



WP4-A2. Weiterentwicklung des E-Learning-Tools.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#)

„Finanziert durch die Europäische Union. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder der Exekutivagentur Bildung, Audiovisuelles und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür haftbar gemacht werden.“



Transilvania
University
of Brasov





Inhalt

1. EINLEITUNG	3
2. VERFEINERUNGSANSATZ.....	4
2.1. Feedback-Quellen.....	4
2.2. Kriterien zur Priorisierung von Verbesserungen	5
3. WICHTIGSTE UMSETZTE VERFEINERUNGEN	7
3.1. Pädagogische und spielerische Anpassungen	7
3.2. Verbesserungen bei UX/UI und User Journey.....	8
3.3. Technische Stabilität und Leistungsverbesserungen	9
4. KURZE VALIDIERUNG DER VERFEINERTEN VERSION.....	11
4.1. Zusammenfassung der Tests in kleinem Maßstab und der Reaktionen der Nutzer	11
4.2. Verbleibende Einschränkungen und offene Punkte für Pilotprojekte	12
5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND NÄCHSTE SCHRITTE	14



1. EINLEITUNG

Dieser Bericht fasst die endgültigen Ergebnisse von WP4.A2 zusammen: Überarbeitete Version des RockChain-E-Learning-Tools. Im Gesamtrahmen des RockChain-Projekts baut diese Aktivität direkt auf der in WP4.A1 gelieferten Datenbank und Backend-Architektur auf und konzentriert sich darauf, diesen technischen Kern in ein robusteres und benutzerfreundlicheres E-Learning-Tool zu verwandeln. Durch die Anpassung des bestehenden Serious Games an die funktionalen und pädagogischen Anforderungen des Projekts stellt die Aktivität sicher, dass Multiplayer-Sitzungen, Marktdynamiken und Mining-Events das Lernen über die Entsorgung von Steinabfällen und die Kreislaufwirtschaft in realen Pilotumgebungen effektiv unterstützen.

Die entscheidende Aufgabe von WP4.A2 besteht darin, den ersten RockChain-Prototyp zu einer stabilen, lernorientierten Anwendung weiterzuentwickeln. Anstatt eine neue Architektur einzuführen, konsolidiert und erweitert diese Aktivität die bisherigen Arbeiten, indem sie gleichzeitig pädagogische Anforderungen, Benutzererfahrung und technische Stabilität berücksichtigt. Dies umfasst die Integration wesentlicher Lernfunktionen wie Fortschrittsverfolgung und pädagogisches Feedback bei gleichzeitiger Optimierung des gesamten Spielablaufs, einschließlich Anmeldung, Warteräume und Rundenübergänge, um die Navigation für erwachsene Lernende mit unterschiedlichen digitalen Fähigkeiten zu erleichtern. Darüber hinaus wurde das Laufzeitverhalten des Systems verbessert, um einen konsistenten Betrieb unter realistischen Bedingungen zu gewährleisten, wobei insbesondere Probleme im Zusammenhang mit der Konsistenz des Timers, der Wiederherstellung der Verbindung und der Synchronisation zwischen dem autoritativen Server und Firestore gelöst wurden.

In diesem Zusammenhang verzichtet der Bericht bewusst darauf, die vollständige technische Beschreibung der Datenebene zu wiederholen, die bereits in WP4.A1 dokumentiert ist. Stattdessen wird gezielt dargelegt, wie die bestehenden Backend-Komponenten (Firestore-Datenbank, Firebase-Funktionen und WebSocket-Server auf Google Cloud Run) verfeinert und erweitert wurden, um als integriertes E-Learning-Tool zu fungieren. Das Dokument beschreibt detailliert den iterativen Ansatz und die Feedback-Quellen, die diese Änderungen geleitet haben, die spezifischen Verbesserungen, die auf pädagogischer und technischer Ebene umgesetzt wurden, sowie die Ergebnisse einer kurzen Validierung auf der Grundlage von Tests in kleinem Maßstab. Damit schließt WP4.A2 die Lücke zwischen einem produktionsreifen Backend und dem interaktiven RockChain-Tool, das in späteren WP4-Aktivitäten und WP5-Pilotmaßnahmen spezifiziert, dokumentiert und eingesetzt werden soll.



