteilhaft. Auf den Seiten der Bildschirmfläche würde zu viel Platz ungenutzt bleiben. 

Abbildung - Variante C: 1 x 6 55" Monitore, Hellraumprojektor Test

In der Abbildung 6 - Variante C: 1 x 6 55" Monitore, Hellraumprojektor Test ist ersichtlich, dass sich das auf der Videowall angezeigte Poster nur über die mittleren beiden Bildschirme erstreckt. Ein weiterer negativer Punkt ist, dass die Konstellation mit ihrer geringen Höhe im Raum verloren wirkt, obwohl dieser selbst auch über keine grosse Höhe verfügt. Der Hauptnachteil ist jedoch, dass für diese Länge der Monitorkonstellation mehrere Kinects benötigt werden würden, um den gesamten Bereich mit Sensoren abdecken zu können. Dies würde die Entwicklung verkomplizieren.

##### Variante D: 2 x 4 55“ Monitore



Abbildung - Variante D: 2 x 4 55“ Monitore, Ansicht

Im Unterkapitel I.1.3.3.3 Tests auf abgeänderter Testhardware mit einer Grafikkarte und acht Monitoren wurde getestet, ob die Performance-Probleme durch die zweite Grafikkarte (Matrox M9128 mit 2 Anschlüssen, siehe Kapitel I.1.3.2 Grafikkarten) hervorgerufen wurde. Aber würde sich eine geeignete Konstellation mit 8 Monitoren finden lassen? Um diese Frage zu beantworten, entschied sich das Team am 14.05.2012 dazu, eine 2 x 4 55“ Monitor Variante zu prüfen.



Abbildung - Variante D: 2 x 4 55" Monitore, Hellraumprojektor Test

Wie durch Abbildung 8 - Variante D: 2 x 4 55" Monitore, Hellraumprojektor Test ersichtlich ist, findet auch diese Monitorkonstellation gut im Raum Platz, obwohl der Abstand vom Boden und der Decke zur Videowall wesentlich knapper ist als bei I.1.3.1.1 Variante A: 3 x 3 55“ Monitore. Bei der Variante mit den 2 x 4 Monitoren kann das Poster optimal platziert werden. Ein Vorteil ist, dass in der Applikation nun mehr Platz für die Anzeige des Skeletts am unteren Rand und des Menus am oberen Rand bleibt.

##### Fazit Monitorkonstellationen

Die Nutzwertanalyse bietet eine Auswertung der Kriterien, die in diesem Kapitel für die einzelnen Monitorkonstellationen diskutiert wurden. Die Nutzwertanalyse beinhaltet nur die Varianten 1 bis 3, da die Variante 4 erst gegen Ende des Projektes (Mai 2012) zur Sprache kam und zum Zeitpunkt der Analyse am 26. März 2012 noch nicht bekannt war.

Die Gewichtung der verschiedenen Kriterien lässt sich wie folgt begründen:

* Das Kriterium „Eignung für Raumhöhe (Raumgefühl)“ ist wichtig. Die Videowall soll in den bestehenden Raum passen, damit man sich gerne darin aufhält.
* Der Punkt „Bildschirmfläche überblickbar“ ist bedingt wichtig, da man als Nutzer nicht an einem Punkt stillstehen muss sondern sich vor der Wall bewegen kann.
* Die „Eignung des Formats (Seitenverhältnis)“ ist weniger wichtig. Die Benutzeroberfläche kann auf das Format angepasst werden.
* Das Kriterium „Darstellungsqualität/-grösse zum Lesen“ wird als wichtig angeschaut, da die Videowall mit ihren Grundapplikationen Poster und Mittagsmenu (TODO link entwurf, dahin, wo festgehalten ist, was das System der BA kann) viel Text enthält, der angenehm zu lesen sein soll.
* Die „Kosten“ sollen der optimalen Videowall-Monitorkonstellation nicht im Wege stehen und wurden daher als wenig wichtig eingestuft.

Die Evaluation wurde manuell durchgeführt. Die Bewertung der einzelnen Kriterien mit wenig wichtig (1), bedingt wichtig (3) und sehr wichtig (5) ist selbsterklärend und wird daher nicht begründet.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nutzwertanalyse: Auswahl Monitorkonstellation für Videowall | | | | | | |  |
|  |  | **Variante 1** | | **Variante 2** | | **Variante 3** | |
|  |  | **3 x 3 55" Monitore** | | **2 x 2 55" Monitore** | | **1 x 6 55" Monitore** | |
| **Kriterium** | **Gewichtung** | **Bewertung** | **Total** | **Bewertung** | **Total** | **Bewertung** | **Total** |
| **Eignung für Raumhöhe (Raumgefühl)** | 5 | 3 | 15 | 1 | 5 | 5 | 25 |
| **Bildschirmfläche überblickbar** | 3 | 5 | 15 | 5 | 15 | 3 | 9 |
| **Eignung des Formats (Seitenverhältnis)** | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 |
| **Darstellungsqualität/-grösse zum Lesen** | 5 | 5 | 25 | 3 | 15 | 1 | 5 |
| **Kosten** | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 3 | 3 |
| **Total Punkte** |  |  | **61** |  | **49** |  | **45** |
| **Rang** |  |  | **1** |  | **2** |  | **2** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Bemerkung: Die Gewichtungs- / Bewertungsskala geht von wenig (1), bedingt (3) bis zu sehr wichtig (5). | | | | | | | |

Tabelle - Nutzwertanalyse: Auswahl Monitorkonstellation für Videowall

Aus der Analyse (siehe Tabelle 1 - Nutzwertanalyse: Auswahl Monitorkonstellation für Videowall) geht hervor, dass sich die ursprünglich vorgeschlagene Variante (siehe Unterkapitel I.1.3.1.1 Variante A: 3 x 3 55“ Monitore), so wie sie auch in der Aufgabenstellung (TODO link) festgehalten ist, am besten für den vorgesehenen Raum eignet.

