

## **Anleitung zum Aufbau einer Virtual Reality Cave**

Institut für Produktionsmanagement und Logistik  
an der Hochschule München

Markus Ehmann

Die Software zum Betreiben der Cave wurde erstellt von



Der Download-Link zum Test-Software Paket von BS Cave  
befindet sich am Ende dieser Anleitung.

Die folgenden Seiten liefern eine Übersicht zum Nachbau einer Virtual Reality Cave.  
Für detailliertere Nachfragen und für sonstige Informationen wenden Sie sich bitte an den Kontakt am Ende dieser Anleitung.

## 1) Dimensionierung der Cave

Benötigte Mindestraummaße:	7,60 m x 6,90 m x 3,50 m
Durchmesser:	3,10 m
Höhe:	2,30 m
Anzahl der Projektoren:	6 Stück
Projektionsbreite auf der Zylinderfläche:	250°
Bildbreite pro Projektor:	1,74 m
Abstand Projektor – Leinwand:	4,43 m
Abstand Spiegel – Leinwand:	1,95 m

## 2) Dreidimensionale Ansichten der Cave

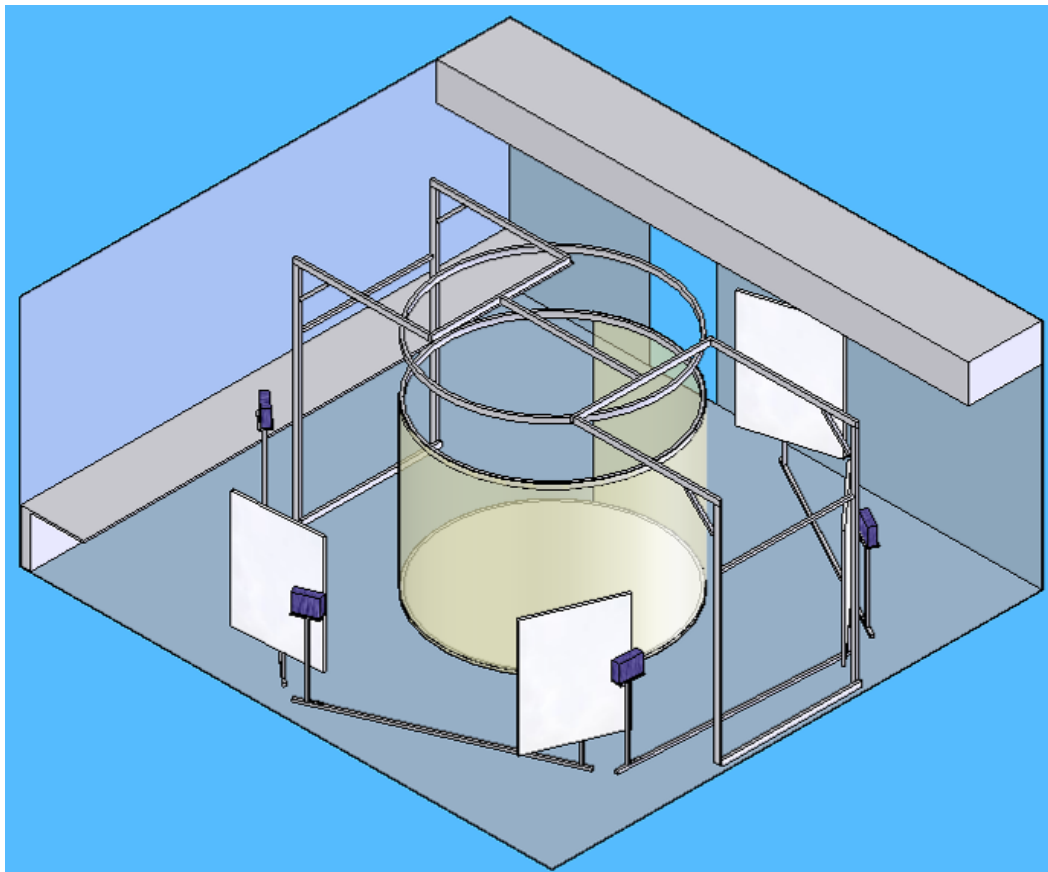


Bild 1) SolidWorks-Modell der Cave

Zu sehen sind dabei die Trägerkonstruktion, die zylindrische Projektionsfläche, sowie die vier Beamer mit je einem Spiegel zur Umlenkung.

