

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Bei dem erfindungsgemäßen Fahrzeug wird ein Hochleistungsenergiespeicher, insbesondere eine Schwungradanordnung für die Bereitstellung der dynamischen Fahrleistungen verwendet, der durch eine sehr schonend belastete Batterie und bei Bedarf durch einen Verbrennungsmotor sowie durch rekuperative Bremsenergie aufgeladen werden kann. Die Batterie kann bei Bedarf durch externe Netzenergie oder den Verbrennungsmotor aufgeladen werden, der auch eine Leistung zur Abdeckung der Energieverluste bei einer Dauerhöchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs liefern kann. Durch die erfindungsgemäße Dimensionierung der Komponenten ergibt sich ein hoch-effizientes, langstreckentaugliches Hybridfahrzeug mit großer emissionsfreier Reichweite und geringem spezifischem Energiebedarf bei guten dynamischen Fahrleistungen. Weiter werden vorteilhafte Ausgestaltungen unter Nutzung äquivalenter Komponenten und eine für die Antriebsvorrichtung vorteilhafte Anzeigevorrichtung offenbart.

- 1 -

Vorrichtung zum Antrieb einer Maschine mit instationärem Leistungsbedarf

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Antrieb einer Maschine mit instationärem Leistungsbedarf, wie insbesondere eines Fahrzeugs mit einem Verbrennungsmotor, einem elektrischen Energiespeicher sowie zugehöriger Antriebe.

Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zeichnen sich dadurch aus, dass der Energievorrat in Form eines oxidierbaren chemischen Energieträgers innerhalb von kurzer Zeit aufgefüllt werden kann und damit mit nur kurzen Unterbrechungen ein Betrieb des Fahrzeugs über weite Strecken und lange Zeiträume möglich ist. Allerdings weisen Verbrennungsmotoren als alleinige Fahrzeugantriebe einen geringen Wirkungsgrad auf, der zu einem großen Teil daraus resultiert, dass der Verbrennungsmotor eines Fahrzeugs und insbesondere eines Straßenfahrzeugs auf eine erheblich größere als die im Normalbetrieb im zeitlichen Mittel benötigte Leistung ausgelegt werden muss. Der Verbrennungsmotor wird daher überwiegend im unteren Teillastbereich und damit in einem Bereich mit hohem spezifischen Verbrauch und geringem Wirkungsgrad betrieben. Die Nutzung von Fahrzeugen mit verbrennungsmotorischem Antrieb unterliegt insbesondere in Ballungsräumen zunehmend strengeren Auflagen.

Elektromaschinen können sowohl als elektrischer Motor als auch als Generator betrieben werden. Damit können sie sowohl zum Antrieb eines Fahrzeugs verwendet werden als auch ein rekuperatives Bremsen des Fahrzeugs ermöglichen. Elektromaschinen weisen eine für den Antrieb von Fahrzeugen vorteilhafte Drehzahl-Drehmomentkennlinie bei gutem Wirkungsgrad und insbesondere ein hohes mögliches Drehmoment im unteren Drehzahlbereich und einen großen Drehzahlbereich mit verhältnismäßig konstantem Drehmoment oder Leistung auf. Beim Betrieb entstehen lokal keine schädlichen Abgasemissionen und der Betrieb ist geräuscharm.

- 2 -

Allerdings bereitet die Energieversorgung eines Elektromotors zum Fahrzeugantrieb erhebliche Probleme. Zugehörige Traktionsbatterien weisen relativ hohe Kosten bei relativ hohem Gewicht pro speicherbare Energiemenge und nur eine begrenzte Lebensdauer auf. Die Alterung der Traktionsbatterie ist wesentlich von den relativ zu
5 der Kapazität ein- und ausgespeicherten Leistungen und dem relativen Ladegrad der Batterie, angegeben als Prozentsatz des maximal speicherbaren Energieinhaltes - auch als „State of Charge“ (SOC) bezeichnet - abhängig. Die Lade- bzw. Entladeleistung wird allgemein als Quotient der nominellen Kapazität in Amperestunden und des fließenden Stroms in Ampere angegeben und als
10 spezifische Ladeleistung bzw. spezifischer Ladestrom „C“ bezeichnet. Mit steigendem spezifischem Ladestrom C steigen im Allgemeinen auch die Alterung der Batterie sowie deren Verlustleistung und damit auch deren Erwärmung. Zurzeit wird zur Erreichung einer langen Lebensdauer der nutzbare SOC-Bereich von Traktionsbatterien auf ca. 50 – 60 % der nominellen Kapazität begrenzt. Die für den
15 Antrieb benötigten hohen elektrischen Leistungen bedingen hohe spezifische Entladeströme und die im Fahrbetrieb auftretenden schnellen und großen Lastwechsel wirken sich zusätzlich negativ auf die Alterung der Batterie aus. Durch hohe Be- und Entladeleistungen entstehende Verlustwärme und der relativ geringe Arbeitstemperaturbereich von üblichen Traktionsbatterien erfordern eine aufwändige
20 Temperierung.

Fahrzeuge mit ausschließlichem Elektroantrieb, auch Elektrofahrzeuge genannt, weisen in der Praxis zumeist nur eine relativ geringe Reichweite auf, nach der die im Fahrzeug vorhandene Traktionsbatterie entweder durch eine externe
25 Energieversorgung aufgeladen werden oder durch eine aufgeladene Traktionsbatterie ausgetauscht werden muss. Ein Aufladen der Traktionsbatterie an Ladestationen erfordert unerwünscht lange Fahrtunterbrechungen, wobei eine Aufladung mit hohen Ladeleistungen neben hohen Anforderungen an die Ladeinfrastruktur wiederum Probleme in Bezug auf die Temperierung und Alterung
30 der Batterien aufwirft. Elektrofahrzeuge sind damit für Langstreckenfahrten, beispielsweise für eine Urlaubsfahrt von 1000 km oder mehr, höchstens eingeschränkt verwendbar, was zu erheblichen Akzeptanzproblemen führt.

- Elektrofahrzeuge fahren zwar lokal emissionslos, verlagern die Emission von Schadstoffen beim derzeitigen Strommix jedoch lediglich auf Kraftwerke. Obwohl deren Wirkungsgrad höher ist als der durchschnittliche Wirkungsgrad von
- 5 Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen, ergibt sich aufgrund der Verluste durch Transport, mehrfache Umwandlung und Speicherung insgesamt ein spezifischer Schadstoffausstoß, der dem von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor vergleichbar ist.
- 10 Es ist bekannt, an Stelle einer Traktionsbatterie zur Energieversorgung der Elektromaschine eine Brennstoffzelle zu verwenden. Diese ist jedoch ebenfalls teuer und relativ anfällig. Außerdem ermöglicht sie nur in speziellen Ausgestaltungen eine Synthese von Kraftstoff durch eingeleitete elektrische Rekuperationsenergie.
- 15 Schließlich sind die Möglichkeiten zur Rekuperation bei Elektrofahrzeugen bisher durch die Auslegung der Elektromaschine und des elektrischen Antriebsstranges begrenzt, die wirtschaftlich sinnvoll lediglich auf die maximale Antriebsleistung ausgelegt sind. Wenn die Verzögerungsleistung bei einem scharfen Bremsen über
- 20 der maximalen Antriebsleistung liegt, kann nur ein Teil der Bremsleistung rekuperiert werden, der zudem oft zusätzlich durch den Betriebszustand der Traktionsbatterie, insbesondere deren Ladezustand und Temperatur, begrenzt wird.
- Der Antrieb von Fahrzeugen mit Schwungradmotoren erlaubt bei geeigneter
- 25 Auslegung nahezu unbegrenzte Leistungen, die sowohl abgegeben als auch eingespeichert werden können. Zudem lässt sich der Energieinhalt eines Schwungrades nahezu vollständig für den Fahrbetrieb nutzen. Probleme in Bezug auf eine Alterung des Schwungrades und einen Arbeitstemperaturbereich sind gering. Auch die in der Vergangenheit bestehenden Probleme in Bezug auf die
- 30 Sicherheit sind durch neue Werkstoffe und Herstellungsverfahren weitgehend gelöst.

- 4 -

Schwungräder weisen jedoch den entscheidenden Nachteil eines in Bezug auf Masse, Volumen und Kosten geringen spezifischen Energiegehaltes auf. Die Kapazität des Schwungrades kann aufgrund des benötigten Bauraums und der für Straßenfahrzeuge nachteiligen Kreiselkräfte nicht so groß gewählt werden, dass
5 sich mit einem üblichen Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor vergleichbare Reichweiten erzielen lassen.

Hybridantriebe wurden entwickelt, um die spezifischen Vorteile der genannten Antriebsarten zu kombinieren und nach Möglichkeit deren spezifische Nachteile zu
10 verringern. Das derzeit am meisten genutzte Hybridkonzept besteht aus einer Kombination eines Verbrennungsmotors mit einem - oder mehreren - Elektromotor und einer Traktionsbatterie. Sofern ein lokal emissionsloser Antrieb mit einer für den Betrieb in sogenannten „Zero-Emissions-Zonen“ ausreichenden Reichweite
ermöglicht werden soll, ist der elektrische Antriebsstrang jedoch vergleichbar mit
15 einem reinen Elektrofahrzeug auszulegen, womit die oben genannten Probleme reiner Elektrofahrzeuge weitgehend bestehen bleiben. Lediglich das Problem der für Langstreckenfahrten nicht ausreichenden Reichweite entfällt durch das zusätzliche Vorsehen eines Verbrennungsmotors.

20 Bereits in Serie gebaute Hybridfahrzeuge weisen zumeist nur eine für eine geringe Reichweite von wenigen Kilometern ausreichende Batteriekapazität auf, wobei im Betrieb der Einsatz des Verbrennungsmotors und des Elektromotors kombiniert wird. Dies hat den Vorteil, dass sowohl die Leistung des verbrennungsmotorischen als auch des elektrischen Antriebsstranges geringer als bei einem Fahrzeug mit nur
25 einer Antriebsart ausgelegt werden können und insbesondere auch die Kapazität der Traktionsbatterie relativ gering sein kann, diese allerdings stark beansprucht wird. In Phasen mit geringem Leistungsbedarf kann wahlweise nur eine der beiden Antriebsarten verwendet werden. Dennoch muss der verbrennungsmotorische Antriebsstrang relativ groß dimensioniert werden und ein Betrieb in größeren Zero-
30 Emissions-Zonen ist nicht sinnvoll möglich. Um bei Hybridfahrzeugen eine Rekuperation zu ermöglichen, sind zugehörige elektrische Antriebsmotoren üblicherweise als Elektromaschinen realisiert.

- 5 -

Es wurden bereits einige Antriebskonzepte vorgeschlagen, die ein Schwungrad, eine elektrische Antriebsmaschine, eine Traktionsbatterie und einen Verbrennungsmotor in einem Fahrzeugantrieb kombinieren.

5

Aus dem deutschen Gebrauchsmuster DE 20 2007 015 050 U1 ist ein Hybrid-Kraftfahrzeug mit einer Schwungradanordnung bekannt, das außerdem einen Verbrennungsmotor sowie einen Elektromotor mit einer Bordbatterie aufweist. Dabei sind alle drei Antriebe über einen Kettenwandler oder ein automatisches Getriebe an eine zentrale Antriebswelle des Fahrzeugs ankuppelbar. Das dort vorgestellte Hybrid-Kraftfahrzeug zeichnet sich dadurch aus, dass mindestens zwei Schwungräder vorhanden sind, die mit gleicher Umdrehungszahl entgegengesetzt zueinander umlaufen. Gemäß einem dort genannten Ausführungsbeispiel kann der Antriebsstrang für ein Fahrzeuggesamtwicht von 2000 kg so ausgelegt sein, dass die Schwungräder auf eine Drehzahl von 9.600 bzw. 12.000 Umdrehungen pro Minute gebracht werden können und dann einen ausreichenden Energieinhalt besitzen, um das Fahrzeug einmalig von 0 auf ca. 70 km/h zu beschleunigen. Der Elektromotor soll mit einer Leistung von 10 – 12 kW ausreichend dimensioniert sein, um den Rollwiderstand auf ebenem Gelände auszugleichen, während die Dynamik durch die Schwungräder abgedeckt wird. Der Elektromotor soll dabei von der Bordbatterie gespeist werden. Da das Gewicht der Bordbatterie bei Auslegung für längere Fahrten ohne Verbrennungsmotor zu groß wäre, ist vorgesehen, dass der Verbrennungsmotor nach Bedarf mit dem Elektromotor koppelbar ist, um die Batterie wieder aufzuladen und um höhere Fahrgeschwindigkeiten als 70 km/h zu erreichen. Die Leistung des Verbrennungsmotors kann auf ca. 30 kW begrenzt sein.

Das in DE 20 2007 015 050 U1 vorgeschlagene Fahrzeug ist damit nicht in der Lage, längere Strecken lokal emissionslos zurückzulegen und weist im lokal emissionslosen Betrieb unakzeptabel geringe Fahrleistungen auf. Der nutzbare Energieinhalt der Schwungräder ist darauf ausgelegt, das Fahrzeug einmalig auf eine Geschwindigkeit von ca. 70 km/h beschleunigen zu können. Der Verbrennungsmotor kann in seiner Leistung auf ca. 30 kW begrenzt sein, wobei

- 6 -

ebenfalls mangels eines Hinweises auf eine Auslegung der Leistung auf einen verbrauchsoptimalen Betriebsbereich von einer üblichen Dimensionierung auf dessen maximale Leistung auszugehen ist. Auch fehlt es an einer Angabe der Leistung der Schwungräder, von denen lediglich bekannt ist, dass eine
5 Beschleunigung von 0 auf 70 km/h aus den Schwungrädern lediglich davon abhängig sein soll, wie schnell ein zwischengeschaltetes automatisches Getriebe hoch bzw. runterschaltet.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 1 812 480 A1 ist ein Antriebssystem für
10 Fahrzeuge bekannt, welches die Luftverunreinigung vermindern und/oder die Fahrzeugleistung verbessern soll. Dazu ist eine Verbrennungsmaschine vorgesehen, deren Leistung nur für die Aufrechterhaltung der maximalen Verkehrsgeschwindigkeit des Fahrzeugs entsprechend dem Gewicht und der Art des Fahrzeugs ausgelegt ist. Gemäß einem dortigen Ausführungsbeispiel ist für ein
15 als „üblicher Sedan“ bezeichnetes, voll beladenes Kraftfahrzeug mit 2200 kg Gesamtgewicht ein Dieselmotor mit 2 Litern Hubraum und 59 PS entsprechend 43,4 KW vorgesehen, der eine ständige Geschwindigkeit bei ebener Straße von 135 km/h ermöglichen soll. In Phasen geringeren Leistungsbedarfes kann Arbeit des Verbrennungsmotors in 12 Schwungrädern mit jeweils 44,3 kg Masse über eine
20 schaltbare mechanische Verbindung zwischengespeichert und bei Bedarf wieder an den Antriebsstrang abgegeben werden. Zusätzlich ist dort eine kleine Elektromaschine mit im Ausführungsbeispiel 4,9 PS entsprechend 3,6 kW vorgesehen, die die Schwungräder beschleunigen kann und aus einer handelsüblichen Batterie gespeist wird, die vom Verbrennungsmotor über eine
25 Lichtmaschine geladen werden kann.

Das dortige Fahrzeugantriebssystem weist keine Traktionsbatterie auf, die in der Lage wäre, das Fahrzeug ohne lokale Emissionen über eine nennenswerte Strecke zu bewegen. Die Elektromaschine ist so klein dimensioniert, dass sie eine
30 ausreichende Nachladung des Schwungrades aus der Batterie nicht möglich ist. Zudem erscheint eine Gesamt-Schwungradmasse von über 500 kg verteilt auf 12 Schwungräder für eine Nutzung in einem PKW nicht praktikabel und die Anbindung

- 7 -

der Schwungräder über eine getriebelose Rutschkupplung an den Verbrennungsmotor wenig energieeffizient.

