

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Forschungsvereinigung:	VDZ Technology gGmbH (Zementwerke)
Forschungseinrichtung:	VDZ Technology gGmbH Forschungsinstitut der Zementindustrie
IGF-Vorhaben-Nr.:	21619 N
Bewilligungszeitraum	von 01.02.2021 – 31.07.2023
Veröffentlicht VDZ-Webseite	<a href="https://www.vdz-online.de/wissensportal/forschungsprojekte/steigerung-der-energieeffizienz-in-der-zementindustrie-durch-training-mittels-virtueller-realitaet-vr">https://www.vdz-online.de/wissensportal/forschungsprojekte/steigerung-der-energieeffizienz-in-der-zementindustrie-durch-training-mittels-virtueller-realitaet-vr</a>

Forschungsthema:

## **Steigerung der Energieeffizienz in der Zementindustrie durch Training mittels Virtueller Realität (VR)**

### **1 Ziel der Untersuchungen**

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden Werkzeuge auf Basis von Virtueller Realität (VR) entwickelt durch deren Einsatz Mitarbeitende der Zementindustrie gezielt in Hinblick auf die Steigerung der Energieeffizienz von Anlagen der Zementherstellung geschult und sensibilisiert werden können. Um langfristig den Einsatz von Energie und damit einhergehender CO<sub>2</sub>-Emissionen zu mindern, ist es erforderlich, dass alle handelnden Personen in der Produktionskette (von der Hilfskraft in der Instandhaltung bis hin zum Prozessingenieur) in der Lage sind, ihre Umgebung hinsichtlich Verbesserungspotentiale bewusst wahrzunehmen. Hierfür ist es notwendig, dass Fachkräfte komplexe Anlagenuntersuchungen unter Berücksichtigung aller Aspekte der Arbeitssicherheit durchführen und auswerten können. Dies erfordert insbesondere für anspruchsvollere verfahrenstechnische Probleme viel Erfahrung, welche durch wiederholtes Durchführen von Tätigkeiten erworben werden kann. Die Vermittlung von entsprechendem Wissen ist aber in der Praxis durch die betrieblichen Umstände (z.B. Hitze, Staub, Zeitdruck) oft schwierig und in der Theorie nur bedingt möglich. Das Training innerhalb eines virtuellen Raums erlaubt es den Lernenden auf einfache und sichere Art, Abläufe durch Wiederholungen zu verinnerlichen und Rückschlüsse auf Verbesserungspotentiale zu schließen.

Die Entwicklung eines virtuellen Raums, um diese Ziele zu erreichen, ist sehr komplex. Dieser muss zunächst die Ausgangssituation im Werk ausreichend präzise darstellen, damit auch feine, aber entscheidende Unterschiede sichtbar werden. So kommt der Texturierung von Oberflächen, z.B. zur Darstellung von Materialablagerungen und dem geometrischen

Detailgrad („Level of Detail“) von Verschleißteilen, eine große Bedeutung zu. Weiterhin muss der virtuelle Raum den Lernenden ausreichend Freiheiten und Freiraum bieten, um Sachverhalte auch zu übersehen oder falsch einschätzen zu können. Um das eigenständige Erkennen von Problemen zu trainieren, ist dies eine wichtige Voraussetzung. Dies unterscheidet die verfahrenstechnische Untersuchung von bekannten Beispielen aus der Wartung oder dem Anlagenbetrieb, die bereits als VR-Anwendungen in der Prozessindustrie existieren. Gegenstand des Forschungsvorhabens war daher der Aufbau einer derartigen VR-Anwendung und die Realisierung von verschiedenen Ausbildungsszenarien mit signifikantem Einfluss auf die Energieeffizienz der Anlagen.