Die nachträglich dokumentierte Variante 4 mit den 8 Monitoren (siehe I.1.3.1.4 Variante D: 2 x 4 55“ Monitore) ist der Variante 1: 3 x 3 55“ Monitore sehr ähnlich. Sie benötigt in der Vertikale noch mehr Platz, ist aber etwas schmaler. Würde die Nutzung von lediglich einer Grafikkarte grosse Vorteile mit sich bringen (siehe hierzu I.1.3.3.3 Tests auf abgeänderter Testhardware mit 1 Grafikkarte und 8 Monitoren), so würde diese Variante derjenigen mit 3 x 3 Monitoren vorgezogen werden.

#### Grafikkarten

Zu Beginn lag der HSR eine Offerte für eine Videowall vor, bei welcher die Bildschirme mithilfe eines Daisy Chain Boards zusammengeschlossen werden (für detaillierte Informationen siehe Kapitel I.1.4 Mitsubishi Display Wall). Die Auflösung der Wall ist durch dieses Board aber auf ein Maximum von 1920 x 1200 beschränkt. Bei einer solch niedrigen Auflösung sind aber nicht alle Poster aller Abteilungen, namentlich die der Landschaftsarchitektur, lesbar. Daher wurde nach einer Möglichkeit gesucht, eine höhere Auflösung, idealerweise 3xHD (5760 x 3240), zu erzielen. Poster mit kleinen Texten können bei einer solchen Auflösung gut gelesen werden. Es war aber abzuklären, ob eine 3xHD Auflösung überhaupt erreicht werden kann. Das Team beschloss daher, eine Grafikkartenlösung zu finden, mit welcher die neun Bildschirme der gewünschten Monitorkonstellation (siehe Unterkapitel I.1.3.1.5 Fazit Monitorkonstellationen) angesteuert werden können. Für die Lösung wurden Kartenhersteller oder Drittanbieter bezüglich einer Offerte angefragt. Die erhaltenen Offerten können im Anhang (TODO) eingesehen werden. Die Offerte der Firma Matrox konnte eine zufriedenstellende Lösung anbieten. Folgende zwei Karten wurden angeschafft:

1. Matrox M9188 mit 8 Anschlüssen



Abbildung - Matrox M9188

1. Matrox M9128 mit 2 Anschlüssen



Abbildung - Matrox M9128

#### Testhardware

Am 15.03.2012 wurde die Testhardware aufgebaut. Diese Massnahme wurde ergriffen, um herauszufinden, ob die gewünschte Auflösung von 3xHD möglich ist.   
Für die Testhardware wurden die im Kapitel I.1.3.2 Grafikkarten beschriebenen Karten in einen Schulcomputer eingebaut. An diesen wurden neun Monitore (Fujitsu P22W-5 ECO IPS, 22 Zoll) mit je einer maximalen Auflösung von 1680 x 1050 angeschlossen. Die maximale Auflösung von 5040 x 3150 über alle neun Bildschirme entspricht nicht ganz dem vorgesehenen Setup von 3 x 3 Monitoren mit 3xHD (5760 x 3240) Auflösung, ist aber für ein Testsetup ausreichend.



Abbildung - Testhardware

##### Performance Tests mit WPF-Applikationen

###### Übersicht

Um zu testen, wie flüssig verschiedene WPF-Applikationen auf der Test-Wall laufen, wurde einerseits die Studienarbeit Project Flip 2.0[[1]](#footnote-1), welche das Team im Herbstsemester 2011 erarbeitet hatte (Applikation, mit welcher Projekte durchstöbert, gefiltert und gelesen werden können), und zum anderen die Testapplikation für den empirisch formativen Test (TODO: Verlinkung Domain Analyse) verwendet.

Für die Steuerung der neu eingebauten Hardware standen zwei Treiber zu Verfügung, einer basiert auf dem Windows Display Driver Model [microsoft06] (WDDM, neu seit Windows Vista) und der andere auf dem Windows 2000 Display Driver Model [microsoft12] (XDDM).

