

## STANDORTPLANUNG VON DEZENTRALEN H<sub>2</sub>-ERZEUGUNGSANLAGEN AN ERNEUERBAREN-ENERGIE-ANLAGEN AM BEISPIEL EINER KLEINWASSERKRAFTANLAGE

*Saskia Wagner, Mark F. Jentsch, Nicole Meyer, Sebastian Büttner*

Professur Energiesysteme, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauhaus-Universität Weimar

Schwanseestraße 1a, 99423 Weimar

### ABSTRACT

Die vorliegende Arbeit präsentiert die Ergebnisse der Planung einer Wasserstoffherstellungsanlage am Standort einer Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla, einem Ortsteil der Stadt Apolda in Thüringen. Ziel dieses Beitrags ist es, mögliche Hürden bei der Integration von dezentralen Wasserstoffinfrastrukturen an bestehenden Erneuerbaren-Energien-Anlagen aufzuzeigen und so zukünftige Planungsprozesse zu unterstützen. Grundlage dafür bildet eine Analyse des Wasserkraftdargebots, d.h. der möglichen Strombereitstellung für die Wasserelektrolyse, und der örtlichen Gegebenheiten an der Kleinwasserkraftanlage. Dies umfasst unter anderem die Platzverhältnisse an der Anlage sowie eine Betrachtung der Überschwemmungsgefahr und der Grundstücksnutzung. Darauf aufbauend werden, unter Berücksichtigung von technischen Regelwerken, rechtlichen Rahmenbedingungen und einer ermittelten Abnahmemenge für eine regionale Mobilitätsanwendung, die benötigten Anlagen für die H<sub>2</sub>-Erzeugung und -speicherung dimensioniert, ausgelegt und angeordnet. Die Ergebnisse der Standortplanung werden in einem Lage- und Leitungsplan zusammengefasst und bewertet. Es zeigt sich, dass die Umsetzung einer H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlage am Standort der gewählten Kleinwasserkraftanlage möglich ist, jedoch Anpassungen der örtlichen Gegebenheiten erfordert. Die Ergebnisse der Untersuchung werden als Grundlage für weitere Standortentwicklungen in einem Kurzleitfaden für die Planung von dezentralen Elektrolyseanlagen zusammengefasst.

### 1. EINLEITUNG

Die „Nationale Wasserstoffstrategie“ vom Juni 2020 legt die Grundlagen für den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien, setzt hierbei allerdings vornehmlich auf den großindustriellen Maßstab [1]. Für eine umfassende und nachhaltige Etablierung der Wasserstoffwirtschaft in Deutschland sind jedoch neben zentralen Großanlagen auch dezentrale Ansätze zur Wasserstoffherzeugung und -nutzung notwendig. Bestehende Erneuerbare-Energie-Anlagen (EE-Anlagen) bieten dabei das Potential, auf regionaler Ebene Wasserstoff-Wertschöpfungsketten aufzubauen und ermöglichen damit sowohl eine breitenwirksame Teilnahme von Industrieunternehmen an der Technologieentwicklung als auch die Erlebbarkeit von Wasserstoffinfrastrukturen für die Gesellschaft. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens h2well-compact soll für einen Demonstrationszeitraum eine solche dezentrale H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlage an einer bestehenden Kleinwasserkraftanlage entstehen, um so Daten für eine mögliche Skalierung an anderen EE-Anlagen zu generieren. Dafür müssen am Standort der Kleinwasserkraftanlage ein Elektrolysesystem und ein Wasserstoffprimärspeicher integriert werden. Auf einen stationären Verdichter vor Ort soll verzichtet werden, da der im Rahmen des Projektes entwickelte Hochdruckelektrolyseur den Wasserstoff mit einem Druck von 100 bar erzeugen wird und der Transport des Wasserstoffs über eine Wechselbrücke mit integriertem mobilen Verdichter erfolgt. Der mobile Verdichter soll bei der Befüllung der Wechselbrücke den Ausgangsdruck im Primärspeicher an der Kleinwasserkraftanlage auf einen Transportdruck von 300 bar im mobilen Speicher erhöhen. Anschließend soll der Wasserstoff zu einem lokalen Unternehmen transportiert und für die Versorgung eines Wasserstoffbrennstoffzellen-Gabelstaplers (H<sub>2</sub>BZ-Gabelstapler) mit einem durchschnittlichen H<sub>2</sub>-Bedarf von 3,3 Kilogramm pro Werktag genutzt werden. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Standortplanung an der Kleinwasserkraftanlage zusammengefasst und in einen Kurzleitpfaden zur Planung von dezentralen H<sub>2</sub>-Erzeugungsinfrastrukturen überführt.

## 2. KLEINWASSERKRAFTANLAGE – STANDORTBEDINGUNGEN UND STROMERZEUGUNG

Die betrachtete Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla, einem Ortsteil der Stadt Apolda in Thüringen, liegt direkt am Flusslauf der Ilm. Das Grundstück befindet sich auf dem Gelände einer ehemaligen Mühle, deren Kellergebäude und Fundamente noch heute vorhanden sind. Die Abbildungen 1 bis 3 geben einen Einblick in die örtlichen Gegebenheiten an der Kleinwasserkraftanlage und Abbildung 4 zeigt einen Lageplan des Grundstücks.



