

# Entwicklung einer Virtual Reality Netzleitwarte

**Fynn Liegmann, Melina Gurcke, Michael Kelker, Jens Haubrock**

Fachhochschule Bielefeld, Institut für Technische Energie-Systeme (ITES), Interaktion 1  
33619 Bielefeld, fynn\_lukas.liegmann@fh-bielefeld.de

## **Kurzfassung:**

Das europäische Verbundnetz ist ein Zusammenschluss aller Übertragungsnetzbetreiber aus Europa und ermöglicht unter anderem eine stabile Netzfrequenz und hohe Versorgungssicherheit. Aufgrund des steigenden Anteils von volatilen dezentralen erneuerbaren Energien und der Förderung von Elektromobilität stehen die Netzbetreiber vor neuen Herausforderungen. Um herangehende Ingenieur\*innen in dieser Komplexität sicher ausbilden und Mitarbeiter\*innen von Netzbetreibern weiterbilden zu können, sind neben Theoriekenntnissen praktische, realitätsnahe Erfahrungen essenziell. Da am realen Netz fehlerhafte Schalthandlungen gravierende Auswirkungen verursachen können, ist der Aufbau einer Netzleitwarsimulation hierfür notwendig. Bisherige Dienstleistungsanbieter schulen in speziellen Simulatoren die Mitarbeiter\*innen. Die Nutzung dieser Simulatoren ist allerdings an feste Termine gebunden. Außerdem ist die Teilnahme von herangehenden Ingenieur\*innen aufgrund der hohen Kosten nicht für jeden zugänglich. In dieser Arbeit wird daher ein Konzept vorgestellt, in der in Virtual Reality eine Netzleitwarte nachgebaut und reale Netze als Digitaler Zwilling in die Leitwarte eingebunden werden. Die Teilnehmer tauchen dabei in die virtuelle Netzleitwarte ein und führen über Controller Schalthandlungen in verschiedenen Szenarien aus und erfahren die Auswirkungen ihrer Handlungen.

**Keywords:** Netzleitwarte, Virtual Reality, Netzsicherheit

## **1 Einleitung**

Die Europäische Kommission hat am 14. Juli 2021 die Umsetzung des europäischen Grünen Deals veröffentlicht. In dem Fit for 55 Paket werden Vorschläge für die Umsetzung der EU-Klimaziele bis zum Jahr 2030 veröffentlicht. Dabei soll der Anteil an erneuerbaren Energiequellen in der EU auf 40 % steigen. Im Verkehrssektor wird eine Senkung der PKW-Emission bis zum Jahr 2030 um 55 % angestrebt [1]. Zudem sollen ab dem Jahr 2035 ausschließlich emissionsfreie Neuwagen zugelassen werden. Aufgrund des steigenden Anteils von erneuerbaren Energien und der Förderung von Elektromobilität stehen die Netzbetreiber im Hinblick auf eine sichere Netzführung vor neuen Herausforderungen. Um in Zukunft auf die anstehenden Herausforderungen vorbereitet zu sein, müssen die Mitarbeiter einer Netzleitwarte kontinuierlich in Trainingsszenarien geschult werden, um im Ernstfall schnell und angemessen handeln zu können. Die Ausbildung zukünftiger Netzbetreiber beginnt bereits während des Studiums. Damit die Studierenden ihre erlernten Studieninhalte zum Thema der elektrischen Netze und der Energieversorgung/Smart Grids weiter verfestigen, sind praktische Handlungen und Exkursion zu Netzbetreibern eine lehrreiche Erfahrung. Im Zuge der Corona Pandemie sind allerdings Exkursionen schwer zu realisieren. Zudem haben Externe in der Regel keinen Zutritt zu Netzleitwarten, da die Energieversorgung zur kritischen

Infrastruktur gehört. Bei einer Führung durch eine Netzleitwarte können nicht alle Lerninhalte abgerufen werden bzw. finden die Rundgänge in den meisten Fällen im Normalbetrieb statt. Kritische Szenarien, wie zum Beispiel ein Kraftwerksausfall, können nicht realistisch nachempfunden werden. Deshalb wird im Folgenden eine Virtual Reality (VR)-Netzleitwarte beschrieben, die eine realitätsnahe und kostengünstige Trainingsumgebung für den Betrieb elektrischer Netze realisiert und sowohl in Lehrveranstaltungen für Studierende als auch für Ingenieur\*innen einer Netzleitwarte eingesetzt werden kann.

