



STREETSCOOTER

FEV



GreenREX



**Abschlussbericht Teilvorhaben der StreetScooter GmbH
(StS)**

Verbundprojekt: GreenREX - Elektrofahrzeug mit regenerativ
betriebenem On-Board-Energiewandler in Form eines
monovalenten Erdgasmotors

Förderkennzeichen: 01MY13001D

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



1. Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis	1
2.	Überblick.....	2
2.1	Aufgabenstellung	2
2.2	Voraussetzungen im Projekt.....	3
2.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
2.4	Stand der Technik.....	4
2.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
3.	Ergebnisbericht.....	6
3.1	Abgleich der erzielten Ergebnisse mit den Zielen und Aufwänden	6
3.2	Verwertung der Ergebnisse	7
3.3	Fortschritte in vergleichbaren Projekten	7
3.4	Veröffentlichungen.....	7



2. Überblick

2.1 Aufgabenstellung

StreetScooter baut Kraftfahrzeuge mit rein elektrischem Antrieb. Die Energie wird dabei bisher ausschließlich in einer Batterie gespeichert. Batterien haben den Nachteil, dass die Energiedichte im Vergleich zu anderen Energieträgern bzw. –speichern gering ist. Es besteht zwar die Möglichkeit die Batterie entsprechend groß zu dimensionieren. Dadurch steigen jedoch das Fahrzeuggewicht und Herstellungskosten stark an. Die Konkurrenz aus Reichweite, Fahrzeuggewicht und Herstellungskosten kann entspannt werden, wenn ein alternativer Motor installiert wird, der die entladene Traktionsbatterie wieder auflädt, indem er einen Generator antreibt. Somit lässt sich die Reichweite des Fahrzeuges erhöhen, weshalb der Verbrennungsmotor in diesem Antriebskonzept auch als „Range-Extender“ (Reichweitenverlängerer) bezeichnet wird.

Die Ergebnisse dieses Projektvorhabens sind:

- Integration es konventionellen Verbrennungsmotors als Range Extender
- Umbau dieses Konzeptes auf einen Biogasbetriebenen Motor
- Evaluation und Verifikation des Fahrzeugkonzepts mit GreenREX
- Bewertung der Kosten von reinem Elektrofahrzeug und Fahrzeug mit Biogas Range-Extender im Vergleich

2.1.1 Integration des Antriebes

Im Rahmen dieses Teilvorhabens soll ein Biogas Range-Extender in das Elektrofahrzeug StreetScooter Work integriert werden. Dazu werden im Fahrzeug die notwendigen Schnittstellen integriert und konstruktive Änderungen vorgenommen.

Da der Range-Extender mit Biogas erst im Rahmen des Gesamtvorhabens entsteht, wird für die Entwicklungen im Rahmen dieses Teilvorhabens zunächst ein Range-Extender Modul, das mit Ottokraftstoff (im Folgenden auch „Funktionsentwicklungsmodul“) betrieben wird, verwendet. Dieses Modul existiert bereits heute und besitzt zur Fahrzeugseite bezüglich Kommunikation, Elektrik, Kühlung und mechanischen Abmessungen weitgehend ähnliche Schnittstellen wie das Biogas-Modul. Dadurch können ein Großteil der Integrationsschnittstellen schon vor Fertigstellung des Biogas-Range-Extenders entwickelt werden und Fahrtests durchgeführt werden. Dadurch wird die Integrationsentwicklung über Konzeptphase, Lastenheft und Pflichtenheft hin zur physikalischen Integration bereits am Anfang des Projektes in Angriff genommen. Diese kann für die Integration des neuen GreenREX-Aggregats als Ausgangspunkt dienen. Bei der Integration der Range-Extender spielen die Schnittstellen des Fahrzeugs eine entscheidende Rolle. Es müssen zusätzliche Vorrichtungen wie Frischluftversorgung des Motors, ein Abgassystem, Tankvorrichtungen, ein Kühlkonzept und die mechanische Festigkeit gewährleistet werden. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei auch einem möglichst ruhigen Lauf des Motors. Das bestehende Aggregat auf Basis von Ottokraftstoff wurde dahingehend optimiert. Im Funktionsentwicklungsfahrzeug werden die Auswirkungen der Fahrzeugintegration auf Schall und Vibrationen des Motors untersucht.