2. VERFEINERUNGSANSATZ

WP4.A2 verfolgte einen iterativen Verfeinerungsansatz anstelle einer vollständigen Neugestaltung. Ausgehend von dem in WP4.A1 gelieferten produktionsreifen Backend führte das Team eine Reihe kurzer Zyklen durch, in denen kleine Gruppen von Benutzern und technischen Prüfern mit dem RockChain-Tool interagierten, während Entwickler das Verhalten anhand von Protokollen und Metriken überwachten. Jeder Zyklus führte zu einer begrenzten Anzahl konkreter Änderungen, die in der nächsten Runde sofort validiert wurden, wobei die in WP4.A1 definierte Kerndatenmodell und -architektur ausdrücklich beibehalten werden musste.

2.1. Feedback-Quellen

Die in WP4.A2 implementierten Verfeinerungen wurden durch vier Haupt-Feedbackkanäle geleitet:

- Interne Entwicklungs- und Integrationstests: Das Kernentwicklungsteam führte wiederholte End-to-End-Sitzungen (vom Login bis zum Spielende) auf verschiedenen Geräten und unter verschiedenen Netzwerkbedingungen durch. Diese Tests konzentrierten sich auf die Identifizierung von Race Conditions, Timer-Inkonsistenzen, Navigationsfehlern und Desynchronisationen zwischen dem WebSocket-Server und Firestore. Die Ergebnisse wurden durch gezielte Code-Reviews der Statusverwaltungskontexte und der Socket-Handling-Logik ergänzt.
- Externe technische Prüfer: Zusätzlich zum Kernteam war eine kleine Gruppe von Entwicklerkollegen mit Erfahrung in Echtzeitanwendungen und mobiler UX an dem Projekt beteiligt. Diese externen Prüfer untersuchten die Verwendung von Sockets, Wiederverbindungsstrategien, die Synchronisation des Countdowns und die Struktur des Navigationsprozesses und schlugen konkrete Verbesserungen vor, wie z. B. ein robusteres Socket-Lebenszyklusmanagement, eine klarere Trennung zwischen autoritativem und lokalem Status und Vereinfachungen in bestimmten UI-Abläufen für nicht fachkundige Benutzer.
- Trainer und erwachsene Lernende in frühen pilotähnlichen Sitzungen: Es wurden kurze, informelle Sitzungen mit Trainern und kleinen Gruppen erwachsener Lernender organisiert, die der Zielgruppe von RockChain ähnelten. Die Teilnehmer wurden gebeten, vereinfachte Spielrunden zu absolvieren, während die Trainer beobachteten, wo die Benutzer zögerten oder verwirrt waren (z. B. beim Onboarding, beim Beitreten zu einem Spiel, beim Verstehen des Warteraums, beim Interpretieren von Timern oder beim Lesen von Markt-/Mining-Feedback). Ihre Kommentare und beobachteten Verhaltensweisen lieferten direkte Rückmeldungen zur Benutzerfreundlichkeit, zur Klarheit der Nachrichten und zur kognitiven Belastung.

- Technische Protokolle und Laufzeitmetriken: Sowohl der Client als auch der autoritative Server wurden mit einer leichtgewichtigen Protokollierung ausgestattet. Es wurden Metriken zu Verbindungsstabilität, Wiederverbindungsereignissen, Timer-Drift, doppelten Ereignissen und Fehlerbedingungen erfasst. Diese objektiven Signale halfen dabei, anekdotisches Feedback zu bestätigen oder zu nuancieren und Probleme zu priorisieren, die den größten Einfluss auf die Stabilität hatten (Beispiel das Auftreten von nicht synchronisierten Countdowns oder wiederholten Belohnungsberechnungen).

Zusammen lieferten diese Quellen ein ausgewogenes Bild, das die Erfahrungen auf Benutzerebene (Ausbilder und Lernende), die technische Solidität (interne und externe Entwickler) und die Laufzeitdaten (Protokolle und Metriken) kombinierte.