###### WDDM

Zu Beginn wurde der WDDM-Treiber verwendet. Mit diesem lief jedoch keine der Applikationen flüssig, schon nur das Maximieren einer Applikation über alle neun Bildschirme dauerte ein paar Sekunden.   
Applikationen mit einem aufwändigen GUI und Animationen, wie bei Project Flip 2.01, verursachten grosse Performance-Probleme. Die Applikation lief sehr langsam und stockend, die verschiedenen Bildschirme liefen nicht immer synchron. Bei einer herabgesetzten Auflösung (1280 x 800 - 640 x 480 pro Bildschirm) liefen die Monitore wieder ohne Probleme synchron, aber auch mit diesen Einstellungen war die Applikation nicht flüssig und reagierte nur langsam.   
Die Testapplikation lief ebenfalls langsam. Die Poster werden der Testapplikation für den empirisch formativen Test als XPS-Dokumente zur Verfügung gestellt. Der Wechsel vom einen zum nächsten Poster brauchte spürbar Zeit.

###### XDDM

Da die Tests mit dem WDDM-Treiber kein zufriedenstellendes Resultat lieferte, wurde der XDDM Treiber installiert um herauszufinden, ob mit der Verwendung dieses Treibers eine Verbesserung der Performance festgestellt werden kann. Zusätzlich wurden bei der Project Flip 2.01 Applikation alle Effekte (Schlagschatten- oder Unschärfeeffekte) des GUIs entfernt. Nach diesen Anpassungen konnte zumindest einigermassen flüssig durch die Projekteübersicht der Applikation gescrollt werden.   
Trotz allem waren aufwändigere Animationen bei einer hohen Auflösung nicht flüssig. Die dargestellten XPS-Dokumente der Testapplikation brauchten bei einer hohen Auflösung immer noch einige Zeit, um angezeigt zu werden. Diese Zeit war auch immer noch spürbar, als die Auflösung weit heruntergesetzt wurde (640 x 480 pro Bildschirm).

###### Darstellungsoptionen Poster / PDF

Im Zuge der Evaluation der Darstellungsoptionen der Poster im PDF-Format (siehe TODO Verlinkung Entwurf, PDF Darstellung) wurde die Testapplikation für den empirisch formativen Test leicht abgeändert um weitere PDF-Darstellungsoptionen zu prüfen. Die Variante 1 (TODO link Entwurf, Variante 1: PDF direkt darstellen) konnte nach kurzer Testphase und Auswertung ausgeschlossen werden und wurde daher nicht mit verschiedenen Auflösungen getestet. Die Variante 3 (TODO link Entwurf Variante 3: Umwandlung zu Bild) hingegen wurde auf der Wall ausführlicher untersucht. Das Anzeigen der Bilder benötigte bei den verschiedenen Auflösungen erwartungsgemäss immer etwa gleich lange. Mit dieser Variante könnte auf der Videowall die volle Auflösung (3xHD) genutzt werden.

##### Test mit Direct-Applikationen

Das Hardware-Setup mit den zwei Matrox Grafikkarten (siehe Unterkapitel I.1.3.2 Grafikkarten) ist bezüglich Performance nicht zufriedenstellend. So kann zum Beispiel beim Abspielen eines Videos oder einer einfachen Animation ein leichtes "Ruckeln" festgestellt werden. Da in der Videowall-Applikation Animationen und später auch Videos eingesetzt werden sollen, stellt dieser Fakt ein erhebliches Problem dar. Die Videowall-Applikation soll eine neue Technologie demonstrieren und sofort einen positiven Eindruck beim Benutzer hinterlassen. Dies kann jedoch nicht gewährleistet werden, wenn die Applikation bei Animationen ruckelt.

Die Performance-Problematik bezüglich Grafikkarten allgemein wurde auch am Meeting vom 12.04.2012 mit Markus Flückiger von der Zühlke Engineering AG besprochen. Seine erste Vermutung war, dass das Problem mit WPF zusammenhängt, da diese Technologie sich nicht für grafisch aufwändige Applikationen eignet. Nach Absprache mit Spezialisten der Zühlke Engineering AG schickte Markus Flückiger am 16.04.2012 eine E-Mail (TODO: Referenz, Anhang) mit dem Vorschlag, den GUI-Layer der Applikation mit DirectX zu entwickeln, um eine bessere Performance erzielen zu können.

Da eine Ersetzung von WPF durch DirectX einen grossen Aufwand mit sich bringen würde, wurde zuerst abgeklärt, ob mit DirectX entwickelte Applikationen denn tatsächlich schneller und vor allem flüssiger laufen würden. Es wurden Tests mit verschiedenen Programmen (Hardware Acceleration Stress Test[[2]](#footnote-2)), speziell mit 3D Computer Games (Sanctuary Demo 2.3[[3]](#footnote-3), Unreal Tournament 2004[[4]](#footnote-4)), durchgeführt. Bei diesen Tests wurde sehr schnell festgestellt, dass die Matrox Grafikkarten nicht den kompletten Befehlssatz von DirectX implementieren (entsprechende Fehlermeldungen wurden bei den Tests angezeigt). Nachdem die Prüfung mit den Videospielen fehlschlug, wurden weitere Tests mit zwei Video Playern (VLC2 und Windows Media Player) und einer selbst programmierten WPF-Applikation durchgeführt. Für alle Prüfungen wurde das Windows 7-Beispielvideo (C:\Users\Public\Videos\Sample Videos\Wildlife.wmv) verwendet. Dabei wurde folgendes festgestellt:

* VLC[[5]](#footnote-5) (Version 2.0.1): Die Videos laufen flüssig mit den Einstellungen DirectX oder Direct2D, eventuell werden einzelne Frames übersprungen. Mit allen anderen Einstellungen (z.B. OpenGL, für komplette Liste siehe Abbildung 12 - Videoeinstellungen VLC Media Player) funktioniert die Ausgabe nicht. Speziell hervorzuheben ist, dass Direct3D nicht unterstützt wird.
* Windows Media Player: Die Videos laufen verlangsamt (ca. 0.6 Mal so schnell wie normal) bis etwa 20 Sekunden des Videos abgespielt sind, danach wird an das Ende des Videos gesprungen.
* WPF-Applikation: Die Videos ruckeln spürbar, können aber trotzdem angesehen werden und es treten keine Fehler auf.