Die deutsche Offenlegungsschrift DE 197 18 480 A1 offenbart einen Hybridantrieb für ein Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor und zumindest einer als Motor/Generator einsetzbaren Elektromaschine, bei dem die Beschleunigungsleistung über ein Bordnetz durch eine schwungradgespeiste Elektromaschine erbracht wird. Der Verbrennungsmotor ist zur Nachladung einer Batterie bzw. zur Einhaltung einer Mindestdrehzahl des Schwungrades sowie zur Überwindung des Roll- und Luftwiderstandes des Fahrzeugs vorgesehen. In einem dortigen Ausführungsbeispiel für ein Schienenfahrzeug mit 30 Tonnen Gesamtgewicht sind ein Schwungradspeicher mit 2,5 kWh nutzbarer Energie und einer Leistung von 350 kW und zwei Batterien von jeweils 25 kWh nutzbarer Energie vorgesehen, die eine lokal emissionslose Fahrstrecke von ca. 30 km abdecken sollen. Als Verbrennungsmotor ist ein Dieselaggregat mit 140 kW und als elektrische Antriebsmotoren sind 4 Elektromaschinen mit jeweils etwa 200 kW Spitzenleistung vorgesehen.

Ein Dimensionierungsvorschlag für erheblich leichtere Fahrzeuge wird dort nicht gemacht. Bei einer linearen Skalierung auf ein Fahrzeug mit 1000 kg Gesamtgewicht würde sich ein nutzbarer Energieinhalt des Schwungrades von nur 0,083 kWh und nur 11,6 kW Leistung und eine nutzbare Batteriekapazität von nur 1,66 kWh ergeben.

Zudem fehlt in der Schrift jede Bezugnahme auf eine Leistung des Verbrennungsmotors im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich. Es wird lediglich eine Leistung von 140 kW ohne Bezugnahme auf bestimmte Bedingungen angegeben, die damit augenscheinlich nach üblichen Gepflogenheiten eine Maximalleistung darstellt. In der Offenbarung wird erwähnt, dass der Verbrennungsmotor zum Nachladen der Batterien im Stadtverkehr etwa bei Halblast betrieben werden könne, was bei üblichen Verbrennungsmotoren in der Regel keinem Betrieb im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich entspricht. Im Überlandverkehr soll die

Leistungsabgabe des Verbrennungsmotors so bemessen werden, dass lediglich der jeweilige Luftwiderstand und Rollwiderstand des Fahrzeugs nach Art einer Störgrößenaufschaltung ausgeglichen werden. Damit sind weder eine Dimensionierung des Verbrennungsmotors auf Basis seiner Leistung im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich offenbart, noch dessen Betrieb in diesem Bereich nahegelegt.

Obwohl unterschiedliche Hybridantriebe unter Einbeziehung von Schwungrädern, Verbrennungsmotoren, Elektromotoren, Batterien und Brennstoffzellen bekannt sind, fehlt es an einer vorteilhaften Dimensionierung und Abstimmung der genannten Komponenten, die eine Erreichung der in der Aufgabenstellung benannten Ziele erlaubt.

Um im Folgenden eine einheitliche Terminologie und ein einfaches Verständnis der Erfindung zu ermöglichen, werden zunächst einige zentrale Begriffe definiert:

Eine Maschine mit instationärem Leistungsbedarf ist eine Maschine oder ein Aggregat, dessen Leistungsabgabe bei üblichem, bestimmungsgemäßigem Betrieb starken Schwankungen von wenigstens einem Faktor 3 der im kurzfristigen zeitlichen Mittel abgegebenen Leistung unterliegt, insbesondere ein radgetriebenes Straßenfahrzeug.

Der Begriff Hybridfahrzeug bezeichnet zunächst und vor allem ein radgetriebenes Straßenfahrzeug mit einer Kombination aus zumindest zwei unterschiedlichen motorischen Antrieben. Der Begriff soll im Rahmen dieser Schrift jedoch weder auf radgetriebene Fahrzeuge noch auf Straßenfahrzeuge eingeschränkt sein, sodass beispielsweise Ketten- und schraubengetriebene Fahrzeuge ebenso mit umfasst sind wie Landfahrzeuge, die abseits befestigter Straßen bewegt werden sowie Wasser- und Luftfahrzeuge. Weiter soll der Begriff weder durch den Zweck des Fahrzeugs noch durch seine typische Größe beschränkt sein, sodass z.B. auch Spielzeug- oder Modellfahrzeuge, fahrerlose Transportsysteme, und selbstfahrende Arbeitsmaschinen vollständig mit umfasst sind. Zur besseren Verständlichkeit wird

im Folgenden stets auf ein Hybrid-Straßenfahrzeug abgestellt, ohne dass damit eine Einschränkung in Bezug auf die Art der Maschine oder des Fahrzeugs beabsichtigt ist.

5 Der Begriff Antriebsmittel umfasst neben einem antreibbaren Rad (Antriebsrad) eines Fahrzeugs auch äquivalente Elemente wie Fahrketten, Schrauben oder Propeller. Der Begriff umfasst auch eine Mehrzahl antreibbarer Räder oder deren Äquivalente, die zum Vortrieb eines Fahrzeugs oder zum Antrieb weiterer Einrichtungen vorgesehen sind.

10

Ein chemisch-mechanischer Energiewandler wandelt chemische Energie in mechanische Energie bzw. Arbeit um. Dazu gehören beispielsweise ein Verbrennungsmotor sowie auch die Kombination aus einer Brennstoffzelle und einer Elektromaschine und dergleichen.

15

Unter einem Verbrennungsmotor wird im allgemeinen Sprachgebrauch ein Motor mit innerer Verbrennung verstanden, insbesondere nach Art eines mit Gas oder flüssigem Kraftstoff wie Diesel oder Benzin betriebenen Kolbenmotors. Im Rahmen dieser Schrift soll der Begriff des Verbrennungsmotors weiter sämtliche Motoren umfassen, bei denen ein chemischer Energieträger durch Oxidation mechanische Energie „erzeugt“. Damit sind neben Wankelmotoren und Vielstoffmotoren beispielsweise auch Freikolbenmotoren und Turbinenmotoren mit umfasst.

20

Der optimale Arbeitsbereich des Verbrennungsmotors bezieht sich auf einen Leistungsbereich, in dem der Verbrennungsmotor unter Beachtung von Randbedingungen im Bereich maximalen Wirkungsgrades betrieben werden kann. Die Größe des optimalen Arbeitsbereiches kann beispielsweise durch Vorgabe eines akzeptablen Mehrverbrauchs pro abgegebener Leistung festgelegt werden, der beispielsweise maximal + 10 %, bevorzugt jedoch nicht mehr als + 5 % betragen kann. Die zu beachtenden Randbedingungen beziehen sich in erster Linie auf den Verschleiß und den Schadstoffausstoß des Verbrennungsmotors, beispielsweise die Temperaturen des Motors, Motoröls und Kühlwassers und die Temperatur und den

30

- 10 -

Beladungsgrad von Katalysatoren und/oder Partikelfiltern sowie die Kraftstoffqualität, kann jedoch auch weitere Größen wie beispielsweise den Luftdruck berücksichtigen. Der optimale Arbeitsbereich kann zudem unter Einbeziehung der Wirkungsgrade von Nebenaggregaten bestimmt und/oder in Bezug auf das Gesamtfahrzeug definiert werden. So kann es beispielsweise bei 5 geringer Betriebstemperatur des Verbrennungsmotors oder hohem Heizenergiebedarf der Batterie und/oder des Fahrzeuginnenraums energetisch sinnvoll sein, vorübergehend gezielt einen geringeren mechanischen Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors einzustellen, wenn die Nutzung der durch den 10 Verbrennungsmotor erzeugten Abwärme in Bezug auf das gesamte Fahrzeug energetisch effektiver als alternative Arten der Wärmeerzeugung ist.

Unter einer Brennstoffzelle wird eine Vorrichtung verstanden, in der aus einem chemischen Energieträger direkt, also ohne Umwandlung in mechanische Energie 15 bzw. Arbeit, elektrische Energie gewonnen wird. Die meisten Brennstoffzellen arbeiten mit Wasserstoffgas und Luftsauerstoff und sollen im Rahmen dieser Schrift in Kombination mit einem Elektromotor als lokal emissionslose Antriebe oder wie vorstehend erwähnt als Äquivalent eines Verbrennungsmotors verstanden werden. Sofern der Wasserstoff jedoch zunächst an Bord des Fahrzeugs aus einem 20 kohlenstoffhaltigen Energieträger, insbesondere Methan oder Benzin unter Emission von CO₂ erfolgt, kann das System aus Reformer, Brennstoffzelle und elektrischem Motor als chemisch-mechanischer Energiewandler betrieben werden

Einige Brennstoffzellen erlauben eine Umkehrung des Prozesses oder sind mit 25 Systemen gekoppelt, die eine Gewinnung eines chemischen Energieträgers durch Einsatz von elektrischer Energie erlauben. Eine derartige reversible Umwandlung stellt ein funktionales Äquivalent zu einer Batterie dar. Dabei umfasst der Begriff der reversiblen Brennstoffzelle auch eine Kombination aus einer nicht-reversibel arbeitenden Brennstoffzelle und einer Vorrichtung zur Erzeugung eines chemischen 30 Energieträgers aus elektrischer Energie.

- 11 -

Ein Hochleistungsenergiespeicher ist ein Energiespeicher, der im Verhältnis zu herkömmlichen, elektrochemischen Energiespeichern wie Lithium-Ionen-Zellen eine in Bezug auf die Energiekapazität sehr hohe Be- und Entladeleistung bei geringer Alterung ermöglicht und dabei bevorzugt nur eine geringe, als Wärme anfallende Verlustleistung aufweist und zudem bevorzugt einen im Vergleich zu

5 herkömmlichen, elektrochemischen Energiespeichern großen nutzbaren Anteil der nominellen Kapazität aufweist. Dies sind in erster Linie mechanische Energiespeicher und besonders Schwungräder können aber auch bestimmte Kondensatorbatterien sein, die die entsprechenden Eigenschaften aufweisen,

10 insbesondere bestimmte Doppelschicht-Kondensatoren wie sogenannte Super- oder Ultracaps.

Ein mechanischer Energiespeicher kann insbesondere eine Schwungradanordnung, ein mechanischer Federspeicher, ein pneumatischer bzw. hydro-pneumatischer

15 Druckspeicher oder dergleichen sein.

Eine Schwungradanordnung, die ein oder mehrere Schwungräder enthalten kann, kann mittels einer rotierenden Masse Energie aufnehmen und abgeben. Der Energieinhalt des Schwungrades (bzw. mehrerer Schwungräder) wird als

20 Prozentsatz der maximal speicherbaren, tatsächlich nutzbaren Energie des Schwungrades angegeben und als State of Charge (SOC) bezeichnet.

Ein elektrischer Energiespeicher ist insbesondere ein Elektroschwungrad, ein elektrischer Kondensator, eine Batterie, ein reversibel arbeitendes Brennstoffzellen-

25 System oder dergleichen.

Ein Elektroschwungrad ist üblicherweise eine funktionale Kombination aus einem Schwungrad und einer Elektromaschine, wobei die Elektromaschine physikalisch einen Teil des Elektroschwungrades bilden und bevorzugt in das Gehäuse des

30 Schwungrades integriert sein kann. Ein elektrischer Kondensator kann insbesondere auch ausgebildet sein als ein kapazitiver Hochleistungsspeicher auf Basis von Doppelschichtkondensatoren, wie sogenannte Super- oder Ultracaps, mit

- 12 -

- entsprechender Ansteuerungselektronik. Derartige Super- oder Ultracaps sind insofern mit einem Elektroschwungrad vergleichbar, da sich beide Komponenten bei ähnlichem maximalem Energieinhalt im Rahmen des vorgestellten Antriebskonzeptes aufgrund der relevanten Eigenschaften (geringe Alterung und
- 5 Erwärmung bei großen ein- und ausgespeicherten Leistungen bei gutem Wirkungsgrad, nahezu vollständig nutzbare nominelle Kapazität, großer Arbeitstemperaturbereich, Selbstentladungsverhalten) gegen einander austauschen lassen.
- 10 Im Rahmen dieser Schrift umfasst der Begriff der Batterie einen Speicher für elektrische Energie auf Basis einer reversiblen elektrochemischen Umwandlung und darüber hinaus auch äquivalent wirksame Speicher für elektrische Energie, insbesondere auf Basis von elektrischen oder magnetischen Feldern. Bei
- 15 elektrochemischen Batterien ist zu beachten, dass der nutzbare Ladungsbereich üblicher Weise nur ca. 50 % der nominellen Kapazität der Batterie beträgt, da die Batterie zur Verringerung der Alterung in einem Ladungsbereich von ca. 40 – 90 % der maximal möglichen Ladungsmenge gehalten werden soll.
- Im Folgenden wird, soweit nichts anderes angegeben ist, bei Angaben über den als
- 20 State of Charge (SOC) bezeichneten, nutzbaren Energieinhalt einer Batterie nicht auf die nominelle Kapazität der Batterie Bezug genommen, sondern auf die tatsächlich in der Praxis nutzbare Kapazität einer nicht gealterten Batterie unter üblichen Betriebsbedingungen. Eine nominelle Batteriekapazität von z. B. 15 kWh entspricht daher bei einem angenommenen nutzbaren Ladungsbereich von 50 %
- 25 einer tatsächlich nutzbaren Kapazität von 7,5 kWh. Ein SOC von 33% entspricht daher einer entnehmbaren Energie von 2,5 kWh. In besonderen Betriebszuständen kann der nutzbare Anteil der nominellen Batteriekapazität temporär erweitert werden, weshalb in diesen Fällen auch ein SOC von unter 0 % oder über 100 % grundsätzlich möglich ist, beispielsweise um bei einem Ausfall des
- 30 verbrennungsmotorischen Antriebsstranges das Fahrziel bzw. eine Werkstatt erreichen zu können (sogen. Limb home), oder bei sehr hohen

- 13 -

Fahrleistungsanforderungen (Kick down) trotz Erreichen der Entladegrenze der Batterie erhöhte Fahrleistungen zu ermöglichen.

- 5 Unter einer geringen spezifischen Belastung der Batterie soll eine spezifische Be- und Entladeleistung der Batterie von zumindest unter 3 C, bevorzugt jedoch unter 2 C verstanden werden. Besonders bevorzugt ist eine spezifische Be- und Entladeleistung von in der Regel 1 C oder weniger, wobei in bestimmten Betriebsituationen auch eine zeitweise Erhöhung auf bis zu ca. 2 C oder bevorzugt 1,5 C möglich sein soll. Dies ermöglicht es, die Batteriezellen auf einen hohen
- 10 spezifischen Energieinhalt zu optimieren, wodurch bei gleichem Gewicht und Volumen der Batterie eine erheblich größere Batteriekapazität realisiert werden und somit entweder Gewicht und Bauraum gespart oder die Batterie bei gleichem Gewicht eine höhere Kapazität aufweisen kann, wodurch längere lokal emissionslose Reichweiten erzielbar sind. Hinzu kommt, dass eine geringe
- 15 spezifische Batteriebelastung auch eine Vergrößerung des nutzbaren Ladungsbereiches erlaubt, wodurch die nominelle Batteriekapazität ebenfalls kleiner gewählt werden oder bei gleicher nomineller Batteriekapazität eine höhere nutzbare Batteriekapazität bereitgestellt werden kann. Weiter ist die pro entnommener oder eingespeicherter Energiemenge in der Batterie anfallende Abwärme bei niedrigen
- 20 spezifischen Be- und Entladeleistungen erheblich geringer, was die Temperierung der Batterie stark vereinfacht und schließlich ist die Alterung der Batterie bei geringen spezifischen Leistungen bei ansonsten gleichen Randbedingungen erheblich geringer.
- 25 Eine relativ langzyklische Belastung der Batterie liegt vor, wenn im Vergleich zu den schnellen Wechseln zwischen Be- und Entladungsphasen von üblichen Batterie- und Elektrohybridfahrzeugen im zeitlichen Mittel nur sehr wenige Wechsel erfolgen. Dieses Merkmal ist erfüllt, wenn die Anzahl der Wechsel pro Zeit wenigstens ca. 5 bis bevorzugt 10 mal und besonders bevorzugt mehr als 20 mal seltener erfolgen.
- 30 Dies hat eine positive Wirkung auf das Alterungsverhalten der Batterie und erlaubt zudem eine relativ träge Steuerung.

