

# Virtual Reality als gemeinsames Erlebnis

---

**Entwicklung einer interaktiven Anwendung  
zur Echtzeitsynchronisation mobiler  
Endgeräte**

Christian Bleser



**Bleser, Christian: Virtual Reality als gemeinsames Erlebnis. Entwicklung einer interaktiven Anwendung zur Echtzeitsynchronisation mobiler Endgeräte, Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2017**

Buch-ISBN: 978-3-96146-511-8

PDF-eBook-ISBN: 978-3-96146-011-3

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2017

Covergestaltung: Christian Bleser / Ralph Lewerenz

Covermotive: © Christian Bleser / © Rawpixel.com – Fotolia.com

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

---

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2017

Printed in Germany

# Abstract

## Deutsch

Virtual Reality Anwendungen erlauben es dem Benutzer, sich in eine virtuelle Welt zu versetzen und mit ihr zu interagieren. Wird dabei als Ausgabe-medium ein Head-Mounted Display verwendet, kann der Benutzer komplett in die virtuelle Welt eintauchen. Damit diese virtuelle Welt für mehrere Benutzer erlebbar wird, muss eine Synchronisation der Anwendungen erfolgen. Im diesem Buch wird eine Anwendung entwickelt, die grundlegende Funktionen für die Synchronisation von Aktionen in der virtuellen Welt und Interaktionen zwischen den Benutzern bereitstellt. Dazu werden die Grundlagen erörtert und die zur Verfügung stehenden Technologien analysiert und bewertet. Es wird definiert, welche Bedingungen eingehalten werden müssen, damit eine hohe Immersion erreicht werden kann. Mithilfe der ausgewählten Hard- und Software wird ein Prototyp entwickelt, mit dem untersucht werden kann, welche Latenzen bei der Synchronisation über das Netzwerk auftreten. Dabei stellt sich heraus, dass bei der Synchronisation von bis zu drei Benutzern eine mit 40 ms sehr geringe Latenz eingehalten werden kann. Ein Anstieg der Latenzen ist auch bei einer höheren Benutzeranzahl nicht zu erwarten.

## English

Virtual reality applications allow users to immerse into a virtual world and interact with it. When head-mounted displays are used as output media, users can fully dive into this virtual world. If several users are to experience this virtual world, applications need to be synchronized. This book presents the development of an application providing basic functions to synchronize actions and user interactions in a virtual world. For this purpose, the relevant theoretical foundations are developed and available technologies are

analyzed and evaluated. A definition is provided on which requirements must be met in order to achieve a high degree of immersion. A prototype is developed using selected hardware and software to analyze which latencies can arise when network synchronizations are carried out. It emerges that latencies can be kept very low at 40 ms when synchronizations for up to three users take place. Even with more users, an increase of latencies is not to be expected.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Quellcodeverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung . . . . .	2
1.2 Aufbau der Studie . . . . .	2
2 Grundlagen	5
2.1 Head-Mounted Displays . . . . .	5
2.1.1 Stereoskopische Darstellung . . . . .	7
2.1.2 Displays . . . . .	8
2.1.3 Head-Tracking . . . . .	8
2.1.4 Moderne Head-Mounted Displays . . . . .	9
2.2 Virtuelle Realität . . . . .	11
2.2.1 Immersion . . . . .	12
2.2.2 Präsenz . . . . .	13
2.3 Echtzeitaspekte von Virtual Reality Anwendungen . . . . .	14
2.3.1 Latenz . . . . .	14
2.3.2 Netzwerksynchronisation . . . . .	21
2.3.3 Zeitsynchronisation . . . . .	23

2.4	Einsatzgebiete von Virtual Reality Anwendungen . . . . .	25
3	Konzept . . . . .	27
3.1	Analyse der Softwareanforderungen . . . . .	27
3.2	Marktübersicht der Softwarekomponenten . . . . .	29
3.3	Analyse der Hardwareanforderungen . . . . .	34
3.4	Marktübersicht der Hardwarekomponenten . . . . .	35
3.5	Auswahl der Komponenten . . . . .	39
3.5.1	Hardware . . . . .	39
3.5.2	Software . . . . .	45
4	Softwareimplementierung . . . . .	49
4.1	Prototyp für die messtechnische Untersuchung . . . . .	50
4.2	Entwicklung der Anwendung . . . . .	53
4.2.1	Entwicklungsumgebung . . . . .	55
4.2.2	Darstellung der virtuellen Welt . . . . .	57
4.2.3	Einrichten der Virtual Reality Hardware . . . . .	59
4.2.4	Funktionen zur Netzwerksynchronisation . . . . .	63
4.2.5	Funktionen zur Messung der Latenzen . . . . .	72
5	Messtechnische Untersuchung . . . . .	79
5.1	Messung der Latenzen . . . . .	79
5.2	Messung des Netzwerkverkehrs . . . . .	82
5.3	Messergebnisse . . . . .	85
5.4	Ergebnisanalyse . . . . .	91
5.4.1	Skalierbarkeit . . . . .	92
5.4.2	Zuverlässigkeit . . . . .	95
6	Zusammenfassung . . . . .	97
	Literaturverzeichnis . . . . .	XI