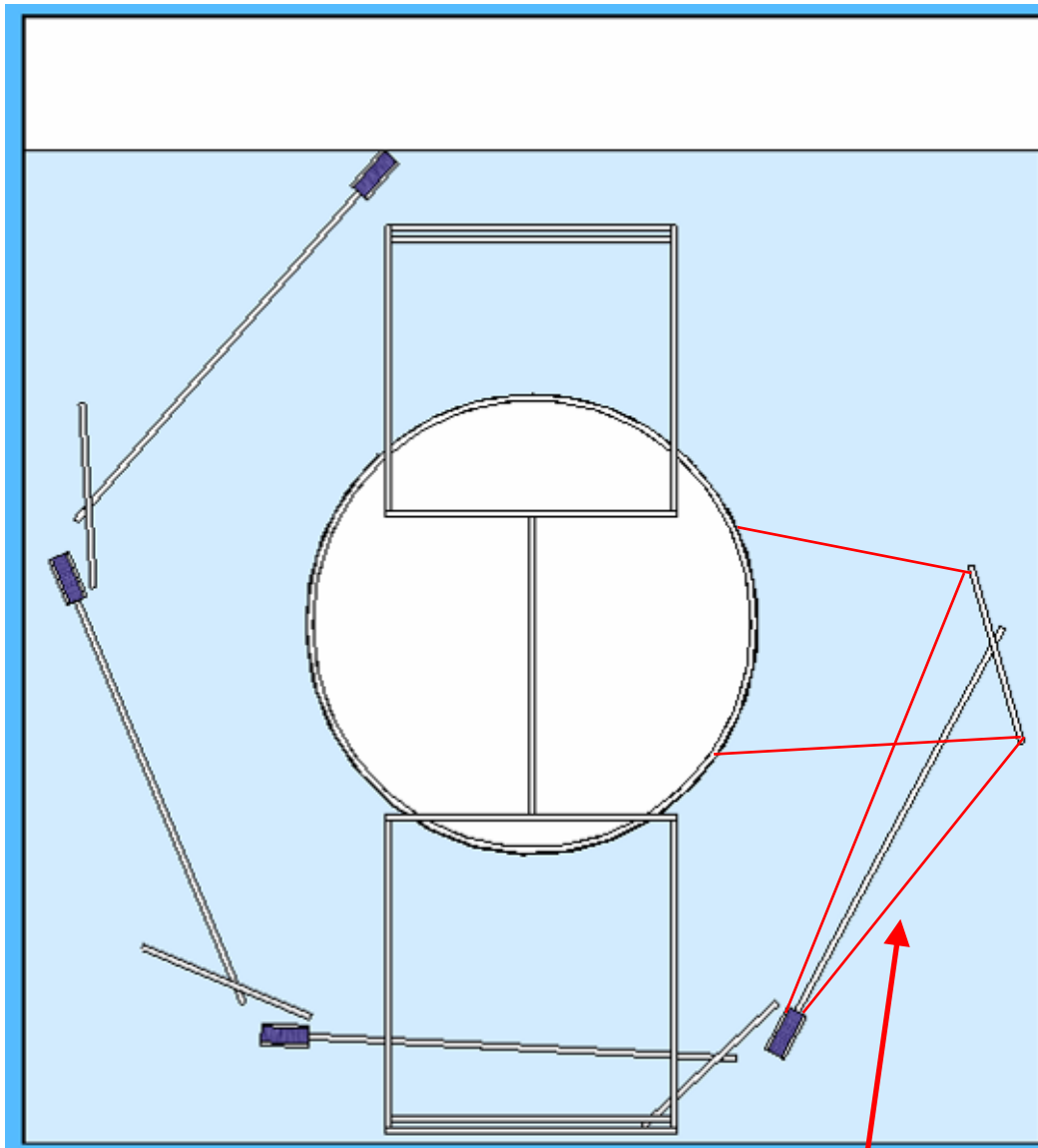
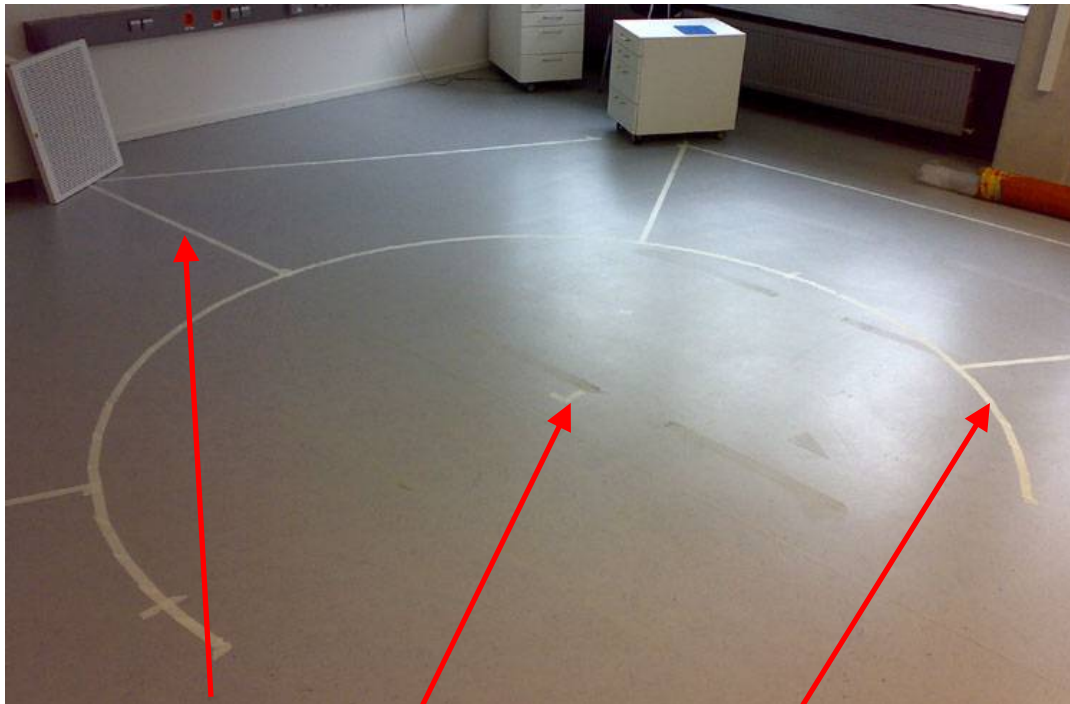


