



Entwicklung von 3D-Darstellungen mit der HoloLens zur Unterstützung der Vermittlung physikalischer Inhalte

Verteidigung der Masterarbeit

Matthias Kuhr



Motivation

Idee: HoloLens für Experimente in der Physik nutzen.



Struktur des Vortrages

- Hintergründe zur HoloLens, deren Einsatz in der Physik und zum gewählten Experiment
- Problemstellung
- Lösungsansatz
- Umsetzung & Ergebnisse
- Diskussion





- Projeziert virtuelle Objekte in das Sichtfeld des Nutzers
- Nutzer bewegt sich simultan durch reale und virtuelle Szene



- Projeziert virtuelle Objekte in das Sichtfeld des Nutzers
- Nutzer bewegt sich simultan durch reale und virtuelle Szene
- Genaue Bestimmung von Position und Ausrichtung im Raum durch Sensoren: *Inside-Out-Tracking*
- Interaktion über Gesten und Sprache, Toolkit mit vorgefertigten Objekten und Funktionen



- Projeziert virtuelle Objekte in das Sichtfeld des Nutzers
- Nutzer bewegt sich simultan durch reale und virtuelle Szene
- Genaue Bestimmung von Position und Ausrichtung im Raum durch Sensoren: *Inside-Out-Tracking*
- Interaktion über Gesten und Sprache, Toolkit mit vorgefertigten Objekten und Funktionen
- Ermöglicht *Augmented Reality* Anwendungen



Technische Aspekte



Technische Aspekte

- *See-Through Display*, Zwei 16:9 HD Bilder, 32°FoV (diagonal)
 - ◊ Einfluss auf Größe und Farbe von Objekten



Technische Aspekte

- *See-Through Display*, Zwei 16:9 HD Bilder, 32°FoV (diagonal)
 - ◊ Einfluss auf Größe und Farbe von Objekten
- Akkomodation der Augen fest bei 2 m
 - ◊ Einfluss auf Distanz



Technische Aspekte

- *See-Through Display*, Zwei 16:9 HD Bilder, 32°FoV (diagonal)
 - ◊ Einfluss auf Größe und Farbe von Objekten
- Akkomodation der Augen fest bei 2 m
 - ◊ Einfluss auf Distanz
- *Inside-Out Tracking* über Tiefenkamera, Stereo-Kameras und IMU
 - ◊ Einfluss auf Positionierung und Stabilität



Technische Aspekte

- *See-Through Display*, Zwei 16:9 HD Bilder, 32°FoV (diagonal)
 - ◊ Einfluss auf Größe und Farbe von Objekten
- Akkomodation der Augen fest bei 2 m
 - ◊ Einfluss auf Distanz
- *Inside-Out Tracking* über Tiefenkamera, Stereo-Kameras und IMU
 - ◊ Einfluss auf Positionierung und Stabilität
- Stand-Alone Device, 1 GHz CPU/HPU, 2 GB RAM
 - ◊ Einfluss auf Performance



Technische Aspekte

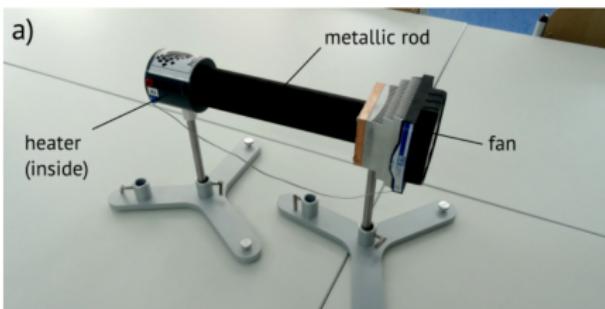
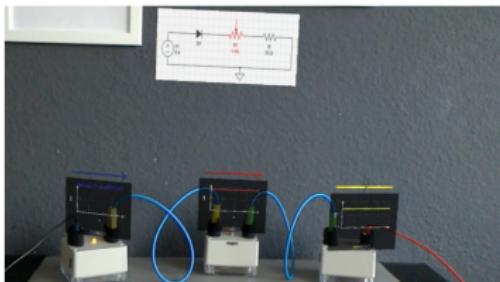
- *See-Through Display*, Zwei 16:9 HD Bilder, 32°FoV (diagonal)
 - ◊ Einfluss auf Größe und Farbe von Objekten
- Akkomodation der Augen fest bei 2 m
 - ◊ Einfluss auf Distanz
- *Inside-Out Tracking* über Tiefenkamera, Stereo-Kameras und IMU
 - ◊ Einfluss auf Positionierung und Stabilität
- Stand-Alone Device, 1 GHz CPU/HPU, 2 GB RAM
 - ◊ Einfluss auf Performance
- Optimierte Stabilität der Objekte für ausgewählte Ebene
 - ◊ Einfluss auf Positionierung und Stabilität