- 14 -

Der Begriff der hohen dynamischen Fahrleistung ist hauptsächlich durch das Leistungsgewicht des Fahrzeugs bestimmt. Unterschiede in Bezug auf die Rollwiderstände und den Cw-Wert sind insbesondere innerhalb von Fahrzeugtypen, z.B. üblichen PKW, SUV, Pickups, Transportern, leichten und schweren LKW bei moderner Auslegung und Fertigung relativ gering. Daher ist eine Bezugnahme auf das Leistungsgewicht des Fahrzeugs ausreichend genau, um die dynamischen Fahrleistungen anzugeben.

Dabei wird davon ausgegangen, dass das durchschnittliche Leistungsgewicht aller im Jahr 2012 in Deutschland zugelassener PKW von den Käufern offensichtlich als Motorisierung mit einer ausreichend guten dynamischen Fahrleistung angesehen wird. Diese lag laut Statistik der Krafftahrtbundesamtes für 2012 bei ca. 15 kg/kW maximaler Antriebsleistung.

Aufgrund der hier vorgesehenen zumindest überwiegenden Bereitstellung der Antriebsleistung durch Elektromaschinen und deren in Bezug auf die Beschleunigung des Fahrzeugs einem Verbrennungsmotor erheblich überlegenen Leistungskurven während der Beschleunigung kann weiter davon ausgegangen werden, dass ein Leistungsgewicht von ca. 20 kg/kW ausreichend sein kann, um eine noch gute dynamische Fahrleistung bereitzustellen. Übliche Sportwagen wie der Audi TT quattro weisen ein Leistungsgewicht von ca. 10 kg/kW und höchstmotorisierte, sogenannte Supersportler wie der Porsche 911 Carrera S, von 5 kg/kW auf. Es sei darauf hingewiesen, dass für die Ermittlung des Leistungsgewichtes eine mögliche Leistung der Batterie für den Antrieb des Fahrzeugs außer Betracht bleibt, da deren Leistung bei leerer Batterie, insbesondere bei längeren Fahrten mit Geschwindigkeiten oberhalb der Dauerhöchstgeschwindigkeit und damit in einem wichtigen Betriebsbereich, nicht zuverlässig zur Verfügung steht.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Antriebsvorrichtung zum Antrieb von Maschinen mit instationärem Leistungsbedarf, wie insbesondere von Kraftfahrzeugen, vorzustellen, wobei eine derart angetriebene Maschine

- 15 -

- eine ausgezeichnete Energieeffizienz aufweist,
- hohe dynamische Fahrleistungen bereitstellen kann,
- sich für den lokal emissionslosen Betrieb in größeren Zero-Emissions-Zonen eignet,
- 5 – sich für den Langstreckenbetrieb mit unterbrechungsfreier Fahrt von zumindest einigen hundert Kilometern eignet ,
- eine geringe und relativ langzyklische Belastung der Batterie durch geringe spezifische Be- und Entladeströme erlaubt, sowie
- eine hohe Ausfallsicherheit gegen sogenannte Liegenbleiber bietet.

10

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1 bzw. durch ein Fahrzeug mit einer entsprechenden Antriebsvorrichtung. Durch den letzten unabhängigen Anspruch wird außerdem eine Anzeigevorrichtung vorgestellt, die für die Verwendung der erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung von großem
15 Vorteil ist. Durch die abhängigen Ansprüche werden vorteilhafte Weiterentwicklungen unter Schutz gestellt.

20

Die erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1 dient zum Antrieb einer Maschine mit instationärem Leistungsbedarf, wie beispielsweise von einem Kraftfahrzeug. Dabei ist zunächst ein erster chemisch-mechanischer
Energiewandler, der beispielsweise und bevorzugt als Kolben-Verbrennungsmotor, aber z.B. auch als Turbinenmotor oder Motor sonstiger Bauart zur Erzeugung mechanischer Arbeit aus einem chemischen Energieträger ausgestaltet sein kann, und/oder eine erste Brennstoffzelle enthalten, die ggf. auch reversibel arbeiten kann
25 oder durch Zuordnung eines Reformers eine reversibel betreibbare Brennstoffzellen-Systemkomponente bilden kann. Weiterhin ist ein erster elektrischer Energiespeicher enthalten, der bevorzugt als elektrochemische, reversible Batterie, insbesondere auf Lithium-Ionen-Basis oder als ähnlich wirkender, reversibler elektrischer Speicher gestaltet sein kann und/oder eine zweite
30 Brennstoffzelle bzw. eine zweite Brennstoffzellen-Systemkomponente enthalten.

Weiter ist als für die Erfindung zentrale Komponente ein Hochleistungsenergiespeicher vorgesehen, der sich wie vorstehend definiert dadurch auszeichnet, dass er im Vergleich zu derzeit bekannten elektrochemischen Energiespeichern bezogen auf den maximalen Energieinhalt sehr hohe Leistungen bei geringer Alterung und mit gutem Wirkungsgrad einspeichern und abgeben kann. Zudem erlaubt der Hochleistungsenergiespeicher bevorzugt im Vergleich zu bekannten elektrochemischen Batterien auf Lithium-Ionen Basis die Nutzung eines sehr großen SOC-Bereichs bei geringer Alterung. In konkreten Ausgestaltungen besteht dieser Hochleistungsenergiespeicher bevorzugt aus einem mechanischen Energiespeicher und besonders einer Schwungradanordnung. Alternativ oder ergänzend können für diesen mechanischen Energiespeicher auch ein Federspeicher, ein pneumatischer bzw. hydro-pneumatischer Druckspeicher oder dergleichen enthalten sein. Den mechanischen Energiespeichern ist dabei eine zweite Elektromaschine zugeordnet, die bevorzugt auf die vorgesehene Leistung des mechanischen Energiespeichers ausgelegt ist und vorteilhaft als Elektromaschine eines Elektroschwungrads ausgebildet sein kann. Bei der Verwendung einer Schwungradanordnung kann genau ein oder alternativ mehrere Schwungräder vorgesehen werden, die in diesem Fall zur Auslöschung fahrdynamischer Einflüsse der Schwungräder durch Kreiselkräfte bevorzugt geradzahlig und hälftig gegenläufig ausgebildet sind. Daneben sind jedoch auch andere Ausgestaltungen, insbesondere auf Basis von die vorgenannten Kriterien erfüllenden Hochleistungskondensatoren, insbesondere Doppelschichtkondensatoren und hier besonders sogenannten Super- oder Ultracaps und Hybridkondensatoren möglich.

Da diese Hochleistungsenergiespeicher im Vergleich zu üblichen elektrochemischen Energiespeichern pro Energiespeicherkapazität sehr teuer sind, ist ihr Einsatz als erster elektrischer Energiespeicher, zum Beispiel an Stelle einer Lithium-Ionenbatterie, nicht wirtschaftlich möglich und würde bei Ausgestaltung als mechanischer Energiespeicher zudem erhebliche Probleme in Bezug auf Gewicht, benötigten Bauraum und im Fall eines Schwungrad-Moduls ggf. in Bezug auf große, für die Fahrdynamik nachteilige Kreiselkräfte aufwerfen.

- 17 -

Schließlich umfasst die erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung zumindest ein Antriebsmittel, insbesondere ein oder mehrere Antriebsräder und die erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung ist so gestaltet und deren vorgenannte
5 Komponenten sind so angeordnet, dass sie – soweit in einer konkreten Ausgestaltung vorhanden - das oder die Antriebsmittel mechanisch und/oder elektrisch antreiben können.

Für die Lösung der gestellten Aufgabe hat sich herausgestellt, dass es besonders
10 vorteilhaft ist, wenn der Hochleistungsenergiespeicher eine Leistung für den Antrieb der Maschine abgeben kann, die um den Faktor 1,5 bis 8 höher ist als die Summe der Leistungen des ersten chemisch-mechanischen Energiewandlers im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich und/oder der ersten Brennstoffzelle. Es hat sich weiterhin herausgestellt, dass ein Faktor innerhalb des Bereiches von 2 bis 6
15 besonders gut ist und ein Optimum um den Wert 4 liegt, wobei Werte innerhalb einer Spanne von 3 bis 5 auch sehr gut geeignet sind. Dabei versteht es sich von selbst, dass unter der Leistung der ersten Brennstoffzelle hier deren auslegungsgemäße maximale bzw. maximale Dauerleistung unter Berücksichtigung üblicher Randbedingungen wie der Alterung verstanden werden soll, da eine
20 Dimensionierung bezogen auf eine beliebig einstellbare Teilleistung oder eine nur kurzzeitig realisierbare Überlast-Leistung keinen Sinn ergeben würde. Sofern sich bei bestimmten Brennstoffzellentypen im oberen Teillastbereich ein optimaler Wirkungsgrad ergibt, ist es entsprechend den Ausführungen zur Leistung des Verbrennungsmotors selbstverständlich ebenfalls bevorzugt, diesen Betriebspunkt
25 oder Betriebsbereich mit optimalem Wirkungsgrad als auslegungsbestimmend zu wählen.

Die vorgenannte Dimensionierung ist deshalb besonders vorteilhaft, weil sie bei einer auslegungsgemäß als gegeben angesehenen, maximalen Gesamtleistung der
30 Maschine bzw. des Kraftfahrzeugs eine vorteilhaft kleine Dimensionierung des chemisch-mechanischen Energiewandlers bzw. der ersten Brennstoffzelle, bei gleichzeitig hoher Gesamtleistung erlaubt, ohne den ersten elektrischen

Energiespeicher unerwünscht groß auslegen oder unerwünscht stark beanspruchen zu müssen. Dies wird insbesondere mit Bezug auf das zweite Ausführungsbeispiel weiter unten detailliert ausgeführt.

- 5 Im Folgenden werden die vorliegende Erfindung und deren Vorteile näher erläutert. Dabei wird sie an vielen Stellen so beschrieben, dass anstelle von allgemeinen Begriffen, wie „chemisch-mechanischer Wandler“ und „Hochleistungsenergiespeicher“ konkrete Ausführungen genannt werden, wie „Verbrennungsmotor“ bzw. „Schwungrad-Modul“ oder „Schwungradanordnung“. Es sei darauf hingewiesen, dass dies lediglich der einfacheren Beschreibung dienen und keinesfalls eine Beschränkung der Erfindung darstellen soll.

- Durch die erfindungsgemäße vorteilhafte Dimensionierung wird ein extrem verbrauchs- und emissionsarmer Antrieb für Maschinen mit stark instationärem Leistungsbedarf und insbesondere für Kraftfahrzeuge ermöglicht, da sie bei kleiner Dimensionierung des Verbrennungsmotors die Bereitstellung einer hohen Antriebsleistung ermöglicht, ohne dabei erhebliche Probleme in Bezug auf den für das Schwungrad-Modul benötigten Bauraum und dessen Kosten aufzuwerfen und gleichzeitig die möglichen fahrdynamischen Einflüsse des Schwungrad-Moduls durch Kreiselkräfte noch ausreichend gering sind.

- Da die Gesamtleistung der Maschine bzw. des Kraftfahrzeugs ein wesentliches Auslegungskriterium darstellt, kann sie für eine bestimmte Maschine oder Kraftfahrzeug als weitgehend gegeben angesehen werden. Damit führt die erfindungsgemäße Dimensionierung der Leistung der Schwungradanordnung und des Verbrennungsmotors bzw. ihrer äquivalenten Ausgestaltungen dazu, dass der Verbrennungsmotor (gerundet) nur für 11,1 - 40 %, bevorzugt 14,3 – 33,3 % besonders bevorzugt 16,7 – 25% und am meisten bevorzugt ca. 20% der Gesamtleistung aus Schwungrad-Modul und Verbrennungsmotor im verbrauchsoptimalen Bereich auszulegen ist. Diese Aufteilung der Leistungen der Hauptantriebsquellen ist geeignet, um den Verbrennungsmotor so klein auszulegen, dass er vollständig oder zumindest weit überwiegend in einem verbrauchsoptimalen

Betriebsbereich betrieben werden kann bzw. im Fall einer Brennstoffzelle eine in Bezug auf deren hohe leistungsbezogene Kosten wirtschaftlich sinnvolle Auslegung zu akzeptablen Gesamtkosten überhaupt erst ermöglicht wird.

- 5 Bei einem bekannten Einsatz einer elektrochemischen Batterie zur Speicherung überschüssiger Leistung des Verbrennungsmotors und aus Rekuperation und als Haupt-Antriebsquelle des Fahrzeugs würden sich erhebliche Probleme in Bezug auf große Be- und Entladungsströme ergeben, die entweder das Vorsehen einer sehr groß dimensionierten Batterie mit entsprechenden Nachteilen in Bezug auf
- 10 benötigten Bauraum, Gewicht und Kosten erfordern oder eine sehr große Belastung der Batterie durch hohe spezifische Be- und Entladeströme C und damit erhebliche Probleme in Bezug auf deren Temperierung und Alterung bedingen würden.

Würde die Leistung der Schwungradanordnung im Verhältnis zur Leistung des

15 Verbrennungsmotors kleiner gewählt, würde dessen Leistung so groß, dass der Betrieb im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich in vielen Betriebsphasen, insbesondere im Stadtverkehr nur durch nachteilig hohe Ladeströme in die Batterie möglich wäre. Sofern die Batterie nicht sehr groß und damit unerwünscht schwer und teuer ausgelegt würde, könnte der Verbrennungsmotor (bzw. eine

20 Brennstoffzelle, usw.) aufgrund der begrenzten Aufnahmefähigkeit der Batterie und der Schwungradanordnung nur für kurze Zeiträume betrieben werden. Damit würde der Anteil der Betriebszeit des Verbrennungsmotors und einer zugeordneten Abgasreinigungsanlage in einem nicht ausreichenden Temperaturbereich unerwünscht hoch, oder der Verbrennungsmotor müsste im in Bezug auf den

25 Verbrauch und die Abgasemissionen sehr nachteiligen Teillastbereich betrieben werden. Zudem wären der Verbrennungsmotor (bzw. eine Brennstoffzelle, usw.) im Vergleich zu einer erfindungsgemäßen Dimensionierung durch ein unvorteilhaft großes Gewicht und einen unvorteilhaft großen Bauraumbedarf und unnötig hohe Kosten gekennzeichnet.

30

Würde die Leistung der Schwungradanordnung im Verhältnis zur Leistung des Verbrennungsmotors größer gewählt, könnte der Verbrennungsmotor bei einer

- 20 -

Auslegung auf eine sinnvolle Gesamt-Antriebsleistung in vielen Situationen keinen ausreichenden Beitrag zum Antrieb des Fahrzeugs, etwa auf Langstrecken-Autobahnfahrten oder zur Nachladung der Batterie leisten, da seine Leistung bereits bei moderaten Fahrleistungsanforderungen vollständig für den Antrieb des

5 Fahrzeugs benötigt würde. Um dies zu verhindern, und den Verbrennungsmotor (bzw. eine Brennstoffzelle, usw.) dennoch ausreichend groß zu dimensionieren, um auch bei entladener Batterie ausreichende Fahrleistungen und ein Nachladen der Batterie zu ermöglichen, müsste die Schwungradanordnung so groß dimensioniert werden, dass sich daraus für den Betrieb des Fahrzeugs keine oder nahezu keine

10 Vorteile mehr ergeben. Eine solche Dimensionierung würde demnach einen in Bezug auf Kosten und Bauraumbedarf unnützen Aufwand darstellen.

Insbesondere hat sich gezeigt, dass eine Leistung des Hochenergiespeichers, die um den Faktor 1,5 größer ist, als die Leistung des ersten mechanischen

15 Energiewandlers im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich, zu einer Auslegung des Verbrennungsmotors führt, bei der dessen Leistung bei sinnvoller Auslegung der Batterie gerade noch mit erwünscht kleinen spezifischen Ladeströmen in die Batterie speicherbar ist. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge mit einem Leistungsgewicht zwischen ca. 20 kg/kW und ca. 10 kg/kW und bildet damit eine

20 untere Grenze des Faktorbereiches.