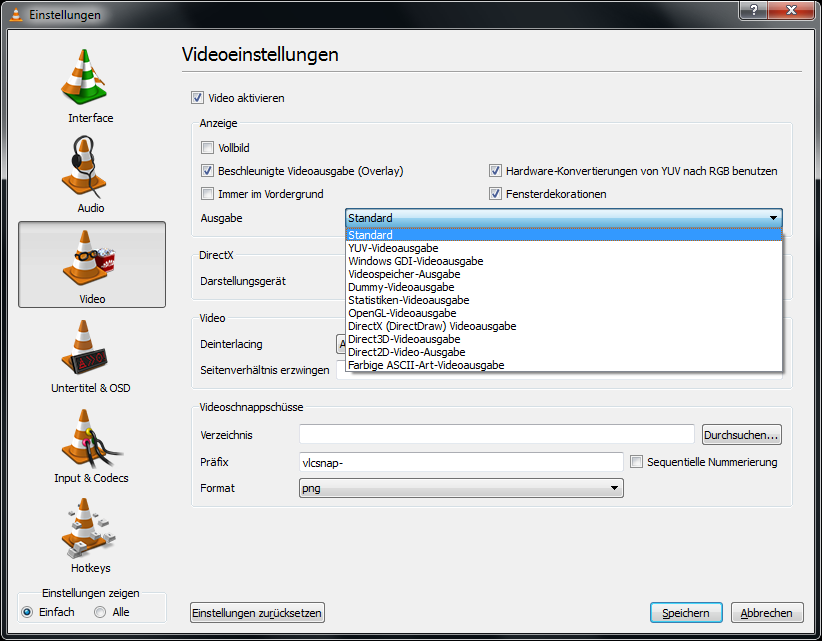


Abbildung - Videoeinstellungen VLC Media Player

Es wurde die Tendenz, dass die Videos sowie die Spiele bei tieferer Auflösung flüssiger laufen als bei höherer Auflösung, festgestellt.

###### Fazit

Für diese Abklärungen über DirectX konnte nur ein Mitglied des Bachelorteams eingesetzt werden, Experten für ein Setup mit neun Monitoren und zwei Matrox Grafikkarten (beispielsweise Personen von der Firma Matrox) fehlten. Soll tatsächlich mit DirectX gearbeitet werden, so muss das konkrete Setup sowie die Performance mit DirectX nochmals genauer abgeklärt werden.

Die Videowall-Applikation wird daher, wie ursprünglich geplant, weiter mit WPF entwickelt.

##### Tests auf abgeänderter Testhardware mit einer Grafikkarte und acht Monitoren

Am 18.05.2012 testete das Team, ob die Performance von WPF- oder DirectX-Applikationen gesteigert werden kann, wenn die Videowall aus nur acht Monitoren bestehen würde. Dazu wurde die Grafikkarte mit den zwei Anschlüssen (Matrox M9128, siehe Kapitel I.1.3.2 Grafikkarten) aus dem Schulcomputer ausgebaut und nur die andere Grafikkarte mit den acht Anschlüssen verwendet. Die Eignung der 2 x 4 Monitorkonstellation dieses Setups ist im Unterkapitel I.1.3.1.4 Variante D: 2 x 4 55“ Monitore beschrieben.

Zur Durchführung der Tests wurde zuerst der WDDM Treiber installiert, danach der XDDM Treiber. Beide erlauben das Zusammenführen der zwei auf der Karte befindlichen GPUs zu einer logischen Grafikkarte. Die Erwartung, dass Applikationen flüssiger laufen, da in diesem Setup keine Kommunikation mit einer weiteren Grafikkarte besteht, wurde nicht erfüllt. Das Team stellte zwar fest, dass die DirectX-Applikation ein bisschen flüssiger (ca. 12 FPS) liefen als bei den Tests im Unterkapitel I.1.3.3.2 Test mit Direct-Applikationen. Der Unterschied ist aber minim.

Die Nutzung von nur einer Grafikkarte bringt dem Test zufolge keine Vorteile.

##### Tests mit verkleinertem Video

Nachdem alle bisher durchgeführten Tests zu keiner zufriedenstellenden Lösung geführt hatten, wurde am 24.05.2012 getestet, ob bei voller Auflösung (3xHD) ein Video in einer WPF-Applikation dargestellt werden kann.