HoloLens in der Physik



HoloLens in der Physik



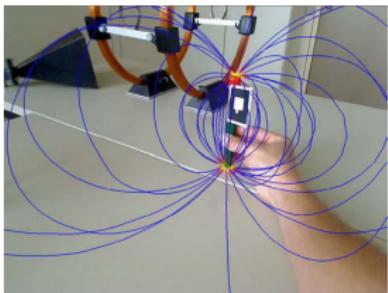
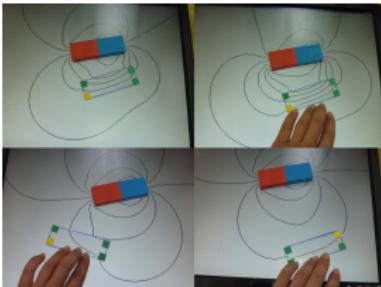
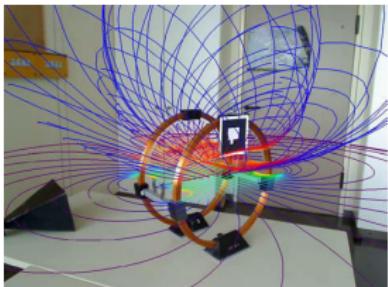
Oben Links: Amiraslanov (2018), Oben Rechts: Javaheri (2018), Unten: Strzys (2018)



Augmented Reality in der Physik



Augmented Reality in der Physik



Links: Buchau (2009), Rechts Oben: Matsutomo (2013), Rechts Unten: Ibanez (2014)



Experiment: Bestimmung des Erdmagnetfeldes

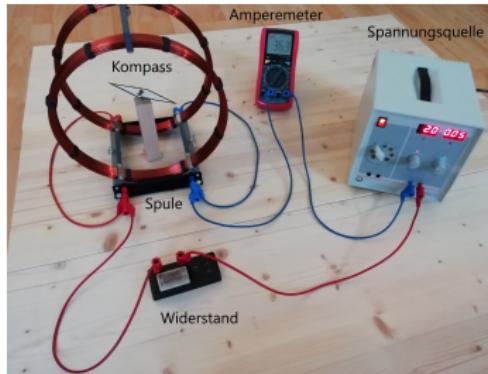


Foto des Versuchsaufbaus mit
Bezeichnung der Elemente.



Anwendungsfall: Helmholtz-Spulen

Experiment: Bestimmung des Erdmagnetfeldes

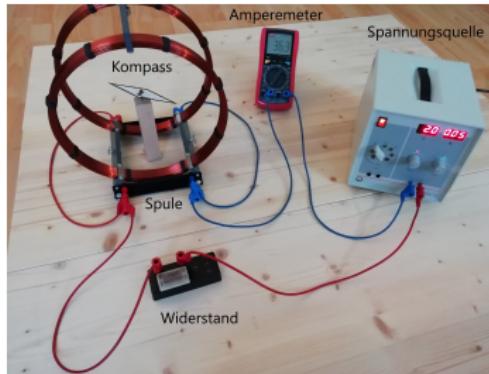


Foto des Versuchsaufbaus mit Bezeichnung der Elemente.