Abbildung 1-3: Wehr (links), Turbinenhaus (Mitte), Grundstück mit Kellergebäuden (rechts) an der Kleinwasserkraftanlage Oberroßla

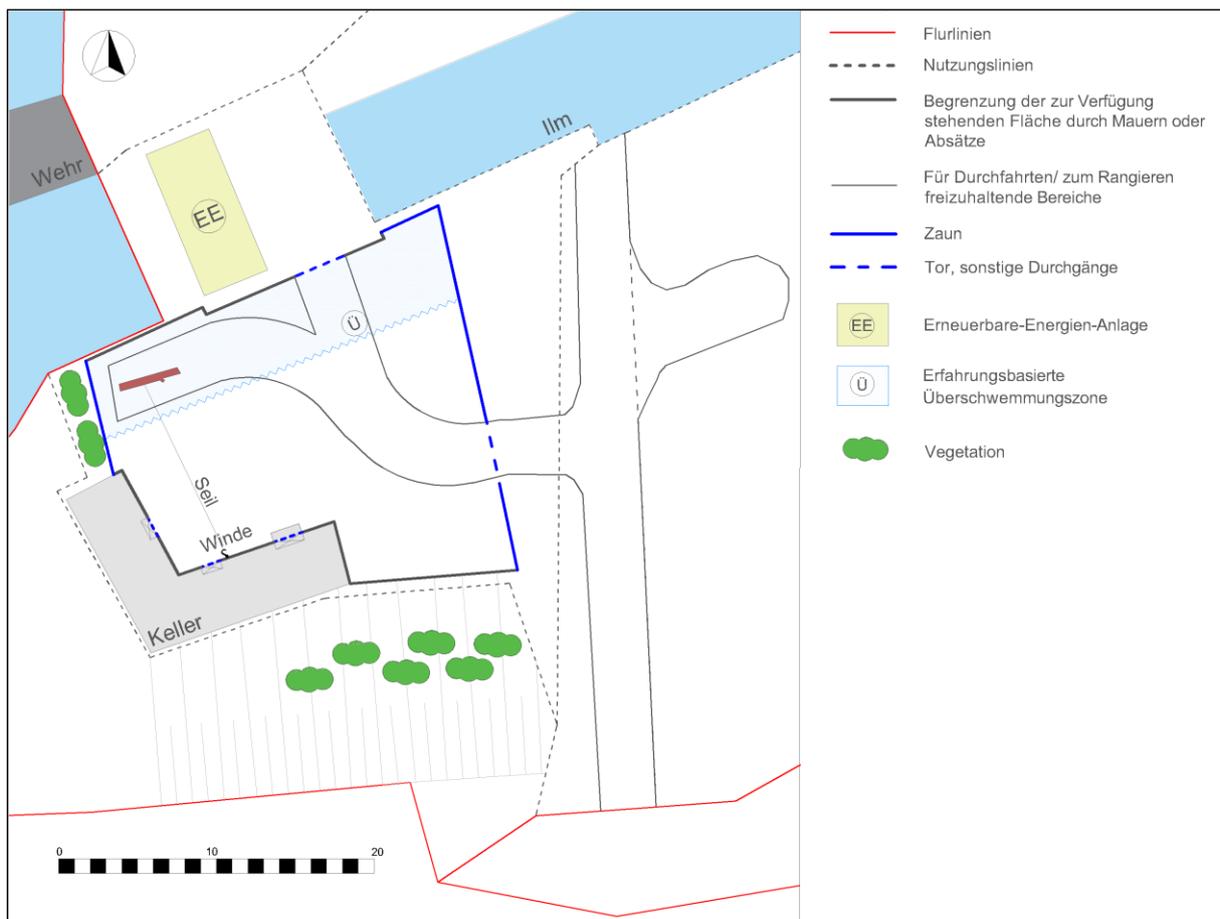
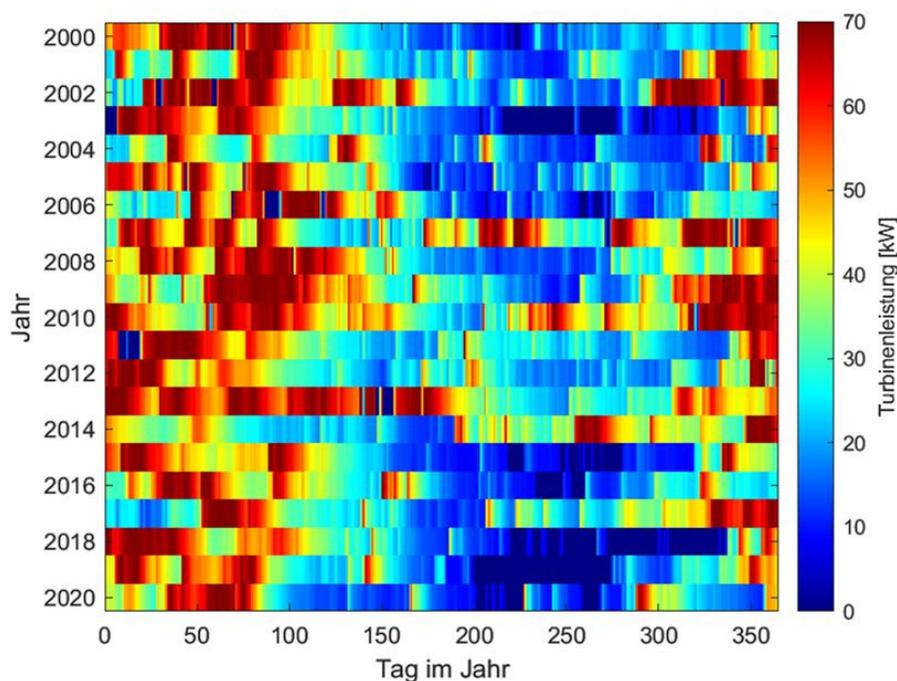


Abbildung 4: Lageplan der Kleinwasserkraftanlage Oberroßla

Wie Abbildung 4 zeigt, existiert auf dem Grundstück der Kleinwasserkraftanlage ein umfriedeter Bereich. Dieser Bereich wird durch einen Zaun, durch die Außenwände der Kellergebäude und durch eine

Trockenmauer zur Sicherung des anliegenden, mit Vegetation bedeckten Hanges abgrenzt und ist somit nicht zugänglich für die Öffentlichkeit. Das Turbinenhaus befindet sich auf einer Betonbrücke, die jedoch nicht zusätzlich bebaut werden darf. Des Weiteren liegt das Grundstück nicht in einem offiziellen Überschwemmungsgebiet. Nach Erfahrungen der Anlagenbetreiber kam es in der Vergangenheit jedoch gelegentlich zu einer teilweisen, bodennahen, oberflächlichen Überschwemmung des Geländes. Um den Zulauf der Kleinwasserkraftanlage frei von Treibgut zu halten, muss das Grundstück regelmäßig befahren und die in Abbildung 4 eingezeichnete Seilwinde genutzt werden. Hieraus ergeben sich Einschränkungen für die Aufstellung des Elektrolyseurs und der erforderlichen H<sub>2</sub>-Speicher.