Die Umsetzung umfasste nicht nur die Entwicklung der virtuellen Realität mit entsprechenden Interaktionsmöglichkeiten, sondern auch die Entwicklung einer Struktur zur Instruktion und Bewertung der Lernenden sowie die Möglichkeit gezielt Wissen zu vermitteln. Dazu musste zusätzlich zur eigentlichen VR-Anwendung eine Auswertungsumgebung geschaffen werden, in der Bilddaten aus dem virtuellen Raum, Prozess- und Labordaten, die dynamisch auf den Verlauf der virtuellen Anlagenuntersuchung reagieren, zusammengetragen werden. Die erforderlichen Daten wurden realitätsnah durch Messungen in Werken und Auswertung von Berichten gesammelt oder aus diesen extrapoliert. Aufbauend auf dieser Datengrundlage wurde den Lernenden, je nach Zielgruppe, unterschiedlich komplexe Aufgaben gestellt.

Die entwickelte VR-Anwendung wurde anschließend durch verschiedene Zielgruppen umfangreich getestet. Dadurch wurde ermittelt, wie Wissen und Erfahrung zu den Themen „Steigerung der Energieeffizienz und Anlagenuntersuchungen“ durch diese Methode des Trainings effizient und nachhaltig vermittelt werden kann. Die Inhalte der VR-Anwendung selbst sowie der Wissenszugewinn durch die Anwendung wurden über den Verlauf des Projektes kontinuierlich durch Fachexperten aus der industriellen Praxis evaluiert. Es sollten aber insbesondere auch übergeordnete technische Forschungsfragen in Hinblick auf VR beantwortet werden. So wurde festgestellt, welche Mechaniken zur Interaktion den Lernenden anzubieten sind und welcher Grad an Realismus erforderlich ist, um verfahrenstechnische Problemstellungen adäquat im virtuellen Raum darstellen zu können. Zudem wurde geprüft, welche Anforderungen an die benötigten Ausgangsdaten (Bilder, Geometrie) zu stellen sind und wie die Umsetzung die die erforderliche Rechenleistung beeinflusst.

## **2 Entwicklung einer Testumgebung in einer Virtuellen Realität (VR)**

Zur Feststellung der Eignung von virtuellen Realitäten zum „Serious Gaming“ und damit der Lehre im Bereich Verfahrenstechnik wurde eine VR-Anwendung (Abbildung 2-1) in der Unreal-Engine entwickelt, in der die Lernenden eine Mühlenuntersuchung an und in einer Zementmahlanlage durchführen und auswerten können. Das Konzept umfasst die Vorbereitung der Mühlenuntersuchung, Messungen im Betrieb und die Untersuchung des Mühleninnenraums. In der VR genommene Proben werden automatisch analysiert. Die Lernenden müssen in einer Excel-Auswertung Rückschlüsse aus Analyseergebnissen ziehen und auf Basis der optischen Eindrücke der Mühlenuntersuchung und der Messergebnisse Fragen in eine eLearning-Plattform beantworten. Den Lernenden wird so ermöglicht, eine Mühlenuntersuchung in einem Zementwerk durchzuführen, mit dem Ziel die Energieeffizienz zu verbessern.



Abbildung 2-1 Mühlengebäude

In der Anwendung sind die Räumlichkeiten eines Zement-Mahlwerks, ein Besprechungsraum, der Leitstand, das Sichtergebäude und das Mühlengebäude begehbar. Der Mühleninnenraum ist modularisiert aufgebaut (Abbildung 2-2) und kann entsprechend verschiedener verfahrenstechnischer Problemstellungen angepasst werden.



Abbildung 2-2 Umsetzung des modularen Aufbaus der Kugelmühle

Wesentlicher Handlungsort einer Mühlenuntersuchung ist der Innenraum der Mühle. Dementsprechend ist dieser besonders detailliert dargestellt (Abbildung 2-3). Um den Realitätsgrad zu erhöhen, wurden 3D-Scans realer Mühlen als Grundlage der Ausgestaltung verwendet.





Abbildung 2-3 Innenraum der Kugelmühle

### 3 Erprobung der VR durch Training in unterschiedlichen Schulungsformaten

Der Test der VR-Anwendung wurde mit zwei Gruppen durchgeführt, wobei Gruppe 1 die erste Testversion der Anwendung und Gruppe 2 eine korrigierte Version, nach Behebung wesentlicher Fehler, nutzte. Bewertet wurden u.a. der Einstieg in den Simulator, die Probenahme in der Mühle (Abbildung 3-1) und im Sichter, die Steuerung, die Arbeit mit Laptop oder Handy und die Auswertung in Excel.