1. Kompass ausrichten lassen
2. Spule orthogonal zur Nord-Süd-Achse aufstellen
3. Spannungsquelle einschalten und Stromfluss erhöhen, bis Kompassnadel um 45° ausgelenkt ist
4. Flussdichte mit Formel aus Stromstärke und Spuleneigenschaften berechnen



Physikalischer Hintergrund

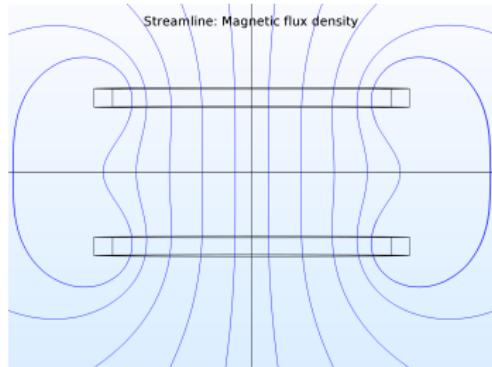
- Magnetfeld ist 3D-Vektorfeld, Flussdichte \vec{B} in Tesla
- Stromfluss durch Spule erzeugt ein Magnetfeld, abhängig von Stromstärke
- Helmholtz-Spule: Feld im Inneren weitgehend *homogen*
- Feldlinien und Vektormodell sind etablierte Darstellungsmodelle



Anwendungsfall: Helmholtz-Spulen

Physikalischer Hintergrund

- Magnetfeld ist 3D-Vektorfeld, Flussdichte \vec{B} in Tesla
- Stromfluss durch Spule erzeugt ein Magnetfeld, abhängig von Stromstärke
- Helmholtz-Spule: Feld im Inneren weitgehend *homogen*
- Feldlinien und Vektormodell sind etablierte Darstellungsmodelle



Darstellung des Magnetfeldes einer Helmholtz-Spule mittels Feldlinien für eine Ebene.



Ziel & Frage



Ziel & Frage

Ziel: HoloLens einsetzen, um Versuchsaufbau mit Informationen anzureichern.

Frage: Wie kann die HoloLens für diesen Versuch konkret eingesetzt werden?

- Was soll mit der HoloLens dargestellt werden?
- Wie soll diese Darstellung erfolgen?
- Und wie soll damit interagiert werden?



Erweiternde Darstellungen räumlich und zeitlich in den Versuch integrieren



Erweiternde Darstellungen räumlich und zeitlich in den Versuch integrieren

- Nicht sichtbare, physikalische Eigenschaften im Raum darstellen
 - ◊ Magnetfelder durch Feldlinien und Vektoren
 - ◊ Stromfluss, Messwerte und ideale Kompassnadel



Erweiternde Darstellungen räumlich und zeitlich in den Versuch integrieren

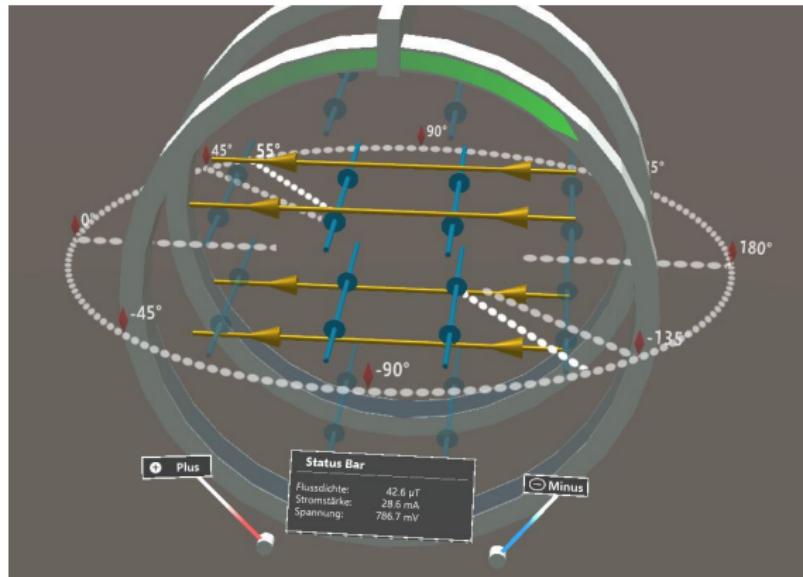
- Nicht sichtbare, physikalische Eigenschaften im Raum darstellen
 - ◊ Magnetfelder durch Feldlinien und Vektoren
 - ◊ Stromfluss, Messwerte und ideale Kompassnadel
- Positionierung und Stabilisierung der HoloLens nutzen
- Echtzeitdaten (Messwerte) an die HoloLens übermitteln und darstellen
- Technische Einschränkungen beim Design berücksichtigen
- Anpassung von realen Objekten, um Integration mit der Anwendung zu verbessern



