
WHITE PAPER

Geeignete Energie für die zukünftige militärische Mobilität

ACS Armoured Car Systems GmbH (ACS)

Winterbrückenweg 60, 86316 Friedberg, Deutschland

Tel.: +49 (0) 821 650717-0; info@acs-armcar.com

Änderungsverzeichnis:

Datum	Index	Änderungsgrund	Autor	Zustand
24.01.2023	01	Initiative Formulierung	ACS	freigegeben
22.05.2023	02	Korrektur	ACS	freigegeben

INHALTSVERZEICHNIS

I.	PRÄAMBEL	3
1.	AUSGANGSLAGE.....	4
1.1	ENERGIEBILANZEN.....	4
1.2	ENERGIETRÄGER.....	5
1.3	ENERGIEWANDLUNG	9
1.3.1	INDIREKT (STROMERZEUGUNG UND ANSCHLIEßEND MECHANISCHE ARBEIT).....	10
1.3.2	DIREKT (MECHANISCHE ARBEIT)	13
2.	MÖGLICHER LÖSUNGSANSATZ FÜR DIE ZUKUNFT.....	20
3.	BEDEUTUNG FÜR DIE BUNDESWEHR	21
4.	FAZIT	23

I. PRÄAMBEL

In unserem ersten White Paper haben wir unsere Gedanken niedergeschrieben, warum militärische Mobilität ein „Commodity“ sein muss. Die zivile und militärische Welt driftet in Europa auseinander. Unterschiedliche Megatrends treiben die zivile bzw. die militärische Welt. Wirklich vereinbar sind diese Megatrends nicht, sie führen zu unterschiedlichen Schwerpunkten in den beiden Welten. Unserer Meinung nach wird die zivile Welt technologisch führend sein, da die zivile Welt höhere Stückzahlen bedient, über mehr Geld verfügt und viel agiler agieren kann als der Staat. Militärische Stückzahlen werden auch nach einer Zeitwende nicht annähernd an zivile Stückzahlen herankommen. Flankiert wird dieser militärische Nachteil durch den zukünftigen Haushaltsdruck. Wie schwer sich die Politik mit dem unbürokratischen Ausgeben von Geld für die Ausrüstung der Streitkräfte tut, kann man in den letzten Monaten den Medien entnehmen. Das ist kein Politik-Bashing, sondern die (bekannte) Feststellung, dass der Staatsapparat kein agiles Start-Up ist. Wir sind der Meinung, dass sich das Militär insbesondere auf das Härten von ziviler Basistechnologie konzentrieren sollte. Die Kriegstauglichkeit ist für das Militär ein sehr wichtiges, vielleicht sogar das wichtigste Kriterium. Es ist offensichtlich, dass die zivile Auslegung von Mobilität nichts mit dem militärischen Einsatzspektrum zu tun hat. Elektrofahrzeuge sind auf „120 km/h Maximalgeschwindigkeit, 2.500 kg Gewicht, 4 Reifen, durchschnittlich 80 km Fahrstrecke/Tag und auf asphaltierte Straßen“ ausgelegt.

Wir haben im letzten White Paper ausgeführt, dass es staatliche Aufgaben gibt, die im Einsatzfall 24h am Tag und 7 Tage die Woche bedient werden müssen. Neben dem Militär sind die Polizei, der Rettungsdienst sowie die (inter-) nationale Katastrophenhilfe zu nennen. Der LKW oder Bagger kann beispielsweise bei einer Sturmflut nicht nach 3h eine Pause machen. Er muss konstant arbeiten. Bei einer Verbrecher-Jagd kann die Polizei nicht nach 3h eine Pause machen und die Verfolgung einstellen. Falls sich ein Brand gefährlicher entwickelt als gedacht, muss die Feuerwehr dennoch einsatzfähig bleiben. Wir müssen also als Land dafür sorgen, dass diese staatlichen Aufgaben jederzeit und in der erforderlichen Weise erfüllt werden.

Wir nähern uns dem oben genannten Szenario nüchtern und physikalisch. Die Physik können wir nicht biegen, ändern oder umgehen. Die oben genannten Beispiele basieren alle auf **mechanischer Arbeit** (Räder drehen sich, Löffel bewegen sich, Lasten werden gehoben) und diese ist definiert als Kraft x Weg (Newtonmeter, Nm; Joule, J; Wattsekunde, Ws). **Energie** ist die Speicherform von Arbeit. Und **Leistung** ist die Resultierende aus Arbeit / Zeit (Watt, W). Die notwendige Leistung ist höher, wenn man die gleiche Arbeit in kürzerer Zeit verrichten möchte. Das ist verständlich, die Leistung einen Marathon in 2:00h zu laufen ist höher, als diesen in 4:00h zu absolvieren.

Das Militär denkt in Aufträgen, welche erfüllt werden müssen. Es gibt verschieden intensive Operationsarten. Das stille Beobachten kostet nicht viel Arbeit pro Zeit. Das Verzögerungsgefecht bedarf allerdings sehr viel Arbeit in sehr kurzer Zeit (es geht um alles). Da es nicht immer eine Nachversorgung gibt, muss der Soldat mit allem haushalten, was er selber trägt bzw. im Fahrzeug mitführt. Die entscheidende Frage ist, welche Energie geeignet ist und wie der Soldat diese einsetzt: **Geeignete Energie für die zukünftige militärische Mobilität.**

1. AUSGANGSLAGE

1.1 Energiebilanzen

Für zukünftige Missionen in einem Landesverteidigungs- und Bündnisverteidigungsfall („LV/BV“) sind viele Faktoren wichtig. Ein Soldat sagte uns neulich, dass ukrainische Soldaten sterben, wenn sie stehen und dass sie überleben, wenn sie in Bewegung sind. Mobilität wird auf absehbare Zeit ein sehr kritischer Erfolgsfaktor bleiben. In einer Multi Domain Operation (MDO) wird es besonders in Zukunft neben der Mobilität noch viele weitere Erfolgsfaktoren geben. Die Energiebereitstellung sowie –versorgung ist bereits heute sehr wichtig. Die logistischen Probleme der russischen Streitkräfte in der Ukraine haben dies untermauert. Wir gehen davon aus, dass der Stellenwert der Energie zukünftig steigt. Energie kann zum einen nicht „einfach so“ zur Verfügung gestellt und nachversorgt werden. Gleichzeitig benötigt man für das Bestehen im mehrdimensionalen Gefechtsfeld der Zukunft immer mehr Energie für Rüstsätze, Sensorik, Kommunikation, Digitalisierung bis hin zu Energiewaffen, wie z.B. Laser.

Das Sankey Diagramm eignet sich, um Energieflüsse grafisch darzustellen. In der Präambel haben wir ausgeführt, dass Energie gespeicherte Arbeit ist. Wie dieser Energieträger bzw. –speicher aussieht, möchten wir später näher beleuchten. Der Energiespeicher müssen wir wieder in mechanische Arbeit umwandeln. Dabei entstehen Verluste. Diese Verlustenergie ist nicht weg, aber diese Energie leistet Arbeit, die man vermeiden möchte. Die Abwärme von Antriebssträngen ist ein solcher Energieverlust, den man vermeiden möchte, was physikalisch aber nicht vermeidbar ist. Die Energieverschwendung reduziert die final verfügbare Energie. Ein Beispiel dafür ist das unverhältnismäßig hochtourige Fahren eines Fahrzeuges. Schließlich hat man noch die Option, neue Energie zu der Bilanz hinzufügt.