Das primäre Ziel in diesem Projekt ist die Demonstration eines funktionsfähigen Elektrofahrzeugs, dessen Reichweite durch einen umweltfreundlichen Range-Extender

**STREETSCOOTER**

vergrößert wird. Zur Demonstration der Funktionsfähigkeit zählt nicht nur die Verdeutlichung der Machbarkeit, sondern auch die Validierung im Betrieb des Fahrzeuges.

2.1.2 Integration des GreenREX-Range-Extenders

Ziel des Teilprojektes ist es, den im Rahmen des Gesamtprojektes entstehenden Biogas Range-Extender in das bisher rein elektrisch betriebene Fahrzeug StreetScooter Work zu integrieren und als Fahrzeug aufzubauen. Dieses Fahrzeug dient dem Gesamtprojekt als funktionsfähiger Demonstrator, an dem Messungen im praxisnahen Betrieb durchgeführt werden.

Die Vorteile der Integration eines Biogas Range-Extenders in das Fahrzeug StreetScooter Work sind eine vergrößerte Reichweite unter Beibehaltung des Vorteils der CO₂-Neutralität des „Brennstoffs“ (bei entsprechender Ladung mit Ökostrom). Damit wird der potentielle Kundenkreis für Nutzfahrzeuge über den Einsatzbereich der Innenstadt hinaus deutlich erweitert. Über die Verbindung zu einem Elektroantrieb wird damit eine regenerative Brückentechnologie geschaffen, die die Verbreitung von reinen Elektrofahrzeugen beschleunigt. Da für Biogas bereits ein funktionierender Markt existiert, stellt die Verfügbarkeit des Kraftstoffs keine Hürde für die Kundenakzeptanz dar.

Im Zuge des Umbaus des Range-Extenders auf Biogas wird darauf geachtet möglichst die bereits aufgenommenen Probleme der Integration des Systems zu optimieren. Hauptpunkt der Integration ist die Änderung des Speichermediums. Das klassische Leitungs- und Tankkonzept des Benzinmotors muss gegen ein deutlich sensibleres Hochdruck-Gassystem getauscht werden. Hier sind vor allem im Sicherheitskonzept zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen.

2.2 Voraussetzungen im Projekt

Die StreetScooter GmbH ist ein Spin-off der RWTH Aachen University mit dem Ziel der Entwicklung eines batterieelektrischen, modularen Elektrofahrzeugs. Die Besonderheit des StreetScooter-Ansatzes ist dabei, dass nicht einfach ein bestehendes Fahrzeug oder bestehende Komponenten für die Elektromobilität angepasst werden, sondern dass ein völlig neues Fahrzeugkonzept im Purpose-Design, das die Anforderungen des elektrischen Antriebsstrangs und der urbanen Mobilität kompromisslos umsetzt, entwickelt wird. Die einzelnen technologischen Lösungen des StreetScooter-Konzepts sollen dabei so modular sein, dass sie in einem nächsten Schritt die Realisierung unterschiedlicher Fahrzeugmodelle wie bspw. eines Klein-Transporters als Endprodukte ermöglichen.

Von Beginn der Fahrzeugentwicklung an war das Thema "Produzierbarkeit" eine der wesentlichen Anforderungen. In erste Linie sollte ein bezahlbares Elektrofahrzeug entwickelt und industrialisiert werden: Es geht um "Kosteninnovationen" und nur sekundär um Technologieinnovationen. Die Prämisse ist: erst einmal ein marktfähiges Produkt schaffen (in erster Linie über den Preis), dieses erfolgreich in den Markt einführen und dann mit kapitalintensiven Innovationsprojekten beginnen. So kann gewährleistet werden, dass das Produkt über einen langen Zeitraum attraktiv bleibt und sich Investitionen in Innovationen amortisieren.

Zu Projektbeginn wurde eine Testfahrzeugflotte von 50 StreetScooter Work Elektrofahrzeugen aufgebaut, mit denen ausführliche Tests unter den harten Bedingungen des Postzustellbetriebs durchgeführt werden. Auf dieser Basis wurde auch das Fahrzeug für das GreenREX Projekt ausgewählt.

**STREETSCOOTER**

Die StreetScooter GmbH entwickelt und produziert für Flottenkunden speziell an deren Bedürfnisse angepasste Fahrzeuge, und ist somit mit den dazu erforderlichen TCO-Kostenrechnungen (Total Cost of Ownership) bestens vertraut.

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planungsphase des Vorhabens fand im Jahre 2013 statt, zu diesem Zeitpunkt befand sich die StreetScooter GmbH noch in einem frühen Stadium der Unternehmensentwicklung. So fand parallel zu den Arbeiten im Projekt GreenREX eine massive Weiterentwicklung der Technologieplattform statt. Das Fahrzeug, welches für den Range Extender aufgebaut wurde entspricht noch einem frühen Entwicklungsstand und kann mit der heutigen Plattform nicht mehr verglichen werden.

