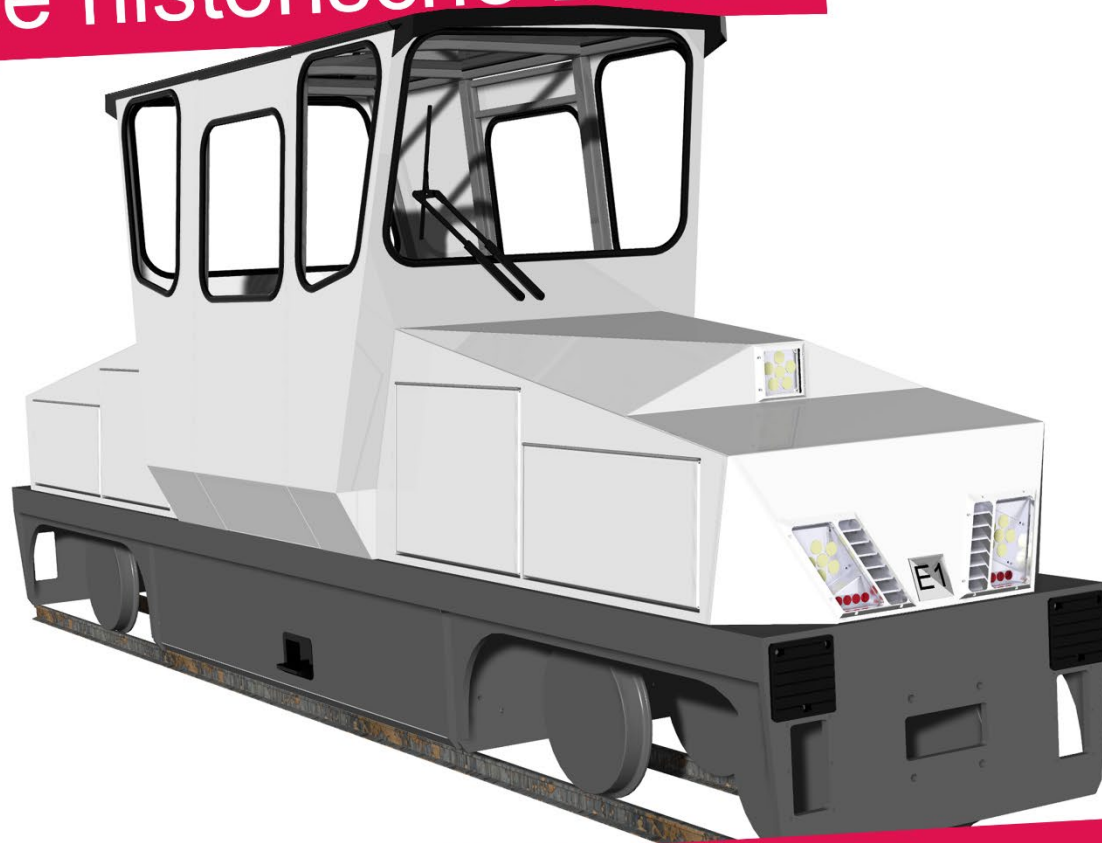


Fortschrittliche Technologie
für eine historische Bahn:



Wie alternative Antriebe
die Liliputbahn ökologisieren.

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Der Status-Quo..... | 2 |
| 1.1. | Die Eisenbahn als CO ₂ Emittent..... | 3 |
| 1.2. | Die Liliputbahn..... | 4 |
| 2. | Die Technologien..... | 5 |
| 2.1. | Batteriebetriebene Elektrolokomotive..... | 6 |
| 2.1.1. | Batteriebetriebene Fahrzeuge im Einsatz bei der Liliputbahn..... | 7 |
| 2.1.2. | Funktionsweise einer batteriebetriebenen Elektrolokomotive..... | 8 |
| 2.1.3. | Vor- und Nachteile von batteriebetriebenen Schienenfahrzeugen..... | 9 |
| 2.2. | Wasserstoffbetriebene Elektrolokomotiven..... | 10 |
| 2.2.1. | Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge im Einsatz bei der Liliputbahn..... | 11 |
| 2.2.2. | Funktionsweise einer wasserstoffbetriebenen Elektrolokomotive..... | 12 |
| 2.2.3. | Vor- und Nachteile von wasserstoffbetriebenen Schienenfahrzeugen..... | 13 |
| 2.3. | Dampflokomotiven und Ecoal..... | 14 |
| 2.3.1. | Ecoal..... | 15 |
| 3. | Ausblick in die Zukunft..... | 16 |