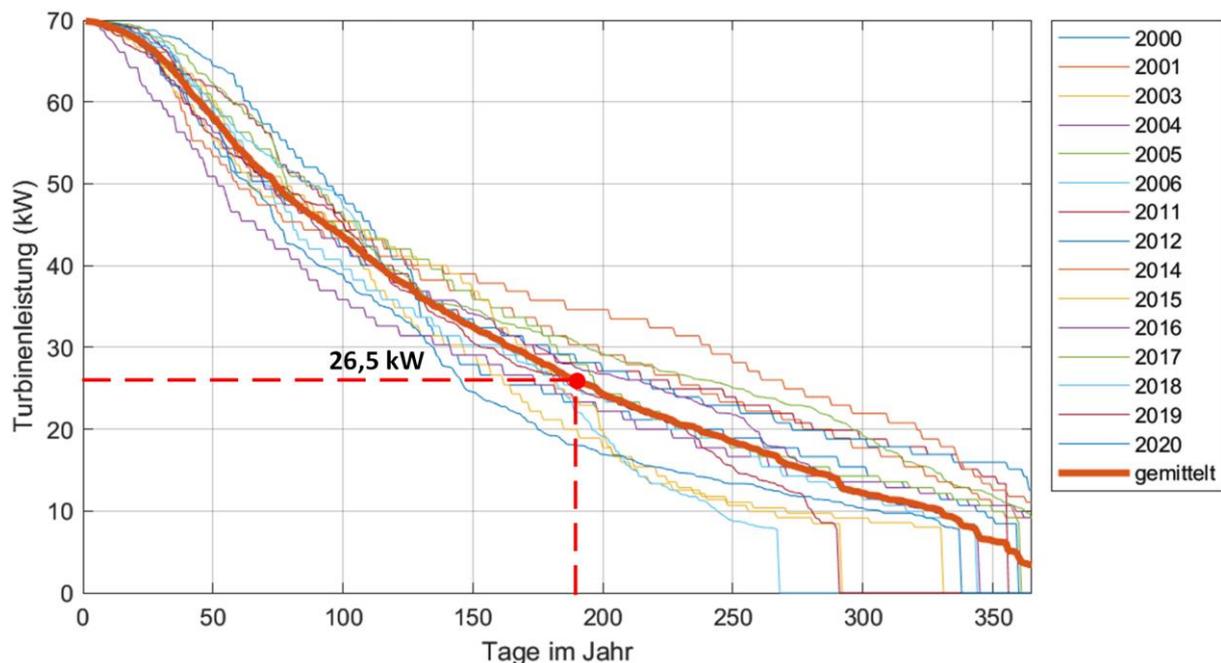
Um einen Standort für die Anlagenkomponenten festlegen zu können, muss zunächst deren Platzbedarf durch eine Vordimensionierung ermittelt werden (vgl. Abschnitt 3). Dafür wird neben dem H<sub>2</sub>-Bedarf der späteren Anwendung (H<sub>2</sub>-Erzeugungsziel) eine Analyse der möglichen Strombereitstellung benötigt. Da keine langjährigen Daten zur Stromeinspeisung der Kleinwasserkraftanlage vorliegen, wurde auf Basis von Durchflussdaten der etwas flussaufwärts gelegenen Messstation Mellingen ein theoretischer Ansatz zur Ableitung eines Leistungsprofils der durchschnittlichen täglichen elektrischen Turbinenleistung in den Jahren 2000 - 2020 entwickelt. Die grundlegende Anwendbarkeit dieser theoretischen jährlichen Leistungsprofile konnte über einen Abgleich mit Realleistungsdaten der Energienetze Apolda zur Netzeinspeisung der Kleinwasserkraftanlage im Zeitraum vom 01.05.2014 bis zum 23.09.2021 nachgewiesen werden. Abbildung 5 zeigt, dass die theoretische Einspeiseleistung der Kleinwasserkraftanlage zwischen keiner Einspeisung in Trockenperioden, d.h. 0 kW (dunkelblaue Bereiche) und maximal ca. 70 kW (dunkelrote Bereiche) schwankt. In den Sommermonaten erreicht die Wasserkraftanlage aufgrund des geringeren Wasserdargebots der Ilm eine niedrigere Turbinenleistung als im restlichen Jahresverlauf. Besonders in den Sommermonaten der vergleichsweise trockenen Jahre 2003, 2018 und 2019 konnte die Wasserkraftanlage für längere Zeiträume gar keinen Strom einspeisen. Des Weiteren kommt es, wie in Abbildung 5 zu sehen ist, in einzelnen Jahren in den Winter- und Frühjahrsmonaten zu Leistungseinbußen oder auch zu vollständigen Betriebsausfällen aufgrund eines zu großen Wasserdargebots.



**Abbildung 5: Theoretische erwartete durchschnittliche tägliche Turbinenleistung der Kleinwasserkraftanlage Oberroßla, sortiert nach Kalenderjahren**

### 3. DIMENSIONIERUNG DER ANLAGENKOMPONENTEN

Die Dimensionierung des Elektrolyseurs wurde auf Basis der in Abbildung 5 dargestellten, nach der oben beschriebenen Methode ermittelten theoretischen Leistungsprofile der Kleinwasserkraftanlage vorgenommen. Von den 21 zur Verfügung stehenden Jahren wurde hierbei das Drittel der Jahre mit den höchsten Einspeiseleistungen gestrichen, um eine Überschätzung der Elektrolyseurzielgröße zu vermeiden. Aus den übriggebliebenen Leistungsprofilen wurden die in Abbildung 6 dargestellten einzelnen Jahresdauerlinien sowie eine mittlere Jahresdauerlinie erzeugt. Anhand dieser gemittelten Jahresdauerlinie kann abgelesen werden, wie viele Tage im Jahr der Elektrolyseur mit Peripherie in Abhängigkeit der Anschlussleistung durchschnittlich in Volllast betrieben werden kann. Für eine ausreichende Auslastung des Elektrolyseurs sollte mindestens in der Hälfte der Jahresstunden ein Volllastbetrieb möglich sein. Wie aus Abbildung 6 hervorgeht, sollte deshalb die maximal installierte Leistung des Elektrolysesystems am Standort Oberroßla dem Median der mittleren Jahresdauerlinie von ca. 26,5 kW entsprechen.