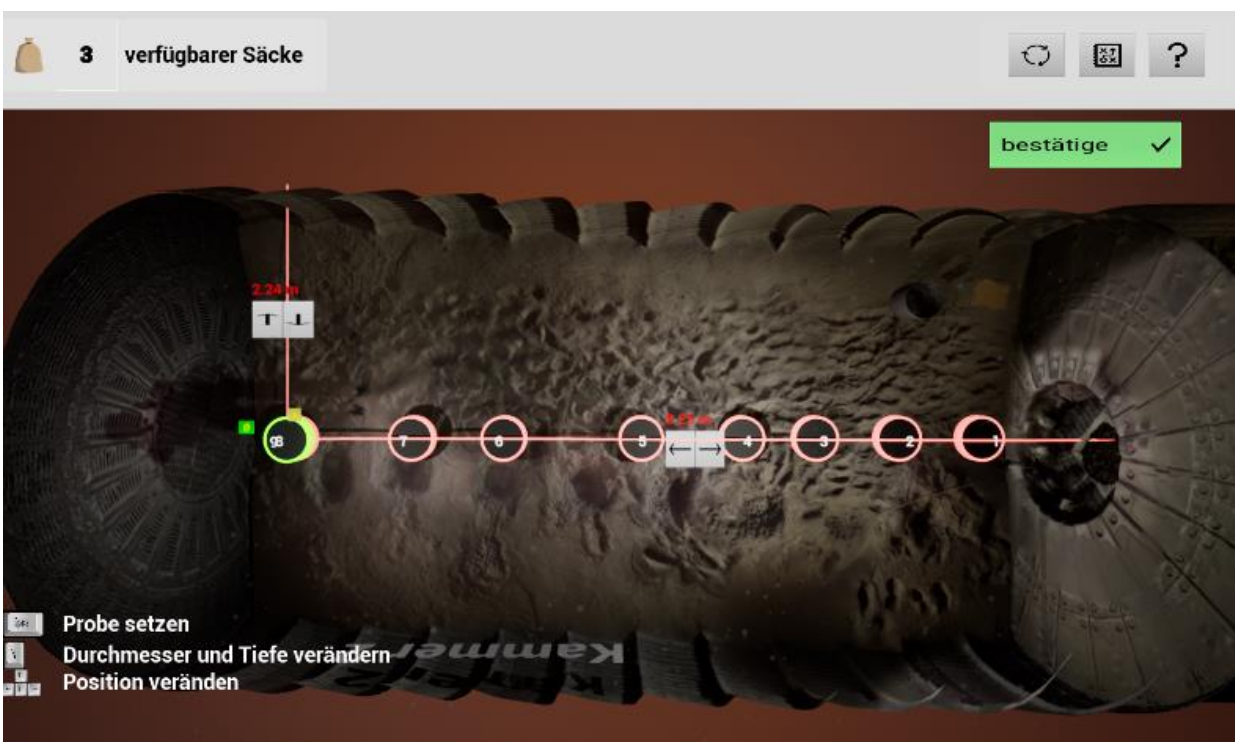


Abbildung 3-1 Beprobung von Kammer 2

Die erste Schulung mit Mitarbeitenden aus den Zementwerken wurde im Rahmen einer klassischen Schulung durchgeführt und sollte den Lernenden das Thema der Mühlenuntersuchungen nahebringen. Der fachliche Hintergrund der Lernenden war sehr unterschiedlich. Durch die Teilnahme an der klassischen Schulung wurde jedoch breites Fachwissen vermittelt, wodurch anzunehmen war, dass der Kenntnisstand aller Lernenden vergleichbar war. Hier hat sich herausgestellt, dass die Unterstützung der Lehrinhalte durch die VR eine gute Idee ist, jedoch war der Einstieg in die VR durch komplizierte Handhabung der Anwendung sehr zeitintensiv. Das Feedback der Lernenden wurde in eine neue Version eingearbeitet.

