

Überschüsse aus Erneuerbaren Energien zur Basis für nachhaltige Mobilitätskonzepte?

Auszug einer Studie am Beispiel der Azoreninsel Graciosa

OLIVER ARNHOLD

Bei steigender Verbreitung Erneuerbarer Energien (EE) kann zunehmend nicht der gesamte Energieertrag der EE ausgeschöpft werden. Am Beispiel der zukünftigen Erneuerbaren-Energie-Insel Graciosa wurde die Nutzung von regenerativen Energieüberschüssen im Mobilitätssektor analysiert. Batterieelektrische Fahrzeuge mit unterschiedlichen Auflademöglichkeiten und Gasfahrzeuge auf Basis erneuerbar erzeugtem Methan wurden einem konventionellen Referenzszenario gegenüber gestellt. Die Berechnungsergebnisse umfassen die spezifischen Mobilitätskosten, die CO₂-Emissionen und den Bedarf an Primärenergie. Die alternativen Fahrzeugkonzepte können unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen von der regenerativen Überschussenergie profitieren.

Motivation

Graciosa, eine der kleinsten Azoreninseln, wird aktuell zu ca. 15 % mit Windenergie und zu 85 % durch einen Dieselgenerator mit Elektrizität versorgt. Im Jahr 2013 soll ein Erneuerbares Energiesystem installiert werden, welches ab dann ca. 85 % des elektrischen Energiebedarfs decken wird. Die Younicos AG entwickelt dieses Energiesystem, was hauptsächlich aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen (PV) bestehen wird. Eine Natrium-Schwefel-Batterie (NaS) und ein Dieselgenerator stellen die Versorgungssicherheit auf der Insel sicher. Trotz eines intelligenten Managements der Erzeugungs- und Speicherkomponenten ist mit einer Überschussenergie von ca. 30 % (bezogen auf die potentiell

mögliche Energiebereitstellung) zu rechnen. Das geplante Projekt auf Graciosa konzentriert sich bisher auf den Elektrizitätsbereich. Im Rahmen von zwei Studien am Reiner Lemoine Institut wurde die Nutzung dieser Energieüberschüsse im Mobilitätsbereich untersucht.

Grundlagen der Untersuchung

Die von den ca. 4500 Einwohnern Graciosas benötigte elektrische Leistung beträgt maximal 3 MW. Zukünftig wird die Hauptlast der Insel mit ca. 1 MWp PV und ca. 9 MW installierter Windleistung gedeckt. Wenn die Erzeugung den Energiebedarf übersteigt, wird zunächst die NaS-Batterie mit einer Kapazität von 18 MWh geladen, diese gespeicherte Energie kann dann in Zeiten der Unterdeckung genutzt werden. Ist die Batterie vollständig aufgeladen, müssen die Erneuerbaren Energieanlagen aberegelt werden, um die Netzstabilität sicherzustellen. Potentiell stünden jedoch die in der Abbildung 1 gezeigte Leistung und Energie für weitere Anwendungen bereit.

Über ein gesamtes Jahr stünden ca. 10,4 GWh, das sind 43 % des Energiebedarfs auf Graciosa, für ein nachhaltiges Mobilitätskonzept zur Verfügung. Die Leistungsüberschüsse schwanken stark zwischen 0 MW und maximal 6,2 MW, im Mittel sind es 1,2 MW. An 5413 Stunden des Jahres (62 % der Zeit) steht allerdings keine Überschussleistung zur Verfügung. Da Graciosa keine elektrische Verbindung zum Festland besitzt, steht in Zeiten des Energiemangels nur der Dieselgenerator zur Verfügung.

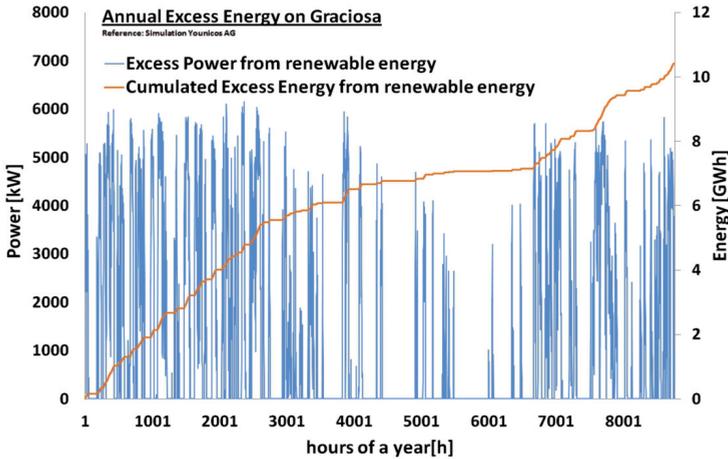


Abbildung 1: Potentielle Überschussleistung (blau, linke Achse) und kumulierte Überschussenergie (orange, rechte Achse) für ein beispielhaftes Jahr auf Graciosa mit einem Erneuerbaren Energiesystem

Untersuchte Fahrzeugkonzepte

Auf Graciosa werden derzeit ca. 2250 Fahrzeuge betrieben. In dieser Studie wurden drei Fahrzeugkonzepte hinsichtlich ihres Primärenergieverbrauches in Bezug auf die vorhandenen Energieüberschüsse untersucht. Außerdem konnten mit Hilfe eines Kostenmodells die Wirtschaftlichkeit abgeschätzt und die CO₂-Emissionen bewertet werden.