**Abbildung 6: Ansatz zur Dimensionierung des Elektrolyseurs anhand einer angepassten mittleren Jahresdauerlinie der Kleinwasserkraftanlage Oberroßla**

Der im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte kompakte Hochdruckelektrolyseur besitzt eine Stackleistung von 24 kW und eine Systemleistung inklusive Peripherie von ca. 32 kW und liegt damit in einem geeigneten Größenbereich für die Integration an der Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla. Das Elektrolysesystem ist in einem 10-Fuß-Container installiert und erzeugt im Volllastbetrieb ca. 0,5 kg H<sub>2</sub>/h. Auch bei einem Teillastbetrieb von ca. 20 % kann hiermit der H<sub>2</sub>-Bedarf des H<sub>2</sub>BZ-Gabelstaplers von durchschnittlich 2,4 kg/d (3,3 kg/d von Montag bis Freitag) gedeckt werden. Im Volllastbetrieb könnte der Elektrolyseur daher theoretisch noch weitere Abnehmer mit Wasserstoff versorgen als es im Forschungsvorhaben vorgesehen ist.

Die Aufstellungsmöglichkeiten für H<sub>2</sub>-Speicherflaschenbündel (im Folgenden als Flaschenbündel bezeichnet) an der Kleinwasserkraftanlage sind begrenzt (vgl. Abschnitt 4), zumal der Verzicht auf einen stationären Verdichter den Bedarf an vorzuhaltenden Flaschenbündeln noch erhöht. Für die Versorgung des Gabelstaplers muss die Wechselbrücke mit integriertem mobilen Verdichter bei einem angestrebten

zweiwöchentlichen Abhol- und Lieferrhythmus 33,0 kg Wasserstoff aus dem 100 bar-Primärspeicher an der Kleinwasserkraftanlage entnehmen können. Da der mobile Verdichter den Ausgangsdruck im Primärspeicher maximal um das sechsfache erhöhen kann, kann der Primärspeicher jedoch lediglich auf 50 bar geleert werden, um in der Wechselbrücke einen Transportdruck von 300 bar zu erreichen. Da dieses maximale Verdichtungsverhältnis von 1 zu 6 im Rahmen des Vorhabens jedoch noch erprobt wird, wurde für die Auslegung des H<sub>2</sub>-Primärspeichers zunächst nur eine mögliche Entleerung von 100 auf 60 bar angenommen. Entsprechend der folgenden Berechnung werden daher 18 Flaschenbündel mit einem Volumen von je 600 l und einer Grundfläche von je 1,0 m x 0,8 m an der Kleinwasserkraftanlage benötigt, um die Versorgung des Gabelstaplers sicherstellen zu können. Die verwendeten H<sub>2</sub>-Dichten wurden hierbei über das „Chemistry WebBook des National Institute of Standards and Technology“ berechnet [2].

$$\text{Nutzbare H}_2\text{-Menge pro Flaschenbündel} = (p_{15^\circ\text{C}, 100 \text{ bar}} - p_{15^\circ\text{C}, 60 \text{ bar}}) \times V_{\text{Flaschenbündel}} \quad (1)$$

$$\text{Nutzbare H}_2\text{-Menge pro Flaschenbündel} = (7,9265 \frac{\text{g}}{\text{l}} - 4,8708 \frac{\text{g}}{\text{l}}) \times 600 \text{ l} = 1833 \text{ g} \quad (1)$$

$$\text{Anzahl benötigter Flaschenbündel} = 33000 \text{ g} / 1833 \text{ g} = 18,00 \quad (2)$$

Wie der folgende Abschnitt 4 zeigt, ist außerdem eine Aufstellung von mehr als 18 Flaschenbündeln an der Kleinwasserkraftanlage nicht möglich. Daher wäre an dieser Stelle eine Anpassung der in Abhängigkeit des Stromdargebots errechneten maximalen Elektrolyseurgröße an den tatsächlichen H<sub>2</sub>-Bedarf sinnvoll. Gemäß der folgenden Rechnung ergibt eine lineare Skalierung der Rahmenparameter des oben beschriebenen Hochdruckelektrolyseurs eine angepasste Systemleistung von 8,0 kW (6,0 kW Stack, 2,0 kW Peripherie), wenn angenommen wird, dass der Elektrolyseur 80 % der Zeit in Volllast betrieben werden kann.