# Abbildungsverzeichnis

2.1.1	Head-Mounted Display von Ivan Sutherland . . . . .	6
2.1.2	Stereoskopie - Räumliche Wahrnehmung . . . . .	7
2.1.3	Moderne Head-Mounted Displays . . . . .	10
2.1.4	Virtual Reality Brille Oculus Rift . . . . .	11
2.3.1	Zusammenspiel der Komponenten in einem VR-System . . .	16
2.3.2	Kollaboration in verteilten VR-Systemen . . . . .	17
2.3.3	TCP-Handshake . . . . .	20
2.3.4	Darstellung der Round-Trip Verzögerung . . . . .	24
3.2.1	Benutzeroberfläche der wichtigsten drei Game-Engines . . .	31
3.2.2	Unreal Engine Blueprint Editor . . . . .	32
4.0.1	Tools zur Softwareentwicklung . . . . .	50
4.1.1	Entwurf für das Layout der virtuellen Umgebung . . . . .	51
4.1.2	Avatar zur Darstellung der Clients . . . . .	52
4.1.3	Verteilung der Informationen . . . . .	53
4.1.4	Anwendung im Unity Editor . . . . .	54
4.2.1	Unity Projektexplorer . . . . .	55
4.2.2	Vier verschiedene Game-Objekte . . . . .	56
4.2.3	Einstellungsmöglichkeiten in Unity . . . . .	57
4.2.4	Unity Einstellungsdialog . . . . .	61
4.2.5	Unity Einstellungen zur Zielplattform . . . . .	61
4.2.6	Auslesen der Geräte-ID mithilfe der Kommandozeile . . . . .	62

4.2.7	Separate Nachrichtenübermittlung der Unity Low-Level API	63
4.2.8	Zusammensetzung der HLAPI Funktionalitäten . . . . .	65
4.2.9	Netzwerkverkehr zwischen Server und Client . . . . .	66
4.2.10	Network-Manager Einstellungsmöglichkeiten . . . . .	67
4.2.11	Network-Manager-UHD Benutzerinterface . . . . .	69
4.2.12	Network-Identity-Komponenten mit den Laufzeitinformationen	71
4.2.13	Aktivitätsdiagramm für die Komponenten Server und Client	74
4.2.14	Abfrage des NTP-Zeitserver in der Konsole . . . . .	77
4.2.15	Darstellung der Messergebnisse in Excel . . . . .	78
5.1.1	Systemaufbau - Messungen mit PC und Samsung S6 . . . . .	80
5.2.1	Systemaufbau - Messungen mit Windows Instanzen . . . . .	83
5.2.2	Aufzeichnung des Datenverkehrs zwischen Server und Client	85
5.3.1	Latenz bei einer Verbindung über Ethernet . . . . .	86
5.3.2	Latenz bei einer Verbindung über WLAN . . . . .	86
5.3.3	Latenz bei einer Verbindung über Ethernet mit Kopfbewegungen	87
5.3.4	Latenz bei einer Verbindung über WLAN mit Kopfbewegungen	87
5.3.5	Gesamtübersicht der aufgetretenen Latenzen . . . . .	88
5.3.6	Latenzen in Abhängigkeit der Client-Anzahl . . . . .	88
5.3.7	Latenzen einer einzelnen Messung mit drei Clients . . . . .	89
5.3.8	Gemessene Datenmenge pro Paket . . . . .	90
5.3.9	Gemessene Anzahl der Pakete pro Minute . . . . .	91
5.3.10	Gemessene Datenmenge pro Minute . . . . .	91
5.4.1	Interpolierte Datenrate . . . . .	95



# Tabellenverzeichnis

2.3.1	Übersicht der Übertragungsraten und Latenzen in einem Netzwerk	19
3.2.1	Entwicklungsmöglichkeiten der verschiedenen Game-Engines	33
3.2.2	Vergleich der unterstützten Systeme je Game-Engine . . . . .	34
3.4.1	Vergleich von kabelgebundenen VR-Systemen . . . . .	37
3.4.2	Vergleich von mobilen VR-Systemen . . . . .	38
3.5.1	Entscheidungsgrundlage aus Sicht des Kunden . . . . .	43
3.5.2	Entscheidungsgrundlage - technische Gesichtspunkte . . . . .	44
3.5.3	Entscheidungsgrundlage für die verwendete Game-Engine . .	48
4.2.1	Messpunkte für das Testverfahrens mit einem Host und einem Client . . . . .	73
5.1.1	Aufstellung der durchzuführenden Messungen . . . . .	81
5.1.2	Tabellenausschnitt der ersten Messung mit den berechneten La- tenzen . . . . .	81
5.2.1	Aufstellung der durchzuführenden Messungen unter Windows	84



# Quellcodeverzeichnis

4.2.1	Script zum Ändern der Farbe. . . . .	58
4.2.2	Synchronisation der Blickrichtung mit dem Kopf des Avatars. . . . .	68
4.2.3	Script zum automatischen Verbinden der Clients. . . . .	70
4.2.4	Script zum Deaktivieren der nicht verwendeten Kameras. . . . .	71
4.2.5	Script zum Ändern der Farbe. . . . .	75
4.2.6	Abfrage der Zeitdifferenz mittels NTP. . . . .	77
4.2.7	Erstellen der Log-Einträge. . . . .	78