Der Status-Quo

1.1. Die Eisenbahn als CO₂ Emittent

Der Verkehrssektor ist einer der größten Verursacher von Treibhausgasemissionen und somit ein wesentlicher Faktor für den Klimawandel. In diesem Kontext spielt die Eisenbahnindustrie eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung des Klimawandels und der Umstellung auf nachhaltige Mobilität. In den letzten Jahren hat die Eisenbahnindustrie bedeutende technologische Fortschritte gemacht, um ihre Betriebsprozesse effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten. Die Implementierung von erneuerbaren Energiequellen, verbesserte Energierückgewinnungssysteme, optimierte Streckenführung und leistungsfähigere Züge sind einige Beispiele für technologische Entwicklungen in der Eisenbahnindustrie. Diese technologischen Fortschritte tragen zur Verkehrswende bei, indem sie alternative und nachhaltige Transportmöglichkeiten fördern.

Die Liliputbahn im Prater ist zwar in der kollektiven Wahrnehmung kein Verkehrsmittel im klassischen Sinn. Mit ihren bis zu 200.000 jährlichen Fahrgästen kann sie aber durchaus als eines gesehen werden. Der technologische Fortschritt spielt deshalb auch hier eine große Rolle und ist für eine Bahn wie die Liliputbahn besonders heikel. Die Bahn ist seit beinahe 95 Jahren in Betrieb, gilt als Institution im Prater und hat als solchen enormen historischen Wert.

Dieser Bericht beschreibt wie verschiedene Technologien in einer Balance aus Wahrung des historischen Wertes und effizientem und ökologischem Betrieb implementiert werden sollen.

1.2. Die Liliputbahn

Die Liliputbahn im Prater ist eine der bekanntesten Attraktionen in Wien und eine der ältesten noch in Betrieb befindlichen Miniatureisenbahnen der Welt. Sie wurde im Jahr 1928 erbaut und wurde seitdem zu einem wichtigen Teil des Freizeitangebots im Prater.

Die Liliputbahn ist eine Schmalspurbahn mit einer Spurweite von nur 381 mm, was ihr den Namen "Liliputbahn" einbrachte. Die Strecke ist 3,9 km lang und führt durch den Prater, vom Hauptbahnhof, nahe dem Riesenrad zur Endstation nahe dem Ernst-Happel Stadion. Die Fahrt mit der Liliputbahn ist eine besondere Attraktion für Kinder und Erwachsene gleichermaßen und dauert pro Runde in etwa 20 Minuten.

Der Fahrzeugpark der Liliputbahn ist historisch gewachsen und besteht aus Dampf- und Diesellokomotiven, einer Elektrolokomotive und mehreren Hilfsfahrzeugen sowie vier Personenzuggarnituren. Die zwei Dampflokomotiven aus dem Jahr 1928 sind seitdem kontinuierlich in Betrieb und werden aufwändig in Stand gehalten und gepflegt. Die Liliputbahn hat 1957 ihre erste Diesellokomotive angeschafft, um die sehr wartungsaufwendigen Dampflokomotiven zu entlasten und mehr Kapazitäten an besucherintensiven Tagen zu schaffen. In den darauffolgenden Jahren ist die Zahl der Diesellokomotiven auf vier Stück angewachsen. Sie bilden aktuell das Rückgrat des Betriebs; die Dampflokomotiven verkehren nur noch an Wochenenden. Mittlerweile haben auch die Diesellokomotiven einen hohen historischen Wert. Nicht nur deswegen, sondern auch wegen des mit fortschreitendem Alter zunehmendem Wartungsaufwand und der Umwelt- und Lärmbelastung ist ein zeitgemäßer Ersatz sinnvoll.

Einzigartig ist die Ausstattung der Liliputbahn, denn sie ist in ihrer Machart eine maßstäbliche Verkleinerung der großen Eisenbahn. Als solche bietet sie außerdem ein optimales Umfeld zur Erprobung neuer Technologien die später Einzug in die Fahrzeuge der großen Bahn finden werden.