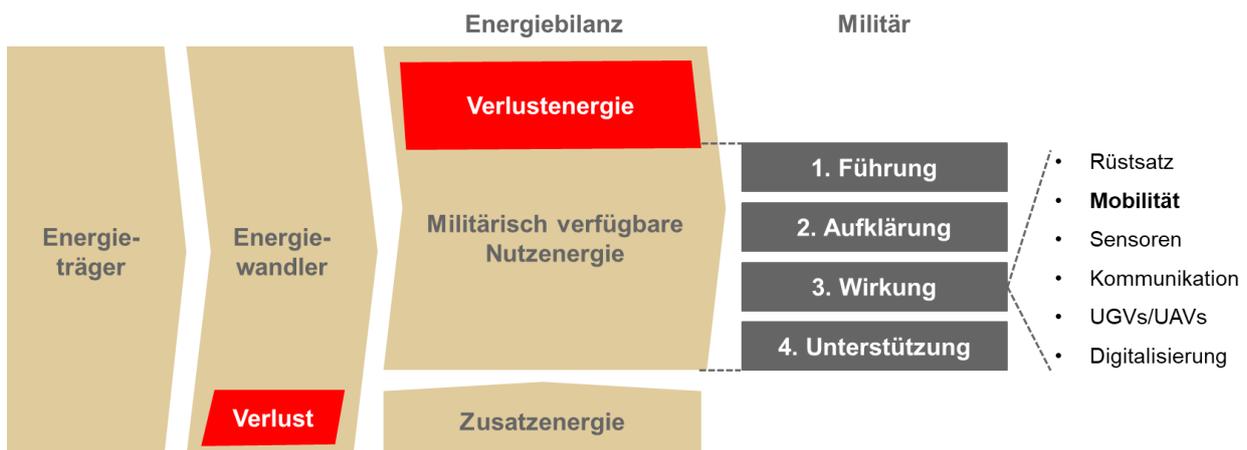


Abbildung 1: Schematische Energiebilanz ACS

In unseren nachfolgenden Ausführungen konzentrieren wir uns in diesem White Paper auf mögliche Energieträger sowie deren Energiewandler. Beides zusammen stellt die wesentliche Energie für eine Mission zur Verfügung. Seit knapp einhundert Jahren ist der wesentliche Energieträger fossil, wie z.B. Benzin, Diesel oder Kerosin. Als Energiewandler werden im Wesentlichen Verbrennungskraftmaschinen eingesetzt.

1.2 Energieträger

Nachfolgend können wir nicht auf jeden Aspekt von allen möglichen Energieträgern eingehen. Dafür ist ein White Paper nicht das geeignete Format und sprengt unseren Rahmen. Daher beschränken wir uns auf die wesentlichen Aspekte.

Ein Energieträger hat in sich einen Energiegehalt, den ein Energiewandler direkt oder indirekt umwandeln kann. Der Energieträger kann durch die **Energiedichte** charakterisiert werden. Je höher die Dichte, desto mehr Energie (= gespeicherte Arbeit) befindet sich z.B. in einem Kilogramm. Anders ausgedrückt, je höher die Energiedichte, desto weniger Kilogramm benötigt man für die erforderliche Menge Energie. In unserem White Paper „Warum militärische Mobilität „Commodity“ werden muss“ haben wir diesen Punkt beleuchtet. Ein Kampftag mit 1.920 kWh Energiebedarf (= 80kW Energie pro Stunde) erfordert ca. 16.000 kg Batterien oder ca. 700 l Diesel (= ca. 600 kg). Der Mensch benötigt übrigens ca. 2.000 kcal am Tag, das sind ca. 2,4 kWh. Mit Bewegung und Stress braucht der Mensch abhängig von der Anstrengung ca. 3,0 – 6,0 kWh. Das ist verglichen mit einem Gefechtsfahrzeug sehr wenig.

Energieträger kann man unterscheiden in primäre sowie sekundäre Energieträger. Primäre Energieträger kann man in der Natur finden. Dazu zählen z.B. fossile Energieträger wie Erdöl aber auch Sonnenlicht oder das Fett in unserem Mittagessen. Die sekundären Energieträger sind weiterverarbeitete Energieträger, wie z.B. Diesel, Ethanol oder Glucose in unserer Nahrung.

Betrachten wir die Energiedichte in Kilowattstunden pro Kilogramm Energieträger, dann entsteht folgende unsortierte Tabelle. Die genauen Werte variieren von Quelle zu Quelle, es geht uns um Richtwerte.

Energieträger	Energiedichte (kWh/kg)	kg für 80 kWh
Methanol	6,49	12,33
Ethanol	7,44	10,75
Pflanzenöl	10,00	8,00
Erdgas	11,30	7,08
Diesel	11,50	6,96
Wasserstoff	33,30	2,40
Batterie	0,12	677,97
Feststoff-Batterie (Zukunft)	0,40	200,00
Schokolade	6,50	12,31
Dynamit	1,20	66,67
Olivenöl	10,00	8,00
Obst/Gemüse	0,50	160,00

Abbildung 2: Energiedichte verschiedener Energieträger

Die Energiedichte von Wasserstoff ist extrem hoch, die von heutigen Hochvolt-Batterien ist dagegen sehr niedrig. Schokolade hat heute eine ca. 50 Mal höhere Energiedichte als Batterien. Aber Schokolade treibt bekanntlich kein Fahrzeug an, nur die Bio-Maschine „menschlicher Körper“. Um 80 kWh Energie zur Verfügung zu stellen, benötigt man ohne Verluste ca. 2,40 kg Wasserstoff oder 678 kg Batterien.

Neben der Energiedichte gibt es weitere Eigenschaften, die aus technischen bzw. sicherheitspolitischen Gründen von Interesse sind. Die **Lagerbarkeit/Handhabbarkeit** von Energieträgern ist anzusprechen. Wasserstoff ist bei Raumtemperatur ein Gas, welches keine Farbe und keinen Geruch besitzt. Wasserstoff ist 14 Mal leichter als Luft und ist in reiner Form nicht selbstentzündlich. Ab ca. 4% Wasserstoff in der Luft kann man dieses Gasgemisch z.B. mit einem Funken entzünden. Ab einer Konzentration von ca. 18 % entsteht dann Explosionsgefahr. Steigt der Wasserstoffgehalt auf über 75 % an, kann sich das Gemisch nicht mehr entzünden oder explodieren, da zu wenig Sauerstoff zur Verfügung steht. Methanol dagegen ist z.B. ein Alkohol und bei Raumtemperatur flüssig. Methanol wird bereits in großen Mengen industriell hergestellt und verdampft bei 65°C. Kohlenwasserstoffe, wie z.B. Kerosin, entstehen u.a. aus der Destillation von Erdöl. Es ist bei Raumtemperatur flüssig, entzündet sich bei ca. 220°C und verdampft bei ca. 150°C - 300°C. Sonnenlicht lässt sich sehr einfach handhaben. Mittels Batterien kann man Energie auch gut lagern. Allerdings beginnen leistungsfähige Batterien bereits bei ca. 45°C zu degenerieren. Ein weiterer fundamentaler Nachteil ist die geringe Energiedichte. Um große Mengen an Energie zu speichern benötigt man sehr viel Gewicht.

Die **Herstellung** der einzelnen Energieträger ist ebenfalls von Interesse. Zum einen ist von Interesse, wie energieintensiv die Herstellung ist und zum anderen, ob bzw. wie stark Deutschland bei der Herstellung von anderen Ländern abhängig sind. Der russische Angriff auf die Ukraine zeigt, dass wir als Land resilienter und unabhängiger werden müssen. Ferner ist es Konsens die Klimaerwärmung zu begrenzen. Demnach muss die Welt dekarbonisieren. Daher sollte bei der Herstellung so wenig CO₂ wie möglich emittiert werden.

Der primären Energieträger (Sonnen-) **Licht** oder **Wind** sind überall auf der Welt für die Natur kostenlos und nahezu unendlich verfügbar. Eine Solaranlage wird nur gebaut, wenn der Bauherr dafür Geld bekommt. Licht ist also nur für die Natur kostenlos, nicht für uns Menschen bzw. unsere Wirtschaft. Die Pflanzen können Sonne per Photosynthese direkt in Energie umwandeln. Wir Menschen oder unsere Maschinen können das nicht. Wir benötigen Windräder, die aus dem Wind Strom erzeugen, oder Solarzellen bzw. Solarkraftwerke, die aus dem Licht Strom erzeugen. Abhängig von der Tages- und Jahreszeit bzw. dem sonstigen Wetter steht dieser Energieträger allen Menschen in allen Ländern zur Verfügung. Licht und Wind können nicht direkt gespeichert werden. Die Energie kann aber z.B. in Batterien oder in Gasen/Flüssigkeiten (z.B. Elektrolyse, siehe später) gespeichert werden. Die Herstellung der Solarzellen benötigt selbstverständlich auch Energie und Ressourcen. Solarzellen bestehen beispielsweise u.a. aus Silizium. Dieses Material ist auf der Erde weit verbreitet. Auch Windräder müssen hergestellt werden und benötigen dafür Ressourcen.

