

Digitale Lernwelten im H₂Hub in Sachsen-Anhalt

Lehr- und Lernkonzept Virtual-Reality-Serious-Game "Collapse"





Erarbeitet von:

Dipl.-Ing. (FH) Mechthild Meinike (Teilprojektleitung)

Dipl.-Medieninformatiker Oliver Ziegler (Programmierung)

Franziska Schultz (wissenschaftliche Hilfskraft)

Prof. Marco Zeugner (Fachberatung)

Prof. Mathias Seitz (Fachberatung)

Hochschule Merseburg / Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

Kooperationspartner:

Fraunhofer Institut für Windenergiesysteme IWES Hochschule Anhalt OVGU Magdeburg

Fachliche Begleitung (Gesamtprozess und Elektrolyse):

Fabian Pascher, Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES Richard Funke, VNG AG

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Lehrstuhl Gas- und Wärmetechnische Anlagen

Dr. Martin Pumpa, DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg, H2-Index II Laura Dicke, Sunfire AG

Projektzeitraum:

02/2023-1/2025

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) der Förderrichtlinie zur Stärkung der Transformationsdynamik und Aufbruch in den Revieren und an den Kohlekraftwerksstandorten (STARK)

Inhaltsverzeichnis

Einleitung – Das Lehr- und Lernkonzept zum VR-Serious Game "Collapse"	4
Tests- und Evaluierung	4
Vorbemerkungen zum Arbeiten in der Virtuellen Realität von "Collapse"	5
VR-App "Collapse"	5
Controllerbelegung	6
Modul "Spiel: Schnelleinstieg / Übung" und Modul "Spiel: Normal / Übung"	7
Modul "Spiel: keine Anleitung / Expertenmodus"	14
Modul "Wasserstoff-Elektrolyse 360°"	15
Details Energiepark Bad Lauchstädt	17
Hilfestellungen	18
Ausblick	19

Einleitung - Das Lehr- und Lernkonzept zum VR-Serious-Game "Collapse"

Im Projekt "H2 Hub Sachsen-Anhalt (Teilprojekt Digitale Lernwelten)" wurde eine prototypische Virtual-Reality-Anwendung entwickelt, mit der Schritte in der Prozessoptimierung von Stoff- und Energieflüssen in der Wasserstoffwirtschaft gelernt werden können. Die Anwendung richtet sich an Studierende in verfahrenstechnischen Fächern und an die allgemeine Weiterbildung. Aber auch eine Nutzung in Science Centern oder Informationszentren zum Thema Wasserstoff ist vorstellbar. Das Lehr- und Lernkonzept zum VR-Serious-Game soll Lehrenden und Betreuende in Weiterbildungszusammenhängen unterstützen.

Das VR-Serious Game "Collapse" wurde im Stil einer Wirtschaftssimulation oder eines Aufbauspiels entwickelt. Am Beispiel der technologischen Hauptkomponenten des Energieparks Bad Lauchstädt müssen die Parameter von den Windkraftanlagen über einen Großelektrolyseur bis hin zur Chemischen Industrie als Verbraucher miteinander abgeglichen werden. Zu beachten ist dabei die durchgängig herzustellende Versorgungssicherheit, z. B. auch bei Windflaute. Im Optimierungsprozess können das Speichervolumen einer Untertagekaverne oder die Energie eines konventionellen Kraftwerks berücksichtigt werden, um den Gesamtprozess am Laufen zu halten und den Kollaps/Collapse des Gesamtsystems zu vermeiden. Aus Übersichts- und Spielzeitgründen wurde auf Aspekte der Sauerstofffreisetzung und Abwärmeabgabe verzichtet. Verschiedene Aufgabenstellungen können im Übungs- oder Expertenmodus gespielt werden. Ein Feedbacksystem gibt dem Anwender/Spieler Rückmeldungen über den jeweiligen Versorgungs- und Spielstand.

Das Ziel besteht im Kennenlernen der einzelnen Systemkomponenten und im Verstehen der Prozesszusammenhänge, die notwendig sind, um Versorgungsstabilität mit Wasserstoff zu gewährleisten. Ein Modul zur "Wasserstoff-Elektrolyse in 360 Grad" veranschaulicht die Elektrolyse auf atomarer Ebene durch das Eintauschen in eine Elektrolysezelle.