Bild 2)      Aufsicht des Modells

Projektionsgang eines Bildes

### 3) Raumvorbereitung

Durch das 3D-Modell kann eine Konstellation im Raum gefunden werden, mit dem im Labor die Anordnung auf dem Boden markiert werden kann. Dies dient zur letzten Überprüfung und als Orientierungshilfe während des Aufbaus.



Strahlengang  
 Kreismittelpunkt  
 projizierte Fläche auf dem Zylinder / der  
 Leinwand

Bild 3) Bodenmarkierung im Logistikkabor

Zu sehen sind in Bild 3) die angezeichneten Markierungen. Der Kreis wurde nur im Bereich der späteren Projektion beklebt. Im hinteren Teil der Abbildung ist ein kompletter Strahlengang mit Umlenkung über den Spiegel (dargestellt durch ein Gitter) zu sehen.

Für die notwendige Versorgung der Cave wurde darauf geachtet, dass an Vorder- und Rückseite des Raumes je eine Leiste mit Strom- und Netzwerkanschlüssen vorhanden ist.

Die Fensterflächen nach außen, sowie zu anderen Räumen wurden mit einer handelsüblichen, selbstklebenden Folie abgedeckt.

Die Beleuchtung zum Hochfahren der Anlage und für Arbeiten am Cave-System wurde auf eine Reihe Lampen an der Stirnseite des Labors reduziert. So gibt es keine Komplikationen mit den Projektionsgängen an der Decke.

#### 4) Installation & Abstimmung der Komponenten

Anhand der Bodenmarkierung kann das Trägergerüst mit den Ringen ausgerichtet und schließlich am Boden fixiert werden. Vor allem der Kreismittelpunkt muss dabei exakt übereinstimmen, da Veränderungen später nur schwer zu bewerkstelligen sind.

Der mittlere Ring, an dem das obere Ende der Projektionsfolie befestigt ist, wird mittels Ösen, Vorspannhaken und einem Stahlseil mit dem oberen Ring verspannt (zu sehen in Bild 4)). So ist gewährleistet, dass die Folie später bei eventueller Dehnung wieder nachgezogen werden kann.



Bild 4) Aufhängung des oberen Zylinderrings am Trägerring

Die Rückprojektionsfolie wird mittels selbstklebender Klettstreifen an Ringen und Folie verbunden. Dies lässt die Möglichkeit offen, die Öffnung der Cave gegebenenfalls zu verschieben.