Methanol ist ein sekundärer Energieträger und wird im katalytischen Verfahren aus Synthesegas hergestellt. Dieses Synthesegas basiert in Europa meist auf Erdgas, in China auf Kohle. Damit basiert Methanol auch auf fossilen Energieträgern. Die Carbon2Chem Initiative mit der Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat sich zum Ziel gesetzt, dass unvermeidbare Kohlendioxid-Emissionen aus der Industrie (z.B. Hüttengase) zukünftig fossile Rohstoffe in der chemischen Industrie ersetzen (= Carbon Capture and Utilization; CCU). Wenn dies gelingt, wäre CO₂ Reduzierung sowie die Vermeidung von fossilen Energieträgern unter einem Hut vereinbar und CO₂ wird ein wichtiger Rohstoff. Wenn aus CO₂ mithilfe von elektrischem Strom (möglichst aus erneuerbaren Energien) Kraftstoff hergestellt wird, dann nennt man diese auch **E-**

Fuels oder **PtL** Kraftstoffe (Power to Liquid). Die EU hat kürzlich beschlossen, dass ab 2035 alle neuzugelassenen Fahrzeuge im Betrieb CO₂ neutral sein müssen. Der Einsatz von E-Fuels ist für die Erfüllung dieser Forderung nun akzeptiert. Ein E-Fuels Dieselkraftstoff ist chemisch identisch zu einem Rohöl-basierten Dieselkraftstoff (Kohlenwasserstoffverbindung).

Wasserstoff wird z.B. durch Elektrolyse von Wasser hergestellt. Dies ist energetisch günstiger als die Weiterverarbeitung zu eFuels. Elektrische Energie wird eingesetzt, damit sich H₂O in Wasserstoff und Sauerstoff aufteilt. Diese eingesetzte Energie wird im Wasserstoff gespeichert (hohe Energiedichte). Man spricht vom „grünen Wasserstoff“, wenn die elektrische Energie für die Elektrolyse aus erneuerbaren Energien stammt. Wasser ist grundsätzlich ausreichend auf dem Planeten und in Deutschland vorhanden. Wenn man ausreichend elektrische Energie herstellt, dann können Überschüsse in Methanol, Wasserstoff oder anderen E-Fuels gespeichert werden. Das deutsche Erdgasnetz ist laut einer neuen Studie für den Transport von Wasserstoff geeignet. Zu diesem Ergebnis kommt eine veröffentlichte Untersuchung von Deutschlands größtem Fernleitungsnetzbetreiber Open Grid Europe und der Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart. Die volumetrische Energiedichte von Wasserstoff bei atmosphärischem Druck beträgt 0,09 kg/m³, bei einem Druck von 350 bar 26,1 kg/m³, bei einem Druck von 700 bar 42 kg/m³ und in flüssiger Form (-253°C) 71 kg/m³. Dies bedeutet, dass man sehr viel Energie in einem sehr kleinen Volumen transportieren kann. Der Transport von flüssigem Wasserstoff ist militärisch gesehen aufgrund der Kälteforderung als kritisch zu bewerten. Wenn man den Wasserstoff gasförmig und bei weniger Druck transportiert, dann vereinfacht sich der Transport, das Volumen bzw. die Menge reduziert sich aber auch massiv.

Erdöl-basierte Energieträger haben in den letzten über 100 Jahren die Mobilität geprägt. Deren Energiedichte ist hoch. Erdölbasierte Stoffe, wie Benzin oder Diesel, sind in der Handhabung nicht unkritisch, da sie gesundheitsgefährdend sowie entzündlich sind. Gleichzeitig ist die Handhabung technisch ausgereift und in den normalen Alltag integriert (z.B. Tanken bzw. Transport). Erdöl hat aus rein deutscher Sicht den Nachteil, dass wir in Deutschland nur über geringe Erdöl-Vorkommen verfügen. Ein weiteres Problem dieses Energieträgers ist, dass bei der Herstellung sowie bei der späteren Energiewandlung Kohlendioxid entsteht, welches gemäß der wissenschaftlichen Meinung den Klimawandel beschleunigt. In der EU dürfen ab 2035 keine neuen, mit fossilem Diesel oder Benzin betankten PKW mehr neu zugelassen werden. Eine Ausnahme vom Verbrenner-Verbot soll es für E-Fuels geben, die wir schon angesprochen haben. Die Politik ist hier gefordert und muss möglichst schnell für Klarheit sorgen. Bezieht sich die EU Regelung auch auf Mobilitätslösungen für Militär, Polizei und Katastrophenschutz? Gibt es für die genannten Bereiche Ausnahmen? Und wenn ja, wie sehen diese Ausnahmen genau aus? Es wäre erstrebenswert, wenn für die Einsatzzwecke von Streitkräften (neben Land gibt es ja noch See und Luft), Katastrophenschutz und Polizei zukünftig ein Energieträger ausgewählt würde.

Welcher Energieträger für die Bundesrepublik Deutschland und Europa der Geeignetste ist, können wir nicht vorhersehen. Unserer Meinung nach muss der Staat das vorgeben, wenn er das Ruder nicht aus der Hand geben möchte. Es ist klar, dass dies eine der dringendsten staatlichen Aufgaben ist. Mit welchem Energiemix soll Deutschland und Europa in die Zukunft gehen? Wie können wir Energiesicherheit herstellen und wie können wir den steigenden Energiebedarf decken? Die Auswirkungen auf unser Land und unseren Kontinent werden enorm sein. Solange diese Frage nicht

geklärt ist, können die nachfolgenden Schritte nicht entschieden und umgesetzt werden. Es ist naheliegend, dass wir in Europa für diese Transformation und Umstellung viel Zeit, Ressourcen und Geld benötigen werden. Wenn die Strategie klar definiert und festgeschrieben ist, dann kann die Industrie mit dem Staat Lösungen erarbeiten, wie die Energie zu privaten und industriellen Verbrauchern gelangt (Energieleitungen in Form von Strom, flüssig oder gasförmig). Der große Vorteil der erneuerbaren Energie ist der Einklang von Klimaschutz und Verfügbarkeit. Der große Nachteil bleibt die fehlende Konstanz. Was passiert, wenn in Deutschland keine Sonne scheint und kein Wind weht? Nachfolgend haben wir den Strom-Mix der Bundesnetzagentur vom 20. bis 30. Januar 2023 abgebildet. Dank eines kräftigen Windes war der Onshore Wind Anteil am 30. Januar um 15 Uhr bei ca. 48% des deutschen Gesamtstromverbrauchs. Das ist ein sehr erfreulicher Wert. Betrachtet man den 26. Januar 12 Uhr Mittag, dann hatten wir 3,5% Solarstrom und 2,4% Wind Onshore Anteil. Der Anteil fossiler Energieträger betrug am 26. Januar um 12 Uhr ca. 70%.

