Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Green Energy Center Europe / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

Zillertalbahn 2020+ Energieautonom mit Wasserstoff

Auf der rund 32 km langen Schmalspurstrecke der Zillertalbahn von Jenbach nach Mayrhofen befördern Fahrzeuge aus den 1980er Jahren mittlerweile 2,46 Mio. Fahrgäste (2017) pro Jahr. Daher sollen im Projekt „Zillertalbahn 2020+ Energieautonom mit Wasserstoff" die Bahninfrastruktur erneuert und die Schienenfahrzeuge elektrifiziert werden. Da Fahrleitungsanlagen und damit einhergehende zusätzliche Masten im touristisch genutzten Tal unerwünscht sind, soll die dafür notwendige Energie mit „Grünem Wasserstoff" bereitgestellt werden.

VD Dipl.-Ing. Helmut Schreiner
Zillertaler Verkehrsbetriebe AG
Jenbach, Österreich
helmut.schreiner@zillertalbahn.at

Dipl.-Ing. Nikolaus Fleischhacker
Green Energy Center Europe
FEN Sustain Systems GmbH,
Innsbruck
nikolaus.fleischhacker
@green-energy-center.com

EINLEITUNG

Die Zillertalbahn ist eine österreichische Schmalspurbahn im Bundesland Tirol mit bosnischer Spurweite von 760 mm. Die 31,74 km lange vorwiegend eingleisige Strecke mit insgesamt rund 8 km zweigleisigen Abschnitten führt vom ÖBB-Bahnhof Jenbach an der Westbahnstrecke Wien - Bregenz durch das stark touristisch genutzte Zillertal in Tirol nach Mayrhofen. Dabei überwindet die Bahn lediglich 70 Höhenmeter mit durchschnittlich 2 Promille Steigung und hat somit die Charakteristik einer Flachlandbahn.

Die derzeit im Einsatz befindlichen Fahrzeuge – 2- bis 3-fach Garnituren mit Lokomotive – wurden in den 1980er Jahren gebaut und in Betrieb genommen und legen rund 0,6 Mio. km im Jahr zurück und verbrauchen dafür rund 0,8 Mio. Liter Diesel: das entspricht durchschnittlich 1,3 Liter Diesel pro km und einem CO_2-Ausstoß von 2,2 Mio. kg im Jahr.

Die Bahn dient einerseits dem Pendlerverkehr aus dem Tal Richtung Innsbruck und andererseits touristischen Bedürfnissen von Tirols größter Tourismusregion mit mehr als 4,5 Mio. Nächtigungen pro Jahr.

Eigentümer und Betreiber der Bahn ist die „Zillertaler Verkehrsbetriebe AG" mit Sitz in Jenbach. Mit gesamt 165 Mitarbeitern wird neben der Bahn auch eine Flotte von 50 Dieselbussen betrieben und ein Dampfzug für den touristischen Einsatz unterhalten.

Aufgrund der generellen starken Zunahme des Verkehrs im Zillertal und dem damit steigenden Leidensdruck auf der Straße kann die Bahn im Personenverkehr ein großes Wachstum auf mittlerweile 2,46 Mio. Fahrgäste pro Jahr verzeichnen. Um diesen Anforderungen auch zukünftig gerecht zu werden, werden im Projekt „Zillertalbahn 2020+ Energieautonom mit Wasserstoff" sowohl Teile der Bahnanlagen, als auch die Zuggarnituren erneuert.

Basierend auf dem Beschluss der Tiroler Landesregierung vom 1. Dezember 2015 werden Planungen für die Elektrifizierung der Strecke aufgenommen. Der Bau von zwei Unterwerken und der Oberleitungsanlage sowie die Beschaffung eines Unterhaltsfahrzeugs werden auf 22 Millionen Euro kalkuliert. Gegen den Bau von Oberleitungen regt sich jedoch Widerstand aus touristischen Kreisen. Um diesen zu begegnen werden die Fahrzeugvarianten Oberleitungs-Hybrid-Elektrotriebwagenzug mit Traktionsakku für den oberleitungsfreien Betrieb in sensiblen Bereichen und Wasserstoff-Elektrotriebwagenzug für den oberleitungsfreien Betrieb auf der gesamten Strecke entwickelt und gegenübergestellt.

> Elektrifizierung natürlich ja, weg vom Diesel. Aber die Elektrifizierung kann nicht mit einer herkömmlichen Fahrleitung durchs Zillertal erfolgen, sondern wir setzen auf Wasserstoff, weil wir im Zillertal auch die großen Kraftwerke in den einzelnen Seitentälern haben.
>
> Aufsichtsratsvorsitzender der ZVB AG Abg.z.NR. Franz Hörl

Der für den Wasserstoff-Elektrotriebwagenzug notwendige grüne Wasserstoff H_2 wird mittels Elektrolyse aus Wasser H_2O und grünem Strom abgespalten und gasförmig in Drucktanks gespeichert. Der hierbei ebenfalls anfallende grüne Sauerstoff O_2 kann auch einer industriellen Nutzung zugeführt werden oder in die Luft zurückgegeben werden. Über eine Wasserstoffbetankungsanlage – Hydrogen Refuling Station (HRS) – erfolgt die Befüllung der Druckbehälter der Zuggarnituren mit grünem Wasserstoff. Dort kann im Fahrbetrieb mittels Brennstoffzelle und der sogenannten „kalten Verbrennung" dieser Wasserstoff H_2 mit Sauerstoff O_2 aus der Luft verstromt werden und die Elektromotoren antreiben. Zurück bleibt in diesem Kreislauf wiederum nur das Ausgangsprodukt Wasser in der Form von Wasserdampf. Die Speicherfähigkeit des Wasserstoffs ermöglicht es dabei den für die Elektrolyse notwendigen grünen Strom bei Überschuss und in Schwachlastzeiten zu beziehen. Damit wird monetär gesehen der Mehrbedarf mehr als kompensiert.