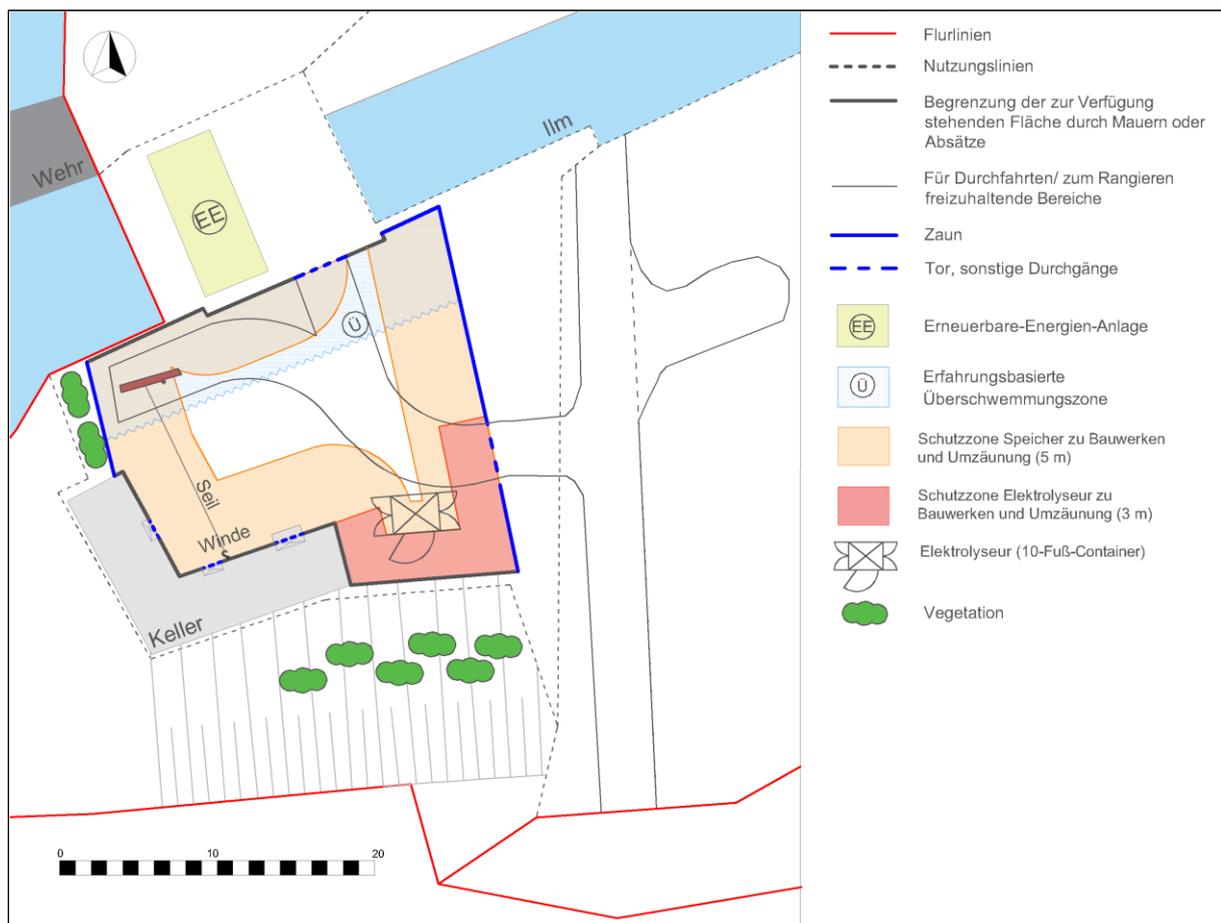
$$\text{Erforderliche Systemleistung Elektrolyseur} = 2,4 \frac{\text{kg H}_2}{\text{d}} / 0,8 \times 32 \text{ kW} / 12 \frac{\text{kg H}_2}{\text{d}} = 8,0 \text{ kW} \quad (3)$$

Dies spielt jedoch im Rahmen des Forschungsprojektes h2well-compact keine zentrale Rolle, so dass der oben genannte Hochdruckelektrolyseur mit 32 kW Systemleistung zur Erprobung kommen soll. Im folgenden Abschnitt 4 werden daher die Standortanpassungen erläutert, die für die Integration der 18 H<sub>2</sub>-Flaschenbündel und des 10-Fuß-Elektrolysecontainers notwendig sind.

#### **4. ANPASSUNG DER STANDORTBEDINGUNGEN FÜR DIE INTEGRATION DER ANLAGEN-KOMPONENTEN**

Für die Standortermittlung der benötigten Anlagenkomponenten wurden die Vorgaben der TRBS 3151/ TRGS 751 zur „Vermeidung von Brand-, Explosions- und Druckgefährdungen an Tankstellen und Gasfüllanlagen zur Befüllung von Landfahrzeugen“ [3] berücksichtigt und die Standortplanung mit Sachverständigen abgestimmt. Der Elektrolyseur und der H<sub>2</sub>-Primärspeicher müssen sich innerhalb des umfriedeten Bereichs des Grundstücks der Kleinwasserkraftanlage befinden. Zudem müssen die Sicherheitsabstände zu öffentlich zugänglichen Bereichen und zu Brandlasten eingehalten werden. Für oberirdisch gelagerte Wasserstoffspeicher gilt ein entsprechender Sicherheitsabstand von 5 m und für den Elektrolyseur ein Abstand von 3 m [3]. Abbildung 7 zeigt einen durch diese relevanten Schutzzonen, in denen die jeweiligen Anlagenkomponenten nicht aufgestellt werden dürfen, ergänzten Lageplan. Da es sich bei dem Landstück nördlich des Turbinenhauses auf der Betonbrücke um eine Insel zwischen dem Flussbett der Ilm und dem Mühlgraben hinter der Turbine handelt, können sich unbefugte Personen dem Grundstück nicht aus nördlicher Richtung nähern. Die eingezeichnete Schutzzone orientiert sich deshalb an dieser Stelle an den Grenzen des Turbinenhauses. Obwohl die Kellergebäude keine Brandlast darstellen, wurde auch hier ein Sicherabstand berücksichtigt, da sich unbefugte Personen theoretisch über den darüberliegenden Hang nähern könnten.