Anhand der Rückmeldung der ersten Testgruppe wurde die VR-Anwendung korrigiert, was insgesamt zu einer verbesserten Nutzererfahrung führte. So wurde aufgrund der Bewertungen von Gruppe 1 der Sichter, die Bedienung der Mechaniken und die Excel-Auswertung neugestaltet. Darüber hinaus wurde die Benutzerfreundlichkeit in der gesamten Anwendung vereinfacht. Der Aufwand, um diese Verbesserung zu erzielen war verhältnismäßig hoch. Insbesondere die Probenahme am Sichter (Abbildung 3-2) wurde optisch und methodisch aufgewertet.



Abbildung 3-2 Sichter Bereich

Die zweite Schulung wurde mit Mitarbeitenden aus dem Bereich Mahltechnik eines Zementwerks durchgeführt. Die Teilnehmenden wurden zunächst in einer klassischen Schulung explizit auf das Thema Mühlenuntersuchungen vorbereitet. Die Fachkenntnisse dieser Lernenden waren dementsprechend hoch. An einem zweiten Tag nutzten die Lernenden ihr Wissen bei der VR-Mühlenuntersuchung. Die Bewertungen waren ausreißerbereinigt besser als bei der ersten Gruppe. Diesem Teilnehmenden ist der Einstieg in die VR schwer gefallen, was auch an fehlenden Erfahrungen mit Computerspielen oder der Handhabung von Computern liegen kann.

Die gesammelten Erkenntnisse bieten eine solide Grundlage für die Weiterentwicklung der VR-Anwendung zur Schulung von Mühlenuntersuchungen hinsichtlich der Optimierung der Energieeffizienz.

#### **4 Ableitung von allgemeinen Anforderungen an eine VR für den Einsatz in der Prozessindustrie**

##### **4.1 Allgemeine Anforderungen**

Die Integration von Virtual Reality (VR) in Schulungen bietet die Möglichkeit, traditionelle Lehrmethoden zu unterstützen und die Vermittlung von Fallbeispielen auf interaktive Weise zu intensivieren. Allerdings ist der eigenständige Einsatz von VR-Anwendungen als Schulselement für die Lernenden herausfordernd. Dies ergibt sich aus unterschiedlichen Fähigkeiten der Lernenden im Umgang mit Computern und unterschiedlichen Kenntnissen im Fachgebiet. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, muss die VR-Anwendung die individuellen Bedürfnisse der Lernenden berücksichtigen, was einen besonders hohen Implementierungsaufwand verursachen würde.

Die VR-Anwendung kann durch die Verwendung der "first-person"-Perspektive das Gefühl eines realen Zementwerks vermitteln. Die Nutzung dieser dreidimensionalen Inhalte ist vergleichsweise aufwendig und sollte nicht als „offene Welt“ gestaltet werden. Gerade „offene Welten“ erwecken hohe Erwartungen an die Anwendung, welche nicht erfüllt werden. Zudem können die Wegstrecken in „offenen Welten“ besonders lang sein, was bzgl. der zur Verfügung stehenden Lernzeit nicht effizient ist. Besser ist die Nutzung von inhaltlich reduzierten Spielen („Minispiele“), um den Fokus auf relevante Schulungsinhalte zu legen. Alternativ können ausgewählte Lehrinhalte auch in zweidimensionalen Welten gelehrt werden. Die Minispiele können dabei auf die Lehrinhalte abgestimmt werden und bedarfsgerecht programmiert werden.

Diese Minispiele können in gängigen eLearning-Plattformen integriert werden, welche den Ablauf von Schulungen festlegen. Das Konzept ermöglicht die Nutzung der Anwendung im Selbststudium, aber auch die Erweiterung klassischer Schulungsmaßnahmen durch interaktive Inhalte.

Der Einstieg in die VR-Anwendung sollte für alle Lernenden einfach zugänglich sein, da die zur Verfügung stehende Schulungszeit begrenzt ist. Bei der Entwicklung ist es daher von zentraler Bedeutung, klare Themenschwerpunkte zu setzen und diese mit den Lernenden zu diskutieren. Dazu gehören:

- die Steigerung der Akzeptanz für den Einsatz von VR in Schulungen, z.B. durch die Vorstellung der Vor- und Nachteile von VR-Anwendungen in der Schulungssituation
- die Offenlegung von Stärken und Schwächen der verwendeten VR-Anwendung und der verwendeten Methodik,
- die Darstellung des Schulungsablaufs mit klaren, einfachen Strukturen,
- die Definition des Schulungsziels und wie dieses mit Hilfe der gewählten Lehrmittel erreicht werden soll, sowie
- die Festlegung der zur Verfügung stehenden Zeit für die Aufgaben und Schulungsinhalte.