Mit der Technologie an sich gibt es bereits viel Erfahrung. Begonnen hat man im Green Energy Center Europe damit wasserstoffbetriebene Autos für die Wasserstoffautobahnen und zugleich für die ersten grünen Korridore in Mitteleuropa einzusetzen. Fahrzeuge aus der Kleinserie bieten neben Hyundai und Toyota auch Honda an.

Dass die Umstellung auf Wasserstoff auch in der Industrie machbar ist, beweist

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Green Energy Center Europe /
Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten
genehmigt von DVV Media Group, 2018.

das Green Energy Center zusammen mit der Firma MPreis im Rahmen des gemeinsamen EU Projektes „Demo4Grid". In Völs wird dazu Europas größter Elektrolyseur zur Umwandlung von grünem Strom in Wasserstoff gebaut. Auf dieses Projekt schaut ganz Europa, wird doch diese Anlage unter wirtschaftlichen Aspekten realisiert und damit bewiesen, dass die Umstellung von fossiler auf saubere Energie auch ein absoluter Business-Case für die Zukunft ist.

Gerade im öffentlichen Verkehr gibt es zudem bereits Erfahrungen beispielsweise mit dem Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Bussen im Schwerlastbereich. Das hat das „1. Wasserstoff-Forum Tirol" in Innsbruck eindrucksvoll aufgezeigt. Im Bahnbereich findet in Norddeutschland ab Frühjahr 2018 eine Erstanwendung mit zwei Alstom-Triebwagenzügen auf der Strecke Buxtehude/Bremervörde/Bremerhaven/Cuxhaven statt.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen hat der Aufsichtsrat der Zillertaler Verkehrsbetriebe AG (ZVB AG) am 15. Dezember 2017 beschlossen, die Bahn im Einklang mit der Tiroler Energiestrategie „Tirol 2050 Energieautonom" unter Einsatz der eigenen Ressourcen des Zillertals auf Wasserstoffbetrieb umzustellen und damit die nunmehr rund 35 Jahre alten Fahrzeuge zu ersetzen. Der dafür notwendige grüne Wasserstoff soll in Mayrhofen mittels Elektrolyse erzeugt und über Nacht in die Züge der Bahn gefüllt werden. Zudem sollen die neuen Fahrzeuge mit 250 – gegenüber 130 Sitzplätzen bisher – den steigenden Fahrgastzahlen Rechnung tragen und dabei wesentlich mehr Komfort bieten. Diese Maßnahmen sollen das Angebot auf der Schiene zusätzlich attraktivieren.

Die chemische Speicherung von nachhaltig produziertem grünen Überschussstrom ist die eleganteste Form einer nachhaltigen Energiewirtschaft. Auf kleinem Raum können große Energiemengen gespeichert werden. Der Wasserstoff hat eine extrem hohe Speicherfähigkeit. Wir verwenden den Wasserstoff sowohl als Speicherstoff für grünen Überschussstrom als auch als Treibstoff für unsere neuen Triebzüge.

Vorstandsdirektor der ZVB AG Dipl.-Ing. Helmut Schreiner

Fünf neue vierteilige Züge werden einen durchgehenden Halbstundentakt ermöglichen sowie zusätzliche Eilzüge (REX) kürzere Reisezeiten. Phase 1 – Präqualifikation der Fahrzeuganbieter – der Fahrzeugausschreibung mit Optionen auf drei weitere Züge endet am 13.April 2018. Mitte 2018 soll Phase 2 starten. Bis zum Winterfahrplan 2022 soll das Projekt realisiert und abgeschlossen werden.

Zudem soll die Attraktivität der Zillertalbahn durch eine bessere Anbindung an die großen Schigebiete gestärkt werden. So ist zwischen Zell am Ziller und Aschau eine Streckenverlegung auf über 3,6 km vorgesehen um die Seilbahnen des Wintersportgebietes Zillertal-Arena anzuschließen. In Mayrhofen soll die Bahnstrecke um rund einen Kilometer bis zur Talstation der Penken-Seilbahn verlängert werden, womit die Zillertalbahn auch den südlichen Dorfteil besser erschließen wird.

FAHRZEUGVERGLEICH

Aufbauend auf den Ergebnissen der Studie „PROJEKTBERICHT ZUR ATTRAKTIVIERUNG DER ZILLERTALBAHN 2020+" [1] werden für das gegenständliche Projekt aus der Basisvariante eines Oberleitungs-Elektrotriebwagenzuges mit Gleichstrom von der ZVB AG, dem Green Energy Center Europe [2] und FEN-SYSTEMS [3] mit Experten von HyCentA [4] und Molinari [5] die zwei Fahrzeugvarianten

- → Wechselstrom-Oberleitungs-Hybrid-Elektrotriebwagenzug und
- → Wasserstoff-Elektrotriebwagenzug

entwickelt. Für diese Varianten werden technische Mindestvoraussetzungen definiert. So soll jeweils ein 4-teiliger Triebwagenzug mit einer Gesamtlänge von 75 m realisiert werden. In sensiblen Bereichen der Strecke wie Ortsdurchfahrten soll ein oberleitungsfreier Betrieb durch den Einsatz von Hybridtechnik ermöglicht werden. Die neuen Züge sollen darüber hinaus einen neuen Fahrplan im Halbstundentakt von 6 bis 22 Uhr ermöglichen. Daraus ergeben sich 66 Fahrten pro Tag die mit zumindest 5 Garnituren durchgeführt werden können. Die Jahreskilometerleistung aller Züge ergibt sich weiter zu ca. 770 000 km.