Fahrzeuge mit konventionellem Dieselmotor

Als Basisszenario für die Untersuchungen wurden konventionelle Dieselfahrzeuge herangezogen, die im Flottendurchschnitt die Emissionsrichtlinien der Europäischen Union für das Jahr 2015 einhalten. Die Energie für den Betrieb der Fahrzeuge wird über den Import von Diesel fossilen Ursprungs gedeckt.

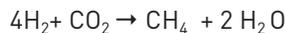
Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Elektrofahrzeuge werden über einen oder mehrere Elektromotoren angetrieben. Die Antriebsenergie wird über einen elektro-chemischen Speicher (Batterie) bereitgestellt. Größter Vorteil der Fahrzeuge ist die lokale Emissionsfreiheit und die Möglichkeit vor Ort erzeugte, regenerative Energie direkt zu nutzen. Derzeitige Hemmnisse für eine große

Marktdurchdringung sind die hohen Kosten für die Batterien und die geringe Reichweite der Fahrzeuge. Letzteres sollte jedoch auf einer Insel mit einer Ausdehnung von 8 x 12 km nicht von großer Bedeutung sein.

Erdgasfahrzeuge, betrieben mit erneuerbar erzeugtem Methan (RPM)

Erdgasfahrzeuge werden meistens von einem Ottomotor angetrieben. Das Erdgas wird gasförmig mit einem Druck von ca. 200 bar in speziellen Tanks gespeichert. Der Hauptbestandteil von Erdgas ist Methan (CH₄). Dieses kann auch regenerativ über Elektrolyse und dem sogenannten Sabatier-Prozess (siehe Gleichung 1) aus Wasserstoff (H₂) und Kohlendioxid (CO₂) hergestellt werden und verhält sich im Verbrennungsprozess identisch zu Erdgas.



Gleichung 1: Sabatier-Reaktion für die regenerative Methanherstellung.

Das so erhaltene erneuerbar erzeugte Methan wird im Englischen als Renewable Power Methane (RPM) bezeichnet. Der hohe Anteil von Wasserstoff im Verhältnis zu Kohlenstoff, macht Methan zu dem am saubersten verbrennenden Kohlenwasserstoff. Der benötigte Wasserstoff wird mittels

Elektrolyse mit einem Wirkungsgrad von ca. 63 % hergestellt. Der darauf folgende Sabatierprozess kann Wirkungsgrade von 75 % bis 85 % erreichen, sodass ein Gesamtwirkungsgrad von Überschussenergie zu Methan von 47 % bis 54 % erreicht werden kann.

Auf Graciosa sind weder ein Gasverteilnetz noch entsprechende Speicher vorhanden. Bei der Realisierung einer auf Methan basierenden Mobilität müsste diese Infrastruktur errichtet werden. Größter Vorteil einer solchen Fahrzeugflotte ist die Tatsache, dass diese Fahrzeuge von vielen Herstellern und zu akzeptablen Preisen am Markt verfügbar sind.

Berechnung der Szenarien

Die für diese Studie erstellte Simulation basiert auf den Programmen Matlab und Simulink von MathWorks. Das Flussdiagramm in der Abbildung 2 beschreibt den Ablauf der Berechnung. Das Berechnungsmodell besteht aus zwei Teilen. Im

ersten Teil wird der Energieverbrauch der verschiedenen Fahrzeugkonzepte nach dem neuen Europäischen Fahrzyklus (NEDC) berechnet. Für die Ermittlung des stündlichen Energiebedarfs der Fahrzeuge für ein gesamtes Jahr ist die Art der Fahrzeugnutzung von entscheidender Bedeutung. Um ein solches Jahresfahrprofil abschätzen zu können, wurden statistische Daten der portugiesischen Automobilvereinigung (Associação Automóvel de Portugal) und des regionalen Wissenschaftssekretariats (Secretaria Regional da Ciência) verwendet. Dieses Jahresfahrprofil wurde anschließend mit den Ergebnissen der Studie Mobilität in Deutschland 2008 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt verifiziert. In Anbetracht der Inselgröße wurden darüber hinaus gewisse Randbedingungen definiert. Unter anderem wurde die tägliche Fahrleistung auf max. 60 km begrenzt und ausschließlich private Fahrzeugnutzung betrachtet.

