

HardDrive Exchange – Eine VR-Lernanwendung zur Durchführung von Festplattenwechseln in Speichersystemen

Fabian Lutze¹, Raphael Zender² und Ulrike Lucke³

Abstract: Virtuelle Lernumgebungen können für Lernende die Möglichkeit bieten, Inhalte aus der Theorie in einer simulierten Praxissituation gefahrlos anzuwenden. Der im Rahmen dieses Beitrags entwickelte Prototyp simuliert den Festplattenwechsel in einem SAN und soll es Studierenden und Auszubildenden informatiknaher Fachrichtungen ermöglichen, theoretische Lerninhalte zu netzbasierten Speichersystemen praktisch zu erfahren. Für die Umsetzung wurde ein didaktisches Konzept gemäß des konstruktivistischen Lernansatzes erarbeitet und ein effizientes Bedienungskonzept anhand eines Natural User Interfaces implementiert, welches durch das CORPUS-Framework realisiert wurde. Anhand von Experten-Interviews und Anwendungstests wurden die Eignung der Anwendung für die Zielgruppe, der erzielbare Mehrwert für die Lehre und das Bedienungskonzept evaluiert. Letztlich wurden notwendige Anpassungen und mögliche Erweiterungen für den Einsatz in der Lehre diskutiert.

1 Motivation

Studierende informatiknaher Studiengänge besuchen verschiedene Lehrveranstaltungen mit Praxisbezug, die etwa die Grundlagen von Programmierung oder Betriebssystemen behandeln. Im Rahmen dieser Lehrveranstaltungen können die theoretischen Lerninhalte aus Vorlesungen und Literatur in der Regel in Übungen, Seminaren oder Entwicklungsprojekten praktisch angewendet und vertieft werden. Für Lehrveranstaltungen, welche netzbasierte Speichersysteme behandeln und damit ebenfalls Inhalte mit Praxisbezug vermitteln, ist eine praktische Anwendung schwer umsetzbar. Eine Gruppe von Studierenden könnte zwar ein Rechenzentrum besichtigen, dort jedoch aus Sicherheitsgründen nicht mit den Systemen interagieren, um die Funktionalität eines *Storage Area Networks* (SAN) und Speichersubsystemen praktisch zu erfahren.

Einen möglichen Lösungsansatz für die vorliegende Problemstellung bieten Lernanwendungen mit Umsetzung in der *Virtuellen Realität* (VR), welche sich insbesondere in medizinischen und naturwissenschaftlichen Bereichen etabliert und

¹ Universität Potsdam, Institut für Informatik & Computational Science, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, flutze@uni-potsdam.de

² Universität Potsdam, Institut für Informatik & Computational Science, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, raphael.zender@uni-potsdam.de

³ Universität Potsdam, Institut für Informatik & Computational Science, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, ulrike.lucke@uni-potsdam.de

bewährt haben [MN11]. Diese Lernumgebungen können für Anwender die Möglichkeit bieten, erlernte Inhalte aus der Theorie in einer simulierten Praxissituation gefahrlos anzuwenden [PD15].

Verglichen mit herkömmlichen Medien der Wissensvermittlung, besteht der größte Mehrwert der VR für die Lehre in ihrer Interaktivität und den dreidimensionalen Darstellungsmöglichkeiten. Diese verschiedene Varianten der Darstellung, Wechsel der Perspektive, oder gar die Manipulation von Skalierung oder Ablaufgeschwindigkeit, können den Wissenstransfer fördern [De09]. Die Gestaltung der Lernumgebung und die Implementierung von *Natural User Interfaces* (NUI) zur Navigation und Interaktion sind dabei maßgeblich für ein effizientes Bedienungskonzept und ein authentisches Lernerlebnis. Unter Verwendung immersiver Technologien, wie der Visualisierung über *Head Mounted Displays* (HMD) und einer Bedienung durch Motion-Tracking Sensoren, kann beim Anwender der subjektive Bewusstseinszustand der *Präsenz* ausgelöst werden, bei dem sich der Nutzer in der virtuellen Umgebung tatsächlich anwesend fühlt und deren Künstlichkeit nicht mehr aktiv wahrnimmt [SW97].