Die VR-App ist für das Headset "Meta Quest 3" und Controllersteuerung optimiert und auf eine Spielzeit von ca. 20-30 min angelegt.

Das Projekt **H2 Hub in Sachsen-Anhalt** wurde vom 01.02.2023-31.01.2025 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Bundestages gefördert.

Tests und Evaluierung

Während der Entwicklungsarbeiten wurden mehrfache Testiterationen durchgeführt, um insbesondere unerfahrenen Usern eine gute User Experience zu ermöglichen. Die Tests wurden mit Studierenden, mit Menschen ohne oder wenig Kenntnisse zum Thema, mit Fachleuten und Lehrenden durchgeführt. Im Rahmen eines Sensibilisierungsworkshops konnten User mit unterschiedlichen Voraussetzungen das VR-Serious-Game spielen. Die Tests wurden zum Teil mit angepassten Fragebögen nach der Internationalen Ergonomie-Norm DIN EN ISO 9241-110 zur orientierenden Bewertung von Software (VBG-10/2020) und VBG durchgeführt. In die Entwicklungsarbeiten gingen die Vorgaben der DIN-Normen-Reihe DIN EN ISO 9241 – Grundsätze für die Entwicklung von Software "Ergonomie der Mensch-System-Interaktion" sowie Empfehlungen der Cyber-XR Coalition mit ein.

Vorbemerkungen zum Arbeiten in der Virtuellen Realität

Die VR-App soll auch von Nutzern angewendet werden können, die keine Erfahrung im Umgang mit Virtuellen Realitäten haben. Verschiedene Wege der Hilfestellungen können genutzt werden. Die Interaktionen und Informationen sind blickrichtungszentriert angelegt.

Um Motion Sickness (Kinetose, Reisekrankheit, Cyberkrankheit) zu vermeiden, wurde ein Setting entwickelt, bei dem die freie Bewegung in Raum nicht zwingend notwendig ist. Die Arbeitsposition befindet sich nach dem Start (im Spawnpoint) und im Modul "Energiepark" für einen guten Überblick über der Gesamtszene. Sollten sich in der Arbeitsposition Perspektiven ergeben, die die Sicht des Users behindern, können über die Controllersticks Bewegungen ausgeführt und die Beobachterperspektive geändert werden. Im Modul "Elektrolyse" wechselt die Perspektive auf die molekulare Ebene der Elektrolyse. Die Beobachtungsposition befindet sich vor *einer* Elektrolysezelle, kann aber in einen Mitflugmodus umgeschaltet werden.

Grundsätzlich gelten für das Arbeiten in der Virtuellen Realität die Empfehlungen der Headset-Hersteller. Eine Nutzung bei Krankheiten und gesundheitlichen Störungen (z.B. bei Epilepsie, Autismus-Spektrum, Erkrankungen des Gleichgewichtssinnes und des Innenohrs) wird eine Nutzung nicht empfohlen. Auch Medikamente (z.B. Krebstherapie, Medikamente mit Erhöhung der Lichtempfindlichkeit), Alkohol- und Drogenkonsum in Zusammenhang mit VR-Nutzung können zu Schwindel, Schweißausbrüchen und Übelkeit führen. Aus Sicherheitsgründen sollten dann VR-Anwendungen nicht stattfinden.

VR-App "Collapse"

In der Startposition befindet sich der Spieler über einer grauen Konsole. Im ersten Schritt öffnet sich ein Tutorial, in dem der rechte Controller mit dem rechten Triggerstrahl für die wichtigsten Interaktionen betätigt wird.



Danach ändert sich die Startszene. Das VR-Serious-Game ist in verschiedene Module aufgeteilt. Auf der Konsole werden diese Module als ovale Buttons sichtbar. In der oberen Reihe befinden sich die Spielmodule zur Prozessoptimierung. Diese habe unterschiedliche Schwierigkeitsgrade. Über weitere

Buttons können Informationsmöglichkeiten (Controllerbelegung, Details Energiepark Bad Lauchstädt, Credits) geöffnet werden.