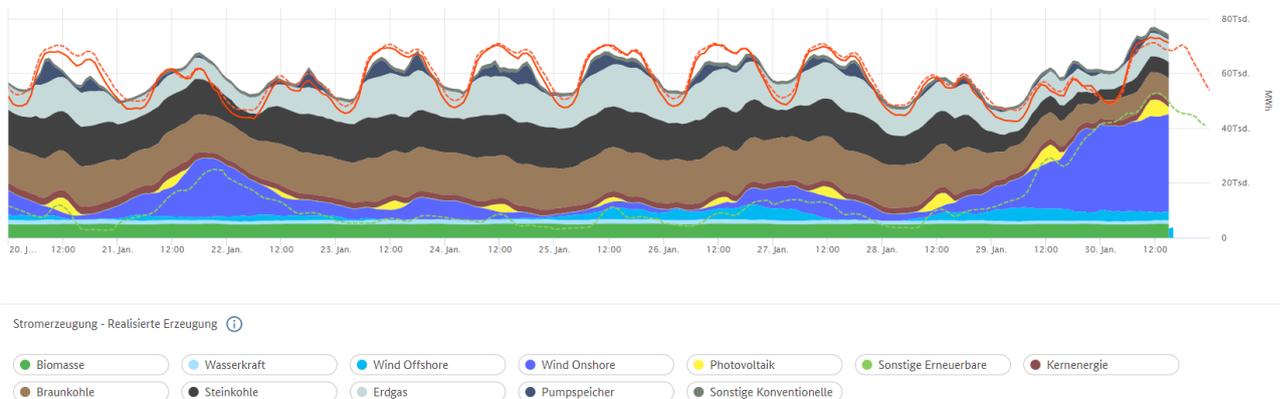


Abbildung 3: Strom-Mix Deutschland Januar 2023

Der Staat ist gefordert, eine nachhaltige Energiestrategie zu entwickeln, die europaweit abgestimmt ist und die neben Deutschland auch die anderen EU Nationen mittragen. Für uns ist aus militärischer Sicht die Speicherfähigkeit, Transportierbarkeit und Wiederaufladbarkeit von Energie entscheidend. Reiner Wind- oder Solarstrom kann nicht ohne viel Gewicht gespeichert werden, ist zu unzuverlässig und man ist von der Infrastruktur abhängig. Die Auswahl des militärischen Haupt-Energieträgers sollte Deutschland nicht alleine treffen. Für die Bündnisfähigkeit muss diese Entscheidung immer gemeinsam in der NATO getroffen werden. Wenn wir clever sind, dann legen wir den militärischen Haupt-Energieträger mit dem nationalen Katastrophenschutz zusammen (Feuerwehr, THW, Polizei). Des Weiteren wäre EIN Energieträger für Luft, See und Land erstrebenswert, wie es z.B. seitens der Fallschirmjäger schon immer gefordert wird (z.B. Energieträger Kerosin). Das ausschließliche Setzen auf Solar und Wind sowie Batteriespeicher ist unserer Meinung nach fern jeder Realität und nicht zielführend (vergleiche ACS White Paper „Warum militärische Mobilität Commodity werden muss“). Wir gehen davon aus, dass wir auch in Zukunft bei Militär, Rettungskräften und Katastrophenschutz weiter einen flüssigen Energieträger brauchen, der schnell nachtankbar ist. Diesel, Kerosin, eFuels oder vergleichbares ist nach unserer Einschätzung der zukünftig geeignetste Energieträger. Wir halten den Einsatz von reinem Wasserstoff als Brennstoff für zukünftige militärische Mobilität für (noch) nicht geeignet. Die Versorgung mit reinem Wasserstoff ist sehr komplex und daher (noch) nicht für die militärische Mobilität geeignet.

1.3 Energiewandlung

Nachdem wir verschiedene Energieträger beleuchtet haben, möchten wir nachfolgend unsere Gedanken zur Wandlung der Energie niederschreiben. Ein Energiewandler wandelt die gespeicherte Energie in Arbeit um. Entweder entsteht bei der Energiewandlung Strom, der mittels Elektromotor indirekt mechanische Arbeit verrichtet oder direkt mechanische Arbeit (z.B. Verbrennungskraftmaschinen).

Der **Wirkungsgrad** ist bei der Bewertung von Energiewandlern wichtig. Dabei handelt es sich um ein Verhältnis: wie viel Energie kann man nutzen zu wie viel Energie muss man dafür aufwenden. Ein Wirkungsgrad von 95% ergibt sich, wenn man z.B. 100 Joule Energie in ein System gibt und man davon 95 Joule Energie nutzen kann. Die Differenz in Höhe von 5 Joule ist die Verlustenergie (z.B. Reibung, Wärme). Jeder Energiewandler wie auch jede Mechanik hat einen Wirkungsgrad. Wenn verschiedene Komponenten in Reihe geschaltet werden, dann resultiert der **Gesamtwirkungsgrad** durch das Multiplizieren aller Wirkungsgrade in dieser Kette. Bei der Mobilität gibt es eine Gesamtbetrachtung mit einem Gesamtwirkungsgrad von der Energieerzeugung des Energieträgers bis zum Rad auf der Straße. Dies bezeichnet man als „Well-to-Wheel“ (englisch „well“ = Brunnen, Bohrloch). Betrachtet man ausschließlich das Fahrzeug, dann nennt man den Gesamtfahrzeugwirkungsgrad „Tank-to-Wheel“. Es ist wichtig zu betonen, dass sich die Industrie ausschließlich um „Tank-to-Wheel“ kümmern kann. Der Staat ist für „Well-to-Tank“ verantwortlich, dies liegt nicht in der Einflussosphäre der Industrie. Der (unzweifelhaft) hohe Wirkungsgrad eines Elektromotors ist beispielsweise ein starkes Argument für diesen Energiewandler. Batterieelektrische Fahrzeuge haben grundsätzlich einen höheren „Tank-to-Wheel“ Wirkungsgrad. Für den Klimaschutz ist „Well-to-Wheel“ entscheidend. Ineffiziente bzw. viele CO₂-Emissionen bei der Erzeugung von Energieträgern beeinflussen eine reine „Tank-to-Wheel“ Betrachtung. Der Wirkungsgrad einer Komponente, wie der Elektromotor, ist wie beschrieben nicht allein-entscheidend. Für den Gesamtwirkungsgrad eines Fahrzeuges müssen alle Prozesse betrachtet werden. D.h. man muss Verluste der Energieerzeugung, Energietransport, Batterie, Kühlung, Ladung, Getriebe oder auch die Reifen mitbetrachten. Wenn Energieverluste in Form von ungewollter Abwärme eines Verbrennungsmotors z.B. zum Heizen im Winter genutzt werden kann, dann wäre dieser Verlust für das Szenario Winter wieder geringer.

Wir müssen uns auch fragen, wie effizient wir im Bereich Militär, Sicherheit und Katastrophenschutz sein wollen. Maximale Effizienz ist energietechnisch eine gute Sache, aber was bedeutet das? Eine möglichst hohe Effizienz bedeutet, dass wir jeden Anwendungsfall kennen und wir unsere Systeme maximal effizient auf diese Anwendungsfälle auslegen. Das Pferd springt genauso hoch, wie hoch das Hindernis ist. Das bedeutet allerdings auch, dass wir keine Reserve für Abweichungen oder andere Lagen haben. Genau in den Bereichen Militär, Sicherheit und Katastrophenschutz kann dies nicht unser Ziel sein, denn die Lagen und Anwendungsfälle kennen wir nicht bzw. diese können sich ändern. Einsätze, Gefechte oder Notlagen sind energiereich. Selbstverständlich müssen wir mit der verfügbaren Energie effizient und effektiv haushalten und Verluste minimieren, aber wir sollten Systeme, Vignetten oder Szenarien energietechnisch nicht maximal ausreizen und müssen den Nachschub immer im Blick haben.

Nachfolgend möchten wir verschiedene Wege zeigen, wie Umwandlung erfolgen kann. Da uns insbesondere die Mobilität von militärischen sowie sicherheitsrelevanten Fahrzeugen interessiert, unterscheiden wir in direkter bzw. indirekter Umwandlung der Energie in Arbeit (Fokus Bewegung). Energie ist gespeicherte Arbeit.

1.3.1 Indirekt (Stromerzeugung und anschließend mechanische Arbeit)

Eine **Brennstoffzelle** ist ein Stromerzeuger. Sie wandelt die chemische Reaktionsenergie eines konstant zugeführten „Brennstoffes“ (Anode; es brennt nichts) und eines Oxidationsmittels (Kathode) in elektrische Energie um. Die chemische Energie des Brennstoffes wird direkt in elektrische Energie umgewandelt. Dies spart im Vergleich zu den Verbrennungskraftmaschinen Zwischenschritte und ist dadurch potentiell effizienter, ein potentiell besserer Wirkungsgrad ist die Folge. Die meisten Menschen denken bei einer Brennstoffzelle an eine Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle. Der Wasserstoff ist der „Brennstoff“ und Sauerstoff ist das Oxidationsmittel. Die Wasserstoffmoleküle geben in der Brennstoffzelle ihre Elektronen ab, wandern durch eine Elektrolytmembran und reagieren mit dem Sauerstoff zu Wasser. Die abgegebenen Elektronen fließen von der Anode (Wasserstoff) zur Kathode (Sauerstoff) und erzeugen so Strom. Das Abfallprodukt ist Wasser. Neben Wasserstoff gibt es weitere Brennstoffe wie Methanol, Butan oder Erdgas. Abhängig vom ausgewählten Brennstoff haben Brennstoffzellen einen Wirkungsgrad von ca. 40% - 70%. Wir können in Deutschland Brennstoffzellen herstellen. Aber: eine wesentliche Komponente ist dabei aktuell Platin. Platin ist ein sehr teures Edelmetall und Deutschland verfügt über keine Platinbodenschätze. Die chemische Reaktion der Brennstoffzelle verträgt sich nicht gut mit Stößen und Erschütterungen. Offroad gehärtete Brennstoffzellen gibt es bisher nach unserem Kenntnisstand nicht. Viele Anwendungsfälle der Brennstoffzelle sind aktuell stationärer Art.

Die Firma Blue World Technologies ApS, Dänemark, fertigt eine Methanol-basierte Brennstoffzelle. Gemeinsam mit den Automobilfirmen Karma aus den USA, Gumpert aus Deutschland und dem chinesischen Hersteller ALWAYS plant man, diese Brennstoffzelle in zivile Fahrzeuge zu integrieren. Dabei handelt es sich um einen Range Extender, der Strom erzeugt, welcher die Batterien auflädt. Die Vorteile dieses Konzeptes ist die schnelle Tankfähigkeit von flüssigem Methanol, welches in der Handhabung nicht so komplex ist wie Wasserstoff. Auch ist ein solches Konzept im Felde nicht von Infrastruktur abhängig.