Im zweiten Teil der Simulation wird das ermittelte Fahrzeugbedarfsprofil der zur Verfügung stehenden Überschussenergie gegenübergestellt, wobei

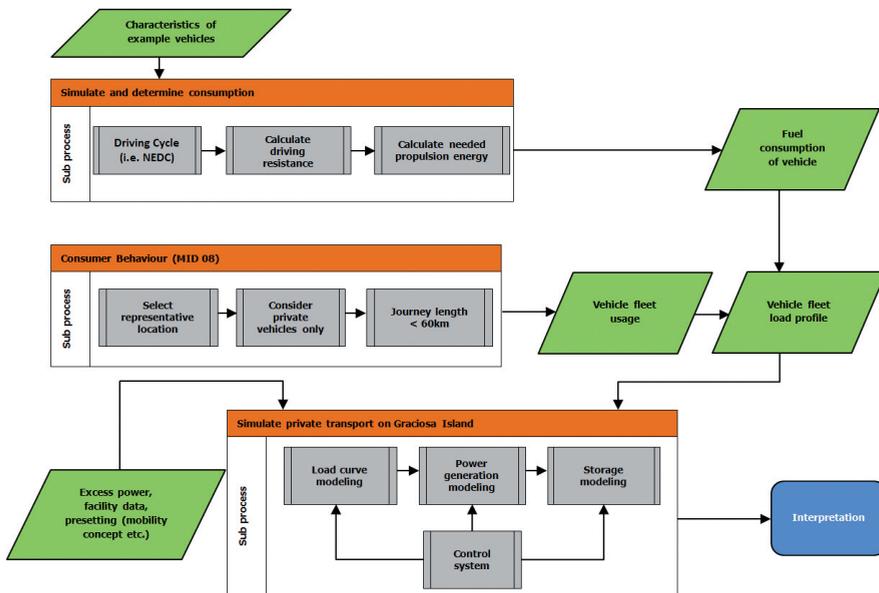


Abbildung 2: Flussdiagramm der Berechnung. Aus den Fahrzeugparametern und dem Fahrverhalten auf Graciosa wird der Verbrauch einer entsprechenden Fahrzeugflotte abgeschätzt. Dieser wird dann in einer zweiten Simulation der zur Verfügung stehenden Überschussenergie gegenübergestellt. Auf dieser Basis können der Energieverbrauch, spezifische Kosten und die CO₂-Emissionen berechnet werden

$$LCOM = \frac{Capex_{vehicle} * crf_{vehicle} + Capex_{infr.} * crf_{infr.} + Opex_{fix}}{FD} + Opex_{var} + Opex_{fuel} \quad \text{(Gleichung 2a)}$$

$$crf_{vehicle} = \frac{WACC * (1+WACC)^{N_{vehicle}}}{(1+WACC)^{N_{vehicle}} - 1} \quad \text{(Gleichung 2b)}$$

$$crf_{infr.} = \frac{WACC * (1+WACC)^N}{(1+WACC)^N - 1} \quad \text{(Gleichung 2c)}$$

$$WACC = \frac{E}{E+D} * k_E + \frac{D}{E+D} * k_D \quad \text{(Gleichung 2d)}$$

$$Opex_{fuel} = Fuel_i * \frac{\sum_{i=1}^N (1+r_{fuel})^i}{\sum_{i=1}^N (1+WACC)^i} \quad \text{(Gleichung 2e)}$$

Gleichung 2: Spezifische Mobilitätskosten (Levelized cost of mobility [LCOM]). Die Abkürzungen bedeuten: Flottenfahrstrecke (FD), Fahrzeuglebensdauer ($N_{vehicle}$), Infrastrukturlebensdauer (N), Laufvariable für das Jahr (i), Fahrzeuganschaffungskosten ($Capex_{vehicle}$), Infrastrukturausgaben ($Capex_{infr.}$), laufende Infrastrukturwartungskosten ($Opex_{ix}$), laufende Fahrzeugwartungskosten ($Opex_{var}$), Annuitätsfaktor Fahrzeuge ($crf_{vehicle}$), Annuitätsfaktor Infrastruktur ($crf_{infr.}$), durchschnittliche Kapitalkosten (WACC), Eigenkapital (E), Fremdkapital (D), Eigenkapitalquote (k_E), Fremdkapitalquote (k_D), Kraftstoffkosten im Jahr i pro km ($Fuel_i$), durchschnittliche Kraftstoffkosten pro km ($Opex_{fuel}$) und jährliche nominale Kraftstoffpreisteigerung (r_{fuel})

sichtbar wird, ob zusätzliche Energie für die Fahrzeu ge aufgewendet werden muss. Außerdem werden verschiedene Ladestrategien entwickelt. Diese Berechnungen werden stets über ein gesamtes Kalenderjahr betrachtet und in einer stündlichen Auflösung durchgeführt.