Anschließend werden die Projektoren und Spiegel für den Strahlengang über die Decke auf den Boden, am oberen Tragering ausgerichtet und fixiert. Die Beamer sind mit justierbaren Aluminiumplatten am Gerüst befestigt und die Spiegel mit Klebehaken und Perlonschnur.

Vor Einlegen der Bodenplatten wurde der Innenraum des bodenseitigen Zylinderrings mit Kanthölzern auf eine Höhe von 40 mm gebracht, um mit der Ringfläche bündig abzuschließen.

Die Gitterstruktur, zur besseren Lastverteilung bei Betreten, ist in Bild 5) zu sehen:



Bild 5) Gitterstruktur aus Kanthölzern unter den Bodenplatten



Nach dem Einlegen der Bodenplatten, können die Trägergestelle für Spiegel und Projektoren zusammengebaut (siehe Bild 6) und Bild 7)) und positioniert werden und anschließend wird mit den Lichtstrahlen überprüft, ob die gesamte Fläche des Zylinders und der Bodenplatte bestrahlt werden kann.

**Achtung: Zum Erzeugen eines geshutterten Bildes können keine Standardprojektoren verwendet werden. Zum Einsatz kam deshalb der CAVE-DepthQ der Firma Lightspeed. Die Kontaktdaten inklusive Kennwort für einen Angebotspreis befinden sich am Ende der Anleitung.**

Auch diese Einheiten müssen schließlich verankert werden, damit die Korrektur der Darstellung bezüglich Krümmung und Überschneidung angepasst werden kann und ein nachträgliches Verrutschen nicht mehr möglich ist.



Bild 6) Projektor/Spiegel-Verbindung für die Zylinderprojektion  
 Zu sehen sind die Halterungen für den Aluleichtspiegel und den, um die Längsachse gedrehten, Projektor. Um den Projektionsabstand zu fixieren, wird eine weitere Stange aus Aluminiumprofil verwendet.



Bild 7) Befestigung der Deckenprojektoren und -spiegel

Als letzter vorbereitender Schritt vor der Softwareanpassung werden die jeweiligen Kabel für Grafik, Strom und Framelocknetzwerk verlegt.

Vor Aufspielen der Software bekommen die Workstations noch die aktuellen Treiberkombinationen für die Grafikkarten als Update. Hier ist zu beachten, dass für die stereoskopische Darstellung ein separates Treiber-Addon nötig ist, das nicht immer mit den neuesten Grundtreibern kompatibel ist. Eine passende Kombination muss deswegen vorher durch Testen verifiziert werden.

Das BS Cave Paket für besteht aus dem BS Collaborate ("Server"), der für die Cave notwendigen Anzahl des BS Contact Stereo ("Client") und dem BS SDK ("Dokumentation für Rund-Cave und Modellanpassung").

Zur Übertragung des Synchronisationssignals sowie zum Laden der 3D Szenen und Objekte wird das BS Collaborate System eingesetzt. Das Synchronisationssignal wird benötigt, um eine gleichmäßige Animation der 3D Szene auf allen Rechnern zu gewähren sowie zur Steuerung der Kamera in 3D an den Client Rechnern. Jeder Client-Rechner besitzt eine „Framelock (Genlock)“ Grafikkarte, damit das Bildsignal zum jeweiligen Beamer zeitgleich mit den anderen Rechnern übertragen wird. Somit ist garantiert, dass der Bufferflip der Grafikkarten zeitgleich stattfindet. Als Framelock Master wird der Rechner ausgewählt, an dem der Shutter-Brillen-Emitter angeschlossen ist. Dadurch ist es gewährleistet, dass die Shutter-Brillen mit der Stereobildumschaltung synchronisiert sind.

Auf jedem Rechner befindet sich eine Konfigurationsdatei zur Einstellung des spezifischen Kameraversatzes sowie zur Einstellung des Server-Client-Systemes. Genauere Parameter und deren Handhabung sind im BS SDK auf der Internetseite von Bitmanagement Software GmbH hinterlegt. Weiterhin kann jeder Rechner

individuell konfiguriert werden. Mit der BS Cave Software ist es nicht nur möglich 6 Ansichten durch 3 Rechner zu steuern, sondern beliebig viele verschiedenen Ansichten und Projektionen bei einer geänderten Größe des beschriebenen Rund-Caves.