Abbildung - Variante C 3 x 3 55" Bildschirme mit einem 1.5-fach (blau) und 2-fach (gelb) vergrösserten Video

Ein einzelner Monitor besitzt eine Auflösung von FullHD (1920 x 1080) (siehe Abbildung 13 - Variante C 3 x 3 55" Bildschirme mit einem 1.5-fach (blau) und 2-fach (gelb) vergrösserten Video). Die blaue resp. gelbe Fläche zeigt die Grösse, die ein WPF-Video mit 1.5-facher resp. 2-facher Vergrösserung hätte.

Um die optimale Konfiguration für ein Video in FullHD oder mit 1.5-facher resp. 2-facher Vergrösserung zu finden, mussten verschiedene Treibermodelle und Monitormodi der Grafikkarten getestet werden. Optimal heisst, dass beim Abspielen des Videos das Bild nicht ruckelt. Nachfolgend eine Zusammenfassung der Resultate:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| # | Anzahl Monitore | Treibermodell | Monitormodus | Videogrösse (x\*FullHD) | Gut | Knapp | | Schlecht |
| 1 | 8 | WDDM | Independent | 1.5 |  |  | x | |
| 2 |  |  | Partial stretched | 1.5 |  |  | x | |
| 3 |  |  | Joined & stretched | 1.5 | x |  |  | |
| 4 |  |  | Joined & stretched | 2 |  | x |  | |
| 5 |  | XDDM | Independent | 1 |  | x |  | |
| 6 |  |  | Stretched | 1 | x |  |  | |
| 7 |  |  | Stretched | 1.5 |  | x |  | |
| 8 | 9 | WDDM | Independent | 1 |  |  | x | |
| 9 |  |  | Partial stretched | 1 |  |  | x | |
| 10 |  |  | Joined & partial stretched | 1 |  |  | x | |
| 11 |  | XDDM | Independent | 1 |  |  | x | |
| 12 |  |  | Stretched | 1.5 | x |  |  | |
| 13 |  |  | Stretched | 2 |  | x |  | |

Tabelle 2 - Video Performance Test Resultate

Empfehlungen aus den Testresultaten:

* Der Test #12 (siehe Tabelle 2 - Video Performance Test Resultate) liefert die beste Performance: 1.5-fache FullHD-Videogrösse, 9 Bildschirme, Treibermodell: XDDM, Modus: stretched.
* Sollte die Videowall mit dem WDDM Treiber betrieben werden, so wird empfohlen nur 8 Monitore anzuschliessen. Für die Testergebnisse für diese Konfiguration siehe Test #3 in obenstehender Tabelle.
* Soll das Video mit 2-facher Vergrösserung abgespielt werden, ist die Konfiguration von Test #13 anzuwenden.

Nachfolgend werden die Kategorien der obenstehenden Tabelle (siehe Tabelle 2 - Video Performance Test Resultate) erläutert.

**Allgemein**

Alle getesteten Kriterien beeinflussen die Performance. Leider ist die Optimierung der Performance über diese Kriterien kein lineares Problem, weshalb alle Kombinationen ausprobiert werden mussten.

**Anzahl Monitore**

Da eine 2 x 4 Konfiguration der Monitore auch möglich ist und diese 8 Bildschirme mit einer einzigen Grafikkarte (siehe Kapitel I.2.2 Grafikkarten) betrieben werden können, wurde diese Konfiguration zusätzlich zur 3 x 3 Monitorkonstellation getestet.

**Treibermodell**

Weitere Details zu den Treibermodellen sind in den Unterkapiteln I.1.3.3.1.2 WDDM und I.1.3.3.1.3 XDDM zu finden.

**Monitormodus**

Es gibt verschiedene Modi um die Monitore zu betreiben. Nicht alle Modi existieren bei beiden Treibern, folgende Varianten sind verfügbar:

|  |  |
| --- | --- |
| Treiber WDDM   * Independent * Partial stretched * Joined & stretched (für 8 Monitore) * Joined & partial stretched (für 9 Monitore) | Treiber XDDM   * Independent * Stretched |

Zur besseren Veranschaulichung sind die verwendeten Konfigurationen nachfolgend aufgeführt:

*Independent*

Alle Monitore sind unabhängig voneinander und werden von Windows als einzelne Monitore erkannt.



Abbildung - Konfiguration "Independent" (XDDM, WDDM)

*Stretched*

Verschiedene einzelne Bildschirme werden zu einem grossen virtuellen Bildschirm zusammengeschlossen.



Abbildung 15 - Konfiguration "Stretched" (XDDM)

*Partial stretched*

Da die beiden Grafikkarten M9128 und M9188 (siehe Unterkapitel I.1.3.2 Grafikkarten) unter Verwendung des WDDM-Treibermodells nicht zusammengeschlossen („Joined“) werden können, beschreibt dieser Modus, dass nur die Bildschirme, welche an der gleichen Grafikkarte angeschlossen sind, zu einem grossen virtuellem Bildschirm zusammengeschlossen werden.



Abbildung 16 - Konfiguration "Partial stretched" (WDDM)

*Joined & stretched*

Um einen grossen virtuellen Bildschirm (stretched) mit dem Treibermodell WDDM zu erzeugen, ist es nötig, die GPUs der Grafikkarten zusammenzuschliessen. Dies kann über die Option „Joined“ angegeben werden.