Kostenmodell

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der alternativen Fahrzeugkonzepte werden in einem Kostenmodell die spezifischen Mobilitätskosten (englisch: Levelized Cost Of Mobility (LCOM)) ermittelt. Dabei werden alle aktuellen und zukünftigen Geldflüsse auf den heutigen Geldwert bezogen und ins Verhältnis zur zurückgelegten Fahrstrecke gesetzt. Das Ergebnis wird in Euro pro Kilometer angegeben und beinhaltet sowohl die Ausgaben für das Fahrzeug, als auch die Ausgaben für zusätzlichen Kraftstoff, für Infrastruktur sowie deren Wartung. Betrachtungszeitraum sind 20 Jahre ab 2015.

Die Kosten für die Überschussenergie werden in dieser Studie für Graciosa mit Null Euro und die Kosten für mittels Dieselgenerator erzeugte zusätzliche Energie mit 0,27 €/kWhel definiert. Dies entspricht einem Dieselpreis (für die Stromerzeugung) von 0,65 €/l, einem Wirkungsgrad des Die-

selgenerators von ca. 30 % und hieraus resultierende CO₂-Emissionen von 900 g/kWh. Die Fahrzeugkosten sind dem 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) entnommen. Die NPE schätzt den Preis für konventionelle Dieselfahrzeuge für das Jahr 2014 auf 19.615 € für die Kompaktklasse und 33.497 € für die obere Mittelklasse und Großraumlimousinen. Für Erdgasfahrzeuge ist mit Mehrkosten von höchstens 10 % zu rechnen. Der Preis für die batterieelektrischen Fahrzeuge (BEV) ist ebenfalls der NPE entnommen, jedoch noch auf die bereits genannten Fahrzeugklassen standardisiert. Für die folgenden Berechnungen wurden 33.065 € für die Kompaktklasse und 48.533 € für die obere Mittelklasse bzw. Großraumlimousinen angenommen. Die Infrastrukturkosten für die Herstellung von erneuerbarem Methan können perspektivisch 2000 €/kW_{el} erreichen, bei aktuellen Forschungsanlagen liegen die Kosten höher. Die Wartung dieser Anlagen wurde mit 60 – 180 € pro Jahr und kW_{el} abgeschätzt.

Ergebnisse

Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Das Aufladen der BEV kann auf unterschiedliche Arten geschehen. Die einfachste Möglichkeit ist

die Fahrzeuge sofort zu laden, wenn diese an das Elektrizitätsnetz angeschlossen werden. Im einfachsten Fall genügt dazu eine gewöhnliche Steckdose. Zusätzliche Infrastruktur wird dabei nicht benötigt. Nachteilig ist, dass möglicherweise das Stromnetz zu stark belastet wird, wenn viele Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Eine Möglichkeit dieses Problem zu umgehen ist geregelte Fahrzeugaufladung, im Folgenden Lastmanagement (LM) genannt. Beim LM wird, wenn nicht genügend regenerativ erzeugte Leistung zur Verfügung steht, die Ladeleistung reduziert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder erhöht.

In der beschriebenen Studie wird die Ladeleistung um maximal 40 % abgesenkt. Außerdem kann lediglich die Energiemenge eines durchschnittlichen Tagesbedarfes zeitlich verschoben werden. Eine Erweiterung des LM ist das bidirektionale Laden (englisch: Vehicle-to-Grid (V2G)). Dabei können nicht benötigte Fahrzeuge begrenzte Energiemengen an das Versorgungsnetz zurückspeisen, um dieses zu stabilisieren. In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass maximal 50 % der stehenden Fahrzeuge am V2G teilnehmen. Voraussetzungen für das LM als auch für das V2G sind regelbare Ladeeinrichtungen mit einer Anbindung an ein Kommunikationssystem. Ziel beider Regelstrategien ist die Reduzierung fossiler Zusatzenergie.

In der Abbildung 3 sind für einen ausgewählten Zehn-Tageszeitraum das Ladeprofil für die BEV (grau und schwarz), die Überschüsse aus Erneuerbaren Energien (blau) und die Dieselenergieleistung (rot) dargestellt.

In der Phase I ist die Überschussenergie ausreichend, V2G und LM sind inaktiv. Wenn die Überschussenergie nicht ausreichend ist, reduziert das LM die Ladeleistung der Fahrzeuge. Durch das V2G unterstützen bereits aufgeladene Fahrzeuge, die nicht verwendet werden, die dringend aufzuladenden Fahrzeuge (Phase II). In der Phase III hat das LM die Begrenzung erreicht und steht nicht mehr zur Verfügung, V2G ist weiterhin aktiv. Wenn auch das V2G-Konzept die Begrenzung erreicht, müssen die BEV vom Dieselenergiegenerator aufgeladen werden (Phase IV). Ist anschließend wieder genügend regenerative Überschussenergie vorhanden, wird in Phase V die durch das LM "verzögerte" Ladeleistung nachgeladen (Ausschlag der schwarzen Kurve), der virtuelle Großspeicher des V2G wird aufgeladen (Ausschlag grüne Kurve). In Phase VI ist das LM-Defizit ausgeglichen. Der virtuelle Großspeicher des V2G wird weiterhin aufgeladen.