Für den in diesem Beitrag vorgestellten Prototyp einer immersiven VR-Lernanwendung wurde als Lernszenario der Austausch von defekten Festplatten in einem SAN gewählt. Im Folgenden wird der Entwurfsprozess für dieses Lernszenario und des dafür entwickelten didaktischen Konzepts erläutert. In Abschnitt 3 werden der implementierte Prototyp, dessen Funktionsumfang und die verwendete Hardware vorgestellt. Die Ergebnisse der Expertenevaluierung zur Eignung des Prototyps für den Anwendungszweck werden in Abschnitt 4 zusammengefasst. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und gibt einen Ausblick auf die nächsten Entwicklungs- und Evaluierungsschritte, die für einen effektiven Einsatz in der Lehre notwendig sind.

2 Konzeptentwicklung

HardDrive Exchange ist zur Ergänzung universitärer Lehrveranstaltungen und für den Einsatz in der Berufsausbildung konzipiert. Eine Zielgruppe umfasst demnach Studierende, welche Lehrveranstaltungen wie etwa *Netzbasierte Datenverarbeitung* oder *Netzbasierte Speichersysteme* belegen. Diese können den Prototypen zur praktischen Überprüfung und Anwendung theoretischer Kenntnisse verwenden, welche im Rahmen der Lehrveranstaltung vermittelt wurden. Im berufsbildenden Bereich ist eine Anwendung durch auszubildende *IT-Systemelektroniker/-innen* und *Fachinformatiker/-innen in Fachrichtung Systemintegration* vorgesehen. Hinzu kommen Schülerpraktikanten der 9. oder 11. Klasse, sowie Studierende, die im Rahmen ihres Studiums Praktika absolvieren oder Abschlussarbeiten im entsprechenden Fachbereich schreiben.

Um eine breite Einsetzbarkeit zu gewährleisten, wurde der Prototyp als eigenständige Anwendung entwickelt, bei welcher die Anbindung an eine externe Plattform zunächst nicht vorgesehen ist.

2.1 Anforderungsanalyse

Die Erfassung der für das Lernszenario relevanten Inhalte und Abläufe erfolgte in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des Rechenzentrums der Universität Potsdam. Während eines Besichtigungstermins standen die Infrastruktur und Systeme, sowie der für Monitoring und Datenträgerverwaltung genutzte *IBM System Storage DS Storage Manager*⁴ im Vordergrund. Dieser diente als Vorbild für das Monitoring in der Lernanwendung. Weiterhin wurde der Wechsel einer defekten Festplatte in allen Einzelheiten dokumentiert, auch durch Fotos der verwendeten Festplatten, welche zudem für die Texturerstellung der verwendeten 3D-Modelle genutzt wurden.

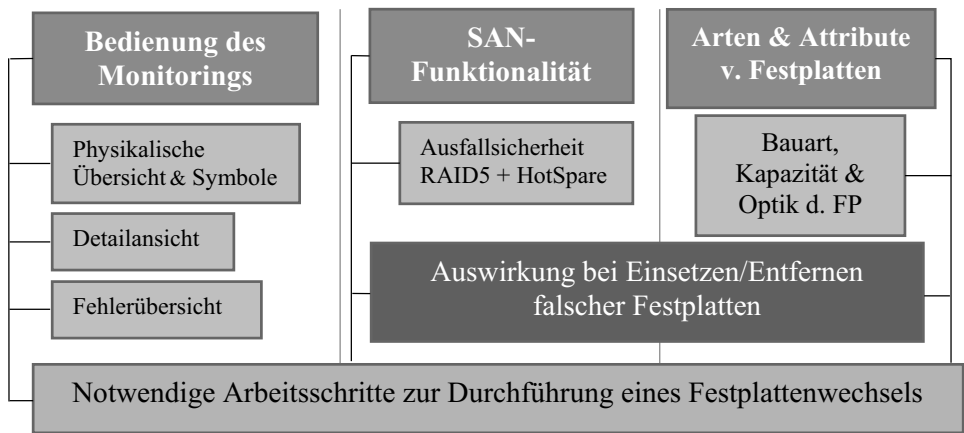


Abb. 1: Zu vermittelnde Inhalte des Lernszenarios

Anhand der Beobachtungen und Ablaufbeschreibungen wurden die zu vermittelnden Lerninhalte identifiziert, welche in Abbildung 1 dargestellt werden. Aus diesen konnten daraufhin die Anforderungen für Funktionen und Anwendungsfälle des Prototyps abgeleitet werden.