Werden nur 8 Monitore verwendet, so wird nur die Grafikkarte mit den 8 Anschlüssen (siehe Matrox M9188 mit 8 Anschlüssen im Unterkapitel I.1.3.2 Grafikkarten) benötigt. Daher ist nun ein Zusammenschliessen („Joined“) der zwei auf der gleichen Grafikkarte vorhandenen GPUs möglich.



Abbildung 17 - Konfiguration "Joined & stretched" (WDDM)

*Partial Joined & partial stretched*

Da die GPU der zweiten Grafikkarte mit 2 Anschlüssen nicht mit den zwei GPUs der ersten Grafikkarte mit 8 Anschlüssen zusammengeschlossen („Joined“) werden können, wurde versucht, nur die zwei GPUs der grossen Grafikkarte zusammenzuschliessen (B1, B2, B3, B4, C2, C3) und die zweite Grafikkarte einzeln laufen zu lassen (Monitore A1 und A2). Leider kann der „Joined“-Modus nur dann verwendet werden, wenn der zusammengeschlossene, rosse Screen rechteckig ist. Deshalb konnte der Monitor C1 nicht mit den anderen GPUs der ersten Grafikkarte mit 8 Anschlüssen zusammengeschlossen werden.



Abbildung 18 - Konfiguration "Joined & partial stretched"

**Videogrösse (x \* FullHD)**

Die Videogrösse beschreibt die Grösse (nicht Auflösung) des Videos, das in einer maximierten WPF-Applikation (über alle Bildschirme gestreckt) abgespielt wird. Es wurden verschiedene Videogrössen getestet um festzustellen, ab welcher Auflösung das Video nicht mehr ohne Ruckeln abgespielt werden kann.

**Bewertungen (Gut, Knapp, Schlecht)**

Die Bewertungen beziehen sich auf die Flüssigkeit / Performance des Videos, das in einer WPF-Applikation abgespielt wird.

* Gut bedeutet, dass das Video angenehm anzuschauen ist, d.h. von Auge kein Ruckeln festgestellt werden kann.
* Knapp heisst, dass ein Ruckeln zwar klar erkenntlich ist, das Video aber noch immer angesehen werden kann. Im Notfall könnten Videos mit dieser Bewertung für die Videowall benutzt werden.
* Schlecht bedeutet, dass das Video gar nicht oder mit so viel Verzögerung abgespielt wird, dass es nicht mehr als Video angesehen werden kann (weniger als 2 Bilder pro Sekunde).

##### Fazit der durchgeführten Tests mit unterschiedlicher Hardwarekonstellation

Die verschiedenen Performance-Tests, welche bis zum 24.05.2012 durchgeführt wurden, führten zu keiner zufriedenstellenden Lösung. Auf der Suche nach weiteren Lösungen wurde beschlossen, dass ein Video auch verkleinert, also nicht über den ganzen Bildschirm gestreckt, abgespielt werden könnte. Dieser Test (siehe Unterkapitel I.1.3.3.4 Tests mit verkleinertem Video) ergab, dass ein Video mit 1.5-facher FullHD-Grösse und mit FullHD-Auflösung gut abgespielt werden kann, das Video ist angenehm anzusehen.

Für Programme mit wenig Bewegung wird die Konfiguration von Test #12 (siehe Tabelle 2 - Video Performance Test Resultate) empfohlen. Diese reicht für einfache Inhalte inklusive Videos aus, ist aber nicht für Games geeignet. Dieses Setup wird empfohlen, da das Bild auf diese Weise sehr scharf ist und die Poster sehr angenehm gelesen werden können. Die Lesbarkeit wird wichtiger bewertet als gute Performance bei Programmen mit vielen Animationen oder Spielen.

Falls Spiele mit 3D-Beschleunigung programmiert werden sollen, so wird die Verwendung eines Daisy Chain Boards empfohlen (siehe I.1.5.1.1 Verwendung von Daisy Chain Board). Durch die beschränkte Auflösung von 1xHD können jedoch die Poster der Landschaftsarchitektur nicht gelesen werden, wofür eine Lösung gefunden werden müsste (zum Thema Lesbarkeit der Poster siehe Kapitel I.1.6 Lesbarkeit der Poster). Die Poster der anderen Abteilungen der HSR können bis zu einer minimalen Auflösung von 1280 x 800 knapp gelesen werden.

### Mitsubishi Display Wall

Zu Beginn des Projektes holte die HSR eine Offerte (TODO: Link auf Offerte im Anhang) für die geplante Videowall ein. Die darin aufgelistete Hardware verfügt über ein Daisy Chain Board, welches die Verteilung eines Signals auf neun Monitore über einen Anschluss ermöglicht. Diese Lösung bietet eine maximale Auflösung von 1920 x 1200 (1xHD).   
Markus Stolze und das Bachelorteam konnten am 2. Mai 2012 eine Mitsubishi Display Wall bei der Firma CPP AG in Geroldswil besichtigen.