Lösungsansatz

Design

- Feldlinien
- Skala
- Auslenkung
- Stromrichtung
- Plus & Minus
- Messwerte

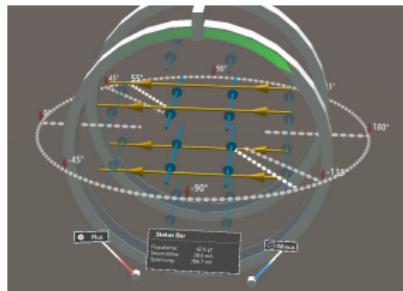


Darstellungen in der Entwicklungsumgebung (Unity). Auflösung und Qualitätseinstellungen entsprechen den Werten auf der HoloLens.



Design

- Platzsparendes Design, um Screenspace zu nutzen und in FoV-Grenzen zu bleiben, außerdem günstig für Stabilisation
- Minimal notwendige Anzahl Feldlinien bzw. Vektoren
- Nutzung konzipiert für: 1,3 m Abstand und 0° bis -35° Winkel (vertikal)
- Begrenzungen über Transparenz
- Objekte orientieren sich an Nutzerposition
- Bekannte Darstellungsmodelle
- Interaktion über Klicker/Gesten/Sprache

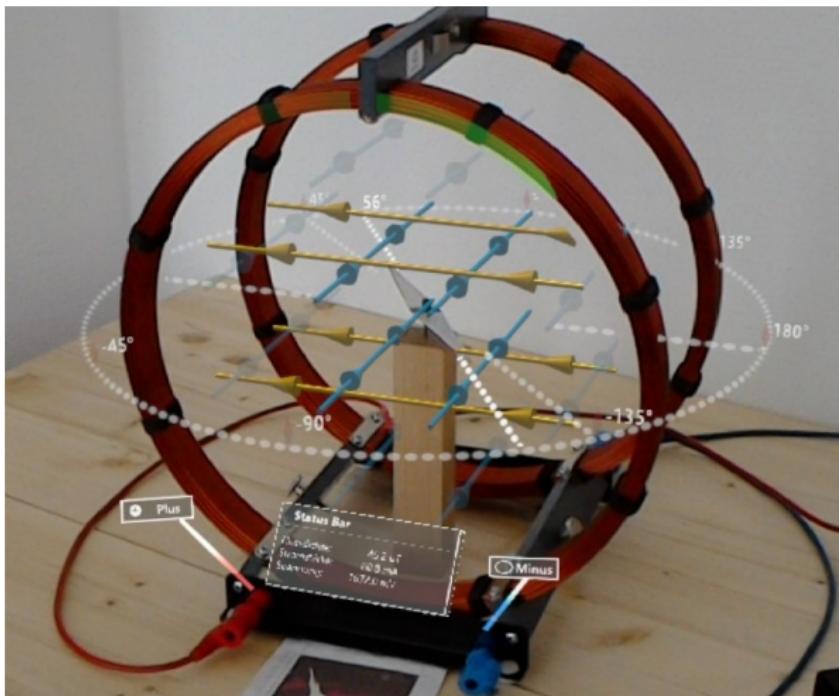




Lösungsansatz



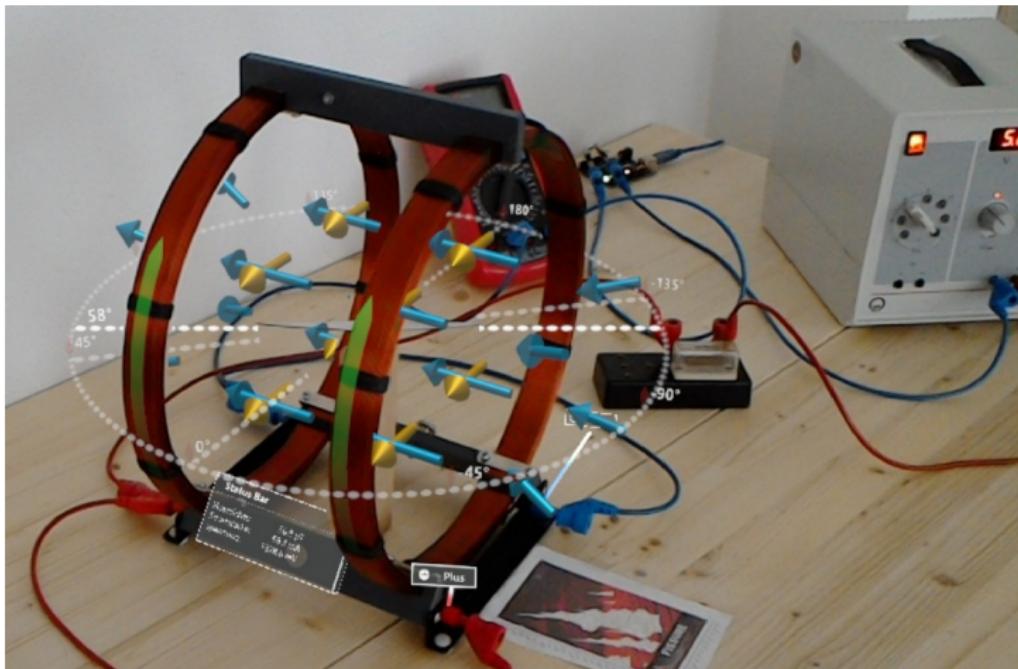
Lösungsansatz



Screenshot von der HoloLens mit Feldliniendarstellung.



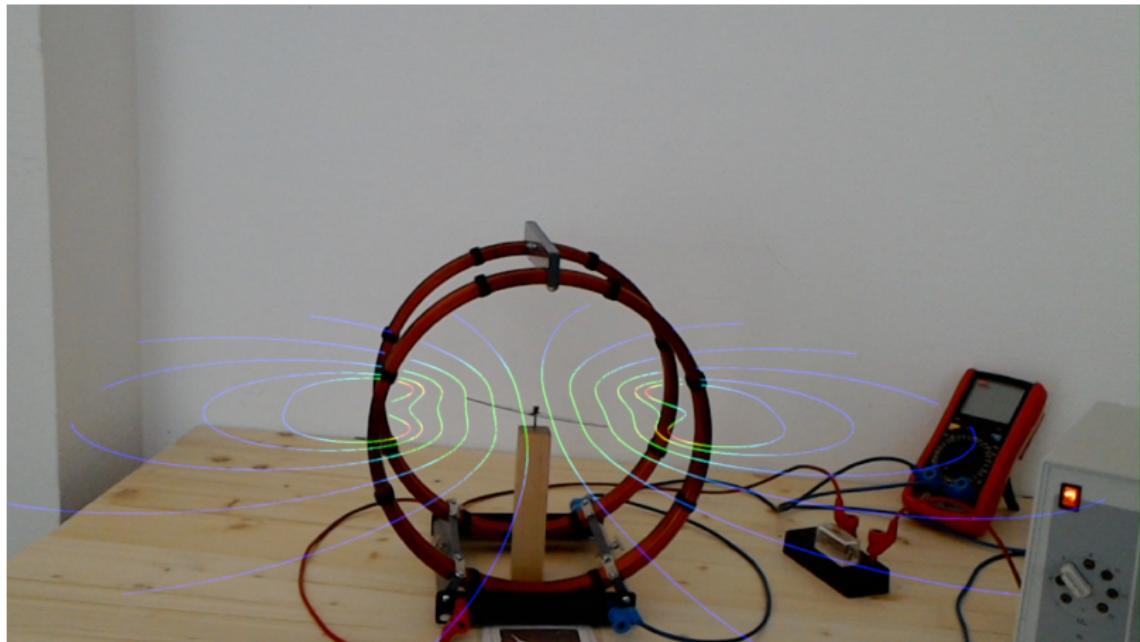
Lösungsansatz



Screenshot von der HoloLens mit Vektordarstellung.