2.2 Didaktisches Konzept

Aus verschiedenen Studien geht hervor, dass sich insbesondere konstruktivistische Lernansätze bei der Konzeption von virtuellen Lernumgebungen bewährt haben [MN11], bei denen die Wissensgenerierung durch aktive Exploration und Konstruktion eigener Lehrpfade vonstattengeht [Ke12]. Damit diese Wissensgenerierung effektiv erfolgen kann, müssen die Lehrinhalte didaktisch sinnvoll aufbereitet und auf die kognitiven Prozesse der Lernenden abgestimmt sein. Dies erfordert eine geeignete Anordnung von Inhalten und Aufgaben in der VR sowie die aktive Unterstützung der Lernenden durch Hinweise und Rückmeldungen zu deren Handeln [He05].

⁴ <ftp://ftp.software.ibm.com/storage/storagemgr/00y8830.pdf>

Da beiden Zielgruppen ein gewisses Maß an intrinsischer Motivation unterstellt werden kann, wurde die Anwendung grundsätzlich gemäß der konstruktivistischen Lerntheorie konzipiert. Aufgrund der heterogenen Zielgruppe sollten die Anwender jedoch zunächst expositiv in die Problemsituation eingeführt werden.

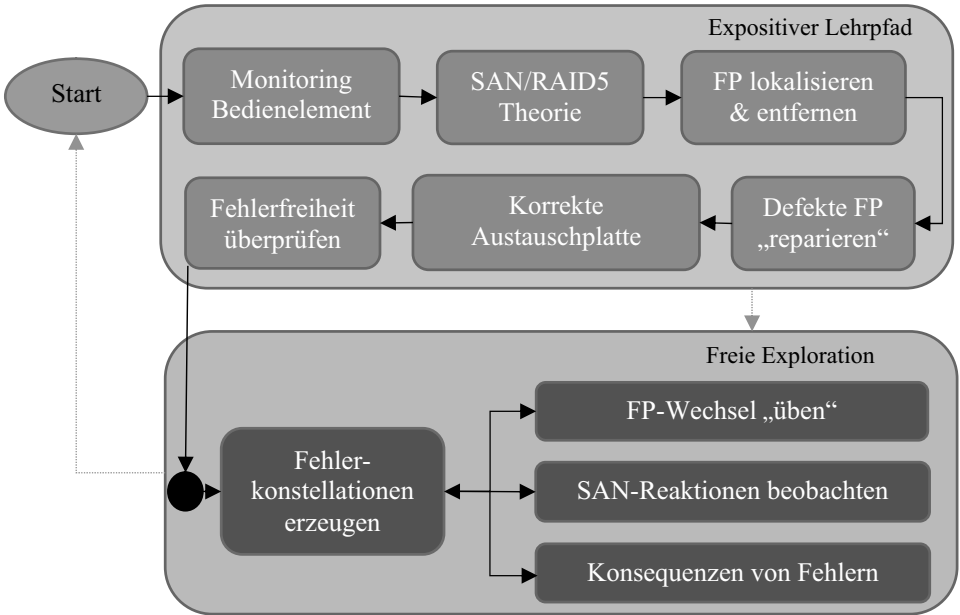


Abb. 2: Darstellung der Lehrpfade

Wie in Abbildung 2 dargestellt, werden den Lernenden während der expositiven Phase zunächst die theoretischen Grundkenntnisse zu der SAN-Funktionalität und RAID5-Ausfallsicherheit textuell erläutert. Zudem werden sie mit den Funktionen des Monitorings, Symbolen und deren Bedeutung vertraut gemacht. Zur Vermittlung der Arbeitsschritte und deren Abläufe führen die Lernenden unter Anleitung durch die Lernanwendung den Wechsel einer defekten Festplatte Schritt für Schritt durch. Die Anleitung erfolgt dabei über Texteinblendungen mit Erläuterungen des nächsten durchzuführenden Arbeitsschrittes.

Sollten die Anwender mit diesen Abläufen bereits vertraut sein, können sie den festgelegten expositiven Lehrpfad jederzeit verlassen. Bei erfolgreichem Abschluss oder Überspringen dieses ersten Wechsels geht die Anwendung in die explorative Phase über. Während dieser können die Lernenden beliebige Fehlerkonstellationen erzeugen und die visuellen und logischen Reaktionen des SAN über das Monitoring beobachten. Sie können weitere defekte Platten austauschen, um die Arbeitsschritte besser zu verinnerlichen. Zudem können sie in verschiedenen Konstellationen experimentieren, welche Konsequenzen das Entfernen von Festplatten nach sich ziehen kann, auf die noch Zugriffe erfolgen, oder was passiert, wenn eine Festplatte des falschen Typs eingesetzt

wird. Ein Neustart der Anwendung und die damit verbundene Rückkehr zu dem expositiven Lehrpfad, ist ebenfalls jederzeit möglich.