Eine Auslegung auf Faktor 8 führt zu relativ kleinen Auslegungen des Verbrennungsmotors. Bei einer noch kleineren Dimensionierung würde insbesondere bei Fahrzeugen mit einem relativ hohen Leistungsgewicht dessen

25 Fähigkeit in Frage gestellt, eine ausreichend hohe Dauerhöchstgeschwindigkeit zu gewährleisten bzw. würde alternativ die Leistung des Schwungrades bei Fahrzeugen mit sehr niedrigem Leistungsgewicht so groß, dass die Gesamtantriebsleistung bei Auslegung der Leistung des Verbrennungsmotors auf eine akzeptable Dauerhöchstgeschwindigkeit einer aufgrund des zusätzlichen

30 Aufwandes nicht erwünschten Übermotorisierung entspräche. Faktor 8 bildet daher eine sinnvolle obere Grenze des Faktorbereiches.

Eine Auslegung auf einen bevorzugten bzw. stärker bevorzugten Faktorbereich 2 bzw. 3 als untere Grenze ermöglicht bei mit ca. 15 kg/kW „normal“ motorisierten Fahrzeugen im Vergleich zu Faktor 1,5 eine kleinere Dimensionierung des Verbrennungsmotors, was bei aufgabengemäß geforderten kleinen spezifischen Ladeleistungen der Batterie eine Auslegung der Batterie auf kleinere Kapazitäten ermöglicht, woraus eine höhere Designfreiheit bei der Wahl der Batteriekapazität und bei Wahl einer kleineren Batteriekapazität eine geringere Fahrzeugmasse und entsprechend bessere dynamische Fahrleistungen folgen. Dabei erlauben die Faktoren 2 bzw. 3 erwünscht hohe Dauerhöchstgeschwindigkeiten von ca. 120 – 130 km/h für „normal“ motorisierte Fahrzeuge mit einem Leistungsgewicht von ca. 15 kg/kW und von ca. 160 – 180 km/h für sportlich motorisierte Fahrzeuge mit ca. 10 kg/kW Leistungsgewicht, was für Märkte mit einer hohen oder fehlenden allgemeinen Geschwindigkeitsbeschränkung vorteilhaft den Erwartungen der Kunden an derartige Fahrzeuge mit entsprechender Motorisierung entspricht.

Eine obere Grenze des Faktorbereichs von 6 bzw. 5 sind bevorzugt bzw. stärker bevorzugt, weil sie bei gegebenem Leistungsgewicht im Vergleich mit Faktor 8 eine vorteilhaft größere Leistung des Verbrennungsmotors erlauben, die gerade bei mit ca. 15 kg/kW „normal“ motorisierten Fahrzeugen eine höhere Dauerhöchstgeschwindigkeit erlauben, die für Märkte mit einer allgemein gültigen Höchstgeschwindigkeit von ca. 100 bzw. 110 km/h ausreichend ist. Die mögliche, höhere Ladeleistung ermöglicht weiter die schnellere Aufladung der Batterie z.B. in Vorbereitung auf eine Einfahrt in eine Zero-Emissions-Zone, ohne bei aufgabengemäßer geringer spezifischer Ladeleistung der Batterie deren Kapazität unerwünscht groß wählen zu müssen. Entsprechendes gilt auch für sportlich motorisierte Fahrzeuge mit einem Leistungsgewicht von ca. 10 kg/kW. Dadurch werden neben verbesserten Fahrleistungen bei Langstreckenfahrten nach Erschöpfung der Batterie auch eine hohe Designfreiheit der Konstrukteure bei der Wahl einer geeigneten Batteriekapazität befördert.

Die Wahl des Faktors 4 ist besonders bevorzugt, weil sich bei Fahrzeugen mit einer „normalen“ Motorisierung von ca. 15 kg/kW, mit sportlicher Motorisierung von ca. 10

kg/kW und auch bei extrem hoher Motorisierung von ca. 5 kg/kW für die jeweiligen Motorisierungen vorteilhafte Dauerhöchstgeschwindigkeiten von ca. 110 km/h bzw. 130 km/h bzw. 170 km/h ergeben, die den Ansprüchen an die jeweiligen Motorisierungsklassen in Märkten mit einer hohen oder fehlenden allgemeinen Geschwindigkeitsbeschränkung besonders gut entsprechen, wobei die Leistungen des Verbrennungsmotors gleichzeitig noch so gering sind, dass eine vollständige Einspeisung in die Batterie bei aufgabengemäß geringen spezifischen Ladeleistungen auch bei sportlich motorisierten Fahrzeugen bis ca. 10 kg/kW Leistungsgewicht noch bei Batteriegrößen erfolgen kann, deren Auslegung hauptsächlich aufgrund der aufgabengemäß möglichen, lokal emissionslosen Reichweite erfolgt. Auch bei sehr stark motorisierten Fahrzeugen kann die Kapazität der Batterie noch ausreichend klein gewählt werden, um deren Kosten, Volumen und Gewicht noch ohne wesentliche Nachteile in ein Fahrzeug integrieren zu können, insbesondere wenn dieses für eine relativ große lokal emissionslose Reichweite konzipiert wird.

Wenn der Hochleistungsenergiespeicher einen mechanischen Energiespeicher insbesondere in Form einer Schwungradanordnung enthält, kann ein besonders leistungsstarker und langlebiger Hochleistungsenergiespeicher mit sehr gutem Wirkungsgrad und sehr großem nutzbarem SOC-Bereich realisiert werden, der zudem in hohem Maße temperaturunabhängig ist und sich im Betrieb durch geringe Verlustwärme auszeichnet und zudem auf einer ausgereiften, in der Praxis erprobten Technik beruht.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn hierfür mindestens ein schnelldrehendes, gewickeltes Schwungrad verwendet wird, das weiter bevorzugt in einem weitgehenden Vakuum oder einer druckreduzierten Atmosphäre und/oder in einem leichten Gas läuft, da gewickelte Schwungräder im Vergleich zu anderen Ausführungen erhebliche Sicherheitsvorteile im Versagensfall besitzen und eine hohe Auslegungsdrehzahl einen sehr erheblichen Einfluss auf die Masse und das Volumen des Schwungrades hat und damit die Integration in beengte Bauraumverhältnisse erleichtert bzw. erst sinnvoll ermöglicht. Unter einem

schnelldrehenden Schwungrad sollen hier Schwungräder mit maximal wenigstens 20.000, bevorzugt wenigstens 35.000 Umdrehungen pro Minute verstanden werden. Eine Anordnung des oder der Schwungräder in einem Teilvakuum bzw. einer druckreduzierten Atmosphäre und/oder einem leichten Gas verringert die Reibung und damit die Energieverluste des bzw. der Schwungräder erheblich.

Wenn dieser mechanische Energiespeicher bzw. diese Schwungradanordnung – wobei wie beschrieben auch eine Aufteilung auf mehrere Schwungräder möglich ist – mit einer zweiten Elektromaschine bzw. Elektromaschinen mechanisch gekoppelt ist, kann auf eine mechanische Übertragung von Leistung zu oder aus dem Schwungrad-Modul ganz oder wahlweise teilweise verzichtet und damit der bauliche Aufwand reduziert werden und insbesondere auf einfache Weise Energie zwischen der Batterie und dem Schwungrad bzw. Schwungrad-Modul übertragen werden.

Alternativ und genauso bevorzugt kann der Hochleistungsenergiespeicher ein Speicher auf Basis von Kondensatoren, insbesondere Doppelschichtkondensatoren und besonders bevorzugt Superkondensatoren oder Hybridkondensatoren sein. Diese drei Kondensatorengruppen werden auch gemeinsam als elektrochemische Doppelschichtkondensatoren bezeichnet. Doppelschichtkondensatoren sind Kondensatoren, deren im Vergleich zu Elektrolytkondensatoren sehr hohe spezifische Kapazität zumindest größtenteils auf dem physikalischen Phänomen der Helmholtz-Doppelschichten beruht. Die besonders hohen spezifischen Kapazitäten von Superkondensatoren, auch Ultrakondensatoren oder kurz Super- bzw. Ultracaps genannt, nutzen im Vergleich zu herkömmlichen Doppelschichtkondensatoren in höherem Maße die Effekte einer elektrochemischen bzw. faradayschen Pseudokapazität. Hybridkondensatoren, beispielsweise Lithium-Ionen-Kondensatoren, weisen zudem asymmetrische, d.h. unterschiedlich aufgebaute Elektroden auf.

Den elektrochemischen Doppelschichtkondensatoren ist gemein, dass sie im Vergleich zu Batteriezellen auf Lithium-Ionenbasis eine erheblich höhere Lebensdauer, sowohl in Jahren als auch und besonders in Bezug auf die Anzahl der

Be- und Entladezyklen und zudem eine überlegene Leistungsdichte aufweisen, wodurch sie sich in Kombination mit großen möglichen Kapazitäten pro Kondensator als Hochleistungsenergiespeicher im Sinne dieser Schrift besonders gut eignen. Die Verwendung von Super- oder Hybridkondensatoren ist aufgrund ihrer im Vergleich zu Doppelschichtkondensatoren höheren Energiedichte bevorzugt, wobei Hybridkondensatoren die höchsten Leistungsdichten aufweisen, was in Bezug auf benötigten Bauraum und Gewicht vorteilhaft ist. Dagegen weisen Superkondensatoren Vorteile in Bezug auf den Wirkungsgrad auf, was in Bezug auf eine möglichst energieeffiziente Antriebsvorrichtung aufgrund der hohen und häufigen Be- und Entladeleistungen des Hochleistungsenergiespeichers von besonderem Vorteil ist.

Im Vergleich zu Schwungrädern weisen Kondensatoren den Vorteil auf, dass keine rotierenden Massen und daher auch keine fahrdynamischen Auswirkungen durch Kreiselkräfte auftreten, die bei Schwungrädern vorgesehene Elektromaschine entfallen, bzw. durch eine Leistungselektronik ersetzt werden kann und ihre Selbstentladung bei den bevorzugten elektrochemischen Doppelschichtkondensatoren geringer ist. Allerdings sind sie zur Zeit im Vergleich zu Schwungrädern bezogen auf den Energieinhalt noch teurer und erfordern für die hier benötigten Energieinhalte und Leistungen eine Zusammenschaltung einer Vielzahl von Einzelkondensatoren und damit eine aufwändige Steuerungs- und Überwachungselektronik.

Es hat sich weiter gezeigt, dass es besonders vorteilhaft ist, wenn der chemisch-mechanische Energiewandler mechanisch mit einer ersten Elektromaschine gekoppelt ist, weil dies eine Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie ermöglicht, die erheblich leichter auf verschiedenen Energieabnehmer wie insbesondere die Antriebsräder, die Batterie und das Schwungrad-Modul zu übertragen ist, wodurch der bauliche Aufwand erheblich reduziert werden kann.

- 25 -

Wenn das Antriebsmittel bzw. das oder die Antriebsräder mechanisch mit mindestens einer dritten Elektromaschine verbunden ist bzw. sind, kann ebenfalls der bauliche Aufwand zur Übertragung mechanischer Leistung reduziert werden, und insbesondere bei Bedarf auch elektrische Leistung aus oder in die Batterie
5 ohne weitere, besonders dafür vorzusehende Umwandlungseinheiten an die und von den Antriebsrädern übertragen werden. Die Kombination aus Antriebsmittel, mechanischer Verbindung und dritter Elektromaschine kann insbesondere auch in Form von Radnabenmotoren realisiert sein, die den in der Felge ohnehin vorhandene Bauraum vorteilhaft nutzen und die Leistungsübertragung insbesondere
10 bei gelenkten Rädern erheblich vereinfachen und damit ebenfalls den baulichen Aufwand verringern.

Wenn weiter der erste elektrischer Energiespeicher bzw. die Batterie mit der ersten und/oder der zweiten Elektromaschine des Verbrennungsmotor-Moduls bzw. des
15 Schwungrad-Moduls elektrisch verbunden ist, so dass der erste elektrische Energiespeicher bzw. die Batterie von dort elektrische Energie aufnehmen und dorthin abgeben kann, ergibt sich ein besonders flexibles System mit vielfältigen Möglichkeiten der Leitung und Speicherung von Leistung, ebenfalls bei im Vergleich zu mechanischer Leistungsübertragungen stark vermindertem baulichem Aufwand.

20 Weitere Vorteile ergeben sich, wenn die erste Brennstoffzelle und/oder die zweite Brennstoffzelle als reversible Brennstoffzellen ausgebildet sind, die zusammen mit einem zugehörigen Kraftstofftank ein als elektrischer Energiespeicher fungierendes erstes und/oder zweites Brennstoffzellen-Modul bilden. Dieses bildet ein
25 funktionales Äquivalent zu einer Batterie und ermöglicht somit bei Bedarf den Wegfall der elektrochemischen Batterie, wobei zusätzlich bei Bedarf durch Betankung des Kraftstofftanks sehr schnell ein Energievorrat aufgenommen werden kann. Wenn die zweite Brennstoffzelle reversibel ausgebildet ist und für eine der abgeforderten Batterieleistung entsprechende Leistung ausgelegt ist, kann die
30 Batterie daher entfallen oder kleiner ausgebildet werden. Wenn die erste Brennstoffzelle reversibel ausgebildet ist, kann sie bei entsprechend leistungsstarker Auslegung nicht nur den Verbrennungsmotor und die diesem

zugeordnete erste Elektromaschine ersetzen, sondern zusätzlich die Funktion der Batterie ganz oder teilweise mit übernehmen. Allerdings sind Brennstoffzellen zur Zeit noch in Bezug auf die spezifischen Kosten und die Lebensdauer sowie die Notwendigkeit der sorgfältigen Kontrolle der Umgebungsbedingungen

5 Verbrennungsmotoren und auch elektrochemischen Batterien weit unterlegen, weshalb diese Optionen hauptsächlich bei zukünftigen, weiterentwickelten Brennstoffzellen attraktiv erscheinen.

Zusätzlich ist es besonders vorteilhaft, wenn der Verbrennungsmotor (bzw. eine

10 Brennstoffzelle, usw.) im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich (bzw. maximaler bzw. optimaler Dauerleistung) dazu ausgelegt sind, in Summe eine Leistung abzugeben, die der Summe des Leistungsbedarfs üblicher im Betrieb aktiver Nebenverbraucher und des Leistungsbedarfs zur Aufrechterhaltung einer

15 konstanten Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs in der Ebene bei einer gewünschten Dauerhöchstgeschwindigkeit entspricht, die bevorzugt im Bereich zwischen 90 km/h und 150 km/h besonders bevorzugt zwischen 110 km/h und 140 km/h und am meisten bevorzugt bei ca. 120 km/h bis 130 km/h liegt.

Durch diese Auslegung ist das Kraftfahrzeug in der Lage, unabhängig vom

20 Ladezustand der Batterie weite, nur durch die Kapazität eines Kraftstofftanks begrenzte Strecken mit einer gewünschten, hohen Geschwindigkeit zurückzulegen. Damit werden auch lange Urlaubsfahrten auf Autobahnen ermöglicht, ohne die Fahrt zum Laden der Batterie oder deren Austausch gegen eine geladene Batterie unterbrechen zu müssen und auf eine entsprechende Infrastruktur angewiesen zu

25 sein. Außerdem hat sich gezeigt, dass eine solche Auslegung in Verbindung mit der vorstehend beschriebenen Dimensionierung der Leistung der Schwungradanordnung und des Verbrennungsmotors (bzw. einer Brennstoffzelle, usw.) einerseits eine erwünscht hohe Gesamtantriebsleistung des Kraftfahrzeugs bereitstellen kann und zudem auch bei Autobahnfahrten unter Praxisbedingungen

30 eine ausreichende Nachladung der Batterie und/oder der Schwungradanordnung durch den Verbrennungsmotor (bzw. Brennstoffzelle, usw.) ermöglicht, um das Schwungrad unter normalen Bedingungen stets in einem ausreichenden

Ladezustand zu halten, um die erwünschte, hohe maximale Antriebsleistung sicher zur Verfügung stellen zu können.