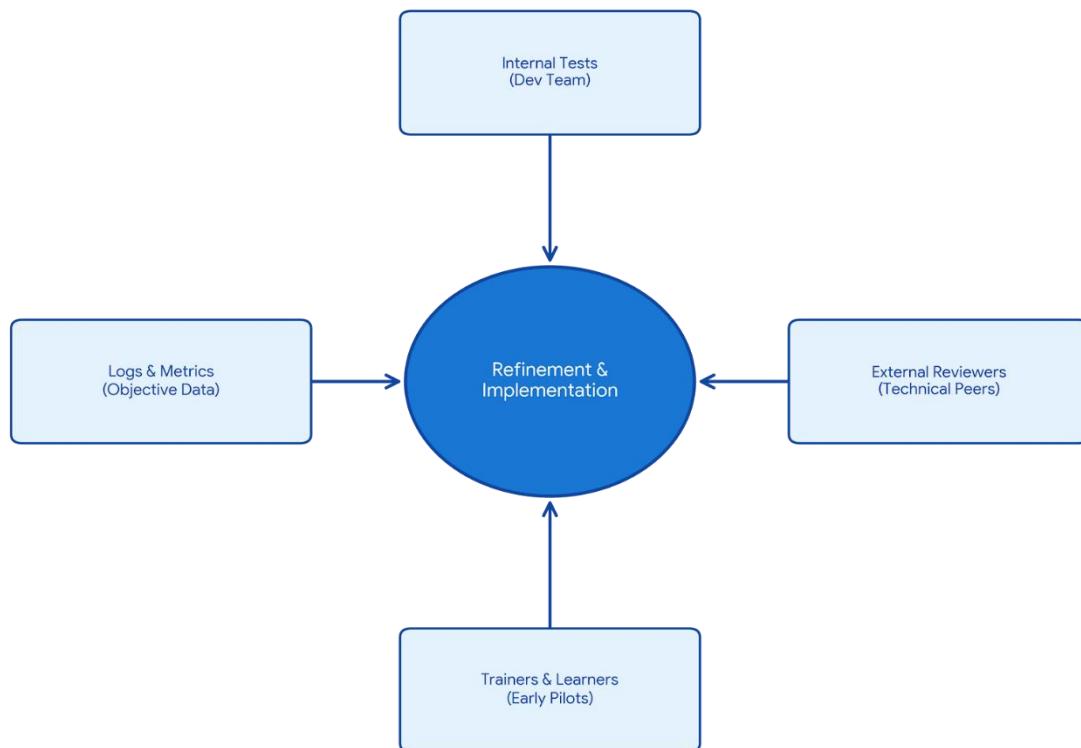


Abbildung 1 : Feedback-Quellen

2.2. Kriterien zur Priorisierung von Verbesserungen

Da die für WP4.A2 verfügbare Zeit und die Ressourcen begrenzt waren, konnten nicht alle Ergebnisse sofort berücksichtigt werden. Das Team wandte daher eine Reihe einfacher Kriterien an, um zu priorisieren, welche Verbesserungen in dieser Aktivität umgesetzt werden sollten:



- Auswirkungen auf das Lernen und die Moderation: Änderungen, die sich direkt auf die Fähigkeit der Trainer auswirken, eine Sitzung durchzuführen, oder auf die Fähigkeit der Lernenden, zu verstehen, was zu tun ist, wurden als vorrangig behandelt. Dazu gehören klarere Rundenübergänge, eindeutigere Feedback-Meldungen, eine reibungslose Einarbeitung und eine besser vorhersehbare Wartezimmererfahrung.
- Stabilität und Risiko für Pilot-Sitzungen: Probleme, die eine Spielsitzung unterbrechen oder die Synchronisation erheblich stören könnten (z. B. Unstimmigkeiten beim Timer, unzuverlässige Wiederherstellung der Verbindung, doppelte Belohnungen), wurden vor kosmetischen oder rein ästhetischen Verbesserungen behandelt. Ziel war es, sicherzustellen, dass bevorstehende Pilotprojekte nicht durch technische Instabilität beeinträchtigt werden.
- Implementierungskosten im Vergleich zum Nutzen: Verbesserungen, die einen klaren Nutzen bei relativ geringem Implementierungsaufwand boten, wurden gegenüber invasiveren Änderungen, die umfangreiche Code-Neuschreibungen oder Änderungen am Firestore-Schema erfordern würden, priorisiert. Wo immer möglich, wurden die Verbesserungen so konzipiert, dass die in WP4.A1 etablierten Datenstrukturen und Architekturen wiederverwendet werden konnten.
- Abstimmung mit den bevorstehenden Aktivitäten von WP4 und WP5: Bevorzugt wurden Verbesserungen, die auch spätere Arbeiten unterstützen würden: Definition von Funktionsspezifikationen und Richtlinien, Integration von Lernanalysen und Pilotimplementierung von WP5. So wurde beispielsweise das Hinzufügen oder Konsolidieren von Lernfortschrittsfassungen und -ereignissen gegenüber rein visuellen Änderungen priorisiert, da dies sowohl die pädagogische Bewertung als auch die zukünftige Berichterstattung stärkt.