3 Hardware und Implementierung

Die Entwicklung der Anwendung erfolgte mit der *Unity3D Engine⁵ Version 5.3.2* in C#. Für die Umsetzung des NUI wurde das *CORPUS-Framework* verwendet [WZL15]. Dieses fügt die Daten verschiedener Sensoren zu einem standardisierten Körpermodell zusammen und stellt dieses über einen Websocket in Form einer hierarchisch aufgebauten JSON Datei bereit.



Abb. 3: *Links:* Oculus Rift DK2 [Quelle: Oculus⁶],
Rechts: Leap Motion [Quelle: Leap Motion⁷];

Als verwendete Sensoren kommen die *LeapMotion⁷* zur Erfassung der Hände und die *Oculus Rift DK⁶* zur Erfassung von Rotation und Position des Kopfes sowie der stereoskopischen Darstellung als HMD zum Einsatz (vgl. Abb. 3).

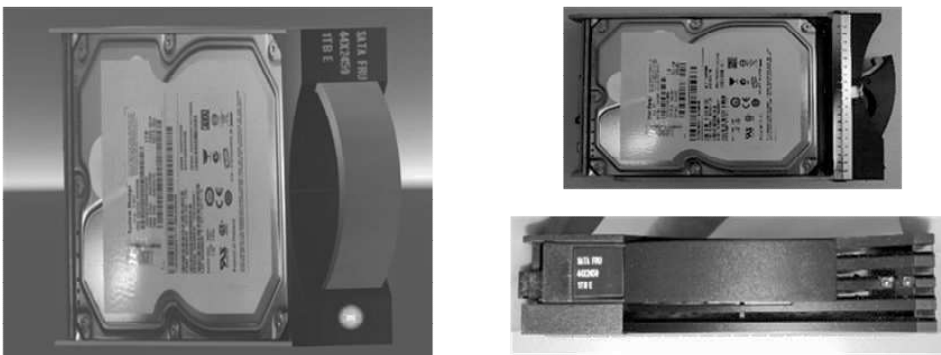


Abb. 4: *Links:* 3D-Festplattenmodell, *Rechts:* originale Festplatten

⁵ <http://unity3d.com/>

⁶ <https://www1.oculus.com/order/>

⁷ <https://apps.leapmotion.com/>

Zur Erstellung der Texturen für die 3D Modelle (vgl. Abb. 4) wurden hochauflösende Fotos realer Festplatten des Rechenzentrums aufgenommen. Dies soll nicht nur für Authentizität sorgen und damit zu einem möglichst hohen Immersionsgrad führen, sondern es auch wie in der Realität ermöglichen, Informationen zu Bauart und Kapazität der Festplatten in der Lernanwendung an den gleichen Stellen ablesen zu können.

3.1 Bedienungskonzept

Zur Steuerung der Anwendung und des Aufrufens von Menüpunkten und Funktionen, wurde zur Selektion das Prinzip des *RayCastings* gewählt, bei welchem ein Sichtstrahl in die Richtung ausgesendet wird, in die die Kamera der VR ausgerichtet ist und das vom Strahl getroffene Objekt auswählt [Dö13]. Für dessen Implementierung wurde auf vorgefertigte Skripte und grafische Ressourcen der *No Touch GUI for VR*⁸ zurückgegriffen. Über ein blaues Fadenkreuz im Sichtfeld können sämtliche Objekte aktiviert werden, die zur Betätigung vorgesehen sind. Dazu müssen diese für eine festgelegte Zeit anvisiert werden, um eine entsprechende Funktion auszulösen. Wird ein solches Objekt von dem ausgesendeten Sichtstrahl getroffen, verfärbt sich das Fadenkreuz rot und ein Timer in Form eines Ladebalkens am Objekt zeigt an, wie lange es noch angeschaut werden muss. Der Ansatz, eine Greifaktion über eine sogenannte *Pinch-Geste*⁹ auszuführen, wurde im Rahmen dieses Prototyps nicht umgesetzt, da die Festplatten im SAN-Shelf sehr dicht beieinander stehen und die Gefahr besteht, mit einer solchen Geste versehentlich eine falsche Festplatte zu entfernen.