Im Zuge der Industrialisierung des StreetScooter „Work“ zu einem Zustellfahrzeug für die Deutsche Post DHL Group bot es sich an, dieses für den geplanten Flottentest zu nutzen.

Ursprünglich war das Projekt mit einer Laufzeit von 36 Monaten geplant. Um trotz der aufgetretenen Verzögerungen die während des Projektes aufgetreten sind, die Projektziele erreichen zu können, wurde das Projekt insgesamt aufwandneutrale um 9 Monate verlängert. Der Projektabschluss fand somit erst Ende 2018 statt.

2.4 Stand der Technik

Durch die hohen Umweltbelastungen des Straßenverkehrs sind alternative Fahrzeugantriebe immer wichtiger für die Zukunft des Automobilbaus geworden. Damit die vorgegebenen Umweltziele hier erreicht werden können, bieten sich CO₂-neutrale Antriebe an. Deshalb ist das Interesse der Verbraucher und somit auch der Hersteller in diese Antriebe stark gestiegen. Hauptgrund hierfür ist der Ausstoß klima- und gesundheitsschädlicher Gase und Partikel, welche von herkömmlichen Antriebskonzepten produziert werden. Durch die weiterhin wachsende Anzahl an Fahrzeugzulassungen steigen auch die Emissionen weiter an. Allein in Deutschland ist der Bestand an Personenkraftwagen von 1960 bis 2016 um 40.581.802 Fahrzeuge auf 45.071.209 gestiegen.

Um den Trend der wachsenden Anzahl an Zulassungen mit Schadstoffgrenzwerten in Einklang zu bringen, müssen in Zukunft emissionsfreie Antriebe einen größeren Anteil an den Neuzulassungen erreichen. Allerdings hat der reine Batterieantrieb immer noch den Nachteil, dass er im Vergleich zu dem klassischen Verbrennungsmotor nicht die Reichweite und Betankungs- bzw. Ladegeschwindigkeit erreicht. Zudem sind die Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge 2015 noch 41% höher als der von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Auch der Ausbau des Energienetzes ist in Deutschland noch nicht weit genug voran geschritten, um eine signifikant höhere Anzahl an rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen in der Zukunft versorgen zu können. Neben neuen Stromleitungen muss auch die Stabilität des Energienetzes verbessert werden. In Hinblick auf Elektrofahrzeuge ist es jedoch wichtig, dass die Energiespitzen im Stromnetz möglichst von den Elektrofahrzeugen aufgefangen werden und nicht das Netz überlasten. Solange jedoch die Batterietechnik noch nicht die gewünschten Vorgaben der Fahrzeughersteller erreicht, wird weiterhin zwischen der Reichweite, der Fahrzeugmasse und dem Preis abgewogen werden müssen.

Das Konzept des seriellen Hybridantriebes kann hier der Batterietechnik zur Hilfe kommen. Aufgrund anderer Komponenten können sich die Anschaffungspreise der Technologien unterschiedlich entwickeln.



2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Innerhalb des Projekts gab es eine intensive Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern. Neben der organisatorischen Abstimmung fand eine inhaltliche Zusammenarbeit in folgenden Bereichen statt:

Mit FEV

- Vor allem zu Beginn des Projektes gab es einen sehr intensiven Austausch zwischen der FEV und StreetScooter, um eine möglichst gute Integration in das Fahrzeug zu gewährleisten. Hier wurde StreetScooter mit der bereits erlangten Erfahrung aus anderen Projekten von der FEV optimal unterstützt.
- Bei der Vorbereitung des IAA Ausstellungsfahrzeuges (siehe Abschnitt 4.6) wurde der Aufbau des Fahrzeuges, vor allem bei der Darstellung eines realistisch aussehenden Range Extenders, durch die FEV unterstützt. Durch die gute Zusammenarbeit konnte ein erfolgreicher Messeauftritt realisiert werden.
- Integration des Gesamtsystems, Bewertung des Ansaugtraktes, sowie des Kühlmittelkreislaufes. Inbetriebnahme des Fahrzeuges und die anschließenden Testfahrten. Des Weiteren wurde gemeinsam bei auftretenden Fehlern die Abstimmung dieser realisiert.