Darüber hinaus soll eine Fahrzeitverkürzung von derzeit 55 min auf 45 min für den Regelfahrplan bzw. 36 min für beschleunigte REX-Züge ermöglicht werden. Um diesen Fahrplan inkl. Sicherheiten abzudecken, sollen 6 Fahrzeuge angeschafft werden. Das führt zu einer Betriebsdauer von ca. 3000 h je Fahrzeug und Jahr.

Um die Fahrzeitverkürzung zu realisieren, ist vor allem ein hohes Beschleunigungsvermögen von 1 m/s^2 notwendig. Bei einer Antriebsleistung von 1000 kW kann dieses bis ca. 30 km/h ermöglicht werden und nimmt anschließend mit steigender Geschwindigkeit begrenzt durch die Maximalleistung von 1000 kW ab.

Auch sollen Betankungsvorgänge aufgrund der geringen Wendezeiten von 15 min nach Möglichkeit außerhalb der Betriebszeit einmal täglich erfolgen.

BASISVARIANTE 0: GLEICHSTROM ELEKTROTRIEBWAGENZUG

Basis für alle weiteren Überlegungen ist ein Gleichstrom-Elektrotriebwagenzug. Dieser wird mit 1500 V Gleichstrom (DC) aus der Oberleitung gespeist. Der 4-teilige Zug für die Spurweite 760 mm mit einem minimalen Kurvenradius von 80 m ermöglicht eine Leistung am Rad von mehr als 1000 kW bei einer Anfahrzugskraft von 150 kN.

Diese Basisvariante stellt das einfachste Fahrzeug dar. Im Zug ist keine aufwändige Umrichtertechnik notwendig. Dafür ist aber die teuerste Fahrleitungsausstattung der vorgestellten Varianten mit zusätzlichen Infrastrukturanlagen notwendig.

Variante 1: Wechselstrom Oberleitungs-Hybrid-Elektrotriebwagenzug

Um den geforderten oberleitungsfreien Betrieb in sensiblen Bereichen von Ortsdurchfahrten zu ermöglichen, werden bei der vorliegenden Variante zwei Traktionsakkus mit einem Speichervermögen von je 42 kWh netto und einer Leistung von je 300 kW in den Fahrzeugunterboden integriert. Die Versorgung der Bahn mit elektrischer Energie erfolgt über eine Oberleitung mit Wechselspannung (AC) mit einer Spannung von 25 kV bei 50 Hz [6]. Hierdurch werden zwei Gleichrichter mit je 700 kW je Steuerwagen notwendig, die ebenso im Fahrzeugunterboden integriert werden.

Die zusätzliche Technik im Fahrzeug führt zu einem Raummehrbedarf für ebendiese von ca. 0,25 % des Fahrzeugvolumens – 1,5 m^3 bei 650 m^3 – und einer Zusatzmasse von ca. 5 % – 6 Tonnen bei 113 Tonnen Gesamtmasse. Aufgrund der Integration massereicher Komponenten in den Unterboden ist die Kippstabilität der Schmalspurbahn sichergestellt.

Die für diese Variante notwendige Fahrleitungsausstattung mit Wechselspannung ist günstiger als die für die Gleichstromvariante. Zum einen sind aufgrund der hohen Spannung und des damit einhergehenden geringeren relativen Spannungsabfalles weniger Einspeisepunkte notwendig. Zum anderen kann die notwendige Spannung aufgrund der zum Einsatz kommenden Netzfrequenz von 50 Hz technisch einfach erfolgen. »

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Green Energy Center Europe /
Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten
genehmigt von DVV Media Group, 2018.