Abb. 5: *Oben*: Festplatten-Selektion über RayCast, *Unten*: "Greif"-Aktion

⁸ <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/26494>

⁹ Beispiel *Magnetic Pinch* zum physischen Greifen von Objekten über die *LeapMotion* in *Unity*: <https://developer.leapmotion.com/documentation/unity/unity/Unity.MagneticPinch.html>

Stattdessen wurde eine Vorselektion per *RayCast* umgesetzt, bei welcher der Nutzer die gewünschte Festplatte an- und abwählen kann (vgl. Abb. 5). Ist die Festplatte angewählt, leuchtet ein roter Indikator auf und die Festplatte kann entfernt werden. Dazu muss sie lediglich mit einem Finger berührt werden, woraufhin sie von diesem Finger geführt wird und entweder in einem Slot des Shelves eingesetzt, oder auf einer Ablage abgestellt werden kann. Um das Einsetzen zu erleichtern, wurde die Rotation der Festplatten fixiert, sodass diese stets die gleiche Ausrichtung besitzen.

3.2 Funktionsumfang und Abläufe der Anwendung

Die Festplattenübersicht kann durch Fokussierung des Monitors oberhalb des Schrankes ein- und ausgeblendet werden. Die Übersicht zeigt alle Slots und deren Benutzungsstatus, beziehungsweise deren Fehlerstatus an. Durch Fokussierung eines Slots wird dessen Detailansicht geöffnet. Diese zeigt Informationen zu der eingesetzten Festplatte wie Bauart, Kapazität und Fehlerstatus an, und bietet über die Schaltfläche *Locate* die Möglichkeit, diese im Shelf über eine orangefarbene LED zu lokalisieren (vgl. Abb. 6).

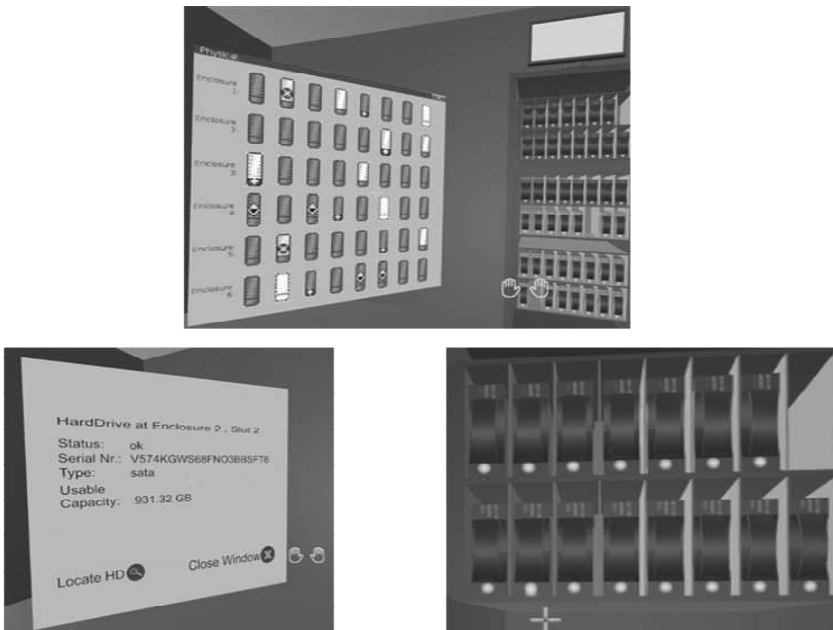


Abb. 6: *Oben*: Festplattenübersicht,
Links: Detailansicht, *Rechts*: Lokalisierte Festplatte im Shelf

Zur Rechten des Schrankes befinden sich weitere Bedienelemente: Über *Trigger Error* wird per Zufallsprinzip unter allen sich in Benutzung befindlichen und intakten

Festplatten eine ausgewählt und ein Fehler oder eine Warnung ausgelöst. Dies wird durch das charakteristische Flackern der Festplatten-LEDs bestätigt und nach kurzer Wartezeit in der Festplattenübersicht und der Fehlerliste angezeigt. Die Fehlerliste wird über die Schaltfläche *Error List* aufgerufen (vgl. Abb. 7).