Lösungsansatz

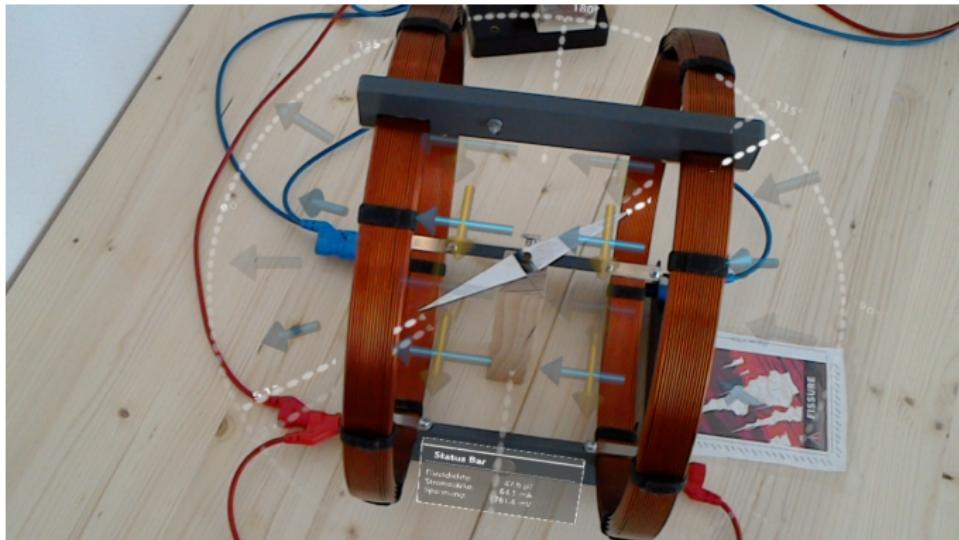


Screenshot von der HoloLens mit Darstellung von Simulationsdaten.



Lösungsansatz

Near Plane Fading



Dicht liegende Objekte werden ausgeblendet. Kompassnadel ist weiß überklebt, damit sie besser zu erkennen ist.



Technische Realisierung



Technische Realisierung

- Unity, Vuforia, C# und Python
- Positionierung initial über optischen Marker, danach über Spatial Mapping
- Server mit Python auf Basis von zwei kommunizierenden Threads
- Steuerung über Menu und Einstellungen via Cursor
- Verdeckung anhand nachmodellierter Spule



Technische Realisierung

- Unity, Vuforia, C# und Python
- Positionierung initial über optischen Marker, danach über Spatial Mapping
- Server mit Python auf Basis von zwei kommunizierenden Threads
- Steuerung über Menu und Einstellungen via Cursor
- Verdeckung anhand nachmodellierter Spule



Spatial Mapping des Versuchsaufbaus.



Einstellungen mit aktiver Tastatur.



Dargestellte Informationen



Dargestellte Informationen

- Visualisierung der Komponenten des Magnetfeldes in zwei Darstellungen und in Echtzeit
- Darstellung einer vorberechneten Lösung für eine ausgewählte Ebene des Feldes der Spule
- Kennzeichnung der Stromrichtung
- Integration einer virtuellen Kompass-Skala mit Hervorhebung wichtiger Zustände
- Einbettung einer virtuellen Kompassnadel auf Basis theoretischer Werte
- Numerische Darstellung gemessener und berechneter Echtzeitdaten