In den Modulen "Spiel: Schnelleinstieg" und "Spiel: normal" gibt es die Möglichkeit, Hilfestellungen zu aktivieren. Diese fehlen im Modul "ohne Anleitung/Expertenmodus".

Die Anwendung kann über die Betätigung des Lautsprechersymbols mit oder ohne Hintergrundmusik gespielt werden.

Die Aktivierung der jeweiligen Module wird durch eine leichte Kippbewegung der Buttonflächen erkennbar. Mit dem rechten Triggerstrahl können die verschiedenen weißen Buttons nun ausgewählt werden. Die Auswahl färbt den Button grün und öffnet dann die neue Szene.



Controllerbelegung

Über die Aktivierung des Buttons "Controllerbelegung" kann sich der User über die Funktionalitäten der einzelnen Controllerkomponenten (Trigger, Grab, Stick, Tasten A, B, X, Y) informieren.

Bereits die Aktivierungssequenz fordert zur Benutzung des Triggerstrahls mittels Zeigefingers auf, die am häufigsten zu verwendende Interaktionsart.



Am linken Controller sind Übersicht, Menü und Baumenü angehängt. Im Schnelleinstieg und Spiel: Normal/Übung wird noch die Funktion Verbindungsansicht angehängt, wenn alle Gebäude an ihrem vorgesehenen Platz abgesetzt wurden. Am rechten Controller ist die Aufgabenliste angedockt. Grüne Flächen und Haken in der Box signalisieren erfüllte Aufgabenteile. Über die rechte Controllertaste Y kann die Aufgabenliste aktiviert oder deaktiviert werden



Modul "Spiel: Schnelleinstieg / Übung" und Modul "Spiel: Normal / Übung"

Zu Beginn der Spielmodule öffnet sich eine Begrüßungstafel mit Bedieninstruktionen und der ersten Aufgabenstellung.



Im Modul "Spiel: Schnelleinstieg / Übung" sind alle Bauerwerke, die zur Prozess-Infrastruktur des Energieparks gehören, bereits aufgebaut. Die Verbindungen zwischen den Bauwerken können über die "Verbindungsansicht" gezogen werden.

Im Modul "Spiel: Normal / Übung" müssen die einzelnen Bauwerke im ersten Aufgabenteil erst errichtet werden, bevor die Verbindungen zwischen diesen hergestellt werden. Es können drei aufeinanderfolgende Teilaufgaben gelöst werden.

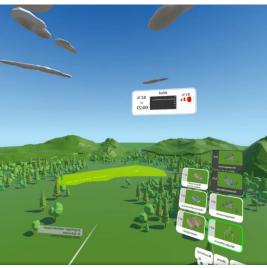
Die Aufgabenstellungen und deren Erfüllungsstand sind am rechten Controller angehängt und können über die Y-Taste oder das Aufgabenfeld mit dem Triggerstrahl geöffnet werden. Erledigte Aufgabenteile sind grün hinterlegt.





Am linken Controller befinden sich das Baumenü mit der Übersicht der aufzubauenden Gebäude. Die zu aktivierenden Gebäude sind weiß hinterlegt. Die Zahlen neben dem Gebäudetyp geben die zu bauende Anzahl an. Mit dem Triggerstrahl wird das jeweils zu errichtende Gebäudefeld aktiviert, eine rote Gebäudesilouette am Controller angeheftet und mit dem Controller in Richtung der markierten Fläche "HIER BAUEN" bewegt. Durch Loslassen des Triggerstrahls wird das Gebäude in die farbig markierte Fläche bewegt, dabei färbt es sich grün und kann nun abgesetzt werden. Die Position innerhalb der Fläche kann frei gewählt werden. Die Gebäude können mit dem Stick auf dem rechten Controller gedreht werden. Dies kann notwendig werden, wenn mehrere Gebäude auf der Baufläche errichtet werden müssen. Die Windkraftanlagen sollten in die passende Windrichtung gedreht werden.