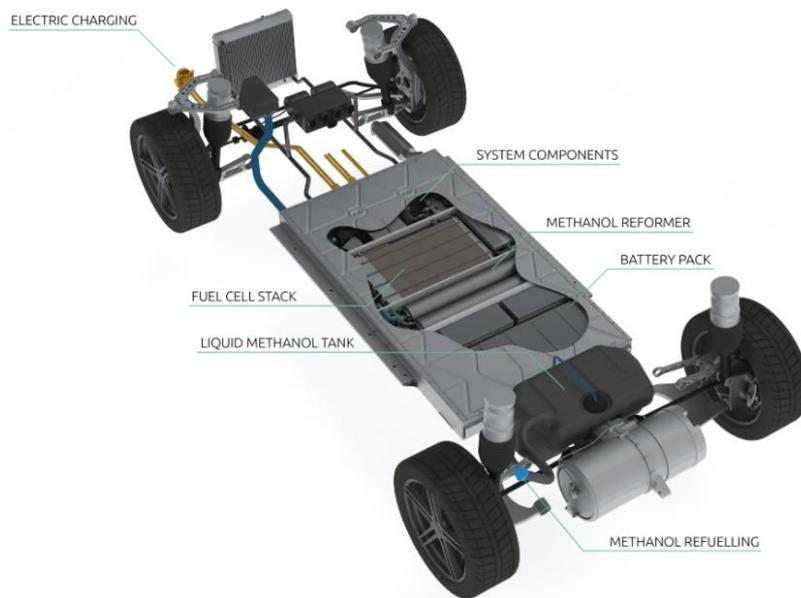


Abbildung 4: Antriebskonzept Blue World Technologies mit Methanol Brennstoffzelle

In der Infanterie gibt es heute schon Brennstoffzellen. Die Firma SFC Energy AG aus dem bayerischen Brunnthal stellt u.a. die militärisch gehärtete Brennstoffzelle EMILY für die Stromversorgung der Soldaten her (125W Nennleistung; Brennstoff Methanol). Die Firma Advent Technologies Holdings Inc. aus den USA stellt ebenfalls Brennstoffzellen her. Die Honey Badger 50™ arbeitet ebenfalls mit Methanol und liefert 50W Nennleistung. Daneben gibt es viele zivile Brennstoffzellen-Hersteller, wie z.B. EKPO, Proton oder SIQENS.



Abbildung 5: SIQENS GmbH, Ecoport 1500

Batterien erzeugen keinen Strom, aber der darin gespeicherte Strom kann zu nahezu 100% verwendet werden, um Arbeit zu verrichten. Wir verweisen zu diesem Thema auf unser erstes White Paper mit dem Titel „Warum militärische Mobilität Commodity“ werden muss“. Batterien sind eine

hervorragende Technologie, allerdings sind sie wegen der geringen Energiedichte sehr schwer und nicht schnell ohne Infrastruktur nachfüllbar. Daher halten wir 100% Batterien basierte Konzepte in der Breite für militärische bzw. sicherheitsrelevante Mobilität für nicht geeignet. Batterien benötigen wir zweifelsohne in Zukunft, allerdings mehr als Puffer bzw. für andere Anwendungsfälle, wie z.B. die Rüstsatzversorgung im „silent watch“ Betrieb. Bekannte Batterie-Modul-Hersteller sind z.B. Akasol AG oder Webasto SE. Zivile Batterie-Zellen kommen zu einem Großteil aus China bzw. Südkorea.

Elektromotoren können sowohl mithilfe von Strom mechanische Arbeit verrichten als auch Strom erzeugen. Letzteres bezeichnet man als **Generator**. Im Inneren des Generators dreht sich der sogenannte Rotor. Dem Rotor ist ein Stator gegenüber. Die Lorenzkraft induziert durch die Drehung und das Magnetfeld elektrische Spannung. Generatoren gibt es in vielen Ausprägungen. Für unser White Paper ist entscheidend, wer oder was den Generator antreibt, damit Strom für die Mobilität entsteht. Der Wind ist dafür der bekannteste Energieträger. Im Adventure und Camping Bereich gibt es diverse kleine Windgeneratoren, die 12V oder 24V Spannung erzeugen und Strom von wenigen hundert Watt. Damit kann man ein Handy oder Funkgerät aufladen, mehr aber nicht. Wenn ein Generator an einer Verbrennungskraftmaschine hängt, dann kann er hohe Spannungen bzw. hohe Ströme erzeugen. Auf die verschiedenen Verbrennungskraftmaschinen gehen wir in 1.3.2 detaillierter ein.

Wie bereits erwähnt, kann Strom selber keine mechanische Arbeit verrichten. Dazu benötigt man einen **Elektromotor**. In einem Elektromotor erzeugen stromdurchflossene Leiterspulen Magnetfelder. Die Anziehungs- und Abstoßungskräfte des Magneten werden in Bewegung umgesetzt. Elektromotoren erzeugen in der Regel eine rotierende Bewegung. Werner von Siemens hat 1866 die Dynamomaschine patentieren lassen. Ein einfacher Elektromotor besitzt ein feststehendes Außenteil (Stator) sowie ein sich darin drehendes Innenteil (Rotor). Der Gleichstrommotor hat einen sogenannten Kommutator. Dieser dreht sich mit. An den Anschlüssen des Kommutators sind Spulen angeschlossen, welche die Spulen während der Rotation kontinuierlich umpolen. Ein Wechselstrommotor kann auf den Kommutator verzichten, wenn der passende Wechselstrom anliegt. Elektromotoren zeichnen sich durch hohe Drehzahlen und hohe Drehmomente aus. Die Maschinen können sehr schnell reagieren und werden i.W. durch Software gesteuert. Der Wirkungsgrad von Elektromotoren ist sehr hoch. Abhängig von Drehmoment und Drehzahl liegt der Wirkungsgrad bei ca. 60% – 95%. Woher der Strom kommt ist dem Elektromotor egal.

Die Elektromotoren finden immer mehr Einzug in die zivilen Mobilitätslösungen. Wie in unserem White Paper „Warum militärische Mobilität Commodity“ werden muss“ hergeleitet, gehen wir davon aus, dass die Elektromotoren bei militärischen sowie sicherheitsrelevanten Anwendungen an Bedeutung gewinnen werden. Die zivile Technologie ist schon heute innovativ führend, die militärischen und sicherheitsrelevanten Stückzahlen sind zu gering, um einen Unterschied zu machen. Die Elektrifizierung von zukünftigen Antriebssträngen sehen wir als die passendste Antriebsform für militärische und sicherheitsrelevante Mobilitätslösungen an. Wir sehen für die militärische Mobilität Batterien oder Brennstoffzellen nicht als „Energiewandler“ in der nahen Zukunft. Bei Brennstoffzellen fehlt es dazu an der robusten Technik und dem passenden Brennstoff. Batterien sind wegen der geringen Energiedichte zu schwer und nicht schnell ohne Infrastruktur nachfüllbar.

1.3.2 Direkt (mechanische Arbeit)

Bei Verbrennungskraftmaschinen wird durch die Verbrennung eines Energieträgers mechanische Arbeit verrichtet. Die chemische Energie im Energieträger wird mit Luft gemischt (Verbrennung bedarf Sauerstoff) und verbrannt. Die im Träger gespeicherte Energie wird über die Temperatur des Gasgemisches in Druck (Kraft) sowie Ausdehnung (Weg) und damit in mechanische Arbeit (Kraft mal Weg) umgewandelt. Neben der mechanischen Arbeit entsteht Wärme durch die Verbrennung (ein Motor wird heiß) sowie ein heißer Abgasstrom. Abhängig von der Verbrennungskraftmaschine ist mit einem Wirkungsgrad von ca. 30% - 50% zu rechnen. Die obere Grenze (hier 50%) ist geringer als z.B. bei einer Brennstoffzelle, allerdings nicht signifikant geringer. Elektromotoren haben unzweifelhaft einen höheren Wirkungsgrad. Verbrennungskraftmaschinen bestehen i. W. aus Metall und an der Technologie wird seit über 100 Jahren geforscht und entwickelt. Die Abhängigkeiten Deutschlands bei der Herstellung von Verbrennungskraftmaschinen ist gering. Aktuell verfügt Deutschland über sehr viel Knowhow, Firmen und Ressourcen auf diesem Gebiet. Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Verbrennungskraftmaschinen: Strömungsmaschinen wie eine Flugzeugturbine bzw. Verbrennungsmotoren.