Diese Mitsubishi Display Wall verfügte über 2 x 2 49“ LCD Displays. Die Monitore hatten mit insgesamt 5.7 mm eine extrem schmale Rahmenbreite. Das Team testete, ob, und wenn ja wie stark, die Rahmen das Erscheinungsbild eines Posters beinträchtigen. Der schmale Rahmen wurde aber schon nach kurzer Zeit kaum mehr wahrgenommen. Die Wall wirkte zudem vor allem bei der Visualisierung von Bildern extrem eindrücklich.  
Bei einer Konstellation aus mehreren Monitoren ergibt sich das Problem, dass die Bildfläche in den Ecken der einzelnen Bildschirme dunkler erscheint. Diese Problematik wurde bei der Mitsubishi Display Wall mit speziellen Monitoren mit LED Backlights und einer digitalen Gradationskontrolle gelöst. Diese Lösung bietet eine gleichmässige Beleuchtung. Auch verfügt die Wall über eine Farbraum- und eine dynamische Helligkeits-Anpassung. Mehr Informationen können dem Datenblatt zur Mitsubishi Display Wall im Anhang entnommen werden (TODO: Verlinkung Anhang).

Das Team wollte mit dem Anschauen und Testen einer Mitsubishi Display Wall sicherstellen, dass Poster auf der Wall gelesen werden können. Hierfür verwendeten sie verschiedene Poster der Abteilungen Informatik, Elektrotechnik und Landschaftsarchitektur. Die Poster der Informatik und Elektrotechnik konnten ohne Probleme gelesen werden. Bei jenen der Landschaftsarchitektur konnten hingegen nur die grösseren Übertitel gelesen und die Bilder betrachtet werden. Ist bei der Videowall für die HSR keine höhere Auflösung als 1920 x 1200 (1xHD) möglich, muss eine andere Möglichkeit gesucht werden, um die sehr detaillierten Poster trotzdem lesbar machen zu können. Es besteht die Option, die Poster bis zu einem bestimmten Grad zu vergrössern und von einem bestimmten Bereich aus eine moderierte Navigation innerhalb des Posters anzubieten.

### Beschaffungsanalyse

Um eine Empfehlung für das endgültige System machen zu können, wurden mehrere Offerten für Monitore eingeholt. Diese können im Anhang eingesehen werden (TODO Anhang).

Für die Videowall sollen die im Kapitel I.1.3.2 Grafikkarten beschriebenen Grafikkarten favorisiert werde, da diese im Zuge der Hardware-Evaluation bereits gekauft wurden.

#### Videowall mit 3 x 3 55“ Monitoren

Eine Konstellation mit 3 x 3 55“ Monitoren stellt die Wunschkonstellation für die HSR Videowall dar. Diese kann von verschiedenen Anbietern geliefert werden. Konkret wurden zwei Offerten eingeholt, eine zur Mitsubishi Display Wall ohne Daisy Chain Board (siehe I.1.4 Mitsubishi Display Wall) und die andere zu den Hyundai Indoor Public Displays. Im Vergleich zur Mitsubishi Display Wall konnten die Hyundai Indoor Public Displays nicht vor Ort besichtigt werden. Bevor der Entscheid auf diese Offerte fällt, müssten daher genauere Untersuchungen gemacht werden. Die Offerten sind im Anhang zu finden (TODO).

* Vorteile
  + Hohe Auflösung von 1920 x 1080 (1xHD) pro Monitor
  + Sehr schmaler Gehäuserahmen
* Nachteile
  + Sehr kostspielig

##### Verwendung von Daisy Chain Board

Die Mitsubishi Display Wall (siehe I.1.4 Mitsubishi Display Wall) kann auch mit einem Daisy Chain Board geliefert werden. Dieses verteilt das Bildsignal über einen Anschluss auf alle neun Monitore.

* Vorteile
  + Die Grafikkarte muss nur über einen Anschluss verfügen
  + Sehr schmaler Gehäuserahmen
* Nachteile
  + Die Auflösung ist auf 1920 x 1200 (1xHD) über alle Monitore begrenzt
  + Sehr kostspielig

#### Videowall mit 3 x 3 46“ Monitoren

Die Konstellation mit 3 x 3 46“ Monitoren entspricht nicht der Wunschkonstellation. Jedoch wurde bei Recherchen festgestellt, dass Monitorwände mit diesen etwas kleineren Monitoren zu wesentlich günstigeren Preisen angeboten werden. Daher wurde auch für diese Konstellation eine Offerte eingeholt (TODO Anhang).

* Vorteile
  + Der Kostenfaktor der Monitore wird um ca. 2/3 reduziert
  + Sehr schmaler Gehäuserahmen
* Nachteile
  + Die Auflösung ist auf 1366 x 768 pro Monitor begrenzt, ergibt über alle Monitore eine Auflösung von ungefähr 2xHD
  + Entspricht nicht der Wunschgrösse

### Lesbarkeit der Poster

Dem Team standen 21 Testposter zur Verfügung. Davon waren zehn von der Informatik-, vier von der Elektrotechnik- und sieben von der Landschaftsarchitektur-Abteilung. Bei einer Auflösung von 1xHD sind die Texte der Poster der Abteilungen Informatik und Elektrotechnik problemlos lesbar, die der Landschaftsarchitektur jedoch nicht. Daher wurde geprüft, ob eine Auflösung von 3xHD die Lesbarkeit der Landschaftsarchitektur-Poster verbessern könnte.