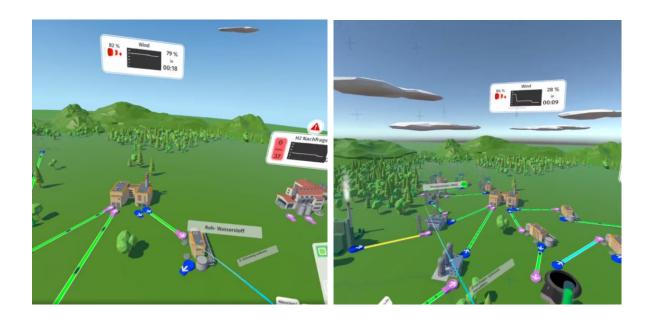
Die errichteten Gebäude haben Informationstafeln mit verschiedenen Einstellungsparametern, die über Schieberegler angepasst werden können. Links und rechts neben der Tafel finden sich In- und Output-Informationen. Auch ein Hilfebutton, ein Infobutton und ein Abriss-Button zum Löschen des

Gebäudes findet sich unter der Einstellungsfläche. Das Drehen von Gebäuden kann über den rechten Controllerstick oder über das Rotationssymbol in der unteren Leiste aktiviert werden.



Über das Menü "Verbindungsansicht" am linken Controller lässt sich die Verbindungsansicht mittels Triggerstrahl oder Y-Button am linken Controller aktivieren. Nun können zwischen den aus- und eingehenden Positionen (blauer und pinkfarbener Pfeilbutton, Input, Output) mit gedrückter Triggertaste am rechten Controller Verbindungslinien gezogen werden. Ist der Energie-bzw. Stofftransport gegeben, ist die Verbindungsline grün, mit dunklen Linienabschnitten so animiert, dass der Eindruck des Transports gegeben ist. Gelbe und blaue Verbindungen zeigen nicht aktive bzw. nicht funktionierende Verbindungen an.

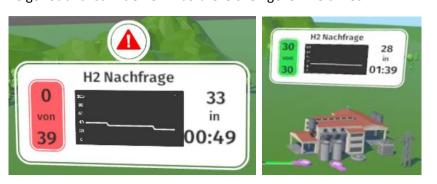




In allen Spielsituationen schwebt über der Szene das Feld, welches verschiedene Informationen zur Windenergie gibt. Es gibt Auskunft über die aktuell zur Verfügung stehende Windenergie in prozentualer und prognostizierter Anzeige in X Sekunden. Das Diagramm zeigt den Verlauf der zur Verfügung stehenden Windenergie mit der Prognose. Mit den daraus resultierenden Informationen muss der weitere Prozess angepasst werden. Es gibt keine Möglichkeit, die zufallsgesteuerte Windenergie zu beeinflussen. Der Prozess muss immer unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Windenergie ggf. mit Zwischenspeichern und konventionellem Kraftwerk angepasst werden. Ein Windgeräusch unterstützt die Wahrnehmung und Einschätzung der Situation. Ziel ist immer, den Elektrolyseur in Betrieb zu halten und die Chemiefabrik mit Wasserstoff zu versorgen.



Die Chemiefabrik mit dem benötigten Wasserstoff steht stellvertretend für den Chemiepark Leuna. In der Gebäudeanzeige kann der Versorgungsgrad mit x von x abgelesen werden. Besteht Versorgungssicherheit, ist die Anzeige grün hinterlegt, besteht keine Versorgungssicherheit mehr, färbt sich die Anzeige rot und ist mit einem Ausrufezeichen gekennzeichnet.