- Die Wahl der Dauerhöchstgeschwindigkeit kann dabei von der auslegungsgemäßen oder vermuteten Nutzung des Kraftfahrzeugs und zulässigen oder in der Praxis möglichen Höchstgeschwindigkeiten auf Autobahnen abhängig gemacht werden. Handelt es sich beispielsweise um ein für den Stadtverkehr konzipiertes Fahrzeug, das nur für den gelegentlichen Betrieb auf Autobahnen konzipiert ist, kann die Dauerhöchstgeschwindigkeit niedriger angesetzt werden, als bei einem Fahrzeug, das gerade für Langstreckenfahrten auf Autobahnen konzipiert ist. Eine Dimensionierung auf eine Dauerhöchstgeschwindigkeit von weniger als ca. 80 - 90 km/h würde jedoch bereits bei längeren Steigungen zu einem Einbruch der verfügbaren Antriebsleistung führen und ist daher für Kraftfahrzeuge mit universeller Nutzbarkeit nicht bevorzugt.
- Ein Kraftfahrzeug für Länder mit einer generellen Höchstgeschwindigkeit von z.B. 100 km/h kann sinnvoll auf diese Dauerhöchstgeschwindigkeit, ggf. mit einem Zuschlag von z.B. 10 % ausgelegt werden. Selbst ein Kraftfahrzeug, das für Langstreckenfahrten auf deutschen Autobahnen ohne generelle Geschwindigkeitsbegrenzung ausgelegt ist, kann sinnvoll auf eine Dauerhöchstgeschwindigkeit von 130 km/h, für sehr sportlich ausgelegte Fahrzeuge maximal 150 km/h ausgelegt werden, da höhere Geschwindigkeiten für begrenzte Strecken durch aus der Batterie entnommene und bevorzugt in der Schwungradanordnung zwischengespeicherte Leistungen möglich sind und eine noch höhere Durchschnittsgeschwindigkeit über lange Fahrstrecken aufgrund von streckenbezogenen Höchstgeschwindigkeiten und realen Verkehrsverhältnissen nicht realistisch erscheint. Einzig für Hochgeschwindigkeits-Rennbetrieb ausgelegte Fahrzeuge oder Fahrzeuge, die für einen regelmäßigen Anhängerbetrieb ausgelegt sind, kann eine noch höhere auslegungsbestimmende Dauerhöchstgeschwindigkeit im Einzelfall sinnvoll sein.

Wenn der Hochleistungsenergiespeicher bzw. die Schwungradanordnung eine maximale nutzbare Energiemenge speichern kann, die ausreicht, um die Maschine bzw. das Kraftfahrzeug ohne Rekuperation zumindest zwei mal, bevorzugt mindestens drei mal und besonders bevorzugt zwischen 3,5 und 5 mal aus dem Stillstand auf die Dauerhöchstgeschwindigkeit zu beschleunigen, ergibt sich eine in Bezug auf Bauraum, Kosten und bei Kraftfahrzeugen mit Schwungradanordnung in Bezug auf Einflüsse auf die Fahrdynamik durch Kreiselkräfte besonders vorteilhafte Dimensionierung, da die Schwungradanordnung so groß bemessen ist, dass einerseits stets eine so erhebliche Energiemenge aus der Schwungradanordnung für den Antrieb zur Verfügung gestellt werden kann, dass deren tatsächliche Begrenztheit durch einen Fahrer unter normalen Betriebsbedingungen nicht wahrgenommen werden kann und gleichzeitig der SOC der Schwungradanordnung stets so gewählt werden kann, dass (soweit technisch möglich) die gesamte kinetische Energie des Fahrzeugs in den Hochleistungsenergiespeicher bzw. die Schwungradanordnung rekuperiert werden kann. Die genaue Dimensionierung kann wiederum sinnvoll von den vermuteten realen Einsatzbedingungen des Kraftfahrzeugs abhängig gemacht werden. So bedingt eine Auslegung auf eine höhere Dauerhöchstgeschwindigkeit eine verhältnismäßig große Auslegung der Kapazität der Schwungradanordnung. Kann andererseits angenommen werden, dass das Fahrzeug im Normalfall mit verhältnismäßig geringen Beschleunigungs- und Verzögerungsleistungen gefahren werden wird, kann die Kapazität der Schwungradanordnung geringer gewählt werden als bei einem Fahrzeug, welches für eine sportliche Fahrweise ausgelegt ist.

Ein Faktor von wenigstens 2 stellt dabei eine sinnvolle untere Grenze des Faktorbereiches dar, die eine zügige Beschleunigung des Fahrzeugs auf Geschwindigkeiten oberhalb der Dauerhöchstgeschwindigkeit auch bei ungünstigen Randbedingungen wie z.B. einer Steigung, Gegenwind oder einem durch z.B. Dachgepäckträger erhöhtem Luftwiderstand erlaubt. Ein Faktor von wenigstens 3 wird jedoch bevorzugt, weil er entsprechend höhere Leistungsreserven bietet. Eine besonders bevorzugte Auslegung in einem Faktorbereich zwischen 3,5 und 5 ermöglicht es, dass der Fahrer nur bei extremen Anforderungen mit durch

Entladung des Schwungrades stark nachlassenden Fahrleistungen konfrontiert wird. Zudem ermöglicht eine derartige Auslegung, den SOC des Schwungrades in den meisten Betriebsphasen in einem mittleren Bereich unterhalb von 80 – 90 % SOC zu halten, was aufgrund der im oberen SOC-Bereich des Schwungrades stark ansteigenden Verlustleistungen vorteilhaft in Bezug auf die Energieeffizienz ist. Da eine Dimensionierung auf einen Faktor größer 5 zu keinen wesentlichen Vorteilen in Bezug auf die Fahrleistungen, aber zu einem erhöhten Aufwand in Bezug auf Kosten, Gewicht und Bauraumbedarf des Schwungrades führt, wird Faktor 5 als obere Grenze des besonders vorteilhaften Faktorbereichs angesehen.

10

Wenn die Batterie dazu ausgelegt ist, im Normalbetrieb der Maschine mit Leistungen von maximal 2 C, bevorzugt maximal 1,5 C und besonders bevorzugt maximal 1 C belastet zu werden, wobei die Be- und Entladung im Vergleich zum Leistungsbedarf der Maschine sehr gleichmäßig erfolgt, kann die Alterung der Batterie und der notwendige Aufwand für deren Temperierung sehr gering gehalten werden. Zudem ist es möglich, einen im Verhältnis mit stärker belasteten Batterien größeren Bereich der nominellen Batteriekapazität ohne Nachteile in Bezug auf das Alterungsverhalten zu nutzen. Diese vorteilhafte Dimensionierung wird dadurch ermöglicht, dass die Batterie im vorgestellten Antriebskonzept in erster Linie dazu verwendet wird, um die sich im Betrieb ergebenden Energieverluste des Schwungrades auszugleichen, was nicht nur geringe Be- und Entladeströme, sondern auch im Verhältnis zum zeitlichen Fahrleistungsprofil eines Kraftfahrzeugs im Stadt- und Überlandbetrieb sehr lange Be- und Entladezyklen ermöglicht.

25

Wenn die nutzbare Kapazität der Batterie so bemessen ist, dass sie zumindest um den Faktor 4, bevorzugt um den Faktor 8 und besonders bevorzugt zumindest um den Faktor 10 größer als die nutzbare Kapazität der Schwungradanordnung ist, können einerseits erwünscht lange, lokal emissionslose Reichweiten erzielt werden und andererseits die ausreichende Nachladung von Energie aus der Batterie in die Schwungradanordnung auch bei sportlicher Fahrweise oder unter schwierigen Umgebungsbedingungen sichergestellt werden, ohne die spezifische Belastung der

30

- 30 -

Batterie unerwünscht erhöhen oder den Verbrennungsmotor bzw. die erste Brennstoffzelle betreiben zu müssen.

5 Wenn die Maschine über einen externen Ladeport verfügt, über den elektrische Energie zwischen einerseits zumindest einem der internen elektrischen Energiespeicher und einem maschinenexternen Stromnetz andererseits ausgetauscht werden kann ist es möglich, die Maschine bzw. das Kraftfahrzeug als Plug-In-Hybridfahrzeug und auf Wunsch in der Praxis auch entsprechend einem Plug-in-Elektrofahrzeug zu betreiben. Der Verbrennungsmotor bzw. die erste
10 Brennstoffzelle können in diesem Fall hauptsächlich für extreme Leistungsanforderungen und sehr lange Fahrten ohne externe Nachladung der Batterie vorgehalten oder – sofern nicht mit derartigen Betriebsbedingungen gerechnet werden muss - auch zeitweise ausgebaut werden. Weiter kann das Fahrzeug bei Bedarf mit Hilfe einer entsprechend ausgelegten Ansteuerung auch
15 Energie und insbesondere Regelenenergie in das Stromnetz einspeisen oder fahrzeugexterne Verbraucher betreiben.

Wenn eine Laderegelungseinrichtung zum Laden zumindest einer der elektrischen Energiespeicher, bevorzugt der Batterie und der Schwungradeinrichtung,
20 vorgesehen ist, deren Dauerleistung so bemessen ist, dass sie einen maximalen Ladestrom für die Batterie in Höhe von mindestens 1 C, bevorzugt von ca. 1.5 C liefern kann, ergeben sich für Netzladungen vorteilhaft kurze, mögliche Ladezeiten von – ausgehend von einer nutzbaren Kapazität von ca. 50 % der nominellen Batteriekapazität - ca. 20 bis 30 Minuten. Diese Auslegung ermöglicht weiter im
25 Betrieb des Kraftfahrzeugs einen Betrieb der Laderegelungseinrichtung zur Be- und Entladung der Batterie in einem Bereich mit gutem Wirkungsgrad.

Wenn die elektrischen Leitungen zur Übertragung elektrischer Leistungen von und zu der Batterie (bzw. der zweiten Brennstoffzelle) und von und zu der ersten
30 Elektromaschine (bzw. der ersten Brennstoffzelle) sowie dem Hochleistungsenergiespeicher bzw. dessen Elektromaschine, ggf. mit Ausnahme der Leitung von und zu dem externen Ladeport sowie bevorzugt von und zu

zumindest einer und besonders bevorzugt allen der mit den Antriebsmitteln mechanisch gekoppelten Elektromaschinen für berührsichere Spannungen ausgelegt sind, wobei Spannungsumsetzer den jeweiligen Komponenten zugerechnet werden und örtlich zugeordnet sind, kann der bei Elektro- und Hybridfahrzeugen bislang notwendige Aufwand zum Schutz von Personen vor elektrischen Schlägen erheblich verringert werden, da lediglich räumlich eng begrenzte Bereiche eine gefährliche Spannung aufweisen.

Dies verringert, insbesondere wenn diese elektrischen Leitungen mit Gleichspannung beaufschlagt werden, auch den erforderlichen Aufwand für eine elektromagnetischen Abschirmung erheblich. Da die Batterie bei Auslegung auf eine berührsichere Spannung bei abgestelltem Fahrzeug nicht aus Sicherheitsgründen vollständig vom Fahrzeugnetz getrennt zu werden braucht, erlaubt diese Auslegung auch die Aufrechterhaltung einer gewünschten Drehzahl der Schwungradanordnung bei geparktem Fahrzeug. Eine separate Niedervolt-Bordnetzbatterie zum Betrieb von Komponenten, die auch bei abgestelltem Fahrzeug versorgbar sein sollen, kann damit vorteilhaft entfallen. Es versteht sich dabei von selbst, dass nicht alle der genannten elektrischen Leitungen vorhanden sein müssen und weitere elektrische Leitungen bei Bedarf vorgesehen werden können. Das vorstehend vorgestellte Antriebskonzept ermöglicht jedoch, die Leistungsflüsse zwischen der ersten Elektromaschine und/oder der ersten Brennstoffzelle, der Batterie und/oder der zweiten Brennstoffzelle, sowie dem Hochleistungsenergiespeicher und bevorzugt zumindest teilweise den Antriebs-Elektromaschinen auf Leistungen von weniger als 30 - 40 kW zu begrenzen, was bei einer Spannung von 100 Volt bzw. 120 Volt Gleichspannung zwar hohe, aber noch vertretbare Dauerstromstärken von maximal 300 – 400 Ampere bedingt. Die dafür benötigten Leitungsquerschnitte und Leitungsverluste sind zwar nicht vernachlässigbar, jedoch durch die genannten Vorteile gerechtfertigt.

Wenn das Kraftfahrzeug zumindest zwei Achsen mit Antriebsmitteln, wie insbesondere Antriebsrädern, aufweist, welche von den dritten Elektromaschinen (hier auch Antriebsselektromaschinen genannt) antreibbar und unter Erzeugung von

Rekuperationsenergie bremsbar sind, ist es vorteilhaft, diese Antriebselektromaschinen besonders auszulegen. Es ist dabei besonders günstig, wenn die Summe der Leistungen der Antriebselektromaschinen der vorderen Achse und die der hinteren Achse ein Verhältnis zwischen 80:20 und 60:40, bevorzugt ca. 5 70:30 aufweist. Dabei ergibt sich eine insbesondere für eine Rekuperation bei hohen Bremsverzögerungen vorteilhafte Aufteilung der Antriebsleistungen auf die Achsen des Kraftfahrzeugs und bei einer bevorzugten Anordnung des Hochleistungsenergiespeichers bzw. der Schwungradanordnung und der mit ihr mechanisch gekoppelten zweiten Elektromaschine im Vorderwagen eine vorteilhaft 10 kurze Länge der besonders hoch belasteten elektrischen Leitungen zwischen der zweiten Elektromaschine und den Antriebs-Elektromaschinen der Vorderachse. Insbesondere im Fall einer vorstehend erläuterten Auslegung der elektrischen Leitungen zwischen der zweiten Elektromaschine und der Antriebselektromaschine auf eine berührsichere Spannung von beispielsweise 100 Volt Gleichspannung 15 können das Gewicht der Leitungen und die elektrischen Verluste zudem vorteilhaft begrenzt werden.

Dabei sollte die Summe der Leistungen der Antriebselektromaschinen vorteilhaft weiter so bemessen sein, dass diese zumindest über einen Zeitraum von 10 20 Sekunden, bevorzugt über einen Zeitraum von 20 – 30 Sekunden und besonders bevorzugt zeitlich unbegrenzt eine elektrische Leistung aufnehmen und abgeben können, die zumindest der maximalen Leistung des Hochleistungsenergiespeichers bzw. der zweiten Elektromaschine entspricht. Es ist allerdings von weiterem Vorteil, wenn die Summe der Leistungen der Antriebselektromaschinen deutlich höher ist 25 als die maximale Leistung der zweiten Elektromaschine, nämlich wenigstens um den Wert der maximalen elektrischen Leistung, die von dem Verbrennungsmotor - zusammen mit der ersten Elektromaschine - und der gegebenenfalls vorhandenen ersten Brennstoffzelle erzeugt wird. Es ist außerdem ein besonderer Vorteil, wenn die Leistungssumme der Antriebselektromaschinen noch höher ist, nämlich etwa um 30 den Wert derjenigen Leistung, die dem Entladestrom der Batterie bei 1 C entspricht. Die Summe der Leistungen der Antriebselektromaschinen soll von diesen zeitlich unbegrenzt, zumindest jedoch für zumindest 10 Sekunden, bevorzugt mindestens

20 -30 Sekunden aufgebracht werden können. Die Spitzenleistungen und der Zeitraum, für erhöhte Leistungen durch die Antriebsmaschinen sollen optimal so gewählt sein, dass sich unter Berücksichtigung des begrenzten Energieinhaltes des Schwungrades und der begrenzten Leistungen des Schwungrades und der übrigen energieliefernden Komponenten auch bei sportlicher Fahrweise hierdurch keine Engpässe bzw. Leistungseinschränkungen ergeben. Durch diese Auslegung kann selbst bei einer verhältnismäßig schwachen Auslegung der (Dauer-)Leistungen der Antriebselektromaschinen eine Antriebsleistung bereitgestellt werden, die der durchschnittlichen Antriebsleistung heutiger Kraftfahrzeuge vergleichbar oder überlegen ist. Eine Auslegung der Antriebs-Elektromotoren auf eine Leistung, die in Summe nicht einmal kurzfristig, beispielsweise für Überholmanöver wenigstens der maximalen Leistung der zweiten Elektromaschine der Schwungradanordnung entspricht, würde eine nicht sinnvolle Überdimensionierung der Leistung dieser zweiten Elektromaschine bzw. des Hochleistungsenergiespeichers bedeuten. Für diese kurzzeitige Spitzenleistung wird eine Zeitspanne von 10 Sekunden für die kürzeste vertretbare Zeitspanne gehalten, wobei wenigstens 20 -30 Sekunden für sinnvoll gehalten werden, um eine Überlastung von Komponenten oder einen für den Fahrer unvorhergesehenen Leistungseinbruch zu vermeiden. Besonders bevorzugt wird jedoch, dass zumindest 50 % - 75 % der Spitzenleistung der zweiten Elektromaschine zeitlich unbegrenzt von der Summe der Antriebs-Elektromaschinen aufgenommen und abgegeben werden kann, um auch bei sportlicher Fahrweise mit häufigen starken Beschleunigungen und Verzögerungen einen durch Erwärmung bedingten Leistungsengpass der zweiten Elektromaschine zu vermeiden. Da der verbrennungsmotorische Antriebsstrang gemäß dem hier vorgestellten Antriebskonzept insbesondere bei Langstreckenfahrten mit hohen Fahrgeschwindigkeiten zugeschaltet wird, ist es weiter bevorzugt, wenn die von den Antriebs-Elektromaschinen in Summe aufnehmbare Leistung wenigstens um die maximale elektrische Leistung des verbrennungsmotorischen Antriebsstranges größer als diese Leistung ist, da so für Fahrsituationen mit besonders hohem Leistungsbedarf bei geringen Aufwand zusätzliche Leistungsreserven bereitgestellt werden können. Schließlich ist es sinnvoll diese maximale Leistung der Summe der Antriebs-Elektromaschinen nochmals um die elektrische Leistung zu erhöhen, die

dem Entladestrom der Batterie bei 1 C entspricht, da diese Leistung aus der Batterie entnommen werden kann, ohne diese übermäßig stark zu belasten.