Die Anwendung dieser Kriterien stellte sicher, dass WP4.A2 eine Reihe gezielter Verbesserungen mit konkreten Auswirkungen auf die Benutzerfreundlichkeit und technische Robustheit des Lernsystems hervorbrachte, während die Kompatibilität des Tools mit dem bereits in der vorherigen Aktivität etablierten Backend- und Datenbankdesign erhalten blieb.

3. WICHTIGSTE UMSETZTE VERFEINERUNGEN

Die Verfeinerungsarbeiten in WP4.A2 haben das Kernkonzept oder die Backend-Architektur von RockChain, wie sie in WP4.A1 definiert sind, nicht verändert. Stattdessen konzentrierten sie sich darauf, wie sich das Spiel verhält, wie es sich anfühlt und wie klar es die beabsichtigten Lernergebnisse unter realistischen Trainingsbedingungen unterstützt. Die wichtigsten Änderungen lassen sich in drei Bereiche einteilen.

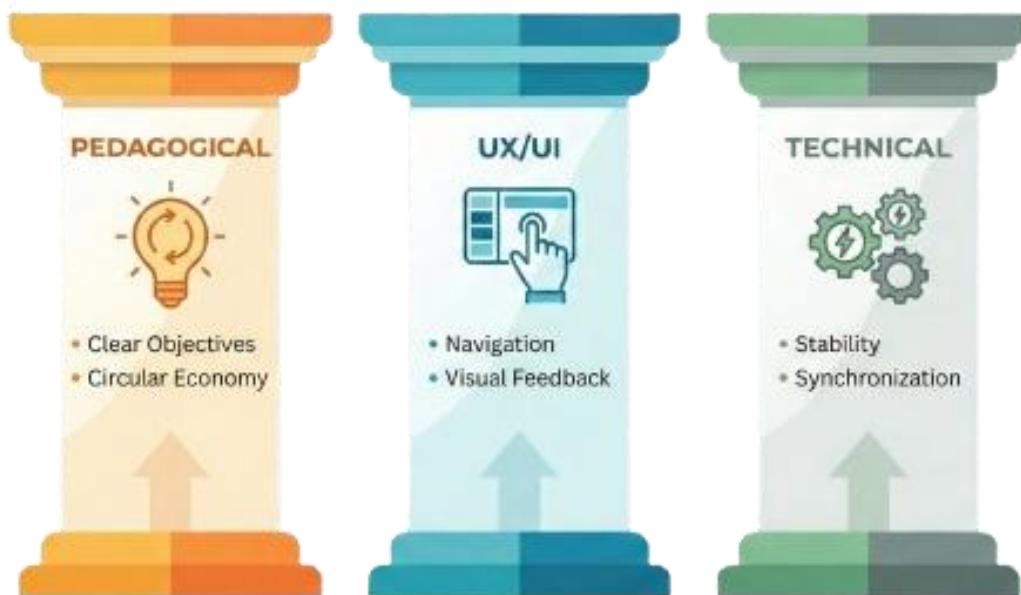


Abbildung 2 : Drei Säulen der Verfeinerung

3.1. Pädagogische und spielerische Anpassungen

Aus lerntechnischer Sicht war es das Ziel, die Absicht hinter jedem Spielelement verständlicher zu machen und den Zusammenhang zwischen den Aktionen im Spiel und den Konzepten der Kreislaufwirtschaft zu verdeutlichen. Dazu tragen mehrere Änderungen bei:

- Klarere Ziele und Rundengestaltung. Die zu Beginn des Spiels und zu jeder Runde angezeigten Informationen wurden überarbeitet, damit die Lernenden wissen, was von ihnen erwartet wird (Ressourcen effizient nutzen, Abfall reduzieren, bestimmte Branchen beachten) und wie die Rundengestaltung diese Ziele unterstützt.
- Angepasstes Tempo für Erwachsene mit unterschiedlichen digitalen Fähigkeiten. Rundentimer, Bergbauherausforderungen und Marktereignisse wurden überarbeitet, um unnötigen Stress zu reduzieren und gleichzeitig den Wettbewerbsgedanken beizubehalten. Die Dauer und Häufigkeit der Ereignisse



wurden so angepasst, dass genügend Zeit zum Lesen, Nachdenken und Handeln bleibt.