Zur Installation des BS Cave Software wird nur das BS Cave Paket benötigt. Auf einem ausgewählten Master Rechner wird der BS Collaborate („Server“) installiert und konfiguriert bezüglich IP Adresse und Port Nummer. Auf diesem Rechner kann auch der Master für die Steuerung der Slaves und der Navigation durch die 3D Szene installiert werden. Bei diesem Master muss die Konfigurationsdatei zur Kommunikation zwischen dem Server angepasst werden. Anschließend können die restlichen Rechner mit dem BS Cave ausgestattet werden. Bei den Slave Rechnern ist eine Installation des BS Collaborate („Servers“) nicht notwendig. Bei den Slave Rechnern müssen dann ebenfalls die Konfigurationsdateien für die Kommunikation zum Server sowie die individuelle Kamerakalibrierung angepasst werden. Weiterhin muss eine Maske erstellt werden damit die Überblendungen der anderen Projektoren auf die Leinwand reduziert wird. Diese Masken können mit einem beliebigen Bildbearbeitungsprogramm erstellt werden.

Anbei ist ein Auszug aus der Konfigurationsdatei und deren Parameterbeschreibung in Englisch.

```
#Here are the blending maps defined. With these maps you can reduce the edge over blending effect of projectors.  
#Create your own gray scale transparency mask with any image creation tool. It must have the resolution of 1024 x 1024  
#Please use absolute pathes to the image files.
```

```
DEF Blendingmap_0 ImageTexture {  
    url "C:\gitterlinien1.png"  
    repeatSFALSE  
    repeatTFALSE  
}
```

```
DEF Blendingmap_1 ImageTexture {  
    url "C:\gitterlinien1.png"  
    repeatSFALSE  
    repeatTFALSE  
}
```

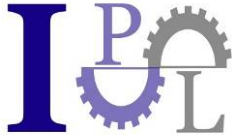
```
DEF Blendingmap_2 ImageTexture {  
    url "C:\gitterlinien1.png"  
}
```

```
DEF Blendingmap_3 ImageTexture {  
    url "C:\gitterlinien1.png"  
}
```

```
# Here you can define the ip adress of the server  
DEF ServerAddress MetadataString {name "ServerAdress" value "192.168.1.2"}
```

```
# This is the server port number  
DEF ServerPort MetadataInteger {name "ServerPort" value 12538}
```





```
# If this client ist the master Client for the navigation, then set the value to 'isMaster' else set it to
'isNotMaster'.
# Is the value setted to 'isNotMaster' no navigation is possible.
DEF Master MetadataString {name "MasterFlag" value "isMaster"}

#This value describes the folder to the location of the scene files for loading. Please use Windows
Shared Folder system.
DEF MasterFilePath MetadataString {name "FilePath" value "Bitmanagement"}

#Everthing below this line is projector specific.
#Every definition on index 0 is for the projector on index 0 in ConnectedProjectorID and every
definition on index 1 is for the projector on index 1 in ConnectedProjectorID.

#This field is to define which projector view should be used for rendering.
#You have to copy the DEF name of the projector view. There must be two projector views defined.
DEF ConnectedProjectorID MetadataString {name "ProjectorID" value ["Projector_0"
"Projector_1"]}

DEF CaveModel MetadataString {name "ModelName" value ["wall" "wall"]}

#In this field you can define the offset in RAD for the navigation camera for every projector.
#With this field you are able to determine what the projector is displaying from your scene.
DEF PhysicalCamX MetadataDouble {name "PhysicalCamX" value [0 0]}

#This field is for looking up or down
DEF PhysicalCamY MetadataDouble {name "PhysicalCamY" value [-
1.5707963267948966192 -1.5707963267948966192]}

#This field is for lrolling the camera around the z axis
DEF PhysicalCamZ MetadataDouble {name "PhysicalCamZ" value [0 1]}

#This field is for flipping the projected view around the xy axis Camera [x1,y1,x2,y2] as bool variable
1=true, 0 =false
DEF PhysicalCamFlip MetadataInteger {name "PhysicalCamFlip" value [0,0,0,0]}

#This field is the offset to the navigation (user) camera. Each point consits of 3 values (x,y,z).
#For two cameras you need 6 values. x1,y1,z1 and x2,y2,z2
DEF PhysicalCamPosOffset MetadataFloat {name "PhysicalCamPosOffset" value [0 0 0
0 0 0]}

#Here you have to define which blending map is for the projector.
#Please use the DEF name from the defenition of the blending map.
DEF BlendingMap MetadataString {name "Blendingmap" value ["Blendingmap_2"
"Blendingmap_2"]}
```

Eine ausführliche Anleitung zur Verwendung der Parameter wird in dem BS Cave Paket zum Download angeboten.