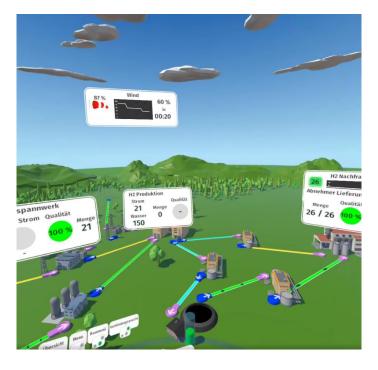


Nach dem Aufbau des einfachen Versorgungszustandes ist in einer zweiten Spielaufgabe ist vorgesehen, die Untertagekaverne zur Speicherung von Wasserstoff in den Gesamtprozess einzubeziehen. Der Füllstand der Kaverne kann über den sich grün füllenden Zylinder an der Seite bzw. über die Gebäudeinformation angezeigt werden. Dazu ist es notwendig, zwei weitere Gebäude "Wasserstoff-Aufbereitung" aufzubauen. Bevor der Wasserstoff in die Kaverne gepumpt wird, wird dieser gereinigt und getrocknet. Wird der Wasserstoff aus der Kaverne zur Chemiefabrik gefördert, wird der Wasserstoff noch einmal getrocknet und gereinigt.



Der Füllstand der Kaverne kann über den Zylinder neben dem "Kavernengebäude" gesehen werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den Füllstand als prozentualen Wert über das Kreissymbol abzulesen, wenn man mit dem Triggerstrahl auf das Gebäude zeigt.

Wenn man mit dem Triggerstrahl auf das Menüfeld "Übersicht" am linken Controller klickt, dann öffnet sich bei allen Gebäuden ein weiteres Feld mit Parametern. Kreisförmige Symboliken am linken und rechten Rand geben den aktiven Zustand an.



Im Fall der Kaverne und der Stromspeicher wird der Füllstand/Speicherstand angezeigt. Bei einem Teil der Gebäude sind prozentuale Qualitäten bzw. Stoff- und Energieverteilungen über Schieberegler einstellbar.



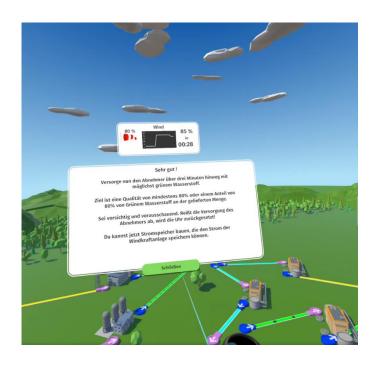


Im fortgeschrittenen Spiel kann eine Situation mit wenig Wind eintreten, die das Einsetzen von weiteren Windkraftanlagen erforderlich macht. Diese müssen mit einem Stromverbinder verbunden werden, der zum Umspannwerk führt. Der maximale Energieoutput ist auf 100% zu setzen.

In die Szene wird automatisch ein konventionelles Kraftwerk eingefügt, welches mit dem Umspannwerk verbunden werden muss. Das Kraftwerk ermöglicht die durchgängige Stromversorgung für Umspannwerk und Elektrolyseur. Das 3D-Modell für das Kraftwerk wurde in Anlehnung an das regional sichtbare Kraftwerk Schkopau gestaltet. Die Verbindungen vom Kraftwerk bis zur Chemiefabrik sind dann grau gefärbt, wenn der Prozess nur mit konventioneller Energie läuft. Damit wird der Unterschied zur grünen Wasserstofferzeugung über Windkraftanlagen kenntlich gemacht. Sollten Verbindungen falsch gesetzt sein, können diese bei aktivierter Verbindungsansicht mit der Controllertaste B gelöscht werden.



In einem dritten Aufgabenteil soll die Chemiefabrik als Abnehmer über 3 min kontinuierlich und entsprechend ihres Bedarfes mit Grünem Wasserstoff versorgt werden. Dabei soll der Anteil des Grünen Wasserstoffs mindestens 80% betragen. In diesem Spielteil ist der Aufbau von Stromspeichern sinnvoll, die die Energie aus den Windkraftanlagen aufnehmen können. Die Stromspeicher können aus dem Baumenü heraus in die dafür vorgesehene Fläche gesetzt werden. Zu beachten ist dabei, dass der Versorgungsprozess nicht unterbrochen wird, weil sonst die Uhr zurückgestellt wird. In der Aufgabenliste am rechten Controller kann der Bearbeitungs- und Zeitstatus abgelesen werden.