- Stärkere Verbindung zur Kreislaufwirtschaft. Kurze Erklärungen und Nachrichten im Spiel betonen nun, warum bestimmte Handlungen belohnt werden (Recycling, Umwandlung von Materialien, Auswahl bestimmter Branchen), wodurch der Zusammenhang mit der realen Abfallwirtschaft und Ressourceneffizienz deutlicher wird.
- Transparentere Belohnungen und Logik am Ende einer Runde. Die Art und Weise, wie Gewinnerindustrien und Boni berechnet und dargestellt werden, wurde klarer gestaltet, sodass die Ergebnisse weniger zufällig erscheinen und die Lernenden die Konsequenzen ihrer Entscheidungen besser verstehen können.

Zusammen machen diese Anpassungen RockChain zu einer strukturierten Lernaktivität und nicht nur zu einem Wettbewerbsspiel.

3.2. Verbesserungen bei UX/UI und User Journey

Die zweite Gruppe von Verbesserungen zielt auf die User Journey über Bildschirme und Phasen hinweg ab, mit dem Ziel, Reibungsverluste zu verringern und die Notwendigkeit ständiger Interventionen durch Moderatoren zu reduzieren, insbesondere für erwachsene Erstnutzer.

Zu den wichtigsten Verbesserungen gehören:

- Konsistente Kopfzeilen- und Statusinformationen. Eine gemeinsame Kopfzeile zeigt nun wichtige Elemente (verbleibende Zeit, wichtige Ressourcen, Kernindikatoren) in einem einheitlichen Format auf allen Hauptbildschirmen des Spiels an, wodurch die kognitive Überlastung während schneller Runden reduziert wird.
- Übersichtlichere Navigation zwischen den Phasen. Die Übergänge zwischen den Ansichten „Wartezimmer“, „Markt“, „Bergbau“ und „Rundenende“ wurden durch angepasste Schaltflächen, Beschriftungen und Zwischenmeldungen deutlicher gestaltet, sodass die Lernenden verstehen, wann eine Phase endet und was als Nächstes geschieht.
- Besseres Feedback beim Laden und Warten. Visuelle Indikatoren und kurze Erläuterungen markieren nun Synchronisationspunkte und Verarbeitungsschritte, wodurch der Eindruck, das System sei „eingefroren“, verringert wird und Gruppen besser koordiniert bleiben können.
- Vereinfachte Texte und Layout. Die Formulierungen, die Hervorhebung wichtiger Aktionen und die Fehlermeldungen wurden überarbeitet, um sie für Benutzer mit unterschiedlichen digitalen Kenntnissen zugänglicher zu machen.



Dadurch ist RockChain einfacher zu erlernen, lässt sich in kurzen Schulungssitzungen reibungsloser durchführen und ist aus Sicht der Lernenden selbsterklärender.

3.3. Technische Stabilität und Leistungsverbesserungen

Schließlich wurden mit WP4.A2 gezielte technische Verbesserungen eingeführt, um die Stabilität und Leistung unter realistischen Unterrichtsbedingungen zu stärken, ohne die in WP4.A1 beschriebene zugrunde liegende Firestore + Functions + WebSocket-Architektur zu verändern.

Die wichtigsten Korrekturen sind:

- Robustere Timer- und Synchronisationslogik. Die Handhabung von Runden-Timern und synchronisierten Ereignissen wurde überarbeitet, um Diskrepanzen zwischen den Geräten zu reduzieren und Situationen zu vermeiden, in denen Spieler in Wartezuständen stecken bleiben oder inkonsistente Countdowns sehen.
- Sauberere Datenverarbeitung und Echtzeitübertragung. Die Interaktionen zwischen dem React Native-Client, Firestore und dem Echtzeitserver wurden angepasst, um redundante Vorgänge zu reduzieren, Race Conditions zu vermeiden und sicherzustellen, dass Aktualisierungen (Transaktionen, Mining-Antworten, Rundenübergänge) alle Spieler konsistent erreichen.
- Verbesserte Fehlerbehandlung und -behebung. Fehlermeldungen sind jetzt informativer, und es wurden, wo möglich, Fallback-Verhaltensweisen hinzugefügt, die es Trainern erleichtern, Probleme während der Pilotphase zu interpretieren, und Entwicklern, unerwartete Netzwerk- oder Statusprobleme zu beheben.
- Leistungsoptimierung für typische Gruppengrößen. Tests mit einer realistischen Anzahl gleichzeitiger Spieler und Standard-Klassenzimmernetzwerken führten zu kleinen Anpassungen, die darauf abzielen, Verzögerungen, Zeitüberschreitungen und unnötige Datenübertragungen zu reduzieren.