Nach der Einstellung übernehmen dann zukünftig drei Rechner die Grafikberechnung und Aufteilung für je zwei Projektoren, während die vierte Workstation den Masterrechner darstellt. Von ihm aus werden die Programme gestartet und die Bewegungen und Veränderungen der Modelle verarbeitet.

Damit kann einfach zwischen der Modellerstellung auf einem normalen Monitor und der Präsentation in der Cave gewechselt werden.

Das Bild 8) zeigt eine Ansicht der fertigen Cave:



Bild 8) Ansicht der fertig gestellten Cave im Logistklabor

## 5) Stücklisten und Bezeichnungen

### a) Stückliste alphabetisch

Bezeichnung	Beschreibung	Größe	Anzahl
Aluminiumleichtspiegel		1700x1250	5
Aluminiumprofil	40x40	500	4
Aluminiumprofil	40x40	550	4
Aluminiumprofil	40x40	1600	2
Aluminiumprofil	40x40	1700	1
Aluminiumprofil	40x40	1800	1
Aluminiumprofil	40x40	1920	2
Aluminiumprofil	40x40	3280	4
Aluminiumprofil	40x40	1920 + Grundverbinder	4
Aluminiumprofil	40x40, 45° Fase, 2 Verb.	1800	4
Aluminiumprofil	80x40	250	8
Aluminiumprofil	80x40	500	6
Aluminiumprofil	80x40	1930	2
Aluminiumprofil	80x40	2000	3
Aluminiumprofil	80x40	2080	2
Aluminiumprofil	80x40	3000	1
Aluminiumprofil	80x40	3240	4
Aluminiumprofil	80x80	1500	4
Aluminiumträgereing	40x40, gebogen	$d_a=3100$	1
Aluminiumträgereing	80x40, gebogen	$d_a=3100$	2
Angelschnur		10m	1
Befestigungsplatte (Projektor)	3mm	250x250	6
Bodenplatte	Dibond	$d_a=3104$ , Halbkreis	2
Dübel		10	19
Genlockkarten	Quadro-Sync II		4
Grafikkabel	VGA	5m	2
Grafikkabel	VGA	2m	4
Gußwinkel	40x40		27
Gußwinkel	80x40		84
Hammerkopfschrauben		M8	234
Hülse		10x15	18
Klebeösen			16
Klettband	selbstklebend	9m	2
Mutter		SW 13	234
Mutter		5	18

Netzwerkkabel		10m	1
Netzwerkkabel		7m	1
Netzwerkkabel		0,5m	2
Nutenstein		8E, M8	24
Ösenschraube		M8x50	24
Projektor			6
Rechner	R650		4
Rückprojektionsfolie	High-Gain	2,40m x 8m	1
Schaumstoffschoner		80x40	12
Schraube		M8	19
Schraube		M5x35	18
Seilklemmen			4
Stahlseil		4mm, 15m	11
Stromkabel		7m	2
Stromkabel		4m	6
Switch	Gigabit		1
TFT-Bildschirm		20"	2
Verbinderschraube		70	4