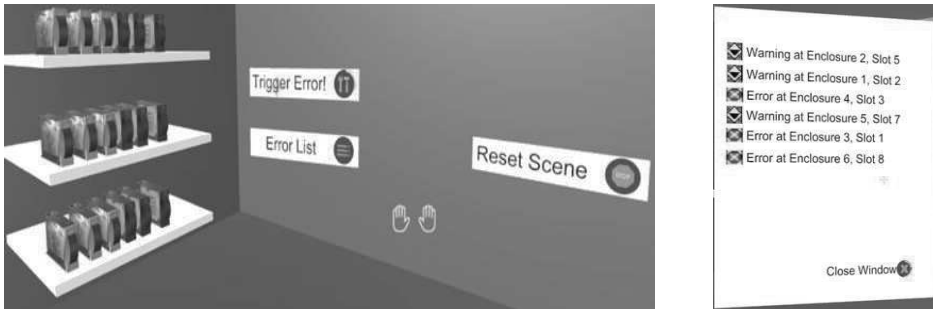


Abb. 7: *Links*: Festplattenablage und Bedienelemente, *Rechts*: Fehlerliste

Diese bietet eine Auflistung aller im SAN vorhandenen Fehler und Warnungen, sowie den Slot der betroffenen Festplatte. Bei Betätigung eines Eintrages in der Fehlerliste wird automatisch die Detailübersicht des jeweiligen Slots aufgerufen. Die Schaltfläche *Reset Scene* leitet den Neustart der Anwendung ein. Dies kann notwendig sein, falls Festplatten durch Kollisionsfehler außer Reichweite gelangt sind, oder falls Position oder Rotation des Anwenders neu ausgerichtet werden müssen.



Abb. 8: *Links*: MessageWindow mit Einführungstext, *Rechts*: Erläuterungen zu Monitoring Symbolen

Bei Ausführung der Anwendung werden den Lernenden zunächst über das zentrale *MessageWindow* das Bedienungskonzept, die Erfassung der Hände und die Bedienelemente des Monitorings erläutert (vgl. Abb. 8).

Daraufhin werden entlang des Lernpfades die einzelnen Schritte eines Festplattenwechsels bearbeitet (vgl. Kapitel 3.2, Abb.1). Notwendige theoretische Grundlagen zu der SAN- und RAID5-Funktionalität werden den Lernenden textuell über das *MessageWindow* erklärt. Zudem werden in einer Übersicht die Symbole des Monitorings und deren Bedeutung dargestellt. Während sämtlicher Stationen des Lehrpfades erhalten die Lernenden Anleitungen über das *MessageWindow*. Wenn eine Interaktion mit Festplatten durchgeführt wird oder wenn die Lernenden die visuelle Reaktion der Festplatten im Schrank beobachten sollen, wird das Fenster über die Schaltfläche *Continue* ausgeblendet. Sobald die gewünschte Aktion durchgeführt wurde, wird dieses automatisch wieder eingeblendet und zeigt die nächste Anweisung. Das Tutorial ist starr implementiert und nicht für eine fehlerhafte Bedienung ausgelegt. Sollte eine Aktion mit einem falschen Slot oder einer falschen Festplatte ausgeführt werden, wird die Anwendung nach einem entsprechenden Hinweis über das *MessageWindow* neu gestartet.

Nach erfolgreichem Abschluss oder Überspringen des Tutorials geht die Anwendung in den explorativen Modus über. Hier können die Anwender bis zu zehn Fehler gleichzeitig auslösen, die Reaktionen des SAN im Monitoring beobachten und die Fehler durch Austauschen der Festplatten, wie im Tutorial erlernt, beheben.



Abb. 9: Fehlermeldungen bei Einsetzen falscher Festplatten

Bei Einsetzen einer Festplatte mit falscher Kapazität wird diese nicht vom SAN erkannt und die Aktivitäts-LED bleibt deaktiviert. Der physikalische Widerstand bei Einsetzen der falschen Bauart wird dadurch abstrahiert, dass die Festplatte nicht im Slot abgesetzt wird, sondern „gegriffen“ bleibt. In beiden Fällen erscheint im *MessageWindow* der entsprechende Hinweis. Das Entfernen von Festplatten, welche intakt und nicht dafür vorgesehen sind, führt zu verschiedenen Reaktionen des SAN und entsprechenden Fehlermeldungen. Diese sind abhängig vom Verwendungsstatus der Festplatte und der Fehlerkonstellation des RAID5-Verbundes.