Für die nachfolgenden Betrachtungen werden die Anteile für LM und V2G variiert. Tabelle 1 zeigt die gewählten Parameter.

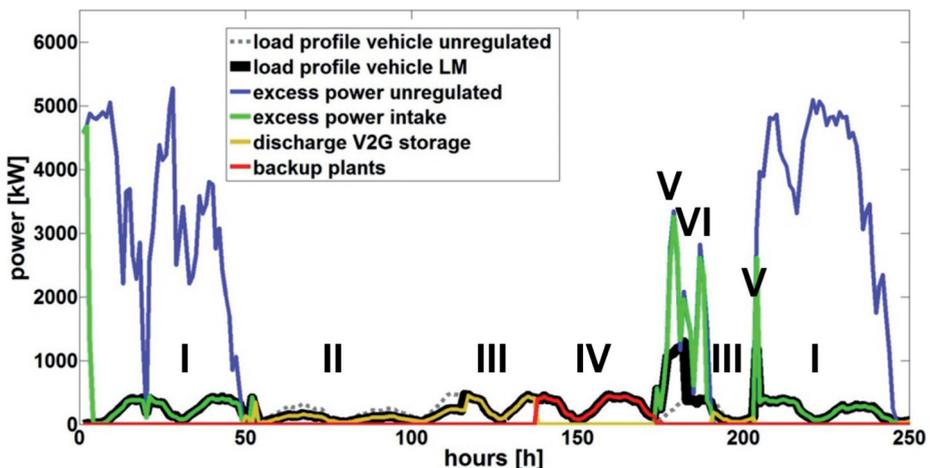


Abbildung 3: Unterschiedliche Ladekonzepte für BEV am Beispiel eines Zehn-Tageszeitraumes auf Graciosa

Szenario	Parameter
BEV 1	kein V2G, kein LM
BEV 2	10 % V2G, kein LM
BEV 3	30 % V2G, kein LM
BEV 4	50 % V2G, kein LM
BEV 5	kein V2G, 20 % LM
BEV 6	kein V2G, 40 % LM
BEV 7	50 % V2G, 40 % LM

Tabelle 1: Parameter für die BEV-Szenarien dargestellt in den Abbildungen 4 bis 6

Szenario	Speichergröße
RPM 1 2.600	Nm ³
RPM 2 7.700	Nm ³
RPM 3 12.800	Nm ³
RPM 4 95.000	Nm ³
RPM FFV	95.000 Nm ³

Tabelle 2: Gewählte Parameter für die Renewable Power Methane-Szenarien (RPM) die in den Abbildungen 4 bis 6 dargestellt sind. Im Szenario 5 können die Fahrzeuge sowohl mit Methan als auch mit Benzin betankt werden [Englisch: Flexi-Fuel Vehicle FFV].

Erdgasfahrzeuge, betrieben mit erneuerbar erzeugtem Methan (RPM)

In den Szenarien für die Gasfahrzeuge wird die Überschussenergie in Form von Methan in Gas-

tanks gespeichert. Nachfolgend wird die Gas-speichergröße variiert. Tabelle 2 zeigt die Parame-ter der RPM-Szenarien 1 bis 4. Im letzten Szenario können die Gasfahrzeuge auch Benzin fossilen Ursprungs direkt verwenden. Diese Möglichkeit wird als bivalent (Englisch: FlexiFuel Vehicle FFV) bezeichnet.

Diesel-Verbrennungskraftmaschine

Alle alternativen Fahrzeugszenarien werden dem konventionellen Dieselszenario gegenüber gestellt. Dieses orientiert sich an den CO₂-Grenzwerten der Europäischen Union von 120 gCO₂/km für das Jahr 2015. Dies entspricht einem jährlichen Energiebe-darf der Dieselfahrzeugflotte auf Graciosa von ca. 4,7 GWh_{th}.

Energiebedarf der Fahrzeug-konzepte

Abbildung 4 zeigt den Energiebedarf der verschie-denen Fahrzeugkonzepte. In Rot dargestellt sind die benötigten fossilen Energiemengen. Die grün-ten Balken symbolisieren die genutzte regenerati-ve Überschussenergie. Auf Graciosa stehen mit dem Erneuerbaren Energiesystem jährlich ca. 10,4 GWh zur Verfügung (blau).