Mit Fraunhofer ICT

- Aufbau und Auswahl des Tanksystems für den Biogasbetrieb. Hier wurde die StreetScooter GmbH bei der Beschaffung und Auswahl unterstützt. Durch die gemeinsame Arbeit konnte eine abgesicherte Lösung gefunden werden.
- Vorbereitung des Präsentationsfahrzeuges, Darstellung der Folierung, sowie die Zusammenstellung des Informationsmaterials.

3. Ergebnisbericht

3.1 Abgleich der erzielten Ergebnisse mit den Zielen und Aufwänden

Das ursprüngliche Ziel des Projektes war, im ersten Schritt ein StreetScooter „Work“ mit einem auf fossilen Brennstoff laufendem Range Extender Modul aufzubauen. Anhand dieses Fahrzeuges die Schnittstellen zu testen und bis zum Aufbau eines weiteres Fahrzeuges, welches mit dem im Projekt zu entwickelnden Biogasantrieb ausgestattet wird im Testbetrieb zu halten. Anschließend sollte das GreenREX Fahrzeug mit dem vorherigen Aufbau verglichen werden.

Im realen Projektverlauf wurde allerdings das bereits aufgebaute Fahrzeug, während der Entwicklungsphase des Biogasantriebes auf die Bedingungen der neuen Kraftstoffspeicherung umgebaut.



Abb.3.1.1: Aufgebautes GreenREX Prototypenfahrzeug

Die Integration des Funktionsentwicklungsmoduls in das Gesamtsystems konnte im zeitlichen Rahmen umgesetzt werden. Neben der mechanischen und elektrischen Integration wurden auch Softwareanpassungen am Motorsteuergerät durchgeführt, um das neue Gesamtsystem ansteuern zu können. Nach mehreren Optimierungsschleifen hinsichtlich der Luftführung des Verbrennungsmotors, sowie des Kühlkreislaufes konnte der Motor in Betrieb genommen werden.

Das NVH Verhalten wurde bewertet, im Ergebnis wurde beschlossen, dass weiterhin die von der FEV bereits entwickelten Motorlager verwendet werden. Des Weiteren wird aufgrund der offenen Rahmenstruktur eine Einhausung gewählt.

Nach den ersten Fahrversuchen auf dem Testgelände in Aldenhoven konnte das Fahrzeug durch die FEV erprobt und für das Projekt notwendige Daten aufgezeichnet werden. Nach dem

**STREETSCOOTER**

Testabschluss wurde das Funktionsentwicklungsmodul, sowie die dazu gehörenden Komponenten demontiert, dass der Umbau auf das GreenREX Modul erfolgen konnte.

Während der Test- und Umbauphase des Range Extender Moduls durch das ICT und Reinmetall konnten die neuen Komponenten ausgewählt und für das Fahrzeug ein neues Package aufgebaut werden.

Beim Aufbau des GreenREX Range Extender Systems wurde nach Absprache im Konsortium darauf geachtet, dass die vorher validierte Luftansaugstrecke und das gesamte Motorpackage nicht erneut verändert wird, damit nach Fertigstellung des Fahrzeuges eine vergleichbare Messung durchgeführt werden konnte. Aus diesem Ansatz heraus wurde das Tanksystem oberhalb der Ladekante aufgebaut.

Final haben wir seitens StreetScooter noch ein Gesamtkonzept auf dem neuen StreetScooter Work und Work L Modell erstellt, mit dessen Weiterentwicklung ein Serienverbau des Systems unter Erfüllung der im Lastenheft definierten Anforderungen möglich ist.

3.2 Verwertung der Ergebnisse

3.2.1 Mechanische Integration des Range Extenders

Die Ergebnisse aus der mechanischen Integration des Range Extenders konnten wir nutzen um weitere Systeme sinnvoll zu integrieren und zu bewerten. Auch in Hinblick auf eine Serienproduktion konnten wir hierdurch Erfahrungen sammeln, diese im Rahmen eines Business Cases zu analysieren. Im Rahmen der mechanischen Integration wurden neben dem Range Extender weitere Themen innerhalb unseres Fahrzeuges neu aufgebaut. In das Fahrzeug wurde z.B. erstmals ein Antrieb mit einer aktiven Kühlung aufgebaut. Die hier gesammelten Erkenntnisse konnten wir über den Verlauf des Projektes weiterentwickeln und in unsere Serie integrieren.