## 2 Theoretischer Hintergrund

Nachfolgend werden die Aufgaben der Netzleitwarte thematisiert, sowie ein Einblick in die Virtual Reality gegeben.

### 2.1 Netzleitwarte

Das elektrische Netz führt die elektrische Energie über Übertragungs- und Verteilnetze und gewährleistet die elektrische Energieversorgung. Die Netzleitsysteme sind hierarchisch den verschiedenen Spannungsebenen zugeordnet und kommunizieren über Netzleitwarten. Die Netzleitwarten stehen im ständigen Austausch zu Kraftwerken und anderen Netzleitwarten. Ihre Aufgabe ist die Steuerung und Überwachung der jeweiligen Umspannwerke über Fernwirktechnik. Die Übertragungsnetze sind in verschiedene Regelzonen eingeteilt, wobei die Hauptnetzleitwarte die hierarchisch am höchsten angesiedelte Netzleitwarte einer Regelzone und den unterlagerten Netzleitwarten weisungsbefugt ist. Die vier Systemdienstleistungen Frequenzhaltung, Versorgungswiederaufbau, Spannungshaltung und Betriebsführung beschreiben die Hauptaufgaben der Leitwarte. Für die Gewährleistung der Systemdienstleistungen stehen den Netzleitwarten neben dem Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA)-System höherwertige Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen (HEO) zur Verfügung. Das SCADA beinhaltet neben den Steuer- und Regelbefehlen auch die Übertragung von Meldungen und Messwerten zwischen Netz und Netzleitwarte, sowie die Übermittlung von Wirk- und Blindleistungsänderungen der Kraftwerksgeneratoren. Unter den HEO fallen unter anderem Prognoseverfahren, Leistungsfluss- und Kurzschlussstromberechnung, aber auch die Fehlersuche oder das Wide Area Monitoring [2]. In Zukunft stehen die Netzbetreiber im Zuge der Energiewende vor neuen Herausforderungen. Der Ausbau des elektrischen Netzes, die Erhöhung der Netzintelligenz durch Integration von Smart Meter Einheiten oder der Anschluss weiterer erneuerbarer dezentraler Energieanlagen sind einige Aspekte. Diese bevorstehenden großen Änderungen zwingen die Netzbetreiber ihre Organisationsstrukturen zu vereinfachen und ihr Projektmanagement den neuen Gegebenheiten anzupassen. Zudem werden aufgrund der Regulierungen, wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und der aufwändigen Investitionen die Netzbetreiber nach ernsthaften Optionen Ausschau halten. Diese kann zum Beispiel die Kooperationen oder Fusionen von einzelnen Netzbetreibern zur Folge haben. Der Zusammenschluss von Leitwarten und der damit verbundene Wegfall von Mitarbeitern verursachen neben der Energiewende eine Umgestaltung der Arbeit, auf die die Studierenden und zukünftigen Mitarbeiter von Netzbetreibern vorbereitet werden müssen [3].

## **2.2 Virtuelle Realität**

Unter der Virtuellen Realität (engl.: Virtual Reality, VR) wird eine vom Computer erschaffene dreidimensionale realitätsnahe Umgebung verstanden, in die Nutzer\*innen eintauchen können. Dabei agieren die Nutzer\*innen interaktiv und durch das Ansprechen mehrerer Sinne wird die Umgebung immersiv erlebt [4]. Für die Umsetzung wird eine VR-Brille eingesetzt, die an einem Computer angeschlossen ist. Auf dem Computer laufen in Echtzeit CAD- oder 3D-Programme, mit denen ebenfalls die VR-Welt moduliert wird. In Abhängigkeit der gewählten VR-Brille werden verschiedene Körperteile und Körperbewegungen getrackt. Beim Head-Tracking wird die Kopfbewegung aufgezeichnet und bei Bewegung verschiebt sich das dargestellte Bild in der VR-Brille. Beim Motion-Tracking werden die Körperbewegungen über im Raum installierten Sensoren aufgezeichnet. Die Steuerung über VR-Controller fällt ebenfalls in diese Kategorie. Beim Eye-Tracking wird die Position des Auges erfasst und die VR-Brille erkennt den aktuell gesetzten Fokus [5]. Die VR-Technologie ermöglicht eine adaptive, kostengünstige und vielfältige Nachbildung unterschiedlicher Umgebungen und Szenarien.