Strömungsmaschinen bzw. **Turbinen** treiben u.a. Flugzeuge an. Ein A350 Triebwerk ist für militärische Mobilität selbstverständlich nicht geeignet. Es gibt aber erste „Mikroturbinen“, die mit vergleichbarer Technik Strom erzeugen. Die Firma FusionFlight Inc. aus den USA vermarktet eine solche Turbine. Gem. Webseite des Herstellers sind die Abmessungen des Gerätes 17cm x 27cm x 52cm und die Turbine wiegt unter 9 kg. Sie liefert bis zu 8 kW Leistung und kann sehr viele flüssige Kraftstoffe verarbeiten (Diesel, Kerosin, Jet-A, HVO100, eFuels, usw.). Diese Abmessungen sind vielversprechend, allerdings gibt es bei einer solchen Lösung noch mehrere Herausforderungen, z.B. der Kraftstoffverbrauch, die Lautstärke, die Lebensdauer oder der technische Reifegrad im Allgemeinen. Ein ähnliches Konzept wurde in UK durch die Firma Delta Cosworth umgesetzt. Auch in Deutschland wird diese Idee verfolgt. Die Firma Matuschek Messtechnik GmbH aus Alsdorf (Nordrhein-Westfalen) hat 2019 eine ultrakompakte Mikroturbine zur Verlängerung der Reichweite von Elektro-Autos als ZIM-Einzelprojekt vorgestellt. Der ultrakompakte und ultraleichte Turbinenantrieb komprimiert die Luft in einem Verdichter und zündet ein gasförmiges Luft-Treibstoffgemisch. Im Generator wird die mechanische Arbeit der Turbine in elektrische Energie transformiert. Außerdem wird ein Wärmetauscher integriert, der die hohen Temperaturen der Turbinenabgase nutzt, um die verdichtete Verbrennungsluft vorzuwärmen. So wird der Wärmeverbrauch in der Brennkammer reduziert und ein Teil der eingesetzten Energie zurückgewonnen. Auch in den Niederlanden wird an dieser Technologie gearbeitet. Die Firma Micro Turbine Technology B.V. Wir halten diese Technik für militärische Mobilität für interessant, da die Technik leicht ist und mit vielen Energieträgern betrieben werden kann. Wir möchten nachfolgende weitere Lösungen aufzeigen, deren Reifegrade höher sind.



Abbildung 6: Turbine FusionFlight Aufbau



Abbildung 7: Turbine FusionFlight



Abbildung 8: Turbine Delta Cosworth



Abbildung 9: Matuschek Turbinen-Generator Prinzip

Verbrennungsmotoren sind die bekanntesten Verbrennungskraftmaschinen. Unterscheidet man diese nach dem Bewegungsablauf, dann gibt es Hubkolbenmotoren (siehe PKW) bzw. Rotationskolbenmotoren (z.B. Wankelmotor). Bei den klassischen Hubkolbenmotoren gibt es in Europa für Militäranwendungen nur noch sehr wenige Anbieter. Die Armeen setzen i.W. Dieselmotoren ein. Da der Dieselmotor mehr und mehr ins Fadenkreuz des Klimawandels und der Umweltverschmutzung gerückt wurde, ziehen sich die OEMs mehr und mehr aus dem Diesel zurück. Kürzlich hat der OEM Stellantis für den JEEP Wrangler, der von manchen Armeen verwendet wird, das Ende des Dieselmotors angekündigt. Im PKW bzw. Klein-LKW Bereich gibt es in Europa nur noch drei echte Dieselmotoren für das Militär. Neben Steyr Motors, Österreich, fertigt noch Fiat Powertrain (F1C), Italien, einen militärischen Dieselmotor sowie Mercedes Benz (OM 656), Deutschland. In den USA gibt es weitere Hersteller. Ein normaler, ziviler Dieselmotor ist für das Militär nicht nutzbar. Die zivilen Abgasanforderungen an einen Dieselmotor sind so hoch, dass diese rein zivilen Motoren für das Militär nicht passen. Die Militärmotoren müssen auch mit Schlechtkraftstoffen betrieben werden können (z.B. Kerosin bzw. Schwefelverunreinigungen, wie sie außerhalb Europas sehr oft vorkommen), die einen zivilen Motor kaputt machen. Industriemotoren, z.B. von der Deutz AG, Deutschland, können mit Schlechtkraftstoffen umgehen. Allerdings sind diese Motoren deutlich schwerer als Automotive-Motoren und somit für den Einsatz in leichten Militärplattformen nicht geeignet. Die Firma Obrist Group, Österreich, entwickelt einen „Zero Vibration Generator“. Dabei handelt es sich um einen Verbrennungsmotor, der mit Methanol betrieben wird. Dieser dient als Stromgenerator und Range-Extender. Keyou aus München arbeitet an einem Verbrennungsmotor auf Basis von gasförmigen Wasserstoff.



Abbildung 10: Dieselmotor Mercedes Benz und Deutz



Abbildung 11: Methanol/Wasserstoff Verbrennungsmotor von der Obrist Group/Keyou

Es gibt weitere Motorenaufbauten, die technisch möglich sind, aber bisher nur eingeschränkt erforscht und produziert worden sind. Das DLR, Deutschland, hat 2013 einen Freikolbenlineargenerator entwickelt. Mittels Verbrennung bewegt sich ein Kolben linear in der Kolbeneinheit, auf der ein Permanentmagnet sitzt, der den induzierten Strom auskoppelt.

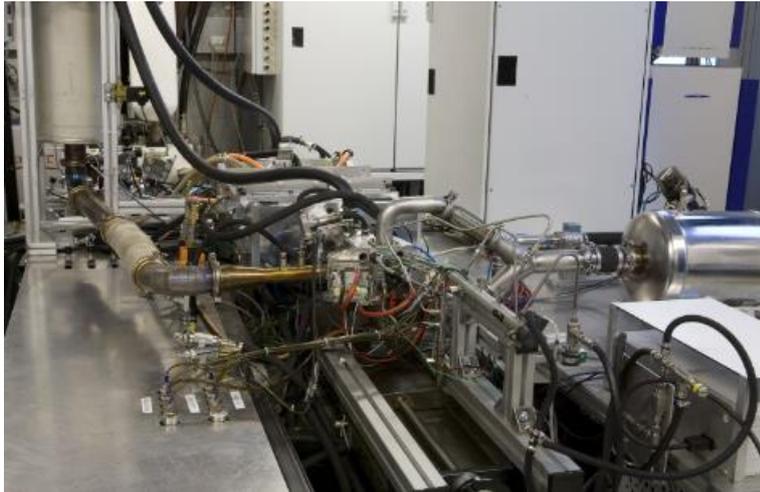


Abbildung 12: DLR Freikolbenlineargenerator

In UK forscht und entwickelt die Firma Libertine an einem ähnlichen Generator. Doch auch dieses Konzept ist nach unseren Recherchen bisher nicht in Serie umgesetzt worden. Gemäß der Herstelleraussage eignen sich diese Linearmotoren sehr gut für eine Vielzahl von Energieträgern (Vielstoffmotor).