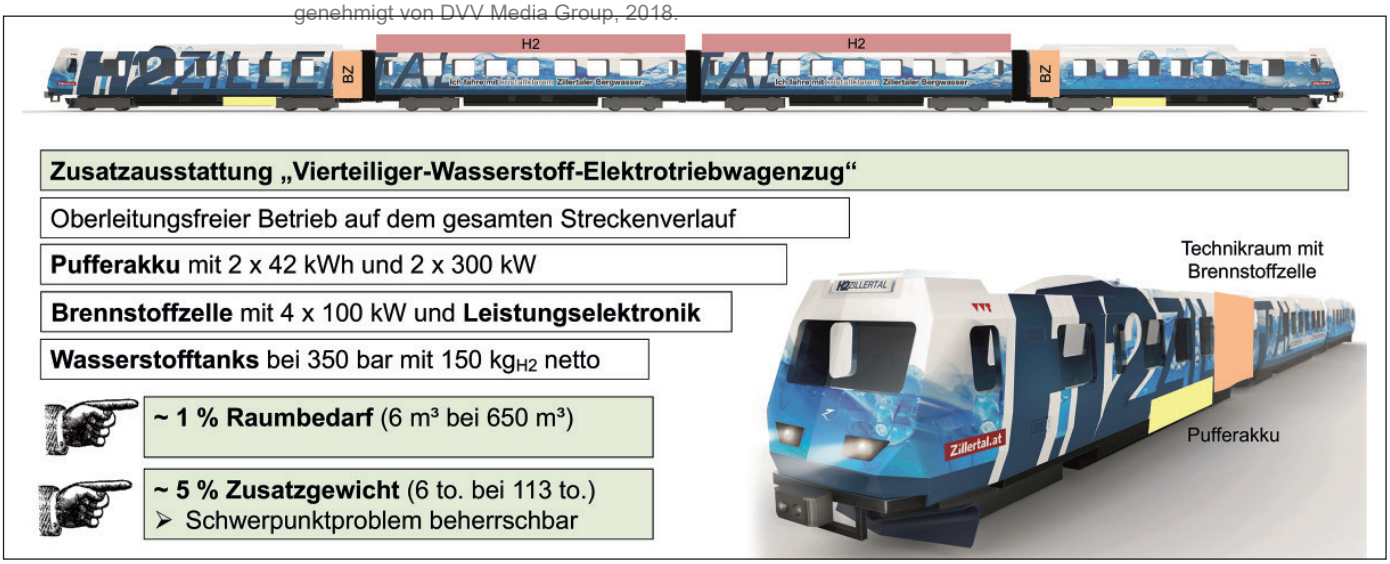

BILD 1: Vierteiliger Wasserstoff-Elektrotriebwagenzug

Variante 2: Wasserstoff-Elektrotriebwagenzug

Die Variante Wasserstoffelektrischer-Triebwagenzug gemäß Bild 1 ermöglicht den oberleitungsfreien Betrieb auf dem gesamten Streckenverlauf. Aufgrund der intensiven touristischen Nutzung des Zillertals wird diese Möglichkeit ohne zusätzliche Masten hervorgehoben und begrüßt.

Die Versorgung des Zuges mit elektrischer Energie übernehmen 4 PEM-BZ[1)] mit je 100 kW Leistung. Dabei werden je 2 BZ pro Steuerwagen für eine höhere Redundanz und Ausfallsicherheit in einem Technikraum parallel geschaltet. In den Brennstoffzellen werden der Sauerstoff O_2 der Luft und der am Fahrzeugdach gespeicherte Wasserstoff H_2, in einer elektrochemischen Reaktion, der sogenannten kalten Verbrennung, zu elektrischer Energie und Wasserdampf rekombiniert. Dabei kann 1 kgH_2 in rund 17 kWh elektrische Energie gewandelt werden. Das entspricht einem Wirkungsgrad von ca. 50 %. Die garantierte Lebensdauer der evaluierten Schwerlast-Brennstoffzellen erreicht je nach Hersteller nach aktuellem Stand bis zu 25 000 Betriebsstunden [9].

Der notwendige Wasserstoff wird in Wasserstoffdrucktanks, mit einem Nominaldruck von 350 bar (Druck), am Fahrzeugdach der Zwischenwagen gespeichert. Diese fassen insgesamt 150 kgH_2. Diese Menge reicht aus um den Zug bei einem Wasserstoffbedarf von maximal 0,3 kgH_2 pro km für einen Tag bis zur Betankung außerhalb der Betriebszeiten zu betreiben. Der durchschnittliche Wasserstoffbedarf der Triebzüge beträgt rund 0,25 kgH_2 pro km.

Um die für hohe Beschleunigungen notwendige Traktionsleistung von 1000 kW zu ermöglichen, werden zusätzlich zu den Brennstoffzellen mit 400 kW Pufferakkus mit einer Leistung von 2 x 300 kW und einem Speichervermögen von 2 x 42 kWh im Fahrzeugunterboden vorgesehen. Diese unterstützen somit bei Beschleunigungsvorgängen die Brennstoffzellen um zusätzliche 600 kW. Sie ermöglichen es darüber hinaus, einen Großteil der kinetischen Energie des Fahrzeugs, die beim Bremsvorgang durch Rekuperation in elektrische Energie gewandelt wird zu speichern (siehe Bild 2).

Der im Vergleich zur Basisvariante notwendige zusätzliche Raumbedarf beträgt ca. 1 % – 6 m³ bei 650 m³ – bei einer Zusatzmasse von ca. 5 % – 6 Tonnen bei 113 Tonnen Gesamtmasse. Auch bei dieser Variante ist das Schwerpunktproblem beherrschbar.

Der technische Mehraufwand der Fahrzeuge führt zu Mehrkosten von ca. 15 – 20 %

1) Abkürzung für Proton Exchange Membrane und Brennstoffzelle

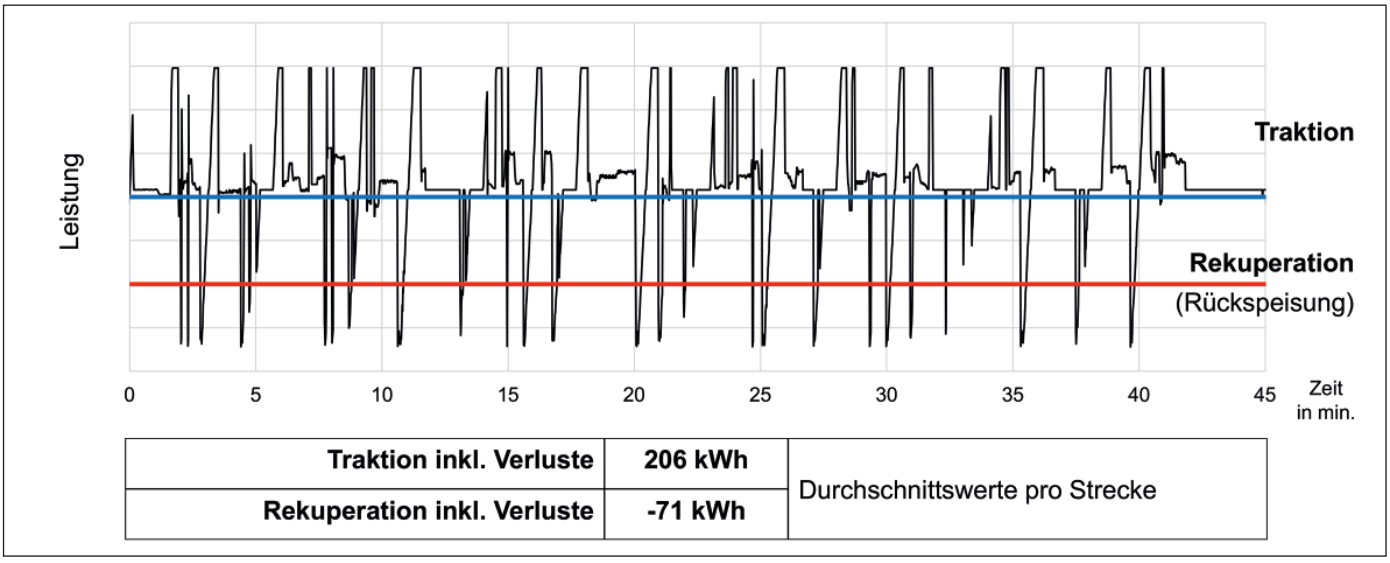

BILD 2: Leistungsprofil des Fahrzeugs

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Green Energy Center Europe /
Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten
genehmigt von DVV Media Group, 2018.