## **3 Stand der Technik**

Aufgrund der neuen Herausforderungen für die Netzbetreiber hinsichtlich einer sicheren Netzführung im Zuge der Energiewende muss das Personal einer Netzleitwarte regelmäßig geschult werden. Die Netzbetreiber greifen aktuell bei der Fortbildung ihrer Mitarbeiter\*innen auf Dienstleistungsunternehmen zurück, die gezielt Schulungen im Bereich der Netzbetriebsführung anbieten. In Netztrainingssimulatoren werden unter anderem Schalthandlungen, Fehlerortungen oder Spannungs- und Lastflussprobleme in Echtzeit simuliert und praktiziert. Die Mitarbeiter\*innen sitzen an Schreibtischen, die mit vier Monitoren und einem Telefon zur Kommunikation untereinander ausgestattet sind. Damit wird die Wechselwirkung mehrerer Netzbetreiber untereinander trainiert. Darüber hinaus werden in Bezug auf die neuen Herausforderungen aufgrund des wandelnden Energiesystems aktuelle Anforderungen der Mitarbeiter\*innen im Bezug zu einer modernen Netzleitstelle, Verpflichtungen der Netzbetreiber und der Netzbetrieb im wirtschaftlichen Umfeld thematisiert [6], [7]. Das Training bei den Dienstleistungsanbietern findet allerdings nicht regelmäßig statt und es ist in der Regel mit hohen Kosten verbunden. Die VR-Netzleitwarte soll diese Problematik aufgreifen und als kostengünstige und regelmäßig zur Verfügung stehende Alternative die gezielten Schulungen ergänzen.

Die VR-Technologie findet aufgrund ihrer Adaptivität in verschiedenen Bereichen ihre Anwendung. Anwendungsfelder sind zum Beispiel das Gaming, die Automatisierungstechnik, der Design- und Gestaltungsbereich, aber auch Therapie- und Diagnoseverfahren oder zu (Markt-) Forschungszwecken. In diesem Paper liegt der Fokus auf dem Einsatz für Trainings- und Ausbildungsmöglichkeiten. Die Simulationen ermöglichen den Nutzern einen neuen Einblick in ihre Einsatzgebiete. Neben dem Einbinden von verschiedenen Lernstufen, können verschiedene Fertigkeiten erworben werden. In Trainingsszenarien sind Positions-, Struktur-, Verhaltens- und Prozedurwissen nachweisbar [8].

## 4 VR-Netzleitwarte

Die Netzleitwarte wird als virtueller Raum aufgebaut. In diesem sollen die Teilnehmer\*innen neben dem Erlernen der Betriebsführung elektrischer Netze ihre eigenen Kompetenzen wie zum Beispiel Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Führungsqualitäten fördern. Die Studierenden arbeiten in einem Team von drei Personen, wobei eine die Leitung übernimmt. Nachfolgend wird auf die verwendete Software und Hardware, sowie die erarbeiteten Szenarien eingegangen.

### 4.1 Hardware

Für die Umsetzung der VR-Netzleitwarte werden für drei Studierende jeweils ein Arbeitsplatz mit einem Rechner, einem Monitor und einer VR-Brille mit zwei Controllern aufgebaut. Als VR-Brille wird die HP Reverb G2 verwendet. Die VR-Brille eignet sich besonders aufgrund ihrer hohen Bildauflösung für Simulationen. Mit Hilfe der Controller interagieren die Studierenden in der VR-Welt und rufen eine Verstärkung der Immersion hervor. Mit der frei verfügbaren Software von Unity und Blender wird die VR-Umgebung der Netzleitwarte geschaffen und eine Interaktion in VR ermöglicht. Für die Simulationen in Echtzeit wird ein Echtzeitsimulator der Firma Opal RT verwendet. In diesem Simulator wird ein realistisches Netzgebiet mit Hilfe von Matlab/Simulink nachgebaut.

### 4.2 Szenarien

Mit dem digitalen Modell können verschiedene Betriebszustände in der VR-Netzleitwarte realistisch dargestellt werden. Die Netzstruktur orientiert sich an real existierenden Netzgebieten. Zudem wird sich für die Leistung der Energieerzeugung und die Anzahl an zusätzlichen Stromlasten (Elektrofahrzeuge und Wärmepumpe) am Netzentwicklungsplan (NEP) orientiert und im Modell ebenfalls hinterlegt. Der NEP beschreibt verschiedene Entwicklungsszenarien (A, B und C) des Stromnetzes von Erzeugung und Verbrauch in den nächsten 10 bis 15 Jahren und wird alle zwei Jahre von den vier Übertragungsnetzbetreibern 50Hertz, Amprion, TenneT und TransnetBW überarbeitet. Die Tabelle 1 beschreibt den prozentualen Anteil von Erzeugern und Verbrauchern für die drei Szenarien für das Jahr 2035 zum Referenzjahr 2019 [9].