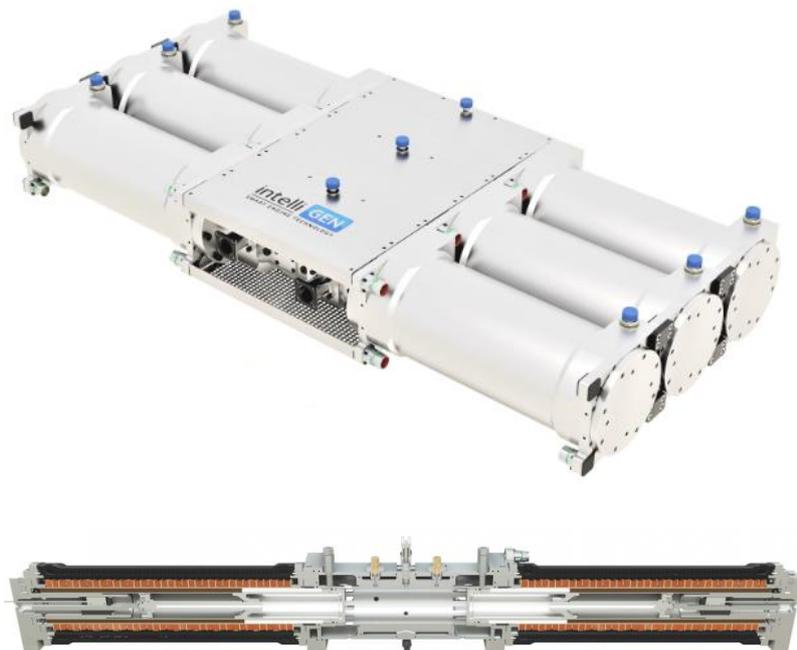


Abbildung 13: Libertine Freikolbenmotor

Abschließend möchten wir auf Rotationskolbenmotoren eingehen. Der bekannteste Vertreter dieser Art ist der Wankelmotor. Diese Motorenart wurde von Herrn Felix Wankel erfunden, der erst 1988 verstorben ist. Die Firma Wankel Super Tec GmbH, Deutschland, hat einen solchen Vielstoff-Wankelmotor entwickelt und vertreibt diesen auch. Statt eines Hubkolbens drehen sich ein oder mehrere dreiecksförmige Kreiskolben durch die Verbrennung im Kreis (Rotation). Das grundsätzliche Prinzip

ähnelt dem eines Hubkolbenmotors und besteht aus vier Takten: Ansaugung, Kompression, Expansion und Ausstoß. In den 1960'er und 1970'er Jahren wurde die Wankelmotor Technologie von großen OEMs lizenziert, konnte sich aber in der Breite nicht durchsetzen. Insbesondere der geringe Bauraum und damit das geringe Gewicht machen diese Technologie aus unserer Sicht weiterhin attraktiv. Die Firma Mazda, Japan, setzt diese Technologie beim Mazda MX-30 R-EV ein. Der Kreiskolbenmotor wird dabei aber nicht für den direkten Antrieb der Räder eingesetzt, sondern als Stromgenerator, der während der Fahrt die Batterie des Fahrzeuges auflädt (Range Extender). Die Firma EVS Hydrogen, Deutschland, beschäftigt sich ebenfalls mit dem Rotationsmotor. Der Motor von EVS Hydrogen ist robust und besteht aus wenigen Einzelteilen. Neben Wasserstoff gibt es diesen Motor auch für den Energieträger Kerosin.

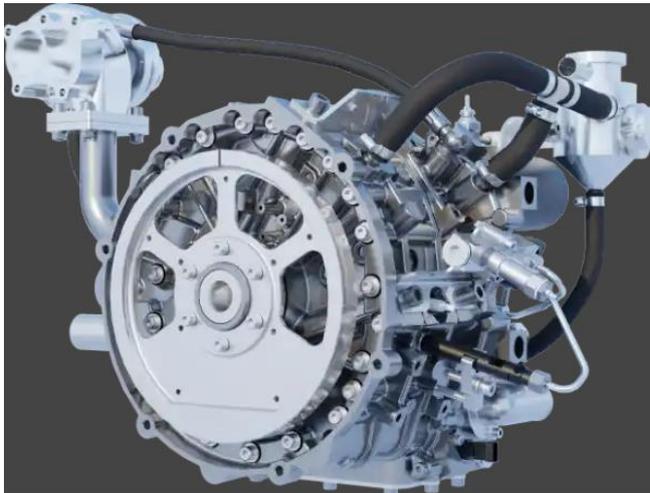


Abbildung 14: Kreiskolbenmotor Wankel Super Tec

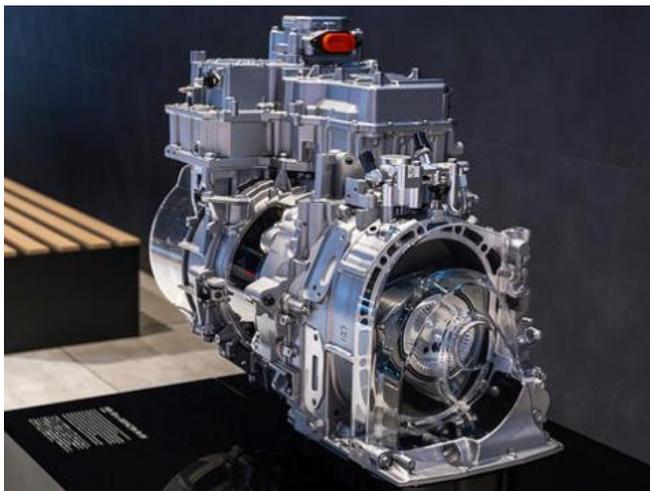


Abbildung 15: Kreiskolbenmotor Mazda



Abbildung 16: Kreiskolbenmotor Wasserstoff Verbrennungsmotor EVS Hydrogen

Wir gehen abschließend davon aus, dass die Verbrennungskraftmaschinen in Zukunft nicht mehr direkt Arbeit über mechanische Abtriebe verrichten werden. In den letzten Jahrzehnten waren Antriebsstränge stets vergleichbar aufgebaut: Motor, Getriebe, Achsen, Differentiale und Abtriebe. Aufgrund des **Megatrends geringe Stückzahlen** aus unserem ersten White Paper, gehen wir davon aus, dass Verbrennungskraftmaschinen künftig primär zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Kombiniert man eine Verbrennungskraftmaschine mit einem Generator, so entsteht aus der Arbeit des Verbrennungsmotors Strom (= serieller Hybridantrieb). Das Fahrzeug ist quasi ein fahrender Stromgenerator.

2. MÖGLICHER LÖSUNGSANSATZ FÜR DIE ZUKUNFT

Wir sehen per heute nicht den einen Lösungsansatz für die Zukunft. Fakt ist, dass die Politik die Rahmenbedingungen schaffen und vorgeben muss. Die Kernfrage für die Zukunft der Mobilität von Militär, Sicherheitskräften und Katastrophenschutz ist der Energieträger. Die Untauglichkeit von Wind und Licht für militärische Fahrzeuge haben wir ausreichend dargelegt. Flugzeuge und Schiffe lassen sich ebenfalls nicht zu 100% elektrifizieren. Ohne eine nachhaltige Energieerzeugung bzw. Energieträgererzeugung gelingt keine nachhaltige Dekarbonisierung. Durch Kohlestrom gefüllte Batteriespeicher machen sehr wenig Sinn. Durch Sonnenstrom gefüllte Batteriespeicher sind zwar besser, aber die Energiedichte und die Rohstoffverfügbarkeit von Batterien sind aus unserer Sicht für militärische und sicherheitsrelevante Mobilität ungenügend. Die Speicherfähigkeit ist zu gering. Nachdem unser Land die Stromerzeugung mittels Atomkraft abgeschaltet hat, bleibt aus unserer Sicht aktuell noch ein Weg übrig: Wir synthetisieren aus erneuerbaren Energien Energieträger (z.B. Methanol, eDiesel, Kerosin, Wasserstoff), die wir anschließend speichern und für die Mobilität einsetzen.

Dies führt uns aktuell zu zwei wesentlichen Arten Energie zu wandeln. Entweder indirekt mittels Brennstoffzelle oder direkt mit einem Verbrennungsmotor. Wasserstoff als Brennstoff für Brennstoffzellen könnten eine Rolle spielen. Dieser kann mit ausreichend Energie synthetisch hergestellt werden. Wasserstoff ist auf der Erde grundsätzlich ausreichend verfügbar und kann einen Kreislauf bilden, der kein weiteres Kohlendioxid in die Atmosphäre abgibt (z.B. Green Hydrogen). Brennstoffzellen haben aktuell (noch) den Nachteil, dass sie nicht robust genug sind. Wasserstoff hat eine sehr hohe Energiedichte und kann bei starker Komprimierung gut transportiert werden. Leider bedarf das sehr kalter Temperaturen, die wiederum gegen einen militärischen Einsatz sprechen (Versorgungskette). Wenn Kraftstoffe synthetisch hergestellt werden müssen, dann kann man auch über eFuels nachdenken. Gelingt es Kraftstoffe mit CCU (= Carbon Capture and Utilization) herzustellen, dann ergibt sich erneut ein CO₂ neutraler Kreislauf. Der Vorteil von eFuels (z.B. eDiesel oder Methanol) ist, dass sich die Energie damit einfach speichern lässt. Die Politik könnte einen Energieträger bestimmen bzw. auswählen, der anschließend in der Luft, auf dem Wasser oder an Land eingesetzt werden kann. Dies hätte wahr. erhebliche Vorteile bei den Skaleneffekten und innerhalb der Armeen. Dieses Vorhaben sollte auch innerhalb der NATO abgestimmt und synchronisiert werden. Diese synthetischen Kraftstoffe könnten dann z.B. mit Verbrennungskraftmaschinen in Strom gewandelt werden. Das hätte aus sicherheitspolitischen Gründen für Deutschland, Europa und die NATO Vorteile, da unser Kontinent dabei wenig(er) Abhängigkeiten hat (hohe Resilienz). Wie schon im letzten White Paper dargestellt, vertreten wir die Meinung, dass aufgrund der zivilen Megatrends zukünftige Fahrzeuge mehr und mehr elektrifiziert werden (elektrischer Antriebsstrang, nicht rein batterieelektrisch).