Die erfindungsgemäße Antriebsvorrichtung ermöglicht weiterhin, auf einfache Weise
5 in einem zugehörigen Fahrzeug einen Stromgenerator zu realisieren. Dafür werden
der Verbrennungsmotor und die erste Elektromaschine und/oder das erste
Brennstoffzellen-Modul baulich zu einem entsprechenden Modul verbaut. Dieses
kann derart gestaltet und angeordnet werden, dass es innerhalb kurzer Zeit ohne
10 Fachkenntnisse aus dem Fahrzeug entfernt werden kann. Dabei wird das Fahrzeug
entsprechend leichter und es wird ein Raum frei, der auf verschiedene Weise
genutzt werden kann, wie beispielsweise als Gepäck- oder Stauraum. Es ist bei
Vorhandensein entsprechender mechanischer und elektrischer Mittel auch möglich,
eine zusätzliche Batterie oder eine Brennstoffzelle einzubauen und so die lokal
15 Zero-Emissionszonen weiter erhöhen. Durch die leichte Wechselbarkeit des Moduls
wird es auch möglich, in kurzer Zeit eine weitgehend leeres Batteriemodul durch ein
aufgeladenes Batteriemodul zu ersetzen, was insbesondere bei Fahrzeugen in
einem Pool bei Einsatz in Städten oder Zero-Emissionszonen die Ladezeiten
erheblich verkürzt. Schließlich ermöglicht ein solches, entfernbares Modul auch eine
20 Zweitnutzung der darin enthaltenen Bauteile, etwa als stationärer Stromgenerator,
der beispielsweise bei Bedarf Regelenergie für ein elektrisches Versorgungsnetz zur
Verfügung stellen kann. Hierfür können betriebsnotwendige Komponenten wie z.B.
eine Steuerungseinrichtung, ein Kraftstofftank und eine Abgasanlage bzw. Teile
hiervon in das Modul integriert sein oder alternativ in einer externen Modulaufnahme
25 zusätzlich vorgesehen werden.

Es hat sich außerdem gezeigt, dass für die Verwendung der erfindungsgemäßen
Antriebsvorrichtung eine speziell darauf abgestimmte Signalvorrichtung sinnvoll ist,
die einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebssicherheit aufweist und ein
30 technisches Problem löst, welches sich erstmals aus dem vorgestellten
Antriebskonzept ergibt.

- 35 -

Gerade weil ein Nutzer im Normalbetrieb nur sehr selten an die Leistungsgrenzen des Systems stoßen wird, wird er von einer ständigen Verfügbarkeit der maximalen Antriebsleistung ausgehen. Da es jedoch insbesondere bei starken Beschleunigungen auf hohe Geschwindigkeiten und unter ungünstigen Randbedingungen, vorkommen kann, dass der Energieinhalt des Hochleistungsenergiespeichers bzw. des Schwungradmoduls nicht zur Bereitstellung dieser maximalen Leistung bzw. Arbeit genügt, kann es ohne ein durch den Nutzer leicht und intuitiv wahrnehmbares Signal der kurzzeitig möglichen Leistungs- bzw. Arbeitsabgabe zu gefährlichen Situationen durch einen für den Nutzer unvorhergesehenen Leistungseinbruch kommen.

Erfindungsgemäß wird zunächst die Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs ermittelt, die mit Hilfe der derzeit in dem Hochleistungsenergiespeicher bzw. dem Schwungradmodul gespeicherten Energie und deren bereitstellbaren Leistungen erreichbar ist und für eine vorbestimmte Strecke aufrechterhalten werden kann. Hierbei kann bevorzugt bei laufendem oder startbarem Verbrennungsmotor auch dessen Leistung mit berücksichtigt werden. Dabei können auch verschiedene Parameter berücksichtigt werden, wie die Beschaffenheit der Landschaft (Gefälle, Steigung, Straßenbelag, usw.), Beladung des Fahrzeugs (Anzahl der Insassen, deren Gewicht, Gepäck, Dachgepäck, usw.), Wetterverhältnisse (Temperatur, Wind, usw.) und/oder dergleichen.

Der erfindungsgemäßen Signalvorrichtung werden Signale zugeführt, die ein Maß sind für die oben genannte Höchstgeschwindigkeit. Abhängig von dieser Geschwindigkeit werden entsprechende optische und/oder akustische Signale ausgegeben.

Es hat sich herausgestellt, dass eine entsprechende optische Anzeige besonders gut geeignet ist. Diese weist dafür geeignete optische Mittel auf, wie beispielsweise ein Kreissegment, einen Zeiger, einen Balken oder dergleichen. Diese können mechanisch realisiert sein, als LCD, als LED oder in sonstiger geeigneter Weise.

Um die Anzeige für den Nutzer so intuitiv verständlich und leicht wahrnehmbar wie möglich zu gestalten, ist es besonders günstig, die kurzfristig zur Verfügung stehenden Leistungsreserven in Form einer Darstellung im Tachometer oder räumlich dazu benachbart darzustellen und Auskunft über die derzeit erzielbare und für eine vorbestimmte Strecke aufrechterhaltbare Höchstgeschwindigkeit zu geben.

Bevorzugt wird der erfindungsgemäßen Signalvorrichtung weiter ein Signal über die aktuell gefahrenen Geschwindigkeit bzw. die Position einer Tachometer-Geschwindigkeitsanzeige übermittelt und das optische Signal erst ab einer dieser Geschwindigkeit bzw. Tachometerposition entsprechenden Position aktiviert. Hierdurch wird einerseits ein Erkennen der momentanen Fahrgeschwindigkeit durch den Fahrer nochmals erleichtert und andererseits auch das Erkennen der zur Verfügung stehenden Leistungsreserven zum Erreichen der genannten Höchstgeschwindigkeit verbessert.

15

Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung sind im Folgenden anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen beschrieben. Dabei zeigen:

- 20 Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Blockdiagramms,
Fig. 2 ein zweites, konkreteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung anhand eines Blockdiagramms,
Fig. 3 ein Blockdiagramm zur Verdeutlichung verschiedener Betriebsphasen und -
25 Modi der Antriebsvorrichtung, insbesondere in Bezug auf das zweite Ausführungsbeispiel,
Fig. 4 eine Darstellung einer Anzeigevorrichtung für die Antriebsvorrichtung.

Fig. 1 zeigt ein symbolisches Blockdiagramm für ein erstes Ausführungsbeispiel mit den wesentlichen Komponenten einer erfindungsgemäßen Antriebsvorrichtung.

30

- 37 -

Dieses erste Ausführungsbeispiel betrifft einen Antriebsstrang, bevorzugterweise für ein hier nicht dargestelltes Hybridfahrzeug, insbesondere Straßenfahrzeug, und dient insbesondere dazu, die Bandbreite möglicher Ausprägungen darzustellen.

- 5 Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung von für das Verständnis nicht zentralen Komponenten und Wirkverbindungen verzichtet. So versteht es sich von selbst, dass die verschiedenen Komponenten durch eine oder mehrere nicht dargestellte Steuerungseinheiten gesteuert und/oder geregelt und/oder überwacht werden können. Ebenso sind übliche Einrichtungen zur
- 10 Übertragung und Umwandlung mechanischer und elektrischer Energie wie beispielsweise Getriebe, Wellen, Kupplungen, Gleich- und Wechselrichter sowie weitere übliche Komponenten und Nebenaggregate wie beispielsweise Kraftstoffpumpen, Klimaanlage, Komfortsysteme und ähnliches nicht gezeigt, da der Fachmann diese ohne eigene erfinderische Leistung nach den jeweiligen
- 15 Erfordernissen ergänzen wird. Es sei auch darauf hingewiesen, dass bei anderen Ausführungsbeispielen nicht alle hier gezeigten Komponenten enthalten sein müssen. Außerdem ist es möglich, dass zumindest einzelne dieser Komponenten bei anderen Ausführungen integriert sind. Zur Vereinfachung der Beschreibung sind im Folgenden einzelne Komponenten zu Modulen zusammen gefasst. Es versteht
- 20 sich, dass bei anderen Ausführungen die in den Modulen zusammengefassten Komponenten auch einzeln oder in anderen Kombinationen miteinander realisiert werden können.

- Das in Fig. 1 gezeigte Ausführungsbeispiel weist ein Verbrennungsmotor-Modul 10
- 25 auf, in dem ein Verbrennungsmotor 14, ein zugehöriger erster Tank 20 sowie eine erste Kraftstoffleitung 18 enthalten sind. Ein erstes Brennstoffzellen-Modul 11 enthält eine erste Brennstoffzelle 16, die über eine zweite Kraftstoffleitung 22 mit einem zweiten Tank 24 verbunden ist. In diesen Tanks 20, 24 ist im Normalbetrieb ein chemischer Energieträger enthalten, der üblicherweise flüssig oder gasförmig ist
- 30 und im Folgenden auch Kraftstoff genannt wird.

- 38 -

Ein zweites Brennstoffzellen-Modul 12 enthält eine zweite Brennstoffzelle 28, die über eine dritte Kraftstoffleitung 30 mit einem dritten Tank 32 verbunden ist, in den geeigneter Kraftstoff eingefüllt werden kann. Bei der bevorzugten Ausführung ist die zweite Brennstoffzelle 28 leistungsschwächer als die erste Brennstoffzelle 16.

- 5 Weiterhin ist eine Batterie 34 vorhanden, die über eine erste elektrische Leitung 36 mit einem externen Ladeport 38 verbunden ist.

Außerdem ist ein Schwungrad-Modul 13 vorgesehen, in dem eine zweite Elektromaschine 40 und eine Schwungradanordnung 42 enthalten sind. Das

- 10 Schwungrad-Modul 13 kann auch als Elektroschwungrad ausgebildet sein, bei dem die Schwungradanordnung 42 und die zweite Elektromaschine 40 miteinander integriert sind. Die Schwungradanordnung 42 besteht bevorzugterweise aus genau einem Schwungrad oder einer geraden Anzahl von Schwungrädern (hier nicht separat dargestellt), die paarweise gegenläufig sind, wodurch sich Kreiselkräfte
- 15 weitestgehend gegenseitig aufheben. Das oder die Schwungräder sind bevorzugt als gewickelte, in einer druckreduzierten Umgebung angeordnete Hochgeschwindigkeitsschwungräder mit einer maximalen Umdrehungszahl von wenigstens 20.000, bevorzugt wenigstens 35.000 Umdrehungen pro Minute ausgebildet.

20

Weiterhin sind in Fig. 1 symbolisch eine dritte Elektromaschine 44 - im Folgenden auch als Antriebs-Elektromaschine bezeichnet - und Antriebsräder 46 dargestellt.

- Die Antriebs-Elektromaschine 44 kann auch eine Mehrzahl von Elektromaschinen umfassen, die beispielsweise auf unterschiedliche Achsen des Fahrzeugs oder auf
- 25 einzelne Antriebsräder 46 wirken, beispielsweise in Form von auch als Radnabenmotoren bezeichneten Radnabenelektromaschinen. Die Elektromaschinen 26, 40, 44 sind jeweils derart gestaltet, dass sie sowohl als elektrischer Motor als auch als Generator betrieben werden können. Die Anzahl der Antriebsräder 46 hängt von der Art des verwendeten Fahrzeugs ab. Es können also
- 30 - obwohl in dieser Beschreibung üblicherweise von Antriebsrädern die Rede ist - mehrere Antriebsräder oder auch nur ein einziges davon vorgesehen sein. Bei einem typischen Personenkraftwagen beträgt deren Anzahl 2 oder 4.

Der Verbrennungsmotor 14 ist über einen ersten mechanischen Antrieb 48 mit der ersten Elektromaschine 26 und über einen zweiten mechanischen Antrieb 50 mit den Antriebsrädern 46 verbunden, wobei der zweite mechanische Antrieb 50
5 äquivalent auch mit dem ersten mechanischen Antrieb 48 verbunden oder mit diesem integriert sein oder an der Welle der ersten Elektromaschine 26 angreifen kann. Diese beiden Antriebe 48, 50 erlauben es, dass mechanische Energie vom Verbrennungsmotor 14 an die Komponenten 26 bzw. 46 abgegeben werden kann. Diese Komponenten können andererseits mechanische Leistung an den
10 Verbrennungsmotor 14 übertragen, insbesondere um diesen anzulassen und/oder um den Verbrennungsmotor 14 zu schleppen und damit als Motorbremse zu nutzen, was jedoch aufgrund der damit verbundenen Energieverluste nur in wenigen Ausnahmefällen bevorzugt wird, beispielsweise bei sehr langen Bergabfahrten, wenn keine weitere Ladung der Schwungradanordnung 42 und der Batterie 34 mehr
15 möglich bzw. erwünscht ist.

Die Schwungradanordnung 42 ist über einen dritten mechanischen Antrieb 52 mit der zweiten Elektromaschine 40 und über einen vierten mechanischen Antrieb 54 mit den Antriebsrädern 46 verbunden, wobei der vierte mechanische Antrieb 54
20 äquivalent auch mit dem dritten mechanischen Antrieb 52 verbunden oder mit diesem integriert sein oder an der Welle der zweiten Elektromaschine 40 angreifen kann. Ein fünfter mechanischer Antrieb 56 besteht zwischen der dritten Elektromaschine 44 und den Antriebsrädern 46. Diese drei Antriebe 52, 54, 56 erlauben es, mechanische Energie bi-direktional zwischen der
25 Schwungradanordnung 42 und der zweiten Elektromaschine 40, zwischen der Schwungradanordnung 42 und den Antriebsrädern 46 bzw. zwischen der dritten Elektromaschine 44 und den Antriebsrädern 46 zu übertragen.