Tabelle 1: Prozentualer Anteil von elektrischen Erzeugern und Verbrauchern im elektrischen Netz

	2019	Szenario A	Szenario B	Szenario C
Konventionelle Energieerzeugung	45 %	20 %	18 %	19 %
Regenerative Energieerzeugung	55 %	80 %	81 %	81 %
Wärmepumpe im Privathaushalt	3 %	11 %	17 %	23 %
Elektrofahrzeug	0 %	15 %	21 %	26 %
Batteriespeicher im Privathaushalt	7 %	7 %	9 %	11 %

Die Studierenden betrachten und analysieren das elektrische Netz unter den drei beschriebenen Szenarien. Über die Monitore der VR-Netzleitwarte werden die berechneten Parameter dargestellt und die Studierenden führen eine erste Analyse im Normalbetrieb der einzelnen Szenarien durch. Die Szenarien unterscheiden sich besonders durch den unterschiedlichen Anteil an Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen als zusätzliche elektrische Last. Neben der Implementierung der drei oben beschriebenen Szenarien werden zusätzlich Extremsituation simuliert. Eine hohe Gleichzeitigkeit der Elektrofahrzeuge wird durch Anpassung der Ladeprofile der am elektrischen Netz geladenen Elektrofahrzeuge simuliert. Bei einem Kraftwerksausfall oder einer Flaute der erneuerbaren Energieanlagen aufgrund veränderter Wetterverhältnisse wird die einspeisende Gesamtleistung in das elektrische Netz reduziert. Ein Leitungsausfall wird durch Entfernen einer Verbindung im Matlabmodell realisiert. Die Studierenden müssen in Folge dessen in Echtzeit die angegebenen Messwerte auswerten und bei Bedarf geeignete Gegenmaßnahmen im elektrischen Netz ergreifen.

### 4.3 Konzept

Das Ergebnis dieser Arbeit ist das erarbeitete Konzept der VR-Netzleitwarte und wird in der nachfolgenden Abbildung 1 graphisch dargestellt.