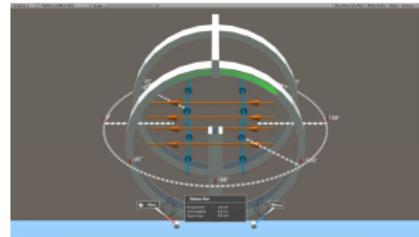
Technische Bewertung



Ergebnisse

Technische Bewertung

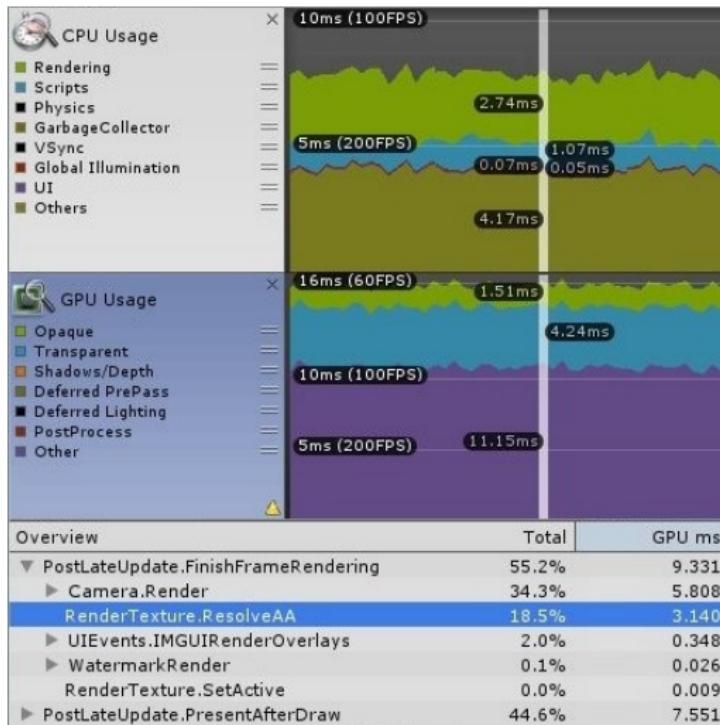
Kriterium	Bewertung
Framerate	Optimal
Stabilität	Fast optimal
Positionierung	Fast optimal
Komfortzone	Optimal
Tiefen Wechsel	Fast optimal
FoV-Grenzen	Optimal
Input Interaction Clarity	Erfüllt
Anpassung an Nutzerposition	Optimal





Ergebnisse

Performance



Unity's Profiler zeigt Details zur Renderdauer auf CPU und GPU mit aktivem MSAA.



Probleme

- Kantenflimmern
- Nutzbarkeit der Gesten
- Übertragbarkeit eingeschränkt



Erweiterungen



Erweiterungen

Inhaltlich: Weitere Lerninhalte integrieren

- Weitere Inhalte, z.B. Rechte-Hand-Regel
- Weitere Experimente, z.B. Ablenkung eines Elektronenstrahles



Erweiterungen

Inhaltlich: Weitere Lerninhalte integrieren

- Weitere Inhalte, z.B. Rechte-Hand-Regel
- Weitere Experimente, z.B. Ablenkung eines Elektronenstrahles

Technisch: Portierung für HoloLens 2

- Auflösung x4 pro Auge, Sichtfeld x2 (Fläche)
- Tragekomfort und Interaktion verbessert



Fazit

- Physikalische Modelle im realen Zusammenhang
- HoloLens-Technik als Basis
- Design vermeidet bekannte Probleme
- Nicht alles muss softwareseitig gelöst werden
- Potential für Erweiterungen und Verbesserungen



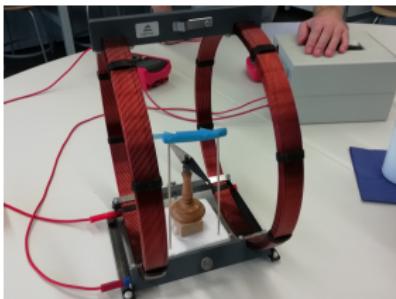
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?



Diskussion

Design





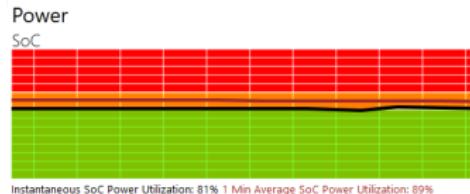
Field of View



MRC mit hervorgehobenem, tatsächlichem FoV. Nguyen (2017).



Performance





Client-Server

Übermittlung der Messwerte