Die Technologien

2.1. Batteriebetriebene Elektrolokomotive

Die jüngeren Entwicklungen in der Mobilität versuchen in erster Linie die Effizienz zu steigern und gleichzeitig die Emissionen zu verringern. Die Kerntechnologie auf die sich ein Großteil neuer Lösungen, allen voran jene der Autoindustrie stützen sind elektrische Antriebe und Akkus zur Energiespeicherung. Infolgedessen sind die Kosten für Akkus und Infrastruktur gesunken, was die Implementierung in anderen Branchen ermöglicht. Auch in der Bahnindustrie hat man die Möglichkeiten von batteriebetriebenen Fahrzeugen erkannt und begonnen verschiedene Lösungen zu entwickeln.

Bei normalspurigen Eisenbahnen sind batteriebetriebene Fahrzeuge als Ersatz für dieselbetriebene Fahrzeuge angedacht. Diese bedienen vorrangig einspurige Nebenbahnen, für die ein geringes Fahrgastaufkommen typisch ist. Dieses niedrige Fahrgastaufkommen macht eine klassische Elektrifizierung mittels Oberleitung nicht rentabel. Will man trotzdem einen CO₂-freien Betrieb einrichten muss man auf andere Technologien zurückgreifen.

Batteriebetriebene Züge sind eine gangbare Alternative. Der technische Aufbau solcher Fahrzeuge ist im Grunde jenem einer konventionellen Elektrolokomotive entsprungen. Der signifikante Unterschied ist die Energiezufuhr; während konventionelle Elektrolokomotiven ihre Energie aus einer Oberleitung oder Stromschiene beziehen, nutzen Batteriebetriebene Fahrzeuge einen internen Akku.

2.1.1. Batteriebetriebene Fahrzeuge im Einsatz bei der Liliputbahn

Die Liliputbahn hat das Potential dieser Technologie früh erkannt. Das Projekt ECOlok umfasst die Entwicklung einer batteriebetriebenen Elektrolokomotive für Parkeisenbahnen. Dadurch wird der Fuhrpark drastisch modernisiert.

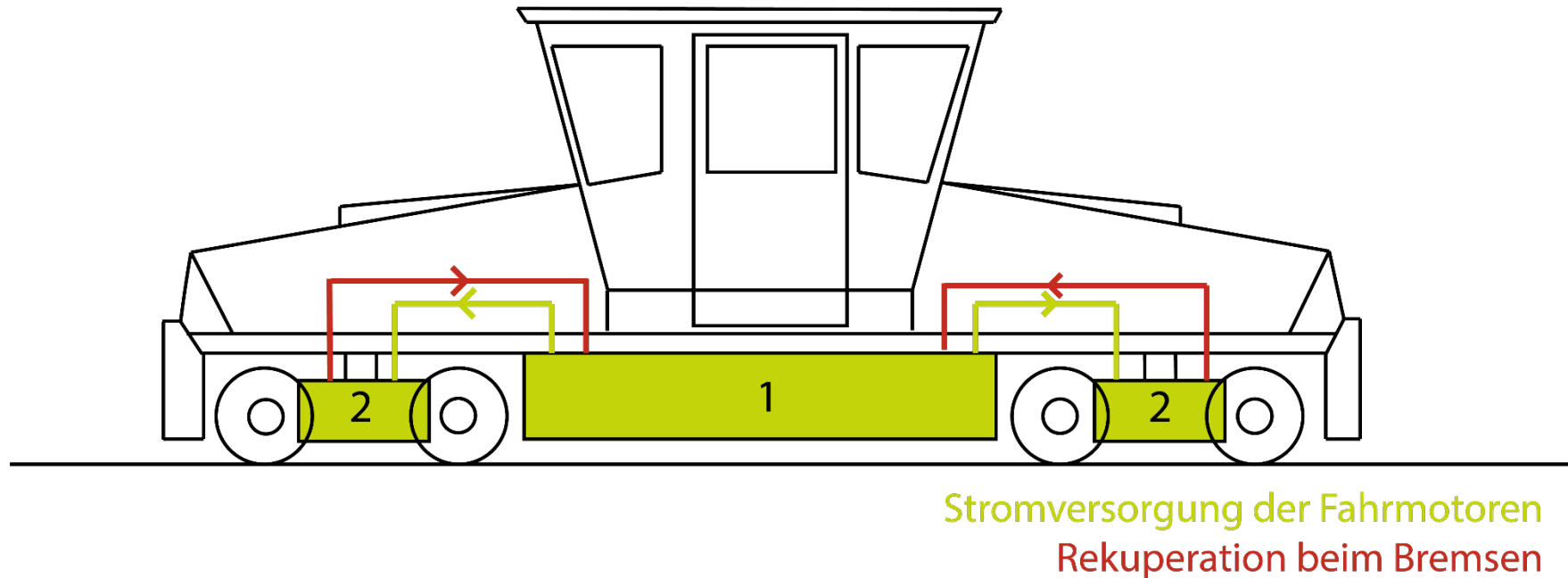
Die Liliputbahn im Prater verkehrt einerseits durch vielbesuchtes Areal im Bereich des Wurstel Praters, als auch ein großes naturbelassenes Waldstück. Für beides ist die direkte Emissions- aber auch Lärmbelastung durch die aktuellen Dieselfahrzeuge suboptimal. Durch die Verwendung von Elektrolokomotiven wird diese Problematik komplett beseitigt, was sowohl für die Besucher als auch das Ökosystem des Praters sehr positiv ist.