Für den Test wurden zwei Bilder vorbereitet. Das eine soll eine Auflösung von 3xHD simulieren. Dazu wurde ein Neuntel eines Landschaftsarchitektur-Posters auf einem weissen Hintergrund mit dem Format 16:9 platziert. Der Ausschnitt des Posters wurde so angepasst und positioniert, dass er 11/12 der Vertikale einnahm. Für das zweite Bild, um eine Auflösung von 1xHD zu simulieren, wurde wiederum ein weisser Hintergrund mit dem Format 16:9 verwendet. Dieses Mal wurde das ganze Landschaftsarchitektur-Poster so angepasst und positioniert, dass es 3/4 der Höhe des Hintergrundes einnahm. Bei beiden Bildern dürfen die Poster nicht den ganzen Platz einnehmen, da der freie Bereich in der Videowall-Applikation für die Darstellung des Menus und das Anzeigen des Skeletts verwendet wird.  
Am 25.05.2012 prüfte das Team auf dem HP LD4200tm des Instituts für Software (IFS), ob beide erstellten Abbildungen lesbar sind. Die Abbildungen wurden auf dem 42“ Monitor aus einer Entfernung von drei bis vier Metern betrachtet. Es wurde festgestellt, dass der Text auf dem 1/9-Ausschnitt des Posters (Simulierung einer 3xHD-Auflösung) zwar lesbar ist, das Lesen aber anstrengend für die Augen ist. Es ist davon auszugehen, dass Benutzer der Videowall solche Poster nur bei grossem Interesse lesen werden. Die Poster der Landschaftsarchitektur werden bei einer 3xHD Auflösung daher als bedingt lesbar eingestuft. In der 1xHD-Variante, in welcher das gesamte Poster auf dem Bild sichtbar ist, können lediglich der Titel und die Hauptüberschriften des Posters gelesen werden. Die Poster der Landschaftsarchitektur werden bei einer Auflösung von 1xHD als nicht lesbar eingestuft.

Um die Problematik mit den schlecht lesbaren Landschaftsarchitektur -Postern zu lösen, wurde im Backlog eine User Story (TODO Link) erstellt. Eine denkbare Lösung wäre eine Zoom-Möglichkeit in der Applikation oder ein vordefinierter Pfad, über den die verschiedenen Ausschnitte des Posters dem der Benutzer präsentiert werden.

#### Prozentuale Lesbarkeit

Da die Bachelorposter der Landschaftsarchitektur auch bei einer hohen Auflösung von 3xHD nur mit Mühe lesbar sind, wurde eruiert, wie gross der Anteil von Postern, die nicht oder nur erschwert lesbar sind, auf der Videowall sein wird.   
Für die Erstellung der Auswertung wurden die folgenden zwei Annahmen getroffen:

* Die Bachelorarbeiten der Studiengänge Informatik und Elektrotechnik werden in Zweiergruppen durchgeführt.
* Die Arbeiten der übrigen Studiengänge entstehen in Einzelarbeit.

Zum Zeitpunkt der Auswertung am 25.05.2012 stehen noch keine Bachelorarbeiten der Abteilung Erneuerbare Energien und Umwelttechnik zur Verfügung. Für die Auswertung wurden auf der Unterrichtswebsite der HSR (TODO: link) die Studenten gezählt, welche sich zwischen dem Frühlingssemester 2008 und dem Frühlingssemester 2012 für die Bachelorarbeit in ihrem Studiengang angemeldet hatten. Die detaillierte Auswertung kann dem Anhang entnommen werden (TODO: Verlinkung Anhang). Über die letzten viereinhalb Jahre ergibt sich nachfolgende Verteilung.

Abbildung - Anzahl der Arbeiten pro Abteilung, Angaben in Prozent

Wie in Abbildung 19 - Anzahl der Arbeiten pro Abteilung, Angaben in Prozent ersichtlich ist, machen die Arbeiten der Landschaftsarchitektur 19% aller Bachelorarbeiten aus. Es wird daher angenommen, dass die restlichen Poster, welche 81% ausmachen, mit beiden Auflösungen von 1xHD und 3xHD lesbar sind.

Aus den Tests mit dem verkleinert dargestellten Video (siehe Unterkapitel I.1.3.3.4 Tests mit verkleinertem Video) ergibt sich, dass Videos mit 1.5- oder 2-facher FullHD-Auflösung performant laufen. Als Folge sind ca. 81% der Bachelorposter gut auf der Videowall lesbar.

1. |  |  |
   | --- | --- |
   | [elmer11] | Lukas Elmer, Christina Heidt, Delia Treichler, „Project Flip 2.0“,  <http://eprints3.hsr.ch/220/>  letzter Zugriff: 13.04.2012 |

   [↑](#footnote-ref-1)
2. <http://hacks.mozilla.org/2010/09/hardware-acceleration/> [↑](#footnote-ref-2)
3. <http://unigine.com/products/sanctuary/> [↑](#footnote-ref-3)
4. <http://epicgames.com/technology/> [↑](#footnote-ref-4)
5. <http://www.videolan.org/vlc/> [↑](#footnote-ref-5)