Wurde diese Aufgabe erfüllt, besteht die Möglichkeit Verbindungs- und Einstellungsänderungen vorzunehmen, um weitere Prozessoptimierungen im Freeplaymodus ohne zeitliche Einschränkungen zu verfolgen. Diese Vorgehensweise kann zur Vertiefung der gelernten Arbeitsschritte nützlich sein.



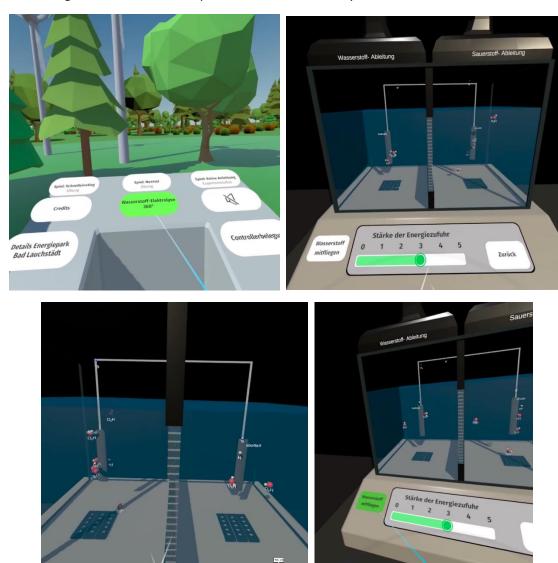
Modul "Spiel: keine Anleitung / Expertenmodus"

Im Expertenmodus wird auf Teilaufgabenstellungen und Anleitungen verzichtet, die zielgerichtet durch die Anwendung führen. Als Aufgabenstellung muss die Chemische Industrie über 3 Minuten kontinuierlich mit Grünem Wasserstoff (80% Qualität) versorgt werden. Wird die Qualität unterschritten, beginnt der Zeitverlauf von vorn.

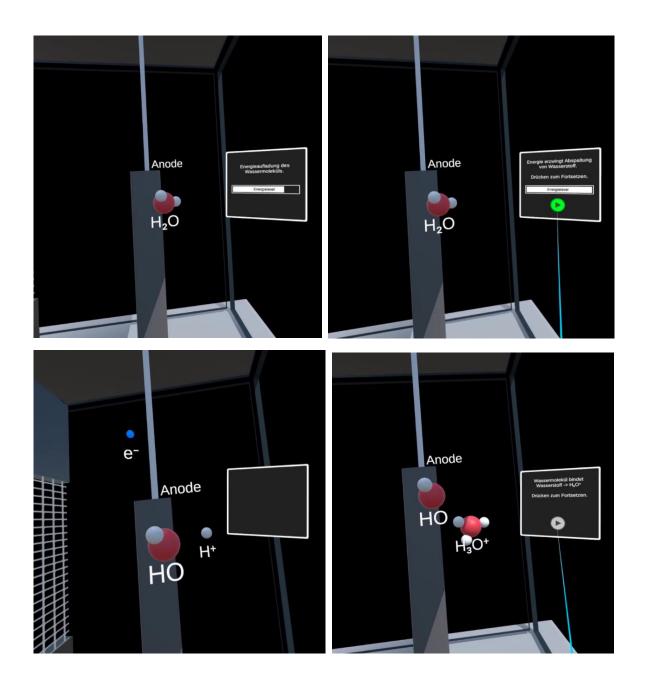


Modul "Wasserstoff-Elektrolyse 360°"

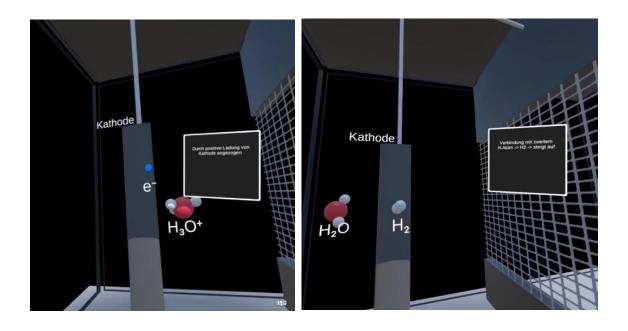
In einem weiteren Modul können die User in die atomare Ebene der Elektrolyse eintauschen. In einer nachgebildeten Elektrolysezelle können die Prozesse an den Elektroden im Überblick verfolgt werden. Durch Vor- und Zurückbewegen des rechten Controllersticks kann ich die Entfernung zur Elektrolysezelle oder mit gedrücktem Triggerstrahl die Energiezufuhr anpassen. Aus Gründen der Vereinfachung wurde hier das Prinzip der alkalischen Elektrolyse visualisiert.