Die erste Brennstoffzelle 16 ist über eine zweite elektrische Leitung 57 mit der
30 dritten Elektromaschine 44, über eine dritte elektrische Leitung 58 mit der ersten Elektromaschine 26 und über eine vierte elektrische Leitung 60 mit der zweiten Elektromaschine 40 verbunden. Elektrische Energie kann über die vierte elektrische

- 40 -

Leitung 60 und eine weitere, fünfte elektrische Leitung 64 zwischen der ersten Brennstoffzelle 16, der zweiten Elektromaschine 40 und der Batterie 34 übertragen werden. Elektrische Energie kann über die elektrischen Leitungen 68 und 70 auch zwischen der ersten Elektromaschine 26 und der Batterie 34 bzw. umgekehrt
5 übertragen werden, wofür äquivalent auch eine eigene, sechste elektrische Leitung 72 vorgesehen werden kann. Die zweite Elektromaschine 40 ist außerdem über eine siebte elektrische Leitung 62 mit der zweiten Brennstoffzelle 28 und über eine achte elektrische Leitung 66 mit der dritten Elektromaschine 44 verbunden. Über die zwischen der ersten Elektromaschine 26 und der Batterie 34 angeordnete
10 elektrische Leitung 72 kann die Batterie 34 durch die erste Elektromaschine 26 geladen werden und die erste Elektromaschine 26 kann zum Starten des Verbrennungsmotors 14 betrieben werden. Über die elektrischen Leitungen 72 und 64 ist auch eine Übertragung elektrischer Energie zwischen der ersten
15 Elektromaschine 26 und der zweiten Elektromaschine 40 möglich, wofür äquivalent auch eine in Figur 2 dargestellte, separate zwölfte elektrische Leitung 84 vorgesehen werden kann. Die Antriebs-Elektromaschine 44 ist weiter über eine neunte elektrische Leitung 68 mit der ersten Elektromaschine 26 und über eine zehnte elektrische Leitung 70 mit der Batterie 34 verbunden, die außerdem über eine elfte elektrische Leitung 74 mit der zweiten Brennstoffzelle 28 verbunden ist.
20

Die hier vorhandenen mechanischen Antriebe 48, 50, 52, 54, 56 können auf verschiedene Weise gestaltet sein. So können sie beispielsweise durchgehend ausgeführt und/oder auch mit elektromagnetischen oder anderen Kupplungen versehen sein. Entscheidend ist hier lediglich, dass sowohl die Eingangs- als auch
25 die Ausgangsgröße mechanisch ist. Daher sind beispielsweise auch hydraulische und pneumatische Übertragungseinrichtungen bei Einsatz entsprechender Wandler und weiterer üblicher Hilfseinrichtungen möglich und sollen umfasst sein, da sie im Rahmen dieser Schrift mechanische Wirkverbindungen darstellen.

30 Zu der Realisierung des in Fig. 1 dargestellten Antriebsstrangs sei noch Folgendes angemerkt.

- 41 -

Der Verbrennungsmotor 14 kann die Antriebsräder 46 über den mechanischen Antrieb 50 unter Zwischenschaltung üblicher, nicht dargestellter, Antriebsstrangkomponenten mit Antriebsenergie versorgen und/oder die erste Elektromaschine 26 über den mechanischen Antrieb 48 generatorisch antreiben.

5 Weiter ist es für bestimmte Betriebszustände, insbesondere zum Anlassen des Verbrennungsmotors 14 und/oder für dessen schnelle Beschleunigung auf eine gewünschte Drehzahl auch möglich, mechanische Energie von der ersten Elektromaschine 26 über den ersten mechanischen Antrieb 48 oder, sofern gewünscht, von den Antriebsrädern 46 über den zweiten mechanischen Antrieb 50

10 an den Verbrennungsmotor 14 zu leiten.

Schließlich kann bei geeigneter Auslegung mechanische Energie von den Antriebsrädern 46 über den zweiten und ersten mechanischen Antrieb 50, 48 an die erste Elektromaschine 26 geleitet werden, wobei der Verbrennungsmotor 14

15 bevorzugt über eine nicht gezeigte Kupplung oder einen Freilauf abgekuppelt werden oder alternativ zur Realisierung einer Motorbremse mitlaufen kann. Dadurch kann eine zusätzliche Rekuperationsleistung durch die erste Elektromaschine 26 mit oder ohne gleichzeitige Motorbremswirkung des Verbrennungsmotors 14 erzielt werden. Wie erwähnt ist es als äquivalente Ausgestaltung auch möglich, den

20 zweiten mechanischen Antrieb 50 mit der Welle der ersten Elektromaschine 26 zu koppeln, wodurch sich, ggf. unter Zwischenschaltung einer nicht gezeigten schaltbaren Kupplung, mit dem ersten mechanischen Antrieb 48 eine der Funktion des gezeigten mechanischen Antriebs 50 äquivalente Ausgestaltung ergibt. Weiter kann die erste Elektromaschine 26 so ausgebildet werden, dass sie eine

25 Drehzahlübersetzung zwischen dem mechanischen Antrieb 48 und dem wie vorstehend beschriebenen abgewandelten mechanischen Antrieb 50 vornehmen kann, womit die erste Elektromaschine 26 zugleich die Funktion eines Wechselgetriebes und ggf. einer schaltbaren Kupplung übernehmen kann. Diese äquivalenten Ausgestaltungen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in Figur 1

30 nicht dargestellt.

- 42 -

Weiter ist es möglich, dass der Verbrennungsmotor 14 über einen nicht gezeigten mechanischen Antrieb das Schwungrad 42 antreiben und/oder dass das Schwungrad 42 durch diesen mechanische Antrieb den Verbrennungsmotor 14 antreiben und insbesondere starten kann.

5

Sofern an Stelle des Verbrennungsmotors 14 - oder zusätzlich zu diesem - eine erste bzw. leistungsstarke Brennstoffzelle 16 vorgesehen wird, kann diese mit Hilfe des im zweiten Tank 24 gespeicherten Kraftstoffs elektrische Energie erzeugen. Selbstverständlich ist es auch möglich, sowohl die erste Brennstoffzelle 16 als auch den Verbrennungsmotor 14 vorzusehen, wobei die Leistungen beider Leistungsquellen 14, 16 beliebig aufgeteilt werden können, jedoch in Summe zumindest die für eine Dauerhöchstgeschwindigkeit benötigte Leistung bereitstellen können sollen.

10

Die elektrische Leistung der ersten Elektromaschine 26 und/oder der ersten Brennstoffzelle 16 kann wahlweise zum Antrieb der Antriebsräder 46 verwendet werden, indem die elektrische Energie über die elektrischen Leitungen 68 und/oder 57 an die Antriebs-Elektromaschine 44 übertragen wird. Eine mechanische Wirkverbindung zwischen dem Verbrennungsmotor 14 und den Antriebsrädern 46 ist in diesem Fall nicht erforderlich, kann jedoch zusätzlich vorgesehen werden.

20

Momentan nicht für den Antrieb des Fahrzeugs benötigte Energie des verbrennungsmotorischen Antriebsstranges bzw. Verbrennungsmotor-Moduls 10 und/oder des ersten Brennstoffzellenmoduls 11 kann bevorzugt verwendet werden, um das Schwungrad 42 bei Bedarf über einen nicht dargestellten mechanischen Antrieb und/oder über den mechanischen Antrieb 48, die erste Elektromaschine 26 und die elektrischen Leitungen 72, 64 bzw. die elektrischen Leitungen 60, 64 sowie die zweite Elektromaschine 40 und den mechanischen Antriebs 52 zu beschleunigen und/oder die Batterie 34 zu laden.

30

Ist zumindest eine der möglichen beiden Brennstoffzellen 16, 28 als reversible Brennstoffzelle ausgelegt oder ist als äquivalente Ausgestaltung eine zusätzliche

Syntheseeinrichtung vorgesehen, kann elektrische Energie von einer oder mehrerer der Elektromaschinen 26, 44, 40 alternativ ganz oder teilweise auch zur Synthese von Kraftstoff eingesetzt und der Brennstoff in einem zugeordneten Tank 24, 32 gespeichert werden. Grundsätzlich ist anzumerken, dass die drei Tanks 20, 24, 32 nach praktischen Gesichtspunkten auch teilweise oder insgesamt vereinigt werden können, soweit die Art des Brennstoffs dies erlaubt.

Die Batterie 34 des Schwungradbasierten Antriebsstrangs 12 kann bevorzugt über den externen Ladeport 38 aufladbar sein. Dieser kann bevorzugt auch dafür ausgelegt sein, die Schwungradanordnung 42 über die zweite Elektromaschine 40 zu laden oder eine regenerative Brennstoffzelle 28, 16 bzw. eine Synthesevorrichtung mit Energie zur Synthese von Kraftstoff zu versorgen und/oder bei Bedarf dafür ausgelegt sein, wahlweise auch Energie an einen externen Verbraucher oder ein externes Stromnetz abzugeben. Die zweite Brennstoffzelle 28 kann zusätzlich zu der Batterie 34 vorgesehen sein (wie in Fig. 1 dargestellt) oder auch alternativ dazu.

Die zweite Brennstoffzelle 28 ist bevorzugterweise leistungsschwächer als die erste Brennstoffzelle 16, weil sie für den Fall, dass sie an Stelle der Batterie 34 vorgesehen wird, im Wesentlichen die Leistung der Batterie 34 an die zweite Elektromaschine 40 zum Antrieb der Schwungradanordnung 42 ersetzt. Diese Leistung kann, wie nachfolgend genauer ausgeführt wird, deutlich kleiner sein als die Leistung des Verbrennungsmotors 14 im optimalen Arbeitsbereich bzw. der den Verbrennungsmotor 14 ersetzenden ersten Brennstoffzelle 16.

Die Summe der auslegungsrelevanten maximalen Leistungen der Batterie 34 und der zweiten Brennstoffzelle 28 ist im Wesentlichen konstant und bemisst sich nach der voraussichtlichen maximalen, über die zweite Elektromaschine 40 in die Schwungradanordnung 42 auslegungsgemäß im zeitlichen Mittel einzuspeisenden Netto-Nachladeleistung der Schwungradanordnung 42, ggf. zuzüglich des zu erwartenden Leistungsbedarfs weiterer elektrischer Verbraucher, wie beispielsweise elektrischen Heizungen, Beleuchtungen, Klimaanlage, Komfortsystemen und

- 44 -

Steuerungen (nicht dargestellt). Die zweite Elektromaschine 40 kann jedoch bei Bedarf und bevorzugt auch deutlich leistungsstärker ausgelegt werden, um die mechanische Leistungsübertragung über den mechanischen Antrieb 54 zwischen der Schwungradanordnung 42 und den Antriebsrädern 46 teilweise oder bevorzugt
5 vollständig durch eine mechanische Kopplung 52 zwischen der Schwungradanordnung 42 und der zweiten Elektromaschine 40 sowie eine elektrische Kopplung 66 zwischen dieser und der mit den Antriebsrädern 46 gekoppelten Antriebs-Elektromaschine 44 zu ersetzen.

10 Obwohl die Schwungradanordnung 42 und die zweite Elektromaschine 40 hier funktional als zwei Komponenten dargestellt sind, können beide Komponenten 42,40 bevorzugt in einer Baueinheit integriert werden. Dies bietet neben Vorteilen in Bezug auf Bauraum und Gewicht bei einem bevorzugten, in einem weitgehenden Vakuum laufenden, Schwungrad auch Vorteile in Bezug auf einen Entfall einer
15 Wellenabdichtung und eine Verringerung der Verluste der zweiten Elektromaschine 40, die in diesem Fall ebenfalls im weitgehenden Vakuum angeordnet sein kann.

Hauptfunktion der Batterie 34 und/oder der zweiten Brennstoffzelle 28 ist die Abgabe von elektrischer Energie an die zweite Elektromaschine 40, um das
20 Schwungrad - oder auch mehrere - der Schwungradanordnung 42 in ein gewünschtes Drehzahlband zu bringen bzw. dort zu halten. Die Schwungradanordnung 42 dient als wesentliche Energiequelle bzw. Energiespeicher für den dynamischen Antrieb des Fahrzeugs. Sofern gewünscht oder erforderlich kann die durch die zweite Elektromaschine 40 erzeugte elektrische
25 Energie jedoch auch für andere Zwecke verwendet werden, insbesondere zur Ladung der Batterie 34 und/oder zur Erzeugung von Brennstoff in einer reversiblen Brennstoffzelle 28, 16, zum Anlassen des Verbrennungsmotors 14 über die erste Elektromaschine 26 oder einen nicht gezeigten elektrischen Startermotor oder eine nicht gezeigte Starter-Generator-Elektromaschine, oder auch zum Betrieb weiterer
30 Verbraucher oder zur Abgabe elektrischer Energie an ein fahrzeugexternes Stromnetz über den externen Ladeport 38.

- 45 -

Weiter kann der Verbrennungsmotor 14 über die erste Elektromaschine 26 und/oder kann die erste Brennstoffzelle 16 elektrische Energie zur Ladung der Batterie 34 und/oder über die zweite Elektromaschine 40 zur Ladung der Schwungradanordnung 42 und/oder für den reversiblen Betrieb zumindest der
5 zweiten Brennstoffzelle 28 und/oder ggf. der ersten Brennstoffzelle 16 erzeugen. Schließlich kann auch ein Moment von den Antriebsrädern 46 abgenommen und über die Antriebs-Elektromaschine 44 und/oder über die erste Elektromaschine 26 in elektrische Energie umgewandelt werden und, alternativ oder zusätzlich zu einem mechanischen Antrieb 54 der Schwungradanordnung 42 durch die Antriebsräder 46,
10 ebenfalls zum Antrieb der Schwungradanordnung 42 über die zweite Elektromaschine 40, zum Laden der Batterie 34 und/oder zum reversiblen Betrieb zumindest einer der Brennstoffzellen 28, 16 verwendet werden.

Die verschiedenen Elektromaschinen 26, 40, 44 können auch kombiniert oder auf
15 mehrere Elektromaschinen aufgeteilt werden und müssen nicht zwingend physikalisch eigenständige Maschinen bilden, sofern alternative Ausgestaltungen die aufgeführten Funktionen erfüllen können.

Die anhand der Fig. 1 dargestellten, vielfältigen möglichen Auslegungen und
20 Verknüpfungen der Komponenten des Antriebsstranges machen deutlich, dass es sich bei dem vorgestellten Antriebskonzept weniger um eine bestimmte konstruktive bzw. physikalische Verknüpfung von Komponenten handelt, sondern um ein Konzept, das Entwicklern eine Vielzahl unterschiedlicher konkreter Ausgestaltungen und damit eine umfangreiche Optimierung in Bezug auf gewünschte
25 Antriebskonzepte und Randbedingungen erlaubt.

Zu diesen Randbedingungen zählen insbesondere die jeweiligen Kosten der im konkreten Einzelfall verwendeten Komponenten, deren Bedarf an Bauraum, deren Gewicht und nicht zuletzt auch frei wählbare Einflussgrößen wie beispielsweise die
30 Entscheidung für oder gegen eine Verwendung von Brennstoffzellen. Entsprechend ergeben sich die Vorteile der Erfindung nicht aus der Auswahl der Art der Komponenten oder deren konkreter Verknüpfung, sondern erst aus der relativen

Auslegung der Komponenten in Bezug auf die Leistungen und die nutzbaren speicherbaren Energieinhalte.

Fig. 1 und die vorstehende Beschreibung dienen damit im Wesentlichen der
5 Verdeutlichung der jeweiligen Äquivalenzbereiche, sodass in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen jeweils auf eine konkrete Ausgestaltung abgestellt werden kann, ohne diese Äquivalenzbereiche stets mit erwähnen zu müssen, wodurch das Verständnis wesentlich erleichtert wird.

10 Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm für ein zweites Ausführungsbeispiel. Dabei handelt es sich um eine gegenüber dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel vereinfachte bzw. konkretere Ausgestaltung des Antriebskonzeptes. Gleiche oder funktional ähnliche Komponenten sind mit den in Fig. 1 verwendeten Bezugszeichen gekennzeichnet und auf diese wird nur insoweit eingegangen, wie es für das
15 Verständnis der vorliegenden Erfindung notwendig ist.

In dem Ausführungsbeispiel von Fig. 2 wurden die Brennstoffzellen 16, 28 und die zugehörigen Tanks 24, 32 weggelassen. Außerdem ist eine zusätzliche elektrische Leitung 84 zwischen den beiden Elektromaschinen 26 und 40 dargestellt.

20

Die Schwungradanordnung 42 und die mit dieser über den dritten mechanischen Antrieb 52 gekoppelte zweite Elektromaschine 40 sind bevorzugt als Schwungrad mit integrierter Elektromaschine ausgebildet, und werden - anders als in Fig. 1 - im Folgenden als Elektroschwungrad 43 bezeichnet. Durch die Integration von
25 Schwungradanordnung 42 und zweiter Elektromaschine 40 kann der Bauraum effizienter genutzt werden und Probleme in Bezug auf eine Wellendurchführung zu einem in einem weitgehendem Vakuum laufenden Schwungrad vermieden sowie die Verluste der Elektromaschine 40 durch Verwirbelungen stark verringert werden.