## 4.2 Interaktionsmöglichkeiten

Oft werden VR-Anwendungen alleinig mit der Verwendung von 3D-Brillen in Verbindung gebracht, durch deren Verwendung, in Kombination mit entsprechenden Interaktionswerkzeugen (z.B. situationsangepassten Controller), der Realitätsgrad deutlich erhöhen werden kann. Neben dem höheren Implementierungsaufwand müssen alle Lernenden mit der Handhabung des notwendigen Equipments vertraut sein oder in die Handhabung detailliert eingewiesen werden. Dies kann für das Erlernen arbeitstäglicher Aufgaben interessant und zielführend sein, für relativ selten durchgeführte Tätigkeiten jedoch nicht. VR-Anwendungen können jedoch auch klassisch, als so genannte „Serious Gaming“ Anwendungen, auf Computern oder über das Internet spielbar sein.

Interaktionsmöglichkeiten sollten weitestgehend reduziert werden. Dies bedeutet, dass unnötige Anlagenbereiche und Mechaniken in der VR, die vom eigentlichen Lerninhalt ablenken könnten, nicht implementiert werden sollten. Je nach Anwendungsfall ist das Suchen von Gegenständen und die Anzahl der Gegenstände in der VR zu reduzieren. Repetitive Handlungen, z.B. das Ausrüsten mit Gegenständen, sind zu vereinfachen und können exemplarisch, z.B. einmalig oder zufällig, durchgeführt werden. Der Fokus und die Zielsetzung der Anwendung sind unter diesem Punkt zu beachten. Zu detailreiche Umgebungen können auf die Lernenden verwirrend wirken, gerade wenn diese realistisch wirken sollen, jedoch Unstimmigkeiten im Vergleich zu den erwarteten Situationen vorliegen.

Um die Lernenden auf Gegenstände und Interaktionsmöglichkeiten aufmerksam zu machen, können diese im Raum hervorgehoben werden. Auch ist das Führen einer detaillierten Aufgabenliste zielführend. Werkzeuge und Handlungen müssen nicht unbedingt detailgetreu abgebildet werden. Sinnvoll ist es, den Lernenden die Methodik zu vermitteln.

Am Beispiel der Volumenstrommessung zeigte sich, dass die Nutzung der Sonde in einer „first-person“ Perspektive nicht sinnvoll ist. Stattdessen sollten geeigneten Messstellen ausgewählt und die Messpunkte der Sonde im Rohr ausgerechnet werden. Anschließend kann die Messung animiert oder als Video dargestellt werden.

## 4.3 Arbeitssicherheit

Das sichere Arbeiten im Zementwerk und die damit verbundenen Arbeitssicherheitsunterweisungen haben einen besonders hohen Stellenwert. Es ist dabei nur bedingt sinnvoll Standardmaßnahmen, wie die Unterweisungen anhand einer PowerPoint Präsentation, in der VR zu demonstrieren. Viel mehr können Standardabläufe exemplarisch überwacht und bewertet werden. Hierzu zählen beispielsweise:

- das Einkleiden mit persönlicher Schutzausrüstung,
- das Verhalten im Zementwerk sowie
- Standardprozeduren, z.B. Sichern von Antrieben gegen Wiedereinschalten.

Weniger sinnvoll erscheint das Suchen und Finden verschiedenster Arbeitssicherheits-Probleme im dreidimensionalen virtuellen Zementwerk. Besser eignen sich hier z.B. zweidimensionaler Suchbilder als Minispiel.