Durch die Verwendung elektrischer Antriebe verringert sich der Wartungsaufwand, da die Anzahl der beweglichen Komponenten signifikant reduziert wird. Verstärkt wird dies durch die Umsetzung von aufwendigen, aber effizienten technischen Lösungen, vor allem im Bereich der Antriebstechnik.

Der Wirkungsgrad der Fahrzeuge verdreifacht sich in etwa. Während Verbrennungsmotoren einen Wirkungsgrad von rund 30% haben, ist jener von Elektromotoren in Bereichen um 90% angesiedelt. Zusätzlich wird durch Rekuperation der Energieverbrauch weiter reduziert. Dabei wird der Antriebsmotor als Generator verwendet, welcher beim Bremsen elektrischen Strom zurück in die Fahrzeugbatterie speist.

Die Entwicklung eines solchen Fahrzeuges ist komplex und benötigt mehrere Jahre bis zur Einsatzreife. Eine Investition nicht nur in den Fahrzeugpark, sondern vor allem in die Zukunft der Liliputbahn.

2.1.2. Funktionsweise einer batteriebetriebenen Elektrolokomotive



Die Batterie (1) sitzt zwischen den Drehgestellen der Lokomotive. Sie wird über Nacht geladen und besitzt ausreichend Kapazität für zwei Betriebstage. Wird die Lokomotive mit Strom aus Wasserkraft, Photovoltaik-Anlagen oder Windkraft geladen ist der Betrieb CO₂-frei. Der Strom aus der Batterie wird durch entsprechende Leistungselektronik gewandelt und treibt die Antriebsmotoren an. Wird gebremst werden die Motoren als Generatoren genutzt und speisen Strom zurück in die Batterie.

2.1.3. Vor- und Nachteile von batteriebetriebenen Schienenfahrzeugen

- + CO₂-freier Betrieb auf nicht-elektrifizierten Strecken: Die Liliputbahn ist für eine Elektrifizierung mittels Oberleitung oder Stromschiene nicht geeignet. Batteriebetriebene Lokomotiven ermöglichen einen elektrischen Betrieb ohne Oberleitung oder Stromschiene.
- + Keine Emissions- und Lärmbelastung: Dies ist vor allem in einem Naherholungsgebiet wie dem Wiener Prater von großer Relevanz.
- + Signifikant effizienterer Betrieb: Durch die Wahl eines elektrischen Antriebs kann der Wirkungsgrad gesteigert und infolgedessen der Energieverbrauch gesenkt werden.
- + Wartungsärmere Fahrzeuge: Die Anzahl der beweglichen Komponenten, also jene die Verschleiß unterliegen und dem entsprechend ersetzt werden müssen wird reduziert.

- Komplexeres Fahrzeug: Der Einsatz von vielen neuen Lösungen erhöht die Komplexität der Lokomotive.
- Aufwendige Entwicklung: Für die Entwicklung solcher Lokomotiven ist viel technisches Knowhow und Expertise gefordert.
- Begrenzte Reichweite: Die Akkus zur Energiespeicherung sind platzintensiv und schwer. Dadurch sind ihrem Einsatz zwei Grenzen gesetzt: Einerseits Limitierungen durch den verfügbaren Platz zur Unterbringung der Akkus, andererseits Gewichtslimitierungen, da Schienenfahrzeuge gewisse Massebeschränkungen einhalten müssen.