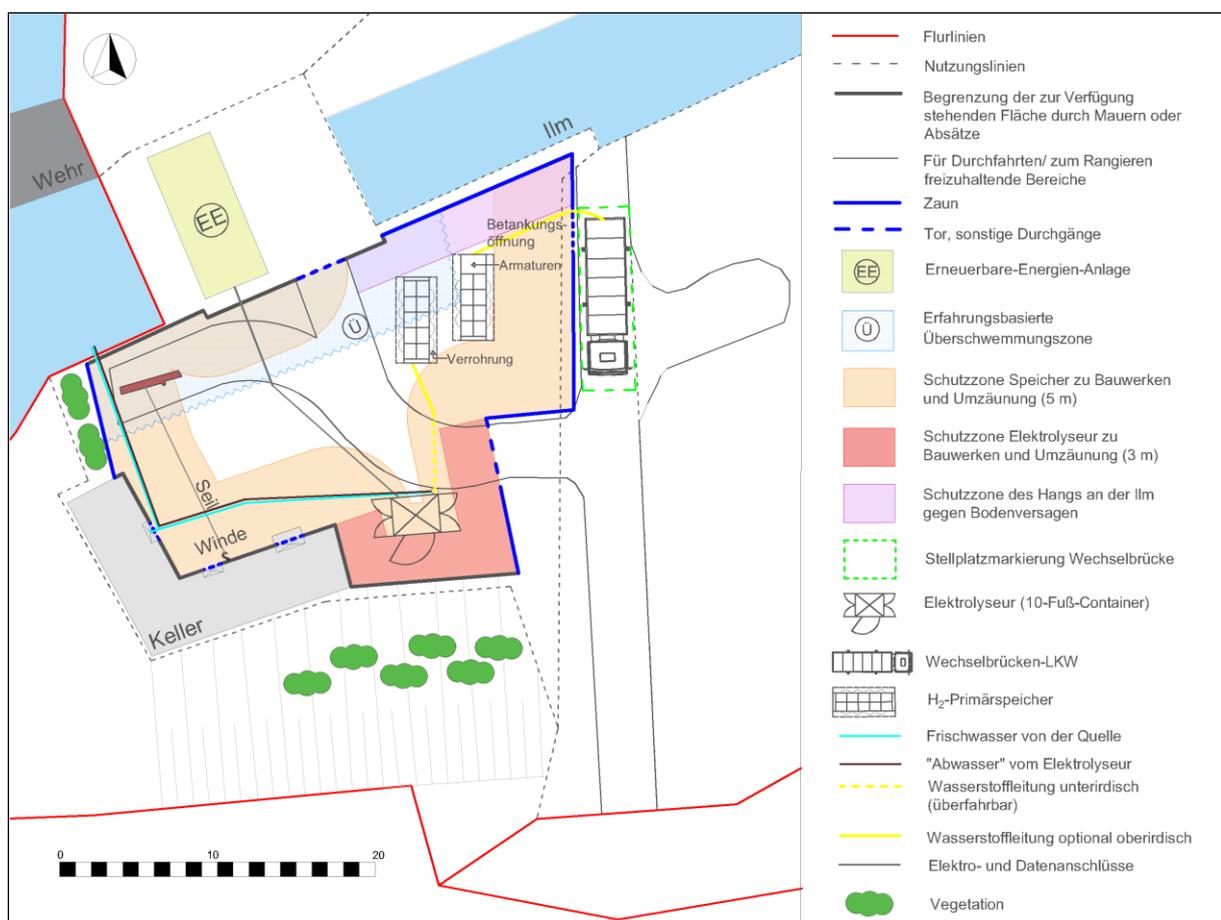
Wie Abbildung 7 weiterhin zeigt, konnte unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes für den Elektrolysecontainer ein Aufstellungsort gefunden werden, ohne dass weitergehende bauliche Maßnahmen erforderlich wären. Lediglich überstehende Teile der Vegetation am anliegenden Hang (vgl. Abbildung 3) waren zu entfernen und eine Gefährdungsbeurteilung in Form einer geotechnischen Bewertung der Standfestigkeit der südlich anliegenden Hangmauer anzufertigen. Die Bewertung ergab, dass für den angestrebten Demonstrationszeitraum der H<sub>2</sub>-Erzeugung an der Kleinwasserkraftanlage von Mitte 2023 bis Anfang 2024 ein Versagen der Stützmauer als sehr unwahrscheinlich einzuschätzen ist. Längerfristig werden Maßnahmen zur Instandhaltung der Stützmauer allerdings nicht zu vermeiden sein. Die Gründung des Elektrolysecontainers wird über Punktfundamente ausgeführt werden.



**Abbildung 7: Lageplan der Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla mit Schutz-zonen zur Berücksichtigung der Sicherheitsabstände gemäß TRGS 751**

Für die Aufstellung des H<sub>2</sub>-Primärspeichers würde entsprechend Abbildung 7 lediglich eine Fläche in der Mitte des umfriedeten Bereichs verbleiben. Da sich diese Fläche für eine sachgemäße Aufstellung der mindestens erforderlichen 18 Flaschenbündel nicht eignet, muss eine Verschiebung des östlichen Zaunes entsprechend Abbildung 8 vorgenommen werden. Die so gewonnene Fläche ist für die Aufstellung von 18 Flaschenbündeln ausreichend. Eine weitere Vergrößerung des umfriedeten Bereichs über den Zufahrtsweg hinaus ist im Rahmen des Demonstrationsprojektes nicht vorgesehen. Um das Ufer der Ilm gegen Bodenversagen aufgrund der Auflast durch die H<sub>2</sub>-Flaschenbündel zu schützen, wird zudem ein Abstand von 3 m zur Ilm eingehalten. Nach Rücksprache mit der Unteren Wasserbehörde, dürfen die H<sub>2</sub>-Behälter am gewählten Standort aufgestellt werden, sofern sie gegen Aufschwimmen gesichert werden. Die einzelnen Flaschenbündel (1,0 m x 0,8 m) können entsprechend Abbildung 8 nebeneinander in zwei „Flaschenbündel-Batterien“ angeordnet werden und müssen zur Vermeidung

von Leckagen auf einer festen und ebenen Oberfläche stehen [4]. Optimal wäre dafür eine Betonplatte mit den Maßen 5,5 m x 1,6 m pro Flaschenbündel-Batterie, wobei die erste Batterie aus 10 Flaschenbündeln und die zweite Batterie aus 8 Flaschenbündeln besteht. Der freie Platz auf der Betonplatte der zweiten Batterie wird für die Armaturen des H<sub>2</sub>-Speichers benötigt. Alternativ zu den Betonplatten könnten für den Demonstrationszeitraum auch Stahlplatten verwendet werden. Der Boden unterhalb der Platten muss, um Setzungen zu vermeiden, durch Kies ersetzt werden. An den langen Kanten der Batterien müssen 0,5 m für die Verrohrung zwischen den Flaschenbündeln vorgesehen werden. Der freie Durchgang zwischen der Verrohrung von Batterie 1 und Batterie 2 wird mit einem Abstand von 1,0 m Breite gewährleistet, um Montage und Wartung der Flaschenbündel zu ermöglichen. Neben der Anordnung der Flaschenbündel enthält der Lageplan in Abbildung 8 auch Angaben zu den erforderlichen Anschlussleitungen und der Schnittstelle zur Wechselbrücke mit integriertem mobilem Verdichter. Das für die Elektrolyse erforderliche Wasser soll einer am Grundstück anliegenden Quelle entnommen werden, sofern eine ausreichende Aufreinigung (Entkalkung) des Quellwassers möglich ist. Der LKW mit Wechselbrücke kann während der Befüllung außerhalb des umfriedeten Bereichs innerhalb einer Stellplatzmarkierung geparkt werden. Die Voraussetzungen für die technische Umsetzung der angestrebten H<sub>2</sub>-Erzeugungsinfrastruktur sind somit an der Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla erfüllt.