Diese technischen Verbesserungen bieten eine solidere Grundlage für WP4 und WP5 und stellen sicher, dass die überarbeitete Version von RockChain als stabile Referenzimplementierung für Spezifikationen, Trainerrichtlinien und Pilotprojekte verwendet werden kann.

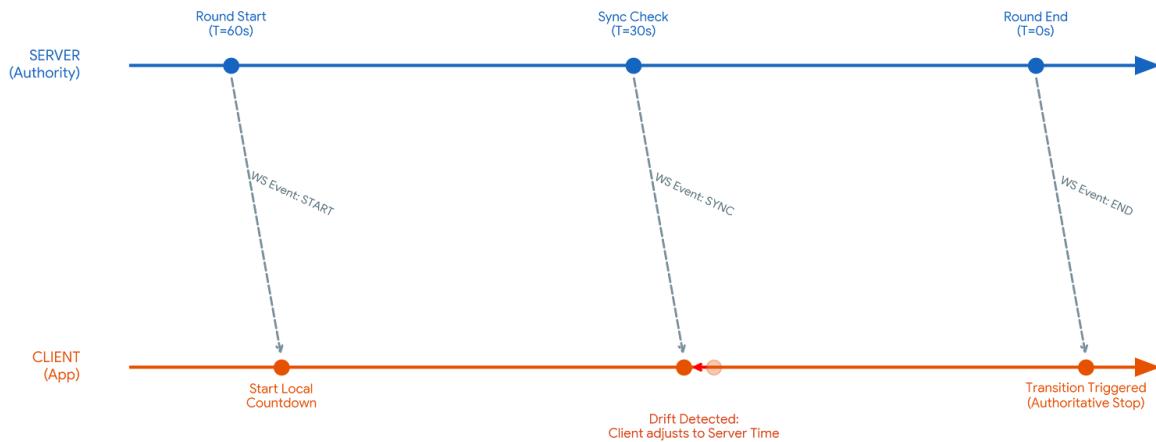


Abbildung3 : Countdown-Liniendiagramm



4. KURZE VALIDIERUNG DER VERFEINERTEN VERSION

WP4.A2 umfasste eine leichte, aber gezielte Validierungsphase, um zu bestätigen, dass die oben beschriebenen Verfeinerungen RockChain in realistischen Trainingsszenarien benutzerfreundlicher und zuverlässiger machten, ohne Rückschritte in der von WP4.A1 gelieferten Kernarchitektur zu verursachen. Anstelle eines großen Pilotprojekts erfolgte diese Validierung in Form von kleinen End-to-End-Sitzungen und technischen Durchläufen, um das verfeinerte Tool unter Bedingungen zu testen, die denen in WP5 ähneln.

4.1. Zusammenfassung der Tests in kleinem Maßstab und der Reaktionen der Nutzer

Die Validierungsaktivitäten kombinierten drei sich ergänzende Perspektiven:

- End-to-End-Techniktests durch das Entwicklungsteam: Das Team führte wiederholte vollständige Sitzungen (Anmeldung → Spiel erstellen/beitreten → Warteraum → mehrere Runden → Spielende) auf verschiedenen Geräten und Netzwerken durch. Diese Tests dienten dazu, Folgendes zu überprüfen:
 - o Spiele konsistent erstellt und betreten werden konnten.
 - o Countdowns und Rundenübergänge sich wie erwartet verhielten.
 - o Wiederverbindungen und verzögerte Clients führten nicht dazu, dass Spieler dauerhaft feststeckten.
 - o Die in Firestore geschriebenen Daten (Spiele, Benutzer, Mining-Blöcke, Lernfortschritt) mit den erwarteten Ergebnissen jeder Runde übereinstimmten.
- Gezielte Tests mit Trainern und kleinen Gruppen erwachsener Lernender: Es wurden kurze Übungen organisiert, bei denen Trainer und eine begrenzte Anzahl erwachsener Teilnehmer, die der Zielgruppe des Projekts ähnelten, RockChain in einer kontrollierten Umgebung verwendeten. Sie wurden gebeten:
 - o Melden Sie sich an, nehmen Sie an einem gemeinsamen Spiel teil und absolvieren Sie vereinfachte Runden.
 - o Nutzen Sie die Funktionen für Handel, Bergbau und Recycling.
 - o Interpretieren Sie die Zusammenfassungen am Ende der Runde und grundlegendes Feedback.