2.2. Wasserstoffbetriebene Elektrolokomotiven

Vor allem die limitierte Reichweite von batteriebetriebenen Fahrzeugen aufgrund der Platz- und Gewichtsbeschränkungen führte dazu, dass andere Lösungen mit höheren Energiekapazitäten gesucht wurden. Wasserstoff-Brennstoffzellen ermöglichen diese höheren Speicherkapazitäten. In der Automobilbranche haben sich Akkus so weit durchgesetzt, in anderen Branchen unter anderem der Eisenbahn gelten Brennstoffzellen als vielversprechende Zukunftstechnologie.

Wasserstoffbetriebene Züge sind ebenso wie batteriebetriebene Züge für nicht elektrifizierte Strecken vorgesehen. Ihr großer Vorteil gegenüber Schienenfahrzeugen mit Akku besteht in der gesteigerten Reichweite. Während die ÖBB mit einer batteriebetriebenen S-Bahn Garnitur eine realistische Reichweite von 160km erreicht, können wasserstoffbetriebene Züge Reichweiten von über 1000 km erreichen.

Weiters benötigen sie weitaus kürzere Ladezeiten. Batteriebetriebene Züge benötigen für eine Ladung mehrere Stunden, im Vergleich dazu dauert das Tanken eines Zuges mit Wasserstoff in etwa 15 Minuten. Damit werden Standzeiten deutlich reduziert und die Effizienz gesteigert.

Brennstoffzellen sind in der Energieerzeugung emissionsfrei. Sie erzeugen aus Wasserstoff elektrischen Strom. Bei diesem Prozess entstehen keine Abgase, die Reaktion erzeugt als einzige Abfallprodukte Wasser und Abwärme.

2.2.1. Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge im Einsatz bei der Liliputbahn

Im Bereich dieser Technologie kommt der Liliputbahn eine Vorreiterrolle zu. Im Jahr 2018 wurde die erste wasserstoffbetriebene Elektrolokomotive Österreichs in Betrieb gestellt. Dieses Projekt ist nicht nur wegen des technologischen Fortschritts einzigartig, sondern auch wegen des Zeitrahmens, in dem es umgesetzt wurde. Die Lokomotive wurde innerhalb von zwei Monaten in Betrieb gestellt.

Die Lokomotive und die dazugehörige Brennstoffzelle wurden umfangreichen Tests unterzogen, die vor allem die Eignung für den Schienenfahrzeugbau aber auch die Funktionstüchtigkeit unter Beweis stellen sollte. Die Erfahrungen, die während der Testfahrten gesammelt wurden, waren durchaus positiv. Die Technologie hat sich als sehr solide und verlässlich gezeigt.

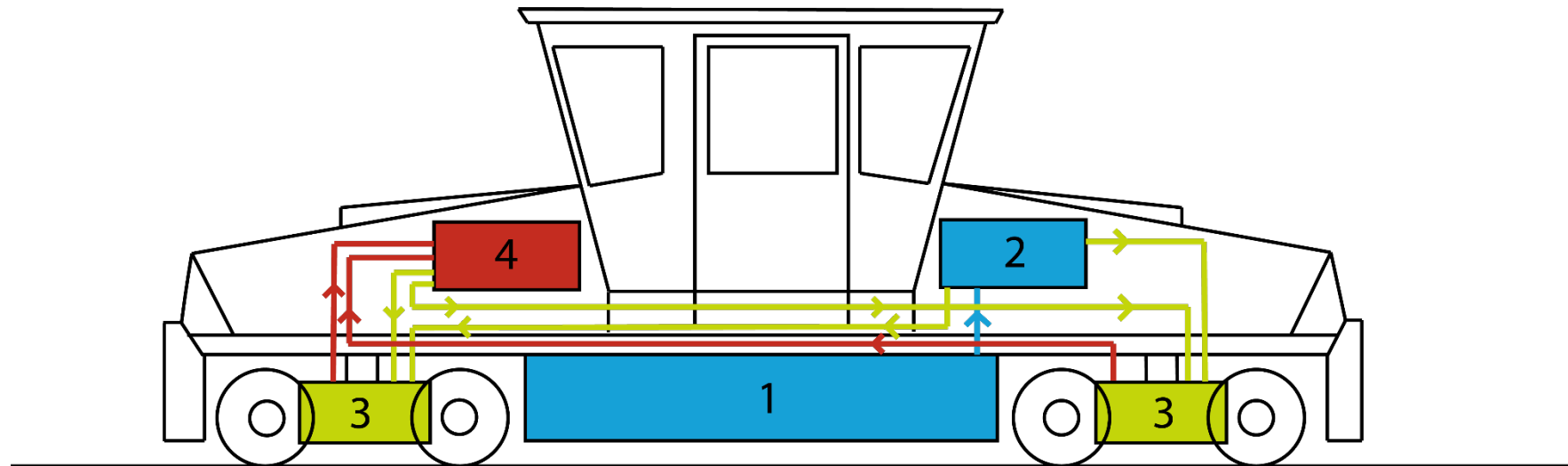
Wie bei den batteriebetriebenen Lokomotiven sind Elektrolokomotiven mit Brennstoffzellen effizient, da der Antrieb ebenfalls Elektromotoren benutzt, wodurch auch der Wartungsaufwand verringert wird.