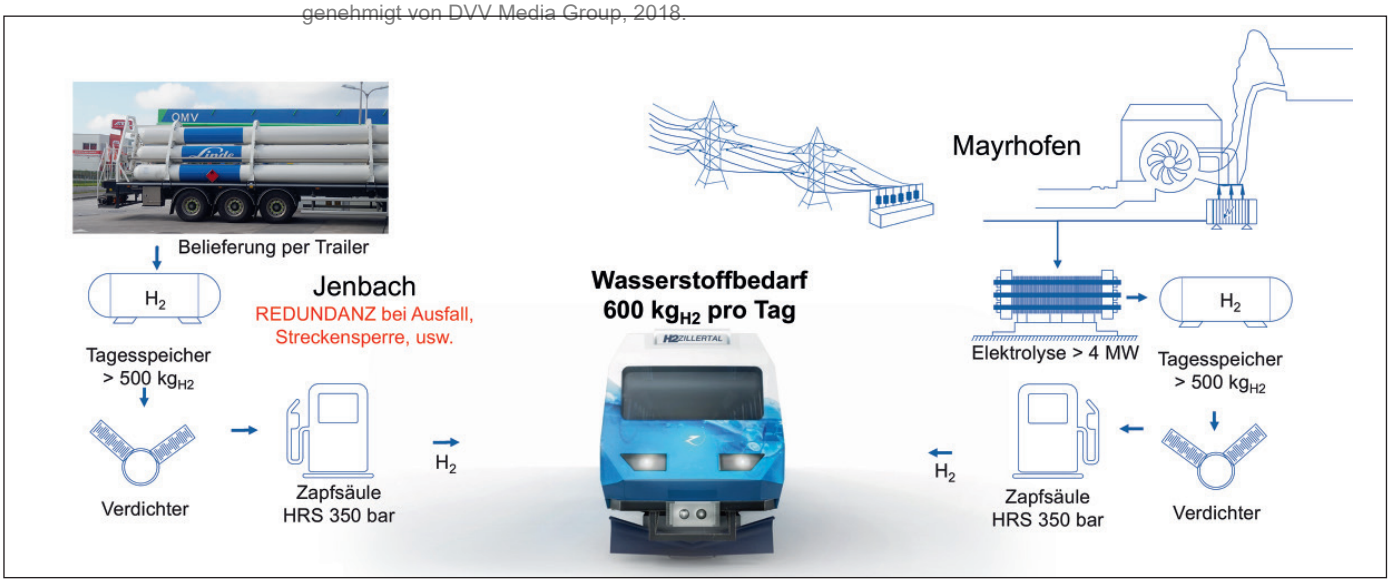

BILD 3: Wasserstoff Infrastruktur

gegenüber der Variante 1. Auch eine Wasserstoff-Infrastruktur für Elektrolyse, Speicherung, Distribution, Verdichtung und Betankung ist notwendig. Jedoch entfallen die hohen Investitionskosten der Fahrleitungsanlage von mehr als 22 Mio. €.

Um den Herausforderungen der noch jungen Wasserstofftechnologie verantwortungsvoll zu begegnen, wurde in Kooperation von ZVB, FEN-SYSTEMS [3] und HyCentA [4] im Green Energy Center Europe [2] in Innsbruck das Start-Up HyWest eingerichtet. HyWest wird das Projekt in allen Belangen von der Genehmigung, über die Zulassung und Abnahme, das Monitoring und die Qualitätssicherung der Abwicklungs- und Betriebsprozesse bis hin zur Dissemination begleiten.

WASSERSTOFF INFRASTRUKTUR UND HERSTELLUNG

Da die Lastrichtung am Morgen aus dem Zillertal von Mayrhofen nach Jenbach führt, ist die Betankung der Fahrzeuge an einer Wasserstofftankstelle (HRS – Hydrogen Refuling Station) in Mayrhofen naheliegend. Im Zuge der Neuerrichtung des Bahnhofs Mayrhofen, soll hier eine neue HRS mit einem Betriebsdruck von nominal 350 bar – Standard im Schwerlastbereich [7] – gemäß Bild 3 errichtet werden. Diese Tankstelle und dessen Tagesspeicher, soll über eine kurze Pipeline mit Wasserstoff aus einer redundanten Elektrolyseanlage mit 2 Elektrolyseuren mit je 1,5 MW versorgt werden. Bei einer Effizienz der Anlage von 52 kWh pro kgH_2 können je Elektrolyseur knapp 700 kgH_2 pro Tag erzeugt werden und auch der Wasserstoffbedarf an heißen Sommer- und kalten Wintertagen gedeckt werden. Dieses redundante System mit zwei Elektrolyseuren gewährleistet den reibungsfreien Betrieb der Zillertalbahn im Fall von Wartung, aber auch Betriebsstörungen und damit verbundenen Produktionsausfällen einer Elektrolyseanlage. Dieses Konzept mit Produktionsüberkapazitäten erlaubt zudem erst die Nutzung sogenannter „Power Price Opportunities“ und die Bereitstellung von Regelkapazitäten am Netzregelungsmarkt.