Beobachtungen aus diesen Tests zeigen Folgendes:



- Das Onboarding und die Teilnahme an einem Spiel wurden einfacher, da weniger Fragen zu „was als Nächstes zu drücken ist“ auftraten.
- Der Warteraum und die Rundenübergänge waren dank klarerer Meldungen und besser vorhersehbarer Zeitabläufe leichter zu verfolgen.
- Die Teilnehmer verstanden besser, warum sie für bestimmte Aktionen belohnt wurden (z. B. Abfallreduzierung, Auswahl bestimmter Branchen), und die Trainer konnten diese Ergebnisse als Ausgangspunkt für Diskussionen nutzen.
- Laufzeitprotokolle und Metriken aus der überarbeiteten Version: Sowohl während der technischen als auch der benutzerorientierten Sitzungen wurden die Client- und Serverprotokolle auf Folgendes überwacht:
 - Verbindungs- und Wiederverbindungsereignisse.
 - Timer-Drift und Countdown-Diskrepanzen.
 - Doppelte oder fehlende Rundenereignisse.
 - Fehlerbedingungen beim Schreiben in Firestore und bei der Berechnung von Belohnungen.

Im Vergleich zu früheren internen Builds wies die überarbeitete Version weniger Inkonsistenzen bei Timern und Rundenstatus, eine zuverlässigere Wiederverbindung zum Echtzeitserver und eine Verringerung der Randfälle auf, in denen Spieler nicht synchronisiert blieben oder keine Endergebnisse erhielten.

Insgesamt deuten diese kleinen Tests darauf hin, dass die Verbesserungen in WP4.A2 sowohl die Benutzererfahrung als auch das technische Verhalten von RockChain verbessert haben und ein stabileres und verständlicheres Tool für bevorstehende Pilotprojekte bieten.

4.2. Verbleibende Einschränkungen und offene Punkte für Pilotprojekte

Gleichzeitig blieb der Umfang der Validierung bewusst begrenzt, und mehrere offene Punkte sind für die Pilotaktivitäten WP4.A6–A7 und WP5 vorbehalten:

- Umfang und Vielfalt der Nutzer: Die verbesserte Version wurde mit kleinen Gruppen und unter kontrollierten Bedingungen getestet, jedoch noch nicht mit größeren, heterogeneren Kohorten in allen Partnerländern. Das Verhalten unter Spitzenauslastung, unterschiedlichen Unterrichtsinfrastrukturen und verschiedenen Trainerstilen muss noch beobachtet werden.



- Formale Bewertung der Benutzerfreundlichkeit und Barrierefreiheit: Das bisherige Feedback war qualitativ und beobachtend. Systematischere Usability-Tests – beispielsweise strukturierte Fragebögen oder aufgabenbasierte Bewertungen mit Erwachsenen über 45 Jahren und geringen digitalen Kompetenzen – werden in späteren Aktivitäten durchgeführt, um die aktuellen UX-Entscheidungen zu bestätigen und zu verfeinern.
- Lernanalysen und Tools für Trainer: Die Datenstrukturen zur Erfassung des Lernfortschritts und wichtiger Ereignisse im Spiel sind nun vorhanden, aber die Dashboards und Berichtstools für Trainer befinden sich noch in einem frühen Stadium. In Pilotprojekten wird ermittelt, welche Indikatoren am nützlichsten sind und wie sie für nicht-technische Pädagogen visualisiert werden sollten.
- Verbleibende Randfälle und Netzwerkeinschränkungen: Obwohl die wichtigsten Stabilitätsprobleme behoben wurden, können bei schlechter Verbindung, schnellen Benutzeraktionen oder unerwarteten App-Abschaltungen gelegentlich noch Randfälle auftreten. WP5 wird eine breitere Evidenzbasis liefern, um zu entscheiden, ob weitere Sicherheitsvorkehrungen oder Fallbacks erforderlich sind.
- Feinabstimmung von Inhalten und Lokalisierung: Die aktuelle Version unterstützt mehrere Sprachen und grundlegende Erklärungstexte, aber Formulierungen, Beispiele und das Tempo müssen möglicherweise noch angepasst werden, wenn RockChain in verschiedenen nationalen und sektoralen Kontexten eingesetzt wird.