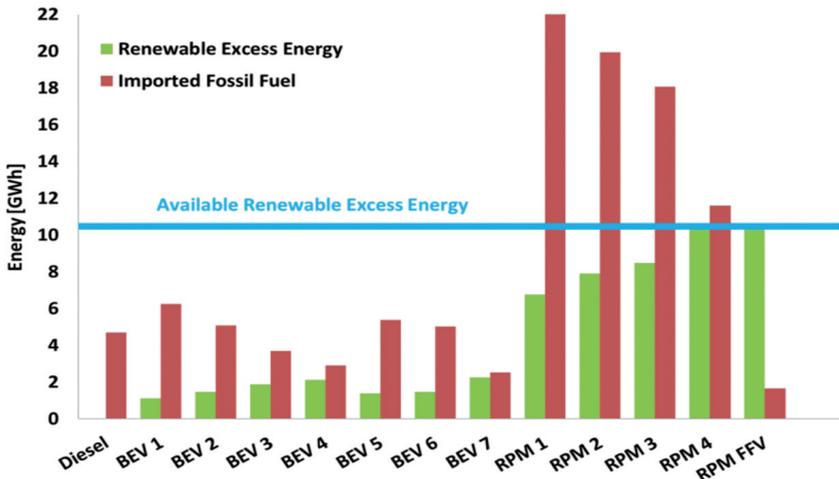


Abbildung 4: Energiebedarf der unterschiedlichen Fahrzeugkonzepte (erneuerbar / fossil)

Eine Auswahl der gewählten Parameter sind in Tabelle 1 und 2 zu finden.

Der Bedarf an fossiler Zusatzenergie ist in den ersten BEV-Szenarien ausgesprochen hoch. Mit steigendem Einsatz vom LM und besonders V2G kann der Bedarf an zusätzlicher fossiler Energie auf die Hälfte des Bedarfs des konventionellen Dieselszenarios reduziert werden. Die zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energieüberschüsse können BEV nicht vollständig nutzen.

Der Energiebedarf für die gasbetriebenen Fahrzeuge ist deutlich höher als im Referenz- und BEV-Szenario. Einerseits ist die wirkungsgradbehaftete Umwandlung von elektrischer Energie zu Methan ursächlich, andererseits ist der Verbrauch der Fahrzeuge, bedingt durch den geringeren Wirkungsgrad des Ottomotors, verantwortlich für den hohen Gesamtbedarf.

In den ersten drei RPM-Szenarien ist der Gasspeicher zu klein, um die gesamten regenerativen Energieüberschüsse zu speichern. Im vierten Szenario können die Überschüsse zwar vollständig genutzt werden, es wird jedoch noch eine erhebliche Menge an Zusatzenergie benötigt. Grund für den hohen Bedarf sind die Umwandlungsverluste. Die tatsächlich von den Fahrzeugen benötigte Energie

beträgt jedoch weniger als 2 GWh. Aus diesem Grund wird im Szenario RPM FFV die Methanbildung nur mit erneuerbaren Energieüberschüssen durchgeführt. Die verbleibende Zusatzenergie wird in Form von Benzin direkt vom FlexiFuel-Fahrzeug (FFV) getankt.

Die Umwandlungsverluste bei der Methanproduktion sind im Vergleich zur direkten Nutzung der Erneuerbaren Energien in BEV hoch. Die Energiespeicherung in Methan erlaubt jedoch das Überbrücken längerer Zeiträume bei energetischer Unterdeckung. Methan eignet sich daher, entsprechende Speicherkapazitäten vorausgesetzt, als saisonaler Speicher. Das Methanszenario mit bivalenten Fahrzeugen benötigt im zukünftigen regenerativen Energiesystem Graciosas die geringsten fossilen Energiemengen.

Kosten

Die Eingangsparameter für die bereits beschriebene Kostenrechnung sind wie folgt: 10 % Eigenkapitalrendite, 5 % Fremdkapitalkosten, Verhältnis von Eigen- zu Fremdkapital 20:80 ergibt gewichtete durchschnittliche Kosten für das Kapital (WACC) von 6,0 %, Lebensdauer der Fahrzeuge 10 Jahre, Lebensdauer der Infrastruktur 20 Jahre

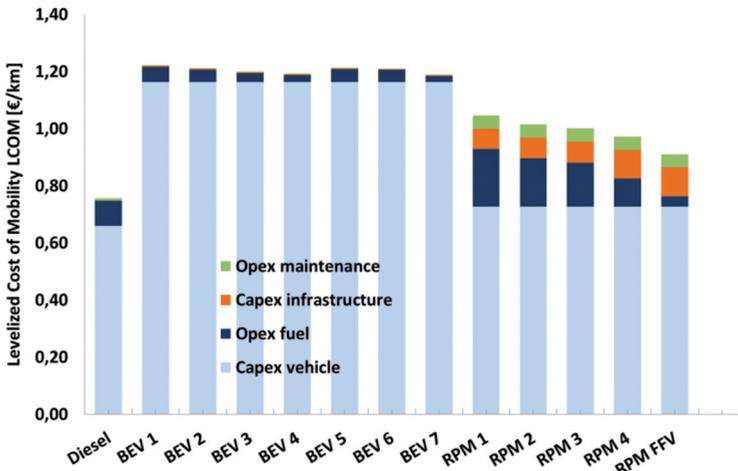


Abbildung 5: Spezifische Mobilitätskosten (Levelized cost of mobility (LCOM)) für die untersuchten Fahrzeugkonzepte.