#### **4.4 Benutzerfreundlichkeit**

Den Lernenden sollte eine minimalistische Benutzeroberfläche den Einstieg in die Anwendung erleichtern. Am besten geeignet scheint die Integration von Minispielen in bestehende eLearning-Plattformen und damit die Nutzung eines rein Web-basierten Ansatzes. Vielfältige Einstellungsmöglichkeiten können in Steuerdateien oder allgemeine Masken in der eLearning-Plattform ausgelagert werden und müssen nicht von den Lernenden genutzt werden. Die Durchführung komplexer Workflows (wie die Durchführung einer kompletten Mühlenuntersuchung) ist nicht immer zielführend, um den Lernerfolg zu verbessern und kann zur Überforderung der Lernenden führen. In diesem Kontext sei erneut auf die geringe zur Verfügung stehende Weiterbildungszeit hingewiesen.

Besser ist es mehrere kleine Anwendungen in ein Gesamtframework zu integrieren und diese ggf. zu kombinieren. Hier wird der Informationsgehalt reduziert und Lernende nicht überfordert.

### **5 Zusammenfassung**

In der Prozessindustrie besteht ein hoher Schulungsbedarf, um Personal mit unterschiedlichen fachlichen Fähigkeiten hinsichtlich der energetischen Optimierung durch verfahrenstechnische Maßnahmen vorzubereiten und weiterzubilden. Besonders in Zementwerken gibt es schwer erreichbare Bereiche, in denen der Aufenthalt durch Hitze und Staub unangenehm und gefährlich ist. Somit ist ein längerer Aufenthalt in diesen Bereichen nicht möglich. Oft werden Messungen daher unter erheblichem Zeitdruck durchgeführt und die Unterweisung neuer Mitarbeiter ist hier nur selten möglich. Üblicherweise werden die Lernenden durch klassische Lehrinhalte (Frontalunterricht) geschult. Im Rahmen von Diskussionen können die Lernenden ihr Wissen festigen. Oft werden Schulungen durch Case-Studies ergänzt.

In diesem Forschungsprojekt wurde untersucht, in wie weit verfahrenstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durch Virtuelle Realitäten (VR) unterrichtet werden können. Hierfür wurde eine VR-Anwendung in der Unreal-Engine entwickelt, in der die Lernenden eine Mühlenuntersuchung an und in einer Zementmahlanlage durchführen und auswerten können.

Es hat sich gezeigt, dass Mini-Spiele einen hohen Lernerfolg garantieren können und so klassische Lehrinhalte besonders gut unterstützen können. Die Mini-Spiele können dabei einzelne Szenarien zum Erkennen von Potentialen zur Steigerung der Energieeffizienz behandeln, wie die Probenahme in der Kugelmühle oder die Messung von Volumenströmen sowie deren interaktive Auswertung. Diese sollten in eine Web-Umgebung, besonders gut geeignet sind eLearning-Plattformen, integriert werden. Web-Umgebungen können von nahezu jedem Gerät aufgerufen werden und verursachen in der Regel geringe IT-Sicherheitsprobleme.

Je nach Anwendungsfall können die Mini-Spiele als dreidimensionale oder zweidimensionale „Serious Games“ entwickelt werden. Auch ist die Verwendung von (animierten) Suchbilder zum Erkennen von Gefahrstellen und verfahrenstechnischen Problemstellen (z.B. blockierte Pendelklappen am Zyklonvorwärmer) möglich. Durch Mini-Spiele wird auch die Umsetzung in verschiedenen Programmiersprachen möglich, so können komplexe,



detailgetreue Mini-Spiele in z.B. der Unreal Engine entwickelt und als HTML5 / JavaScript kompiliert werden, einfachere Anwendungen können z.B. in HTML5 entwickelt werden. Die Darstellung komplexer Handlungen, wie die Messung des Volumenstroms, sollte sich auf einfache und wichtige Tätigkeiten beschränken. Hier kann zum Beispiel die Auswahl von Messstellen und die Berechnung von Messpunkten innerhalb des Rohrs sinnvoll sein. Die Durchführung der Messung kann durch eine Animation oder ein Video in der eLearning-Plattform gezeigt werden.