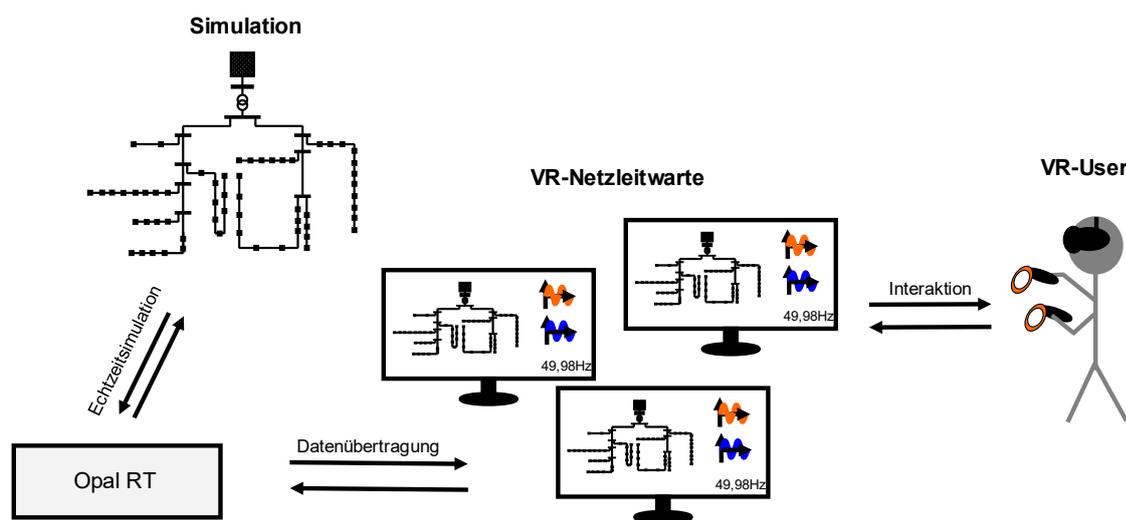


Abbildung 1: Konzept der VR-Netzleitwarte

Zur realistischen Umsetzung der VR-Netzleitwarte wird ein 3D-Abbild einer Netzleitwarte erstellt und ein DT auf Basis eines realen elektrischen Netzgebietes entwickelt. Der DT wird in Matlab/Simulink moduliert und über den Echtzeitsimulator werden die aktuellen Netzparameter laufend berechnet und ausgewertet. In diesem werden die Verbraucher und Erzeuger adaptiv den oben beschriebenen Szenarien entsprechend angepasst. Die VR-Netzleitwarte bildet das Netzgebiet graphisch ab. Zusätzlich werden auf Basis der gewählten Szenarien auf den Monitoren in der Netzleitwarte neben dem elektrischen Netz Informationen zu Spannung, Frequenz und Strom, sowie Kraftwerksfahrpläne und Windprognosen den Studierenden übermittelt. Die Studierenden arbeiten in einem Team aus drei Personen, wobei eine die Leitung übernimmt und den beiden anderen Schalthandlungen in Auftrag übermittelt.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wird das Konzept einer VR-Netzleitwarte präsentiert, die aus einem 3D-Abbild einer Netzleitwarte und einer Simulation eines echten Netzgebietes besteht. Die VR-Technik ermöglicht einen kostengünstigen Aufbau einer Trainingsleitwarte, die einen hohen Grad der Immersion bietet. Nach dem Aufbau soll als nächstes das Setup im Rahmen eines Praktikums an der Fachhochschule Bielefeld validiert werden. Zusätzlich werden das 3D-Abbild und der DT weiter verbessert, um eine noch realitätsgetreuere VR-Umgebung und Reaktion der Leitwarte zu ermöglichen. Mit diesem Projekt soll ein Lehr-Lernprozess innovativ, adaptiv, motivierend und lernwirksam gestaltet werden und anschließend in den Lehreinheiten der Energietechnik eingebunden werden. Die Studierenden erlernen den Umgang mit einer neuartigen Technologie (VR) und können die praktische Vermittlung der Betriebsführung realer elektrischer Netz einprägsamer vermittelt bekommen. Bei erfolgreicher Validierung an der Hochschule wird das System an die Trainingsbedingungen der Mitarbeiter\*innen von Netzleitwarten angepasst und validiert.

## 6 Referenzen

- [1] Europäische Kommission, „Umsetzung des europäischen Grünen Deals,“ [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_de). [Zugriff am 19 01 2022].
- [2] A. J. Schwab, Elektroenergiesysteme: Erzeugung, Transport, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, Springer Verlag, 2009.
- [3] Deloitte, „Herausforderungen für Netzbetreiber - Erfolgreich durch die Energiewende,“ 2015.
- [4] OMNIA 360, „Was ist Virtual Reality?,“ [Online]. Available: <https://omnia360.de/blog/was-ist-virtual-reality/>. [Zugriff am 19 01 2022].
- [5] Vodafone, „Virtual Reality: Definition, Anwendungsbereiche und Zukunftspotenzial,“ [Online]. Available: <https://www.vodafone.de/business/featured/technologie/virtual-reality-definition-anwendungsbereiche-und-zukunftspotenzial/>. [Zugriff am 19 01 2022].
- [6] VIVAVIS, „HIGH-LEIT NETZTRAINER – Training der Netzbetriebsführung (Strombereich) am dynamischen und realitätsnahen Netztrainingssimulator,“ [Online]. Available: <https://www.ids.de/wissen-erfahrung/seminare/spezialschulungen/high-leit-netztrainer.html>. [Zugriff am 19 01 2022].
- [7] DUtrain, „Elektrische Energieversorgung,“ [Online]. Available: [https://www.dutrain.de/?page\\_id=76](https://www.dutrain.de/?page_id=76). [Zugriff am 19 01 2022].
- [8] Kompetenzzentrum für virtuelle Realität und Kooperatives Engineering w.V., „Virtual Reality für Training und Ausbildung,“ [Online]. Available: <https://www.vdc-fellbach.de/wissen/anwendungsfelder/training-ausbildung/>. [Zugriff am 19 01 2022].
- [9] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, „Netzentwicklungsplan: Genehmigung des Szenariorahmens 2021-2035,“ [Online]. Available: [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen\\_2035\\_Genehmigung\\_1.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/Szenariorahmen_2035_Genehmigung_1.pdf). [Zugriff am 19 01 2022].