Für die Betankung ist wiederum aus Redundanzgründen und als zusätzliche Rückfallebene bei Streckenunterbrechungen bzw. geplanten Streckensperren eine HRS am Betriebsstandort Jenbach vorgesehen. Deren Belieferung soll über Hochdruck-Wasserstoff-Trailer-LKWs bzw. Waggons realisiert werden.

Eine weitere Rückfallebene ist über die Belieferung der gesamten Anlage mit Wasserstofftrailern gegeben.

> Mit Wasserstoff können wir die Energieversorgung dezentraler gestalten und haben eine weitere Möglichkeit der Energiespeicherung. Die Mobilität ist ein Beispiel, wo Wasserstoff in Zukunft sehr sinnvoll und vernünftig eigesetzt werden kann.
>
> Landeshauptmannstellvertreter von Tirol ÖR Josef Geisler

WASSERSTOFF-HERSTELLUNG

Um eine zum Oberleitungsbetrieb preislich konkurrenzfähige Wasserstoff-Herstellung zu ermöglichen, wurden basierend auf dem „MPREIS-Business-Case“ des EU Forschungsprojektes „Demo4Grid“ [8] mehrere mögliche Varianten der Wasserstoffherstellung für die Zillertalbahn entwickelt. Der „Demo-4Grid“ Business-Case zur Wasserstoffherstellung sieht den Bezug von elektrischer Energie

- aus Stromnetzregelung,
- dem Kauf günstiger elektrischer Energie auf der Strombörse zu Schwachlastzeiten (z. B. in der Nacht) und
- die Einbindung eines regionalen Laufwasserkraftwerkes mit Direktleitung

vor. Der produzierte Wasserstoff kann somit nicht nur als Brennstoff, sondern auch als Speicherstoff verstanden werden. Die Speicherfähigkeit erlaubt es damit sehr günstigen Strom für die Elektrolyse einzukaufen (gemäß Bild 4).

Variante A zur Wasserstoffherstellung für die Zillertalbahn sieht eine Eigenherstellung des Wasserstoffs durch die Zillertaler Verkehrsbetriebe AG vor. Hier wird der Strom direkt von der Strombörse bezogen. Eine derzeit gültige gesetzliche Ausnahmeregelung für Elektrolyseure und Pumpspeicherkraftwerke sieht für diese Anwendungen keine Netzgebühren vor, was sehr günstige Strompreise ermöglicht.

Variante B sieht einen lokalen Betreiber vor, der die elektrische Energie von im Zillertal vorhandenen Laufwasserkraftwerken mit Direktleitung bezieht. Wiederum kann aufgrund des Wegfalles von Netzgebühren ein sehr günstiger Strompreis erreicht werden. Zudem hat der Betreiber die Möglichkeit, im Bedarfsfall Strom aus dem Netz an der Strombörse zuzukaufen. Auch der Einsatz der Anlagen zur Netzregelung ist möglich. »

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Green Energy Center Europe / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

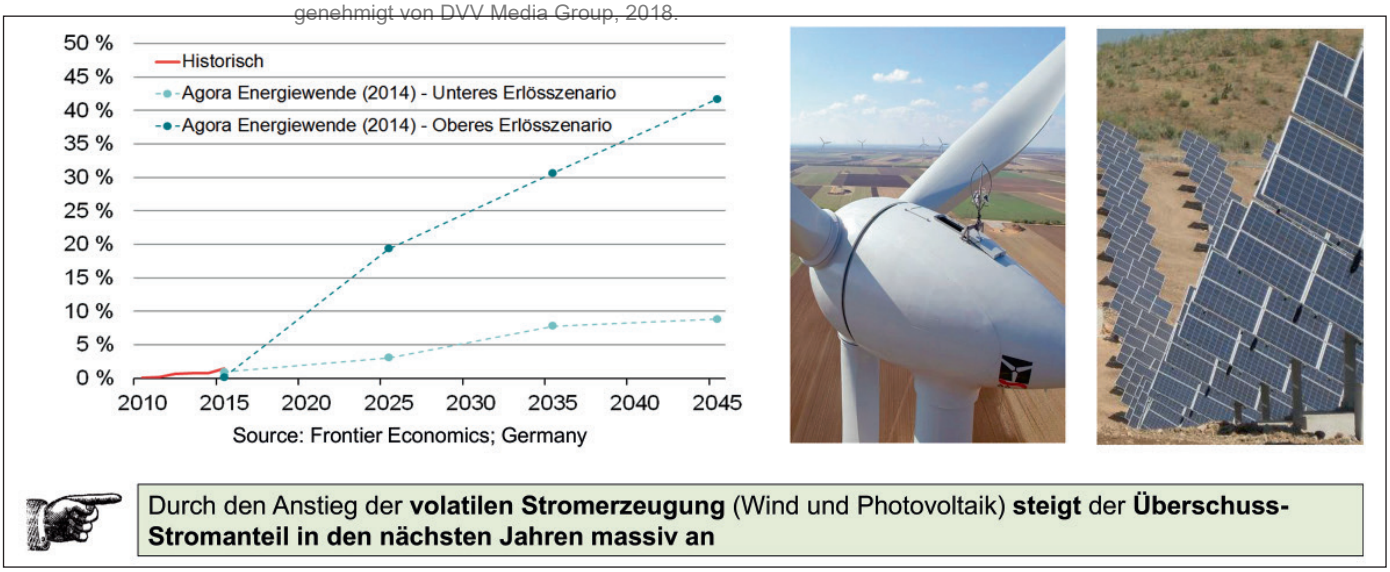

BILD 4: Ressourcenwirtschaft: Überkapazitäten zur allzeitigen Leistungsbereitstellung