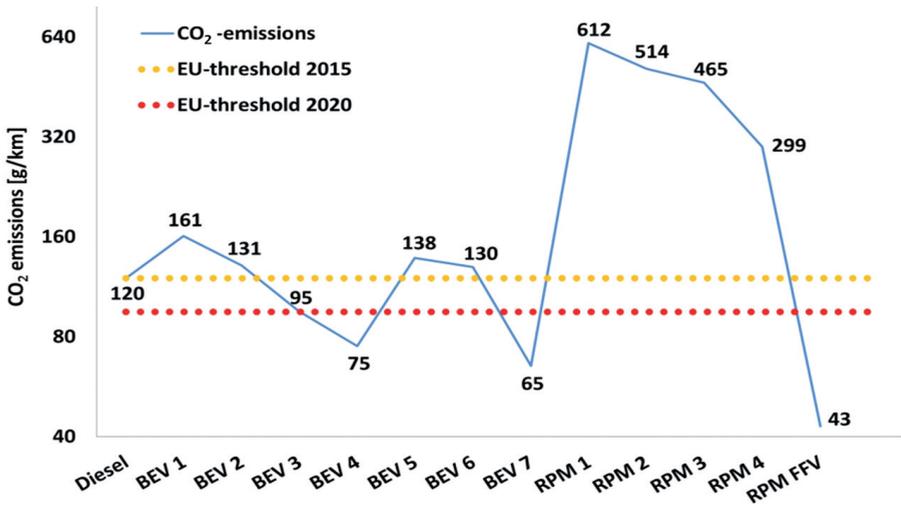


Abbildung 6: Spezifische CO₂-Emissionen der untersuchten Mobilitätskonzepte.

und eine nominale jährliche Preissteigerung für Erdöl von 7 %. Die spezifischen Mobilitätskosten der verschiedenen Fahrzeugkonzepte sind in der Abbildung 5 dargestellt.

Der größte Anteil der spezifischen Kosten entstammt in allen Szenarien den Ausgaben für die Fahrzeuge. Ursache ist die geringe Jahresfahrleistung von lediglich 5000 km pro Fahrzeug und Jahr auf Graciosa. Bei den BEV sind die Betriebskosten (Kraftstoff für den Dieselgenerator) gering, die Betriebskosten für die Wartung und die Investition in die Infrastruktur bei einer Betriebszeit von 20 Jahren fast zu vernachlässigen.

Die Kosten für die Infrastruktur und deren Wartung ist bei den RPM-Szenarios deutlich größer. Die Größe des Gasspeichers hat dabei einen signifikanten Einfluss. Die Möglichkeit die benötigte Zusatzenergie in Form von Benzin direkt im Fahrzeug zu verwenden, reduziert die Kraftstoffkosten deutlich. Die spezifischen Mobilitätskosten der möglichen alternativen Fahrzeugkonzepte auf Graciosa liegen über dem Niveau des konventionellen Dieselszenarios. Könnte eine vorhandene Erdgasinfrastruktur für den Transport und die Speicherung genutzt werden und läge die Jahresfahrleistung höher, würden die Ausgaben für die Fahrzeuge an Bedeutung verlieren. Die Ausgaben für den fossilen Kraftstoff

würden steigen und die alternativen Konzepte könnten ihre Vorteile besser ausspielen, dies kann für die kontinentalen Bedingungen erwartet werden.

CO₂-Emissionen

Bei der Bilanzierung von CO₂-Emissionen im Fahrzeugbereich wird meist zwischen der Tank-to-Wheel (vom Tank zum Rad) und der Well-to-Wheel Analyse (von der Quelle bis zum Rad) unterschieden. In dieser Studie sind als Bilanzraum die geografischen Grenzen der Insel gewählt. Dabei werden nur die Emissionen berücksichtigt, die direkt auf der Insel durch die Verwendung des importierten Kraftstoffs anfallen. Emissionen die durch die Gewinnung oder den Transport des Kraftstoffs anfallen, werden nicht berücksichtigt. Ebenfalls unberücksichtigt sind in dieser Studie die Emissionen, die bei der Herstellung der Fahrzeuge anfallen. Abbildung 6 zeigt die errechneten CO₂-Emissionen der Fahrzeugkonzepte. Zur Orientierung sind in dieser Abbildung auch die Tank-to-Wheel Grenzwerte der EU abgebildet.