**Abbildung 8: Lageplan der Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla nach Anpassung des Standortes für die Aufstellung der benötigten Anlagenkomponenten mit prinzipieller Leitungsführung und Schnittstelle zur Wechselbrücke für den H<sub>2</sub>-Transport**

## **5. GENEHMIGUNG UND BEWERTUNG DER H<sub>2</sub>-ERZEUGUNGSANLAGE**

### **5.1 Erforderliches Genehmigungsverfahren**

Die Umsetzung der H<sub>2</sub>-Erzeugungsinfrastruktur an der Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla erfolgt innerhalb eines Forschungsprojektes. Die dafür entwickelten Anlagenkomponenten sollen im Rahmen eines begrenzten Demonstrationszeitraums erprobt werden. Da der geplante Betrieb der Anlage nach der Errichtung kürzer als 12 Monate sein wird, es sich nicht um eine kommerzielle H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlage handelt und weniger als 3 t Wasserstoff am Standort gespeichert werden, fällt die Anlage nicht unter das Genehmigungsverfahren nach Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) [5], [6]. Des Weiteren handelt es sich auch nicht um eine erlaubnispflichtige Anlage nach §18 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), da die Abfüllung des Wasserstoffs mit einem Massenstrom von unter 10 kg/h erfolgt [6]. Eine Genehmigung durch das Thüringer Landesamt für Verbraucherschutz entfällt daher. Die zu erstellende Gefährdungsbeurteilung gemäß BetrSichV [7] und Gefahrstoffverordnung [8] ist jedoch mit dem TÜV-Thüringen abzustimmen. Das vorzuhaltende Volumen des Primärspeichers an der Kleinwasserkraftanlage liegt mit 10,8 m<sup>3</sup> über dem nach Thüringer Bauordnung [9] verfahrensfreien Grenzwert für Gasdruckbehälter von 6 m<sup>3</sup>. Es ist jedoch zu prüfen, ob aufgrund der temporären Aufstellung der Anlagen eine Baugenehmigung entfallen kann.

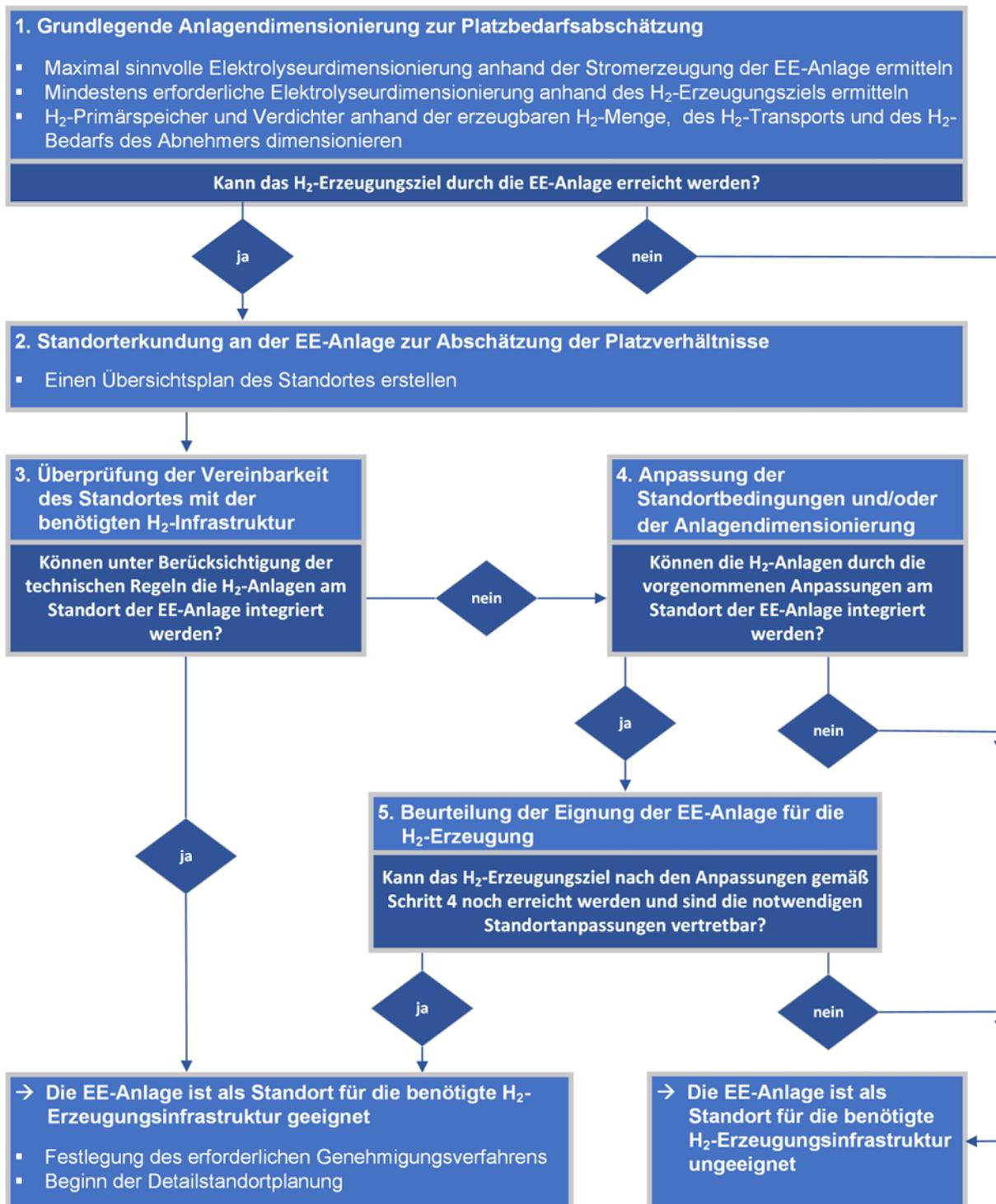
### **5.2 Bewertung der Eignung der Kleinwasserkraftanlage für die H<sub>2</sub>-Erzeugung**