Implementierte Mechaniken sollten intuitiv bedienbar, müssen aber nicht unbedingt realitätsnah, sein. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, den Lernenden Hilfsmittel an die Hand zu geben, welche die Aufgaben und Mechaniken in einfacher Sprache, mit Bildern oder Videos, erklären. Dies ist jedoch nicht für alle Lernenden gleichermaßen nötig.

Dreidimensionale Darstellungen wirken besonders realistisch, können den Lernenden in der Bedienung jedoch leicht überfordern. Hier scheint die Kombination einer einfachen Steuerung und simplen Bedienelementen empfehlenswert. Die Steuerung der Anwendung sollte darüber hinaus in allen Mini-Spielen vergleichbar sein.

Die virtuelle Welt sollte dabei nicht vollständig der realen Welt nachempfunden werden. Es zeigte sich, dass offene Welten, die Computerspielen nachempfunden sind, falsche Erwartungen bei den Lernenden wecken und der Fokus nicht auf die Kernaufgaben gelegt wird.

Die Anwendung wurde zunächst intern im Forschungsinstitut durch Fachexperten aus dem Bereich Mahl- und Verfahrenstechnik getestet. Darauf folgend wurde die Anwendung in zwei Schulungssituationen mit Teilnehmern aus Zementwerken getestet. Nach den Tests wurde das Feedback der Lernenden genutzt, um die Anwendung zu verbessern. Besonders die Handhabung der Anwendung ist entscheidend, um eine hohe Akzeptanz der Lernmethode und damit des Lernerfolges zu sichern. Hohe Freiheitsgrade in der VR führen oft zu Problemen bei der Bedienung.

Zwei Lehrkonzepte basierend auf Mini-Spielen scheinen in Schulungssituationen sinnvoll, eine Kombination aus klassischer Schulung ergänzt durch die VR und die Integration in die eLearning-Plattform zum Selbststudium.

## **Förderhinweis**

Das IGF-Vorhaben Nr. 21619 N der VDZ Technology gGmbH, Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