Die Brennstoffzelle benötigt zur Energieerzeugung Wasserstoff. Dieser ist in seiner Herstellung sehr energieaufwendig, was dazu führt, dass der Wirkungsgrad des gesamten Antriebs in etwa jenem einer modernen Diesellokomotive gleichkommt. Im Vergleich zu einer Diesellokomotive ist das zwar keine Verschlechterung, verglichen mit batteriebetriebenen Elektrolokomotiven allerdings ein großer Schwachpunkt.

Die Versorgung und Handhabung von Wasserstoff sind deutlich komplexer. Wasserstoff ist hochexplosiv, was zur Folge hat, dass die Infrastruktur umgerüstet werden muss, Abstellanlagen z.B. belüftet werden müssen. Gelagert wird der Wasserstoff in teuren Tanks und die Mitarbeiter müssen speziell geschult werden.

All diese Nachteile führten zur Entscheidung batteriebetriebenen Elektrolokomotiven für die Liliputbahn den Vorzug zu geben.

2.2.2. Funktionsweise einer wasserstoffbetriebenen Elektrolokomotive



Wasserstoffkreislauf

Stromversorgung der Fahrmotoren

Rekuperation beim Bremsen und Batteriespeicher

Der Wasserstofftank (1) muss speziell verstärkt und geschützt untergebracht werden, sodass dieser im Falle eines Unfalles nicht beschädigt wird. Der Wasserstofftank beliefert die Brennstoffzelle (2) mit Wasserstoff. Diese erzeugt daraus elektrischen Strom der durch entsprechende Leistungselektronik für die Fahrmotoren (3) aufgearbeitet wird. Für rekuperatives Bremsen besitzen auch Lokomotiven mit Brennstoffzellen einen Akku (4), verglichen mit batteriebetriebenen Lokomotiven ist dieser allerdings deutlich kleiner. Wird gebremst, wird der Fahrmotor als Generator verwendet und speist damit eben jene Batterie, die dann die Brennstoffzelle unterstützen oder das Bordstromnetz speisen kann.

2.2.3. Vor- und Nachteile von wasserstoffbetriebenen Schienenfahrzeugen

- + Hohe Reichweite: die Reichweite von wasserstoffbetriebenen Elektrolokomotiven ist in erster Linie durch die Größe der Tanks begrenzt. Reichweiten von mehr als 1000 km sind für normalspurige Fahrzeuge durchaus möglich.
- + Keine Emissions- und Lärmbelastung: Wasserstoffzüge sind vor Ort emissionsfrei. Auf nicht elektrifizierten Strecken, wo aktuell Diesellokomotiven verkehren, ist dies eine sehr positive Entwicklung. Brennstoffzellen sind verglichen mit Diesellokomotiven zusätzlich sehr leise und damit für den Einsatz im Wiener Prater optimal, da Lärm- und Emissionsbelastung beseitigt wird.
- + Wird der Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erzeugt ist der Betrieb von wasserstoffbetriebenen Elektrolokomotiven CO₂-neutral.
- + Durch rekuperatives Bremsen wird der Energieverbrauch gesenkt.
- + Durch die Verwendung von Elektromotoren wird die Anzahl der verschleißenden Komponenten und damit der Wartungsaufwand reduziert.