4 Evaluierung

Um die Eignung des Prototyps als Lernanwendung zu beurteilen, wurde als Methode der qualitativen Datenerhebung das Experteninterview gewählt. Grundlage für die Gespräche boten dabei einzeln durchgeführte Nutzertests mit einem anschließenden Gruppengespräch. Die Evaluierung erfolgte mit dem Fokus auf Eignungsprüfung des Prototyps als Lernanwendung für das entwickelte Szenario und die definierte Zielgruppe, sowie der Beurteilung des Bedienkonzeptes und einer Validierung der inhaltlichen Korrektheit. Als Experten standen hierzu drei Mitarbeiter des Rechenzentrums zur Verfügung, die fachlich mit *SANs* vertraut sind und teilweise Ausbildertätigkeiten durchführen.

Die inhaltliche und fachliche Korrektheit sowie die Erreichbarkeit der Lehrziele konnten die Experten bestätigen. Einen Einsatz der Anwendung im universitären Bereich hielten die Experten daher für sinnvoll um erlangtes Wissen aus Lehrveranstaltungen zu vertiefen und zu validieren. In der Berufsausbildung kann sie jedoch die herkömmlichen Einarbeitungsmethoden nicht ersetzen, da notwendiges spezifisches Wissen zu Infrastruktur, verwendeter Verwaltungs- und Monitoring-Software sowie mehrere notwendige Arbeitsschritte nicht vermittelt werden können. Dennoch hielten die Tester den Einsatz der Anwendung in der Ausbildung für denkbar, da die Möglichkeit des explorativen Ausprobierens und Kennenlernens sowie der Effekt des „Wiedererkennens“ für Auszubildende einen Mehrwert bieten können.

Die Notwendigkeit einer expositiven Einführung der Lernenden in die Thematik und die Bedienung der Anwendung wurde von den Experten bestätigt. Bezüglich der prototypischen Umsetzung befürchteten sie jedoch eine potentielle Überforderung der Anwender durch zu viele textuell vermittelte Inhalte, so dass deren Vermittlung auf anderem Wege erfolgen sollte. Der explorative Teil hingegen wurde aufgrund der experimentellen Freiheit und der unmittelbaren Hinweise und Fehlermeldungen überwiegend positiv beurteilt.

Das Bedienungskonzept wurde für den Anwendungsfall als ausreichend eingestuft, jedoch bedarf es einiger Optimierungen. Diesbezüglich wurden sinnvolle Verbesserungsvorschläge geäußert, von denen einige bereits im nächsten Entwicklungsschritt umsetzbar sind. So kann etwa für die Erleichterung der Bedienung die Reichweite des *RayCasts* verringert werden, sodass die Anwender Objekte aus einer gewissen Entfernung betrachten können und sich zur Aktivierung näher an sie heranbegeben müssen. Alternativ wäre es möglich, den *RayCast* über Gesten, wie das Bilden von Fäusten mit beiden Händen, zu aktivieren und deaktivieren. Dies würde es ebenfalls ermöglichen, sich in der Szene umsehen zu können, ohne versehentlich Funktionen auszulösen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag hat veranschaulicht, welchen Mehrwert Lernanwendungen in der Virtuellen Realität für die Lehre bieten können, an welche Bedingungen dieser geknüpft ist und worin die Einschränkungen und Nachteile bestehen.

Aus der konkreten Problemstellung wurde ein Lernszenario entwickelt, zu dem auf Grundlage des konstruktivistischen Ansatzes ein didaktisches Lehrkonzept erarbeitet wurde, welchem eine Kombination aus expositiven und explorativen Lehrpfaden zugrunde liegt. Für den entwickelten Prototyp wurde ein Bedienungskonzept mithilfe eines über *CORPUS* umgesetzten NUIs sowie ein abstrahiertes Monitoring eines SAN mit RAID5-Verbundlogik entwickelt.

Dieser Prototyp wurde von Experten des Fachbereichs auf seine Eignung für die Berufsausbildung und Unterstützung in der universitären Lehre getestet und evaluiert. Die Experten schätzten das Anwendungskonzept, unter Voraussetzung einer entsprechenden Optimierung der Bedienung, als grundsätzlich geeignet ein und befürworteten den Einsatz einer solchen Anwendung in der Ausbildung und universitären Lehre.