6 Anhang



Abbildung 6-1 Halle der Mahlanlage

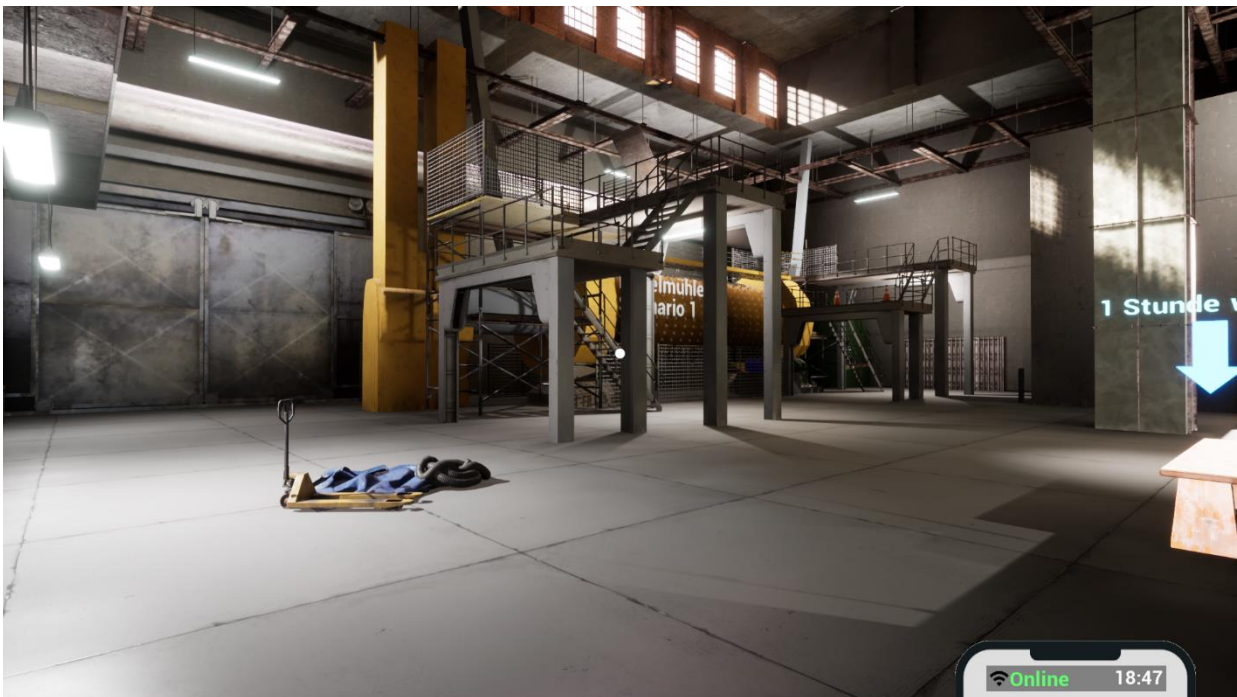


Abbildung 6-2 Halle der Mahlanlage



Abbildung 6-3 Leitstand



Zum Test

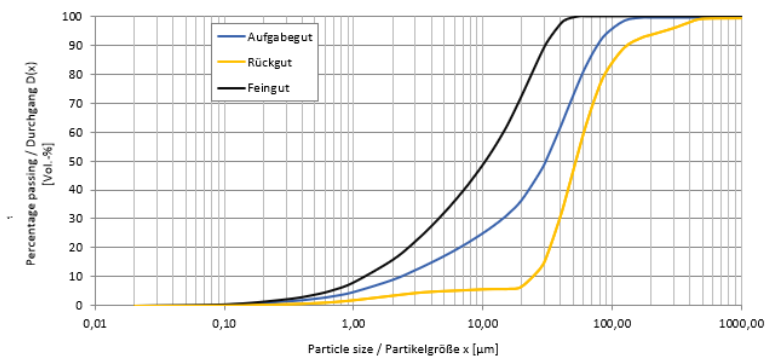
Firma Vdz Datum 13.06.2022  
 Werk Düsseldorf Szenario 1  
 Mühle ZM71 Schwierigkeitsgrad Einfach

Code für Moodle: 000600000

Sichterauswertung

- 2. Sichterauswertung
  - 2.1 KGV
  - 2.2 Tromp
  - 2.3 Volumenstrommessung
  - 2.4 Messdaten und berechnete Daten

Korngrößenverteilungen des Sichters

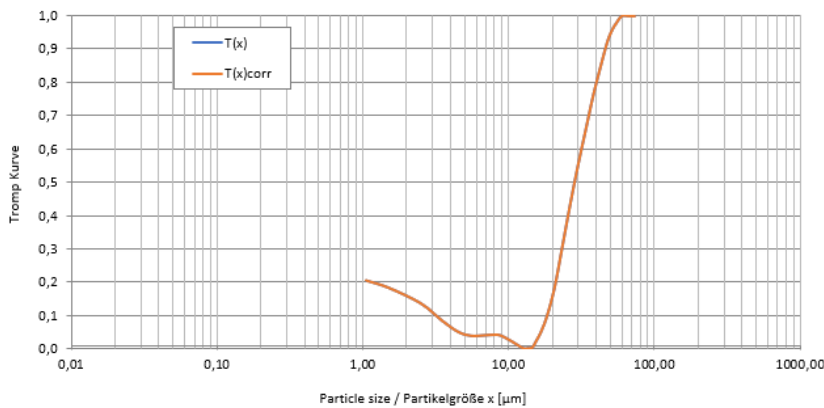


Anmerkungen:

Kennzahlen

	Aufgabegut	Rückgut	Feingut	
d'	41,2	74,8	15,1	µm
n	0,8	1,2	0,9	-
Blaine	2100,0	902,0	4609,0	cm <sup>2</sup> /g

Trenncharakteristik (Tromp)



Anmerkungen:

Kennzahlen

Bypass	0,3 [Vol.-%]
Trenngrad	0,8 [-]
Trenngrenze	28,3 [µm]
Umlauffaktor	2,1 [-]

Volumenstrommessung

	Temperatur °C	Druckverlust mbar	Volumenstrom m <sup>3</sup> /h	Volumenstrom Nm <sup>3</sup> /h	Gasgeschwindigkeit in der Mühle m/s
Abluft	91,5	-18	63209	46636	1,45
Sichtluft	84	-49	320000	-	

Abbildung 6-4 Excel-Auswertemappe – Sichter