Synthetische Kraftstoffe in Kombination mit Verbrennungskraftmaschinen als Stromgeneratoren sowie ein nachgelagerter elektrischer Antriebsstrang ist für uns der zu priorisierende Lösungsvorschlag für die nahe Zukunft (2035ff) für die Mobilität von großen Teilen des Militärs, Rettungskräften, Katastrophenschutz sowie Off-road Anwendungen. Dieses Konzept halten wir vor dem Hintergrund der militärischen **Megatrends Kriegstauglichkeit, MDO** sowie **geringe Stückzahlen** für geeignet und realistisch.

3. BEDEUTUNG FÜR DIE BUNDESWEHR

Die Marine und die Luftwaffe können ihre Einsätze nicht mittels Batterien dekarbonisieren. Die Energiedichten der Batterien sowie die Rohstoffverfügbarkeit/-abhängigkeit widersprechen diesem Lösungsansatz. Je schwerer das Gerät, desto offensichtlicher ist dieser Widerspruch. Ein 6-achsiger Mobilkran von Liebherr ist nicht vernünftig elektrifizierbar. Das nachfolgend abgebildete Fahrzeug verfügt laut Hersteller über 455kW Leistung. Diese Maschinen werden mobil sowie abseits der Infrastruktur eingesetzt und bauen z.B. Windräder auf. Müsste man dieses Fahrzeug eine Stunde lang mit voller Last einsetzen, dann müsste man an das Fahrzeug einen Anhänger mit ca. 4t Batterien stellen. Diese Batterien wären nach einer Stunde leer. Neusten Berichten des Fraunhofer Institutes zur Folge ist in dem kommenden Jahrzehnt nicht mit einer signifikanten Steigerung der Energiedichte von Batterien zu rechnen.



Abbildung 17: Liebherr LTM 1300-6.2

Die breite, öffentliche Wahrnehmung der Dekarbonisierung richtet sich nicht auf diese Baumaschinen. Die Diskussion richtet sich auf standardisierte Massenware, wie PKWs sowie LKWs. Hier ist das Risiko für die Bundeswehr am größten zukünftig nicht ausreichen mobil zu sein. Kleinmobilitätslösungen wie z.B. UGVs oder eBikes werden zukünftig elektrifiziert sein, diese bleiben eine Nische. Die schwere Mobilität z.B. eines Kampfpanzers kann sich voraussichtlich an den industriellen Großmotoren abstützen, wie z.B. von MTU oder Liebherr. Wir sind der Meinung, dass die ersten Probleme auf die Bundeswehr in den Fahrzeuggewichtsklassen ca. 3.5t bis ca. 20t zukommen. Diese Gewichtsklassen sind geprägt vom zivilen Verkehr und haben allesamt begonnen, den Verbrennungsmotor auslaufen zu lassen und auf reine Elektroantriebe zu setzen. Die vorher genannten Gewichtsklassen bilden das Rückgrat der Bundeswehr.

Wie vorher dargestellt, gibt es nach unserer Kenntnis aktuell noch kein klares politisches Bild, wie der zukünftige Energieträger und Energiewandler für die Bundeswehr aussehen wird. Die Bundeswehr-Universität in München, z.B. Prof. Trapp, das Fraunhofer Institut INT, z.B. Prof. Lauster, oder das GIDS, z.B. Prof. Bayer, beschäftigen sich mit diesen Fragestellungen. Sobald der politische Rahmen für zukünftige Militäranwendungen klarer ist, sollten die Armeen der EU und NATO das

Risiko in den Fahrzeugklassen 3.5t bis 20t analysiert und geeignete Gegenmaßnahmen/ Lösungsvorschläge vorbereitet haben. Die zivilen Megatrends führen zu einer Entkoppelung von den militärischen Anforderungen, was für die Streitkräfte ein großes Risiko darstellen kann. In unserem letzten White Paper haben wir einen möglichen Lösungsvorschlag bereits dargestellt: standardisierte Mobilitätsplattformen (SMPs).

Wie aus unseren beiden White Papers abgeleitet gehen wir davon aus, dass zukünftige Mobilitätslösungen aus synthetischen Kraftstoffen in Kombination mit Verbrennungskraftmaschinen als Stromgeneratoren sowie ein nachgelagerter elektrischer Antriebsstrang bestehen. Basis dieser Komponenten sind zivile Bauteile, da der **Megatrend kleine Stückzahlen** und der **Megatrend Haushaltsdruck** nicht zulassen werden, dass teure Sonderkomponenten für geringe Stückzahlen entwickelt, produziert und vorgehalten werden. Der Staat und die Bundeswehr müssen sicherstellen, dass passende Komponenten für Mobilitätslösungen zur Verfügung stehen.

In der Industrie gibt es heute bereits solche SMPs. U.a. IVECO, Daimler Truck oder andere Hersteller stellen ihre standardisierten Chassis den Aufbauherstellern zur Verfügung. In Aufbauhersteller-Richtlinien sind die Schnittstellen zwischen dem Aufbau und dem Chassis genau beschrieben und definiert. Gängige Beispiele für dieses Industrie-Geschäftsmodell sind Betonmischer, Kühllaster oder Müllentsorgungsfahrzeuge. Die Schlüsseltechnologie dieser SMPs wird das Energiemanagement werden. Aktuell verfügt die deutsche Industrie über alle Fähigkeiten solche SMPs zu entwickeln und zu produzieren. Partnerschaften aus Industrie und öffentlicher Hand sind eine gute Lösung für die gemeinsame Bewältigung solch großer Aufgaben (Public Private Partnership). Wir halten es für wichtig, dass das Wissen und die Rechte an diesen SMPs (auch) beim Staat liegen und gleiches gilt für den Zugriff auf die kritischen Komponenten der SMPs. Der Wettbewerbs- sowie Innovationsgedanke bleibt in der Industrie rund um die Aufbauten sowie die Umsetzung der Fähigkeiten erhalten.

Die Industrie wird ohne einen klaren und kalkulierbaren Auftrag bei dieser Transformation nicht in Vorleistung gehen (können).

4. FAZIT

Ziel dieses White Papers ist es, auf Basis unserer subjektiven Erfahrungen und Einschätzungen aus unserer Zusammenarbeit mit zivilen OEMs, Systemhäusern und der Bundeswehr, dem Projekt Gesamtsystemdemonstrator Luftbeweglicher Waffenträger (GSD LuWa) sowie der Diskussion in der wehrtechnischen Branche, einen Beitrag zu leisten, dass wir sehr zeitnahe in der Diskussion der militärischen Mobilität im Kontext Klimawandel, CO2 Reduzierung, Dekarbonisierung vorankommen.

Wir kommen abschließend zu folgenden Hypothesen:

1. Ohne eine Speicherefähigkeit von Energie wird uns in absehbarer Zukunft keine Dekarbonisierung der Energie- bzw. Energieträgererzeugung gelingen.
2. Synthetisch hergestellte Energieträger werden einen sehr wichtigen Beitrag für die nachhaltige Energiewende für Militär, Rettungskräfte und Katastrophenschutz spielen.
3. Verbrennungskraftmaschinen werden bei der Wandlung der Energieträger in mechanische Arbeit für die Mobilität von Militär, Rettungskräfte und Katastrophenschutz von 3.5t – 20t Fahrzeuggesamtgewicht weiter eine wichtige Rolle spielen.
4. Es entstehen in der Industrie und beim Militär Skaleneffekte sowie Synergien, wenn man die Energieträger der Dimensionen Land, Wasser und Luft synchronisiert.
5. Wenn der Staat, die Bundeswehr, die Forschung und die Industrie nicht zeitnah damit beginnen an Lösungen zu arbeiten, entsteht für die Streitkräfte, die Rettungskräfte und den Katastrophenschutz das Risiko, in Zukunft nicht aus ausreichend bzw. nicht anforderungsgerecht mobil zu sein.