3.2.2 Elektrische Integration des Range Extenders

Die im Projekt durchzuführenden elektrischen Änderungen waren vor allem im Hoch Volt Bereich eine Herausforderung. Diese Erkenntnisse konnten für weitere Konzepte genutzt und weiterentwickelt werden. Auch die Programmierung des Motorsteuergerätes war ein wichtiger Baustein für die heutige Entwicklung der Fahrzeugstrategien.

3.3 Fortschritte in vergleichbaren Projekten

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse zur Integration eines Zusatzantriebes in ein Batterieelektrische Nutzfahrzeug konnten für Folgeprojekte zur Integration alternativer Range Extender sinnvoll einfließen. Durch diese Erkenntnisse konnten von Beginn an Probleme vermieden werden, die im GreenREX Projekt zu erhöhtem Umbauaufwand geführt haben.

Seit Beginn dieses Projektes haben wir wiederholt an neuen Projektanträgen im Bereich der Range Extender Entwicklung mitgearbeitet und diese bewertet.

3.4 Veröffentlichungen

Keine

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN --	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Verbundprojekt: GreenREX - Elektrofahrzeug mit regenerativ betriebenem On-Board-Energiewandler in Form eines monovalenten Erdgasmotors		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Metzger, Felix	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2018	6. Veröffentlichungsdatum -
	7. Form der Publikation Bericht	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) StreetScooter GmbH Jülicher Straße 191 52070 Aachen	
9. Ber. Nr. Durchführende Institution -		10. Förderkennzeichen I) 01MY13001D
11. Seitenzahl 22		12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn
13. Literaturangaben -		14. Tabellen 2
15. Abbildungen 20		16. Zusätzliche Angaben -
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -		
18. Kurzfassung Die Entwicklung eines rein regenerativ betriebenen leichten Nutzfahrzeugs ist das Ziel des Gemeinschaftsprojekts Green Rex. Experten führender Entwicklungsunternehmen überarbeiteten im Rahmen des Projektes einen Range Extender auf Erdgasbetrieb. Aktuell sind der Großteil der angebotenen Range Extender benzinbetriebene Otto-Motoren. Dies ist in der Regel der günstigen Herstellung geschuldet. Der Nachteil dieses Konzeptes liegt vor allem darin, dass der Range Extender auf die Versorgung mit Kraftstoff aus Erdöl angewiesen ist. Motoren für den Gasbetrieb, die die Anforderungen an einen Range Extender erfüllen –darunter niedrige Produktionskosten, geringer Bauraum und gutes NVH-Verhalten – sind aktuell nicht erhältlich. Ziel des Forschungsprojekts ist daher die Klärung, ob durch eine neue Kombination aus verfügbaren Großserientechnologien ein marktaugliches Fahrzeug herstellbar ist, das vollständig mit regenerativen Energieträgern betrieben wird. Hierzu gehören eine Straßenzulassung sowie erste Fahrversuche mit dokumentierten CO2-Einsparungen – zu Vorführzwecken und um die Machbarkeit des Konzeptes zu verdeutlichen.		
19. Schlagwörter Brennstoffzelle, Elektrofahrzeug, Range-Extender		
20. Verlag -	21. Preis -	

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN --	2. type of document (e.g. report, publication) report	
3. title Collaborative project: GreenREX - electric vehicle with regenerative on-board energy converter in the form of a monovalent natural gas engine		
4. author(s) (family name, first name(s)) Metzger, Felix	5. end of project 30.09.2018	
	6. publication date -	
	7. form of publication report	
8. performing organization(s) (name, address) StreetScooter GmbH Jülicher Straße 191 52070 Aachen	9. originator's report no. -	
	10. reference no. 01MY13001D	
	11. no. of pages 22	
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references -	
	14. no. of tables 2	
	15. no. of figures 20	
16. supplementary notes -		
17. presented at (title, place, date) -		
18. abstract The development of a purely regenerative light commercial vehicle is the goal of the Green Rex joint project. Experts from leading development companies revised a range extender for natural gas operation as part of the project. The majority of the range extenders currently on offer are petrol-powered Otto engines. This is usually due to the cheap manufacture. The main disadvantage of this concept is that the range extender relies on the supply of fuel from petroleum. Engines for gas operation that meet the requirements of a range extender - including low production costs, small installation space and good NVH behavior - are currently not available. The aim of the research project is therefore to clarify whether a marketable vehicle can be manufactured using a new combination of available high-volume technologies that is operated entirely with renewable energy sources. This includes road approval and first driving tests with documented CO2 savings - for demonstration purposes and to clarify the feasibility of the concept.		
19. keywords Fuel cell, electric vehicle, range extender		
20. publisher -	21. price -	