Die Integration der für die Versorgung des H<sub>2</sub>BZ-Gabelstaplers benötigten H<sub>2</sub>-Erzeugungsinfrastruktur ist an der Kleinwasserkraftanlage Oberroßla möglich, aber mit baulichen Anpassungen des Standortes verbunden. Neben einer Versetzung des Zaunes, sind für die sichere Gründung der H<sub>2</sub>-Speicherflaschenbündel ein Bodenaustausch sowie die Beschaffung von Stahl- oder Betonplatten erforderlich, während für die Gründung des Elektrolyseurs das Gießen von Punktfundamenten notwendig ist. Diese Maßnahmen können im Rahmen des Forschungsprojektes umgesetzt werden. Für einen längerfristigen Betrieb über den Demonstrationszeitraum hinaus wären hingegen voraussichtlich Instandhaltungsmaßnahmen an der südlich gelegenen Hangstützmauer in der Nähe des Aufstellungsortes des Elektrolysecontainers notwendig.

Für eine ganzjährige, lückenlose Versorgung eines H<sub>2</sub>-Abnehmers ist die Kleinwasserkraftanlage Oberroßla nicht geeignet, da es in den Sommermonaten aufgrund von Wassermangel zu längeren Stillstandzeiten kommen kann, deren Häufigkeit in den kommenden Jahren im Rahmen der sich ändernden globalen Klimabedingungen voraussichtlich weiter zunehmen wird (vgl. Abbildung 5). Durch die Kombination der Stromerzeugung der Kleinwasserkraftanlage mit Strom aus PV-Anlagen könnte jedoch ggf. eine lückenlose H<sub>2</sub>-Versorgung erzielt werden. Grundsätzlich scheint es daher geboten, mehrere dezentrale H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlagen zusammenzufassen, um Synergieeffekte auszunutzen. Um in diesem Zusammenhang die Standortplanung dezentraler H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlagen zu vereinfachen, wird im folgenden Abschnitt 6 ein entsprechender Kurzleitpfaden für eine solche Planung vorgestellt.

## **6. KURZLEITFADEN FÜR DIE PLANUNG VON DEZENTRALEN H<sub>2</sub>-ERZEUGUNGSSYSTEMEN**

Abbildung 9 zeigt einen Verfahrensleitfaden für die Standortplanung von dezentralen H<sub>2</sub>-Erzeugungssystem an bestehenden EE-Anlagen. Da es sich um einen allgemeingültigen Kurzleitfaden handelt, werden im Gegensatz zur Standortplanung an der Kleinwasserkraftanlage in Oberroßla auch Verdichter als Anlagenkomponenten einbezogen. Außerdem berücksichtigt der Kurzleitfaden lediglich die technische und bauliche Machbarkeit von H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlagen an bestehenden EE-Anlagen, jedoch nicht deren Wirtschaftlichkeit. Die Schritte 3 und 4 benötigen erfahrungsgemäß mehrere Iterationen. Des Weiteren ist schon während der Standortplanung eine frühzeitige Kontaktaufnahme zu den zuständigen Behörden zu empfehlen, auch wenn noch grundlegende Informationen für eine Zuordnung zum erforderlichen Genehmigungsverfahren fehlen.



**Abbildung 9: Kurzleitpfaden für die Standortplanung einer H<sub>2</sub>-Erzeugungsinfrastruktur an bestehenden EE-Anlagen**

## 7. DANKSAGUNG

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Teilvorhaben des Verbundvorhabens h2well-compact wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des WIR-Bündnisses h<sub>2</sub>-well im Programm „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“ unter dem Förderkennzeichen 03WIR1804A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung

liegt bei den Autoren. Die geförderten Forschungspartner im Verbundvorhaben h2well-compact sind: Bauhaus-Universität Weimar, Energieversorgung Apolda GmbH, Fraunhofer IKTS Hermsdorf, Höschel & Baumann Elektro GmbH, Imaginata e.V., IMG Electronic & Power Systems GmbH, Kyros Hydrogen Solutions GmbH, MAXIMATOR GmbH, Rießner-Gase GmbH.

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BMWi, Die Nationale Wasserstoffstrategie, Berlin, 2020
- [2] NIST, Chemistry WebBook - Thermophysical Properties of Fluid Systems, Gaithersburg, 2022, verfügbar unter: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>
- [3] Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), TRGS 751, Ausgabe 2019, Fassung 29.03.2022
- [4] Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), TRGS 746, Ausgabe 2016, Fassung 26.10.2022
- [5] M. Koralewicz et.al., Genehmigungsrechtlicher Leitfaden für Power-to-Gas-Anlagen, Köln, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, 2020
- [6] BMJ, BImSchG – Bundes-Immissionsschutzgesetz, Berlin, Fassung 17. 5. 2013, Letzte Änderung: 8. 10. 2022
- [7] BMJ, BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung, Berlin, Fassung 2015, Letzte Änderung: 27. 6. 2021
- [8] BMJ, GefStoffV – Gefahrstoffverordnung, Berlin, Fassung 26.11.2010, Letzte Änderung: m 21. 6. 2021
- [9] Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft, ThürBO - Thüringer Bauordnung, Erfurt, Fassung 13. 03. 2014, Letzte Änderung: 29. 07. 2022