Aus diesen Gründen sollte die in WP4.A2 erstellte überarbeitete Version als pilotfähige Implementierung betrachtet werden: stabil genug, um in realen Kursen eingesetzt zu werden, aber bewusst offen für weitere Verbesserungen auf der Grundlage strukturierter Rückmeldungen aus WP5. Die Pilotprojekte werden daher eine doppelte Rolle spielen – sowohl als Bildungsaktivitäten als auch als erweiterte Validierungsphase, die als Grundlage für letzte Anpassungen des Tools und der Begleitmaterialien dienen wird.



5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND NÄCHSTE SCHRITTE

WP4.A2 hat den ursprünglichen RockChain-Prototyp zu einem pilotfähigen E-Learning-Tool weiterentwickelt, das direkt auf dem in WP4.A1 gelieferten Backend und der Datenebene aufbaut, ohne die grundlegenden architektonischen Entscheidungen (Firestore, Firebase Functions und der autoritative WebSocket-Server, der von einem React Native-Client genutzt wird) zu verändern. Der Schwerpunkt dieser Aktivität lag darauf, das bestehende System eher wie ein strukturiertes Lernwerkzeug als wie ein reines Spiel zu gestalten: Es sollte verdeutlicht werden, wie Aktionen mit Konzepten der Kreislaufwirtschaft zusammenhängen, Reibungsverluste in der User Journey für Erwachsene mit heterogenen digitalen Fähigkeiten reduziert und konkrete Probleme hinsichtlich Stabilität, Synchronisation und Fehlerbehandlung angegangen werden, die in frühen Tests aufgetreten sind. Infolgedessen ist RockChain nun in Klassenzimmern oder Workshops besser vorhersehbar und für Trainer und Lernende Runde für Runde leichter zu verstehen.

Die in WP4.A2 umgesetzten Verfeinerungen vermitteln auch ein viel klareres Bild davon, was das Tool in der Praxis tatsächlich leisten muss. Durch die Feinabstimmung des Spielablaufs, die Stabilisierung wichtiger Datenflüsse und die Konsolidierung lernorientierter Funktionen wie Fortschrittsverfolgung und Feedback-Meldungen fungiert diese Version von RockChain effektiv als „Arbeitsspezifikation“, aus der formellere Dokumentationen abgeleitet werden können. Sie wird in die Funktionsspezifikationen in WP4-A3 einfließen, indem sie angibt, welche Verhaltensweisen und Datenstrukturen wesentlich und welche optional sind, und sie wird als Leitfaden für die Richtlinien in WP4-A4 dienen, indem sie konkrete Beispiele dafür liefert, wie RockChain eingeführt, Runden verwaltet und Ergebnisse mit erwachsenen Lernenden in verschiedenen Schulungskontexten besprochen werden können. Für WP4-A5 reduziert eine kohärente und stabile Referenzimplementierung das technische Risiko erheblich und ermöglicht es den Partnern, sich auf die Verpackung, Verfeinerung und Fertigstellung des interaktiven Tools (Assets, Übersetzungen, Konfiguration) zu konzentrieren, anstatt die Kernmechanismen zu überdenken.

Mit Blick auf WP5 soll das aus WP4.A2 hervorgehende Tool als Ausgangspunkt für den Pilotbetrieb dienen: Es ist technisch robust genug, um in realen Kursen eingesetzt zu werden, aber bewusst offen für weitere Anpassungen. Die Pilotprojekte werden umfassendere und vielfältigere Erkenntnisse liefern – über Länder, Institutionen und Lernendenprofile hinweg – darüber, wie sich RockChain unter realen Bedingungen verhält und wie es das Lernen über die Entsorgung von Steinabfällen und Kreislaufstrategien unterstützt. In diesem Sinne markiert WP4.A2 einen Übergang: vom Entwerfen und Stabilisieren der technischen und pädagogischen Grundlagen des Tools zum Einsatz von RockChain in authentischen Bildungsumgebungen, wo sich der Fokus zunehmend von „es zum Laufen bringen“ hin zur Maximierung seiner pädagogischen



Wirkung und der Gewinnung von Erkenntnissen für die zukünftige Nutzung und mögliche Erweiterungen über die Laufzeit des Projekts hinaus verlagern kann.