Variante C sieht die Kooperation mit einem großen Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) vor. Einem solchen Betreiber ist es möglich, die Anlage in einen großen Kraftwerkspark zu integrieren. Aus diesem kann Überschussstrom und Strom aus Laufwasserkraft über Leitungen ohne Netzgebühren bezogen werden. Es kann Strom an der Strombörse zugekauft werden. Darüber hinaus können Netzregelungsdienste angeboten werden. Es ist somit möglich, eine komplette Wasserstoffwirtschaft mit Wasserstoff-Herstellung, -Speicherung und -Distribution für Bahn, Bus, LKW und PKW aufzubauen. Auch der anfallende Sauerstoff kann für Kläranlagen und Industrieprozesse genutzt werden, sowie die anfallende Abwärme einer regionalen Verwertung zugeführt werden. Angedacht ist hier etwa die Beheizung des renovierten Schwimmbades in Mayrhofen. Daraus ergeben sich große Synergiepotentiale und folglich mögliche günstige Wasserstoffpreise.

Ein gewichtiges Motiv für EVUs sich dem Thema Wasserstoff zu widmen, ist dabei der große Anstieg der volatilen Stromerzeugung, von vor allem Wind und Photovoltaik am europäischen Strommarkt. Diese führen zu einer massiven Steigerung des Überschuss-Stromanteils in den nächsten Jahren (siehe Bild 4).

Szenario Oberleitung

In ersten Prognoserechnungen wurde der durchschnittliche Energiebedarf für die Variante Oberleitung mit 4.022 MWh pro Jahr ermittelt. Durch das vorgegebene Bedarfsprofil sind bei der Energiebeschaffung hier keine Freiheitsgrade zur Optimierung vorhanden und aufgrund des Fahrbetriebs zu Peak-Zeiten von 06:00 bis 22:00 Uhr „hohe" Energiekosten zu erwarten.

Szenario Wasserstoff

Der wasserstoffelektrische Betrieb benötigt im Durchschnitt 500 kgH_2 pro Tag. An Tagen mit großem Heiz- bzw. Kühlbedarf wird von einem Wasserstoffbedarf von 600 kgH_2 pro Tag ausgegangen. Für ein Jahr werden somit im Mittel 9890 MWh an elektrischer Energie benötigt. Durch die Möglichkeit der Zwischenspeicherung des produzierten Wasserstoffes, sind wesentliche Freiheitsgrade zur Optimierung der Strombeschaffung vorhanden – Stichwort Sektorenkopplung. Zudem können unter Umständen bei Variante C in Kooperation zusätzliche Standortvorteile genutzt werden, sowie Erlöse am Regelenergiemarkt erzielt werden. Damit sind im Vergleich zum Szenario Oberleitung, deutlich niedrigere Energiekosten zu erwarten. Der günstige Strompreis gepaart, mit dem Mehrbedarf an elektrischer Energie, führt in Summe zu ähnlichen Stromgesamtkosten beider Szenarien.

SICHERHEIT DER WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

Molekularer Wasserstoff mit der chemischen Formel H_2 ist ein ungiftiges – nicht wassergefährdendes, nicht krebserregendes und leicht abbaubares – und geruchloses Gas. Er besitzt eine hohe Flüchtigkeit. Das heißt, dass er sich bei Austritt umgehend in der Umgebungsluft verteilt und damit rasch ungefährlich wird. Daher ergibt sich eine geringere Explosionsgefahr als bei Benzin (siehe Bild 5). Im Freien kann Wasserstoff faktisch nicht zur Explosion gebracht werden. Zudem werden die Gefahren bei einem Feuer durch die Kombination der Verbrennungs- und Diffusionseigenschaften im Vergleich zu einem Feuer bei dem Benzin im Spiel ist minimiert.

Wasserstofftanks sind eigensicher für den Fall, dass eine Leitung (ab)reißt. Innenliegende Druckminderer sorgen in diesem Fall für einen langsamen Austritt des Wasserstoffs. Im Falle einer Entzündung des austretenden Wasserstoffs, erfolgt ein Abbrand mit fast unsichtbarer Flamme ohne nennenswerte Wärmestrahlung. Zudem gibt es strenge europäische Regelungen für die Zulassung von Wasserstofftanks. Die Freisetzung großer Mengen von Wasserstoff aus Drucktanks ist daher sehr unwahrscheinlich.

VERKEHRSDIENSTEVERTRAG

Die Finanzierung der neuen wasserstoffbetriebenen Triebzüge soll über einen noch zu verhandelnden Verkehrsdienstevertrag (VDV) erfolgen. Dieser Verkehrsdienstevertrag (VDV) soll zwischen der Zillertaler Verkehrsbetriebe AG (ZVB AG) und der Schieneninfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft mbH (SCHIG mbH) bzw. der Verkehrsverbund Tirol GesmbH (VVT) abgeschlossen werden. Der VDV ist mittlerweile fertig kalkuliert und befindet sich derzeit im Sondierungsstadium. Die Ergebnisse der Kalkulation zeigen eindeutig, dass der Wasserstoffantrieb mit rund 30% reduzierten Kosten pro Sitzplatzkilometer deutlich günstiger ist als der Dieselantrieb, und mit rund 3% reduzierten Kosten pro Sitzplatzkilometer günstiger ist als ein herkömmlicher Elektrotriebzug mit konventioneller Fahrleitungsanlage. Der Wasserstoffantrieb stellt somit die günstigste Traktionsform dar.