## b) Strukturstückliste

Rang 1	Rang 2	Rang 3	Beschreibung	Größe	Anzahl	Gesamt
Projektionsfläche					1	
	Rückprojektionsfolie		High-Gain	2,40m x 8m	1	1
	Bodenplatte		Dibond	d <sub>a</sub> =3104, Halbkreis	2	2
	Projektor		DepthQ		2	2
	Grafikkabel		VGA	5m	2	2
	Stromkabel			7m	2	2
	Aluminiumleichtspiegel			1700x1250	1	1
	Klebeösen				16	16
	Angelschnur			10m	1	1
	Träger				1	
		Aluminiumträgereing	40x40, gebogen	d <sub>a</sub> =3100	1	1
		Aluminiumträgereing	80x40, gebogen	d <sub>a</sub> =3100	2	2
		Klettband	selbstklebend	9m	2	2
		Nutenstein		8E, M8	24	24
		Ösenschraube		M8x50	24	24
		Stahlseil		4mm, 15m	11	11
		Seilklemmen			4	4
		Gußwinkel	80x40		12	12
		Gußwinkel	40x40		7	7
		Hammerkopfschrauben		M8	48	48
		Mutter		SW 13	48	48
		Dübel		10	3	3
		Schraube		M8	3	3
		Aluminiumprofil	40x40	1800	1	1
		Aluminiumprofil	40x40	1700	1	1
		Aluminiumprofil	80x40	500	2	2
		Befestigungsplatte (Projektor)	3mm	250x250	2	2
		Schraube		M5x35	3	6
		Hülse		10x15	3	6
		Mutter		5	3	6
Gerüst					1	
	Aluminiumprofil		40x40	1600	2	2
	Aluminiumprofil		40x40	1920	2	2
	Aluminiumprofil		40x40, 45° Fase, 2 Verb.	1800	4	4
	Aluminiumprofil		80x40	3240	4	4
	Aluminiumprofil		80x40	3000	1	1
	Aluminiumprofil		80x40	1930	2	2
	Aluminiumprofil		80x40	2000	3	3
	Aluminiumprofil		80x40	2080	2	2
	Verbinderschraube			70	4	4
	Dübel			10	8	8
	Schraube			M8	8	8
	Gußwinkel		80x40		28	28
	Hammerkopfschrauben			M8	90	90
	Mutter			SW 13	90	90



Rang 1	Rang 2	Rang 3	Beschreibung	Größe	Anzahl	Gesamt
Projektionseinheit					4	
	Ständer				1	4
		Aluminiumprofil	40x40	3280	1	4
		Aluminiumprofil	40x40	500	1	4
		Aluminiumprofil	40x40	1920 + Grundverb.	1	4
		Aluminiumprofil	40x40	550	1	4
		Aluminiumprofil	80x40	500	1	4
		Aluminiumprofil	80x40	250	2	8
		Aluminiumprofil	80x80	1500	1	4
		Gußwinkel	80x40		11	44
		Gußwinkel	40x40		5	20
		Hammerkopfschrauben		M8	24	96
		Mutter		SW 13	24	96
		Schaumstoffschoner		80x40	3	12
		Befestigungsplatte (Projektor)	3mm	250x250	1	4
		Schraube		M5x35	3	12
		Hülse		10x15	3	12
		Mutter		5	3	12
		Dübel		10	2	8
		Schraube		M8	2	8
	Aluminiumleichtspiegel			1700x1250	1	4
	Projektor				1	4
	Grafikkabel		VGA	2m	1	4
	Stromkabel			4m	1	6
Workstation					1	
	Rechner		R650		4	4
	Genlockkarten		Quadro-Sync II		4	4
	Switch		Gigabit		1	1
	Netzwerkkabel			10m	1	1
	Netzwerkkabel			7m	1	1
	Netzwerkkabel			0,5m	2	2
	TFT-Bildschirm			20"	2	2



## 6) Kontakt

### Konstruktion, Detailangaben und Lieferantenquellen:

Markus Ehmann  
Institut für Produktionsmanagement und Logistik  
an der Hochschule München  
Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen  
Lothstr. 64  
80335 München  
Deutschland

Tel.: +49 (89) 12 65 39 67

Mail: [markus.ehmann@i-p-l.de](mailto:markus.ehmann@i-p-l.de)

### Download Link zum „BS-Cave“-Software Paket:

[www.bitmanagement.de/download/playerdownload.de.html#BS\\_Contact\\_Cave](http://www.bitmanagement.de/download/playerdownload.de.html#BS_Contact_Cave)

Die Freischaltung der Test-Software bei selbstständigem Aufbau dieser Cave erfolgt im Falle der Lizenzierung gemäß Bitmanagement Preisliste über Lizenzschlüssel für BS Collaborate und BS Contact Stereo.

### Kontakt Software:

Peter Schickel  
Bitmanagement Software GmbH  
Oberlandstr. 26  
82335 Berg  
Deutschland

Tel: +49 (8151) 97 17 08

Mail: [peter.schickel@bitmanagement.de](mailto:peter.schickel@bitmanagement.de)

### 3D-Stereo-Projektoren der Firma Lightspeed:

Kennwort: CAVE-Projektor

Jeff Rische  
Lightspeed Design Group  
1611 116th Ave NE, Suite 112  
Bellevue, WA 98004

Mail: [jeff.rische@lightspeeddesign.com](mailto:jeff.rische@lightspeeddesign.com)