- Komplexer Fahrzeugaufbau: der durchaus schwierige Umgang mit Wasserstoff erfordert aufwendige Lösungen. Die Brennstoffzelle ist genauso wie das Gesamtsystem, mit Speicherbatterie sehr komplex.
- Aufwendige Entwicklung: Für die Entwicklung solcher Lokomotiven ist viel technisches Knowhow und Expertise gefordert.
- Spezielle Ausrüstung der Infrastruktur für die Gegebenheiten von Wasserstoff.

2.3. Dampflokomotiven und Ecoal

Im Jahr 1928 als die Liliputbahn eröffnet wurde waren Dampflokomotiven der Standard, Diesellokomotiven befanden sich erst am Beginn ihrer Entwicklung und elektrifizierte Eisenbahnen fanden zunehmend Verbreitung. Krauss & Co, ein Hersteller für Schienenfahrzeuge war auf dem Gebiet der Dampflokomotiven führend und entwickelte in den 20er Jahren ein im Maßstab 1:3 verkleinerte Version einer Dampflokomotive für Park- und Ausstellungenbahnen. Für die Liliputbahn im Prater wurden drei Stück dieser Dampflokomotive angeschafft.

Während eine der drei Dampflokomotiven 1962 in eine Diesellokomotive umgebaut wurde, befinden sich die anderen zwei Lokomotiven Da1 und Da2 immer noch im Regelbetrieb. Sie verkehren meist wochenends und sind die Hauptattraktion der Liliputbahn.

Dampflokomotiven erzeugen ihre Kraft durch die Verbrennung von Kohle. Dadurch ergeben sich eine Vielzahl von Nachteilen. Dampflokomotiven haben einen sehr schlechten Wirkungsgrad von unter 10%. Zu dem folglich sehr hohen Energieverbrauch kommt der CO₂-Ausstoß bei der Verbrennung hinzu. Dampflokomotiven werden überwiegend mit Kohle, also fossilen Brennstoffen betrieben.

Die Liliputbahn ist bestrebt die Emissionsbelastung durch den Betrieb kontinuierlich zu reduzieren und wo möglich zu beseitigen. Für die Dampflokomotiven bedeutet das entweder das Stilllegen und damit den Verlust einer Attraktion und Teil des historischen Erbes der Bahn aber auch des Praters oder der Umstieg auf einen anderen Brennstoff.

Da das Ausscheiden aus dem Betrieb nicht zur Option stand, musste eine Alternative zur verwendeten Kohle gefunden werden. Fündig wurde man bei einem Hersteller aus England.

2.3.1. Ecoal

Das Produkt Ecoal ist ein Brennstoff der konventionelle Kohle ersetzen soll. Er besteht bis zu 50% aus nachwachsenden Rohstoffen, vorrangig Olivenkernen, zu 50% aus einem Abfallprodukt der Kohleindustrie. Damit wird nicht nur der CO₂-Einfluss um 50% gesenkt, sondern auch Abfallprodukte einer weiteren Verwendung zugeführt.

Brennstoffe für Dampflokomotiven müssen sehr hohen Anforderungen gerecht werden. Zum einen ist eine sehr konstante Flamme mit hoher Hitzentwicklung, zum anderen ein möglichst geringer Verbrauch gefordert. Die Kohle, soll möglichst rückstandslos verbrennen und darf die Rohre der Dampflokomotive nicht verdrecken. Für den Einsatz auf der Liliputbahn ist zusätzlich eine möglichst geringe Rauch- und Geruchsentwicklung von Nöten, da die Bahn im Einklang mit dem Naherholungsgebiet Prater funktionieren muss.

Ob dieses neue Produkt diese hohen Ansprüche erfüllen kann, muss sich erst durch intensives Testen unter verschiedenen Bedingungen nötig.

Ein Ausblick in die Zukunft

Die Liliputbahn geht entschlossen voran in eine Emissionsfreie und ökologischere Zukunft. Sie ist dabei nicht nur Anwender neuer Technologien, sondern zugleich auch Brut- und Entwicklungsstätte für solche. Damit leistet sie einen wertvollen Beitrag für den Fortschritt im Bereich der Park- und Vergnügungsbahnbranche aber auch der ganzen Schienenfahrzeugbranche.

In den nächsten Jahren werden bis zu drei Stück elektrischer Lokomotiven gebaut und damit der Betrieb von Diesellokomotiven auf emissionsfreie Fahrzeuge umgestellt. Diese Investition stellt die Zukunft der Bahn sicher.