Das Szenario der konventionellen Dieselfahrzeuge orientiert sich an den Richtlinien der EU für das Jahr 2015. Das Szenario BEV 1 würde mit 161

gCO₂/km relative hohe Emissionen erzeugen. Analog zur Auswertung des Energiebedarfs der Abbildung 4 ist der Einfluss des V2G sehr groß und ermöglicht das deutliche Unterschreiten der Grenzwerte. Voraussetzung ist, dass ca. 50 % der Fahrzeuge am V2G teilnehmen (Szenario 4 und 7). Die Gasfahrzeuge in den Szenarien 1 bis 4 würden außerordentlich hohe Emissionen erzeugen. Ursache ist die vereinzelt Verwendung von Diesel als Primärenergiequelle für die Methanisierung. Die Erzeugung von erneuerbarem Methan muss daher ausschließlich auf regenerativen Quellen basieren. Wenn fossile Kraftstoffe lediglich als Ergänzung direkt in den FlexiFuel-Fahrzeugen (FFV) verwendet werden, können jedoch geringe Emissionswerte erreicht werden.

Zusammenfassung

Es ist untersucht, inwieweit Überschüsse aus Erneuerbaren Energien als Basis für alternative Mobilitätskonzepte genutzt werden können. Beispielhaft steht die künftige Erneuerbare-Energien-Insel Graciosa Pate für diese Analysen. Ein Szenario mit konventionellen Dieselfahrzeugen ist Szenarien mit batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) und Gasfahrzeugen (betrieben mit erneuerbarem Methan) gegenübergestellt.

In Anbetracht der geringen Jahresfahrleistung auf Graciosa von 5.000 km pro Jahr und Fahrzeug sind die spezifischen Mobilitätskosten bei konventionellen Fahrzeugen mit 0,76 €/km am geringsten. Bei Gasfahrzeugen ist mit 0,97 €/km und bei BEV mit ca. 1,20 €/km zu rechnen. Der Bedarf an importiertem Dieselmotorkraftstoff kann bei BEV auf die Hälfte des konventionellen Dieselszenarios reduziert werden. Zwingende Voraussetzung ist dabei die intelligente Anbindung der Fahrzeuge an das Energienetz über Lastmanagement und vor allem Vehicle-to Grid. Analog dazu erreichen die BEV mit 75 gCO₂/km bzw. 65 gCO₂/km geringe Emissionswerte. Der Energieaufwand für die Herstellung synthetischen Methans ist erheblich. In dieser Analyse ist gezeigt, dass mit den Überschüs-

sen aus Erneuerbaren Energien dennoch fast der gesamte Bedarf einer Fahrzeugflotte auf Graciosa abgedeckt werden kann. Wenn der restliche Energiebedarf direkt durch die Nutzung Benzins fossilen Ursprungs im Fahrzeug gedeckt wird, sind CO₂-Emissionen von ca. 43 g/km möglich. Eine Verwendung von Diesel für den Methanisierungsprozess muss unter allen Umständen vermieden werden. Die Kosten der Methanisierung sind aktuell hoch, können jedoch perspektivisch eine interessante Ergänzung zu anderen alternativen Konzepten darstellen. Für Graciosa sind Kosten von 0,97 €/km errechnet. Hätten Gasfahrzeuge Zugang zu einer vorhandenen Gasinfrastruktur, könnten die Kosten weiter reduziert werden.

In der Zukunft sollten Überschüsse aus Erneuerbaren Energien, wenn immer möglich, direkt und mit hoher Effizienz für die elektrische Traktion von Fahrzeugen genutzt werden. Eine Versorgungssicherheit auf Basis Erneuerbarer Energien kann jedoch nur über saisonale Speicher erfolgen. Erneuerbar erzeugtes Methan eignet sich sehr gut als Speicher für den Mobilitätsbereich. Gelingt die Kombination der Vorteile beider Konzepte, können sowohl der Elektrizitätsbereich, als auch der Mobilitätsbereich von geringen Emissionen und langfristig stabilen Kosten profitieren.

Die Inhalte des vorangestellten Artikels sind Auszüge aus der Studie „Mobility Concepts Using Excess Power from Proposed Renewable Energy Supply System on Graciosa Island, Azores Archipelago“. Koautoren dieser Arbeit sind M. Hlusiak, F. Möhrke und Ch. Breyer.

Oliver Arnhold, studierte Fahrzeugtechnik und Erneuerbare Energiesysteme und ist im Reiner Lemoine Institut verantwortlich für den Bereich „Mobilität mit Erneuerbaren Energien“.
Kontakt: oliver.arnhold@rl-institut.de