Neben Möglichkeiten zur Verbesserung der Nutzbarkeit, welche kurzfristig umsetzbar sind, wurden ebenfalls Potentiale mit erhöhtem Implementierungsaufwand identifiziert. So könnten beispielsweise Arbeitsschritte, die aufgrund der fehlenden haptischen Rückmeldung nicht in der VR umsetzbar sind, über Animationen oder Videoeinblendungen demonstriert werden. Auf diese Weise könnten Lernende das diesbezüglich notwendige Wissen zumindest passiv erfahren. Um die Überforderung der Anwender durch zu viel Text zu vermeiden, könnten die theoretischen Grundlagen und die Anweisung eingesprochen und über Kopfhörer oder Lautsprecher wiedergegeben werden. Ferner sollte das Tutorial um eine gewisse Fehlertoleranz und die Möglichkeit des Zurückkehrens zur vorherigen Lernstation ergänzt werden.

Weiterhin besitzt die entwickelte Beispielszene in *Unity* eine starre Ausgangssituation von eingesetzten Festplatten und der Verwendung von Festplatten-Slots. Für eine Erhöhung des Schwierigkeitsgrades und der Anwendungsvielfalt können entweder weitere Szenen erstellt, oder eine automatische Generierung verschiedener Ausgangssituationen per Zufallsgenerator implementiert werden. Zudem sind die Erstellung von Nutzerprofilen und die Speicherung von Ergebnissen, wie etwa benötigter Zeit für einen Wechsel oder eine Fehlerquote, denkbar. Unter Berücksichtigung der genannten Optimierungs- und Erweiterungsmöglichkeiten bietet das Anwendungskonzept nachweislich ein hohes Nutzungspotential und einen Mehrwert für den angestrebten Anwendungszweck in der Lehre.

Im Rahmen der Evaluierung wurden mit den Experten zusätzlich standardisierte Befragungen zur User Experience [LHS08], Präsenzbereitschaft [He05] und Präsenzerlebnis¹⁰ durchgeführt. Aufgrund der geringen Teilnehmerzahl und des frühen Reifegrads der Anwendung können daraus jedoch keine repräsentativen Aussagen zu dem Immersionsgrad und der User-Experience getroffen werden. Darum sollten nach Abschluss der nächsten Entwicklungsschritte weitere Anwendungstests und Befragungen mit einer größeren Teilnehmerzahl und verschiedenen Gruppen aus Lernenden und Lehrenden durchgeführt werden. Anhand konkreter und messbar definierter Lernziele kann im Rahmen dieser Befragungen zudem der Lernerfolg evaluiert werden. Im darauffolgenden Schritt kann auf dessen Basis eine Kosten-Nutzen-Analyse im Vergleich zur Realerfahrung eines Festplattenwechsels vor Ort erfolgen.

6 Literaturverzeichnis

- [De09] Dede, C.: Immersive interfaces for engagement and learning. In: Science Magazin vol. 323, American Association for the Advancement of Science, S. 66–69, 2009
- [Dö13] Dörner, R. et al.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität, Springer Vieweg, Berlin, 2013.
- [He05] Heers, R.: Being There. Untersuchungen zum Wissenserwerb in virtuellen Umgebungen, Dissertation, Tübingen, 2005.
- [Ke12] Kerres, M.: Mediendidaktik. Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote, 3.Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2012.
- [LHS08] Laugwitz, B.; Held, T.; Schrepp, M.: Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In: Proceedings of 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society USAB, Springer, Heidelberg, S.20 - 21, 2008.
- [MN11] Mikropoulos, T. A.; Natsis, A.: Educational virtual environments. A ten-year review of empirical research (1999–2009). In Computers & Education vol.56, S. 769-780, 2011
- [PD15] Preim, B.; Dachselt, R.: Interaktive Systeme Bd.2. Springer, Berlin, 2015.
- [SW97] Slater, M.; Wilbur, S.: A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE). Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments vol. 6, S. 603–616, 1997.
- [WZL15] Weise, M; Zender, R; Lucke, U.: Systematic Fusion of Gesture Sensors for Practical Learning in Virtual Environments. In: Proceedings of IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies 2015, on IEEE, S. 83-87,2015

¹⁰ <http://www.igroup.org/pq/ipq/data.php>,