Über die Aktivierung des Buttons "Wasserstoff mitfliegen" nähert sich der User der Anode und kann dort das Aufladen der Wassermoleküle, die Wasserstoffabspaltung und die Elektronenabgabe verfolgen.



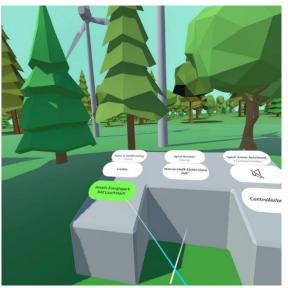
Die Perspektive wechselt über die Durchdringung des Diaphragmas auf die Kathodenseite. Auch hier werden Zusatzinformationen eingeblendet, die den Prozess zusätzlich erklären. Die Sauerstoff- und Wasserstoffableitung aus der Elektrolysezelle heraus sind vereinfacht dargestellt



Details Energiepark Bad Lauchstädt

Ergänzend zum spielerischen Teil der Anwendung können über den Button "Details Energiepark Bad Lauchstädt" Zusatzinformationen zum Energiepark Bad Lauchstädt nachgelesen werden. Der Umfang der Informationen ist jedoch sehr begrenzt, da das Lesen von zu viel Text in der Virtuellen Realität sehr anstrengend sein kann.

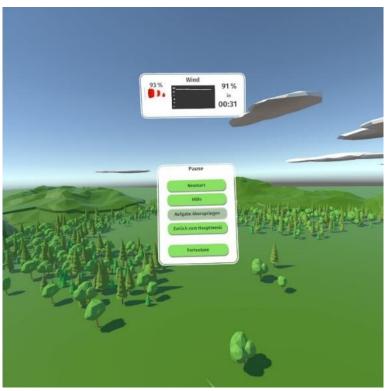
Neben dem Informationsfeld, über die rechte und linke Menüleiste, können die einzelnen Informationsblöcke aktiviert werden. Auch hier wird nur auf die technologischen Hauptkomponenten und Besonderheiten des Energieparks eingegangen.





Hilfestellungen

In den Spielszenen kommt man über die "Übersicht" am linken Controller zurück ins Hauptmenü. Dort können die entsprechenden Änderungen vorgenommen werden, wie z.B. eine Aufgabe überspringen, Hilfe aufrufen oder das Spiel neu starten. In dieser Phase pausiert das Spiel und der Gesamtprozess. Die Hilfestellung wird zur jeweiligen Szene hinsichtlich Steuerung und ausführlicher Aufgabenstellung gegeben.





Ausblick

Der Prototyp orientiert sich an den technologischen Gegebenheiten im Energiepark Bad Lauchstädt. In "Collapse" wurde wechselnd zur Verfügung stehende Windenergie und nur die Windflaute als "Störfall" eingearbeitet. Vorstellbar ist ein Ausbau des Prototyps z.B. hinsichtlich der Störfallszenarien. Auch die Monetarisierung des Gesamtprozesses und/oder die Darstellung z.B. der Unternehmerrolle könnten weiterentwickelt werden. Eine sprachliche Unterstützung und Mehrsprachigkeit würden das VR-Serious-Game abrunden und seine Einsatzmöglichkeiten vervielfältigen.



Vielen Dank an die Testspielerinnen und Testspieler:

Studierende des 3. und 5. Semesters Studiengangs BTID, Florian Kohl BAC Mitarbeitende der Hochschule Merseburg FB INW:

Timo Stahm-Creutz, Armin Engelhardt, Felix Günther, Sebastian Lebioda, Stephan Schröter, Dirk Heymel, Thomas Rotgänger, Andreas Kohlmanns