AUSSCHREIBUNG UND BEGLEITENDE FORSCHUNG

AUSSCHREIBUNG DER ZUGGARNITUREN

Die Ausschreibung zur Entwicklung und Lieferung von 5 Wasserstoff-Triebwagen-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Green Energy Center Europe / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

BILD 5:
Sicherheit der Wasserstofftechnologie

zügen samt Option auf Abruf bis zu 3 weiterer Wasserstoff-Triebwagenzüge erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. Im Detail umfasst der Auftrag fünf bis acht vierteilige Wasserstoff-Elektrotriebwagenzüge mit der Spurweite von 760 mm. Die etwa 75 m langen Triebzüge sollen durchgängig begehbar und weitgehend niederflurig sein. Der Antrieb der Triebzüge soll mit Wasserstoff über Brennstoffzellen und ersatzweise mit fahrdrahtloser Elektroenergie erfolgen.

Dieses Vergabeverfahren ist zweistufig. In der 1. Stufe werden die besten Bewerber für die Einladung zur Angebotslegung ausgewählt – Präqualifikation und Bieterauswahl. In der 2. Stufe werden die ausgewählten Bieter zur Angebotslegung eingeladen, anschließend folgen Verhandlungen über den gesamten Vertragsinhalt und die Wahl des Bestbieters.

Für das Verhandlungsverfahren nach Aufruf zum Wettbewerb im Sektoren-Oberschwellenbereich des BVergG wurde am 6. März 2018 die „Stufe 1 Präqualifikation" europaweit über die Plattform SIMAP und tirolweit im Boten für Tirol bekanntgemacht. Schlusstermin für den Eingang der Teilnahmeanträge bei der vergebenden Stelle CHG Rechtsanwälte (Dr. Gast) ist der 13. April 2018, 12 Uhr.

Stufe 2 der Angebotslegung und die zugehörigen Verhandlungen starten Mitte 2018 mit einer Angebotsfrist bis Ende 2018. Der Vertragsabschluss des Lieferauftrages ist für Februar 2019 geplant.

Die Qualitätssicherung des Fahrzeugherstellers erfolgt durch eine unabhängige Kontrolle von FEN-SYSTEMS und HyCentA.

WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITUNG IM PROJEKT HYTRAIN

Wissenschaftlich begleitet wird das Projekt im präevaluierten FFG Forschungsprojekt HyTrain der Vorzeigeregion Energie „Wasserstoffinitiative Vorzeigeregion Austria" (WIVA). Im Projekt wird ein Konzept für die Wasserstoffbetankungsinfrastruktur und einen Wasserstoff Antriebsstrang entwickelt und am Fahrzeug getestet. Zudem unterlaufen alle wichtigen Systemkomponenten Tests in den Prüfständen von HyCentA in Graz. Als Projektstart ist der 5. Mai 2018 avisiert.

AUSSCHREIBUNG DER WASSERSTOFF-INFRASTRUKTUR

Die Ausschreibung der Wasserstoffinfrastruktur für Speicherung und Distribution erfolgt gemeinschaftlich durch die Partner ZVB AG, CHG Rechtsanwälte, FEN-SYSTEMS und HyCentA basierend auf dem Konzept des Projektes HyTrain.

ZUSAMMENFASSUNG

In der durchgeführten Vorstudie konnte die Machbarkeit der Vision „Zillertalbahn 2020+ Energieautonom mit Wasserstoff" bestätigt werden. Die verantwortungsvolle Entwicklung eines Wasserstoff-Elektrotriebwagenzuges ist anspruchsvoll, aber machbar. Den Mehrkosten der Fahrzeuge und der zusätzlich notwendigen Wasserstoff-Infrastruktur stehen Einsparungen der nicht benötigten teuren Oberleitungsinfrastruktur gegenüber. Auch die Gesamtkosten der Energiebereitstellung sind in etwa auf gleichem Niveau. So kann der Mehrbedarf an elektrischer Energie über einen günstigeren Strompreis kompensiert werden. Die Energiekosten beider Varianten sind jeweils deutlich günstiger als der Dieselbetrieb. Der Wasserstoffantrieb stellt die wirtschaftlich günstigste Traktionsform dar.

Die planmäßige Inbetriebnahme der neuen Garnituren soll mit Winterfahrplan 2022 erfolgen. ◀

Literatur

[1] DI Torsten Neumann, VVT; DI Dr. Alfred Lintner, Land Tirol, DI (FH) Georg Tollinger, ZVB AG; Studie „Projektbericht zur Attraktivierung der Zillertalbahn 2020+" Juli 2015
[2] Green Energy Center Europe in Innsbruck: https://www.green-energy-center.com/
[3] FEN-SYSTEMS: FEN Sustain Systems GmbH; http://www.fen-systems.com/
[4] HyCentA: Hydrogen Center Austria; http://www.hycenta.at
[5] Molinari: Molinari Rail Austria GmbH; http://www.molinari-rail.com
[6] DIN EN 50163: Bahnanwendungen – Speisespannungen von Bahnnetzen
[7] Eichlseder, H., Klell, M.; Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung
[8] EU-Projekt „Demo4Grid": Demonstration for Grid Services – Production of Green Hydrogen & Greening of Industry; https://www.demo4grid.eu/
[9] Silvano Pozzi Ballard; Proven Fuel Cell Design Boosts Durability and Performance

▶ SUMMARY

Zillertal railway 2020+ Independent Hydrogen Energy

Vehicles from the 80's transport about 2.46 mio passengers per year on the 32 km narrow-gauge railway Zillertalbahn from Jenbach to Mayrhofen. The ageing vehicle stock has been facing a tense traffic situation in the valley leading to a continuously increasing number of railway passengers. Therefore, within the project "Zillertalbahn 2020+ Independent Hydrogen Energy", the railway infrastructure shall be renewed and the railway vehicles shall be electrified. As power transmission lines and the belonging additional pylons are not welcome in the valley used by tourists, the required energy shall be provided by "Green Hydrogen".