30 Der Verbrennungsmotor 14 ist mit der ersten Elektromaschine 26 durch den bidirektionalen mechanischen Antrieb 48 baulich zu einem Stromaggregat 15 zusammengefasst, das optional zur Vermeidung von Umwandlungsverlusten über

- 47 -

eine bevorzugt bidirektionale mechanische Kopplung 82 mit dem Antriebsrad 46 verbunden sein kann, wobei eine nicht gezeigte, schaltbare Kupplung und ein nicht gezeigtes Getriebe mit stufenloser oder gestuft-wechselbarer Übersetzung vorgehen sein können. Bevorzugt können die Funktionen der Kupplung und des
5 Getriebes durch eine geeignete Ausgestaltung der ersten Elektromaschine 26 übernommen werden. Wie bereits angemerkt, kann der mechanische Antrieb 82 auch zwischen Antriebsrad 46 und Verbrennungsmotor 14 erfolgen, wenn eine zusätzliche Kupplung oder ein Freilauf und ggf. ein zusätzliches Getriebe vorgesehen werden, entsprechend dem mechanischen Antrieb 50 der Figur 1. Auch
10 ist es möglich, den Rotor der ersten Elektromaschine 26 auf einem durchgängigen mechanischen Antrieb, bestehend aus den mechanischen Antrieben 48 und 82, anzuordnen.

Die Antriebs-Elektromaschine 44 ist hier bevorzugt als in die Antriebsräder 46
15 integrierte Elektromaschine ausgebildet und die Kombination aus Antriebsrad 46 und Antriebs-Elektromaschine 44 sowie deren mechanischer Antrieb 56 kann als ein Radnabenmotor 45 ausgestaltet sein. Es sei darauf hingewiesen, dass es ebenfalls möglich ist, ein Antriebsrad 46 vorzusehen, das ausschließlich durch die mechanischen Antriebe 82 bzw. 50 und/oder ausschließlich durch die
20 Antriebselektromaschine 44 angetrieben wird. Wie bereits erwähnt, sind bei einem Fahrzeug normalerweise mehrere der Antriebsräder 46 vorgesehen. Das gilt in gleicher Weise auch für die Anzahl der Radnabenmotoren 45 und der darin enthaltenen Elektromaschinen 44, auch wenn im Folgenden die Elemente 44, 45 und 46 üblicherweise nur im Singular genannt sind.

25

Zur Erleichterung des Verständnisses sei gedanklich von einem bereits im Jahr 2000 in Serie gebauten Audi A2 1.2 TDI ausgegangen, der bei einem C_w -Beiwert von 0,25 und einem Leergewicht von 855 kg durch einen abgasturbogeladenen Dieselmotor mit 1191 cm³ Hubraum mit einer maximalen Leistung vom 45 kW
30 angetrieben wird. Das Fahrzeug bietet Platz für 4 Personen und ein Gepäckraumvolumen von maximal 350 Litern. Im Betrieb weist es einen Normverbrauch von 3 Litern pro 100 km und eine CO₂-Emission von 81 – 86 g/km

- 48 -

auf. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 168 km/h, wobei ein Eco-Modus vorgesehen ist, bei dem die Motorleistung auf maximal ca. 31,5 kW gedrosselt ist und die Höchstgeschwindigkeit auf 160 km/h begrenzt wird, die mit dieser Leistung sicher erreicht wird.

5

Das erfindungsgemäße Antriebskonzept sieht vor, dass das Stromaggregat 15 in einem optimalen Arbeitsbereich des Verbrennungsmotors 14 eine Leistung abgeben kann, die zuzüglich zu der mittleren Leistungsaufnahme von üblicher Weise im Fahrzeug betriebenen Verbrauchern der Summe der Fahrwiderstände bei einer

10

gewünschten, durch die konstruktive Auslegung bestimmten, Dauerhöchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs entspricht. Konkret soll die Leistung des Verbrennungsmotors 14 hier so bemessen sein, dass das Fahrzeug ausschließlich durch Energie des Stromaggregats 15 unter normalen Betriebs- und Umgebungsbedingungen in der Ebene eine Dauerhöchstgeschwindigkeit von

15

beispielsweise 130 km/h aufrecht erhalten und dabei gleichzeitig übliche Nebenaggregate betreiben kann.

Überschlägig wird hier von einem Verbrennungsmotor 14 mit 25 kW im optimalen Betriebsbereich ausgegangen. Die elektrische Leistung des Stromaggregats 15

20

kann je nach Bedarf über die elektrische Leitung 68 an den Radnabenmotor 45 und/oder über die elektrischen Leitungen 72, 84 an die Batterie 34 und/oder an die Elektromaschine 40 des Elektroschwungrades 43 abgegeben werden. Die elektrischen Leitungen sind jeweils bi-direktional ausgelegt.

25

Die erste Elektromaschine 26 kann bevorzugt auch als Startermotor für den Verbrennungsmotor 14 dienen, der Verbrennungsmotor 14 kann bei fahrendem Fahrzeug jedoch auch durch Vorsehen der optionalen mechanischen Kopplung 82 durch Schließen der nicht dargestellten schaltbaren Kupplung durch Abnahme eines Momentes von dem Antriebsrad 46 gestartet werden.

30

Sofern der optionale mechanische Antrieb 82 zwischen dem Stromaggregat 15 und dem Antriebsrad 46 vorgesehen ist, kann die erste Elektromaschine 26 auf eine geringere Leistung von beispielsweise 15 kW oder weniger ausgelegt werden bzw. durch einen üblichen Startermotor oder Starter-Generator ersetzt werden, um

5 Bauraum, Gewicht und Bauteilkosten zu verringern. In diesem Fall wird bevorzugt, den Verbrennungsmotor 14 nur oder zumindest überwiegend bei fahrendem Fahrzeug zu betreiben, wenn dabei zumindest überwiegend eine Leistung an das Antriebsrad 46 abgegeben werden kann, die der Differenz zwischen der Leistung des Verbrennungsmotors 14 und der Leistung der ersten Elektromaschine 26 bzw.

10 dem Starter-Generator entspricht. Aufgrund der geringen Mehrkosten einer Auslegung der ersten Elektromaschine 26 auf die Leistung des Verbrennungsmotors 14 wird dies zwar nicht bevorzugt, soll jedoch erfindungsgemäß mit umfasst sein.

15 Gemäß einer besonders bevorzugten Variante kann vorgesehen sein, dass der erste mechanische Antrieb 48 zwischen dem Verbrennungsmotor 14 und der ersten Elektromaschine 26 eine nicht gezeigte erste schaltbare Kupplung sowie der erster Elektromaschine 26 und dem Antriebsrad 46 befindliche sechste mechanische Antrieb 82 eine nicht gezeigte zweite schaltbare Kupplung beinhalten. Hierdurch

20 kann der Verbrennungsmotor 14 durch Schließen der ersten Kupplung und Öffnen der zweiten Kupplung zusammen mit der ersten Elektromaschine 26 als Stromaggregat 15 ohne mechanische Verbindung des Verbrennungsmotors 14 zu den Antriebsrädern 46 verwendet werden. Durch Öffnen der ersten Kupplung und Schließen der zweiten Kupplung kann die erste Elektromaschine 26 bei

25 abgeschaltetem Verbrennungsmotor 14 über den sechsten mechanischen Antrieb 82 auch als eine Antriebs-Elektromaschine 44 arbeiten.

Durch diese doppelte Nutzbarkeit der ersten Elektromaschine 26 kann entsprechend Gewicht und Bauraum für die Antriebs-Elektromaschinen 44

30 eingespart werden. Bei entsprechender Dimensionierung der ersten Elektromaschine 26 kann diese den oder die Antriebs-Elektromaschine(n) 44 der zugeordneten Achse, insbesondere der Hinterachse, vollständig ersetzen bzw.

- 50 -

deren Funktion mit übernehmen. Zudem ergibt sich durch die bevorzugt auf die Leistung des Verbrennungsmotors 14 ausgelegte erste Elektromaschine 26 der Vorteil, mehrere Antriebselektromaschinen 44,26 unterschiedlicher Leistung für ein angetriebenes Rad bzw. die angetriebenen Räder 46 einer Achse vorzusehen zu
5 können, wodurch der Gesamtwirkungsgrad der Antriebs-Elektromotoren 44 bzw. 26 durch eine entsprechend den jeweiligen Wirkungsgraden für die jeweiligen Leistungen verbesserte und bevorzugt optimale Verteilung auf verschiedene Antriebsmaschinen 44, 26 optimiert werden kann.

10 Weiter ist es möglich, bei Betrieb des Verbrennungsmotors 14 beide Kupplungen zu schließen und die erste Elektromaschine 26 entweder generatorisch zu betreiben, um nicht für den Fahrzeugantrieb benötigte Energie abzunehmen, in elektrische Energie umzuwandeln und im Elektroschwungrad 43 und/oder der Batterie 34 zu speichern. Die erste Elektromaschine 26 kann auch motorisch betrieben werden,
15 um eine zusätzliche mechanische Leistung an die Antriebsräder 46 abzugeben. Bei Vorsehen des Stromaggregats 15 im Heck des Fahrzeugs wäre es beispielsweise möglich, eine schaltbar mit der hinteren Achse koppelbare erste Elektromaschine 26 mit in diesem Beispiel ca. 25 kW Dauerleistung mit einer weiteren auf diese Achse bzw. ihre Antriebsräder 46 wirkverbundenen Antriebs-Elektromaschine 44 mit ca. 15
20 kW Leistung zu kombinieren, wodurch auch geringe Antriebsleistungen stets durch eine Elektromaschine 26, 44 in einem Lastbereich mit gutem Wirkungsgrad aufgebracht bzw. rekuperiert werden können.

Energetisch noch vorteilhafter ist es, wenn die auf die Hinterachse wirkende
25 Antriebs-Elektromaschine 44 durch zwei auf die Hinterräder wirkende Radnabenmotoren 44 bzw. 45 mit je z.B. 7,5 oder 10 kW ersetzt wird, da dann sehr geringe Antriebsleistungen oder Bremsleistungen, wie sie z.B. bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit oder sehr geringer Beschleunigung oder Verzögerung im Stadtverkehr häufig auftreten, durch Betrieb nur eines Radnabenmotors in einem
30 Bereich guten Wirkungsgrades bereitgestellt werden können. Derart geringe Antriebsleistungen können ohne nennenswerte negative Auswirkungen auf das

- 51 -

Fahrverhalten auch asymmetrisch in Bezug auf die Längsachse des Fahrzeugs wirken, zumal die Asymmetrie bei Bedarf jederzeit aufgehoben werden kann.

- Für eine sinnvolle mechanische Koppelung des Verbrennungsmotors 14 mit den
- 5 Antriebsrädern 46 bei geschlossener erster und zweiter Kupplung ist im Bereich des ersten oder sechsten mechanischen Antriebs 48, 82 üblicher Weise ein Getriebe mit stufenloser oder gestufter Übersetzung vorzusehen, wodurch ein erheblicher Aufwand in Bezug auf Kosten, Gewicht und Bauraum und durch den Wirkungsgrad des Getriebes eine Verringerung des Gesamtwirkungsgrades bedingt werden.
- 10 Aufgrund der hier vorgestellten Ausgestaltung des Antriebskonzeptes ist es jedoch ausreichend, wenn die Leistung des Verbrennungsmotors 14 bei relativ hohen Geschwindigkeiten und damit relativ hohen, über längere Zeiträume benötigten Antriebsleistungen mechanisch mit den Antriebsrädern 46 gekoppelt werden kann. Daher kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass diese mechanische Koppelung des
- 15 Verbrennungsmotors 14 mit Antriebsrädern 46 bei geschlossener erster und zweiter Kupplung zum Antrieb des Fahrzeugs ausschließlich für einen oberen Geschwindigkeitsbereich des Fahrzeugs vorgesehen wird. Dies ermöglicht es, den Verbrennungsmotor 14 entweder durch eine sehr einfache und reibungsarme Getriebestufe mit fester Übersetzung oder allenfalls ein Getriebe mit zwei festen
- 20 Übersetzungen bzw. ein stufenlos-variables Getriebe mit entsprechend geringer Übersetzungsspreizung mit den Antriebsrädern 46 mechanisch zu verbinden. Sofern der verbrauchsoptimale Betriebsbereich des Verbrennungsmotors z.B. eine Spreizung der Drehzahl von Faktor zwei erlaubt, könnte ein auf eine Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h ausgelegtes Fahrzeug in einem
- 25 Geschwindigkeitsbereich zwischen ca. 100 km/h und 200 km/h mit nur einer festen Übersetzung für den mechanischen Antrieb der Antriebsräder 46 verwendet werden. Durch Entfall des Wechselgetriebes bzw. Auslegung eines Wechselgetriebes auf nur zwei Gänge oder bei stufenlos veränderbarer Übersetzung auf einen relativ kleinen Übersetzungsbereich von maximal ca. Faktor 3 kann der Aufwand für das
- 30 Wechselgetriebes in Bezug auf Gewicht und Kosten sowie wirkungsgradbedingte Energieverluste des Getriebes vorteilhaft vermieden oder zumindest stark verringert werden. Es sei angemerkt, dass hierdurch auch eine Motorbremsfunktion realisiert

werden kann, die auch im Geschwindigkeitsbereich unterhalb der für eine Koppelung für Antriebszwecke notwendigen unteren Fahrzeuggeschwindigkeit einsetzbar ist. Diese wird vorzugsweise nur verwendet, wenn die Batterie 34 und das Elektroschwungrad 43 keine weitere Ladung mehr aufnehmen sollen und kann
5 z.B. bei sehr langen Gefällestrecken eingesetzt werden.

Der Begriff „optimaler Arbeitsbereich“ schließt ein, dass die Leistungsabgabe des Verbrennungsmotors 14 um z. B. 20 % variierbar ist. Der konkrete Leistungsbereich wird dabei durch die in Kauf genommene prozentuale Verschlechterung des
10 Wirkungsgrades bestimmt, die wie vorstehend beschrieben bis zu 10 % betragen kann, bevorzugt jedoch 5 % nicht bzw. nur in Ausnahmefällen überschreiten sollte.

Nicht für den Antrieb des Fahrzeugs benötigte Leistung des Verbrennungsmotors 14, die nicht von der Elektromaschine 26 bzw. dem Starter-Generator
15 aufgenommen werden kann, kann bei sich drehendem Antriebsrad 46 über den mechanischen Antrieb 82 an das Antriebsrad 46 geleitet werden und von diesem durch die Antriebs-Elektromaschine 44 des Radnabenmotors 45 wieder abgenommen und zum Laden des Elektroschwungrades 43 und/oder der Batterie 34 verwendet werden. Bei Stillstand oder sehr geringer Drehgeschwindigkeit des
20 Antriebsrads 46 ist abzuwägen, ob der Verbrennungsmotor 14 vorübergehend gestoppt werden oder vorübergehend in der Leistung gedrosselt und damit ausnahmsweise kurzzeitig außerhalb des optimalen Arbeitsbereiches betrieben werden soll. Alternativ oder zusätzlich kann eine solche Betriebsphase bevorzugt zur Einstellung besonderer Betriebszustände genutzt werden, um beispielsweise
25 eine Erwärmung des Verbrennungsmotors 26 auf eine gewünschte Betriebstemperatur zu beschleunigen, Nutzwärme zur Temperierung eines Fahrgastraumes und/oder der Batterie 34 zu erzeugen oder eine Regeneration von Katalysatoren oder Partikelfiltern durchzuführen.

30 Weiter ist vorgesehen, dass die Kapazität der Schwungradanordnung 42 0,75 kWh und die von der Schwungradanordnung 42 bzw. dem Elektroschwungrad 43 abgebbare und aufnehmbare Leistung ca. 100 kW beträgt. Würde der in Figur 1

gezeigte, vierte mechanische Antrieb 54 ergänzt, könnte die Auslegung der zweiten Elektromaschine 40 auf eine Leistung verringert werden, die wenigstens dem zeitlich gemittelten Netto-Leistungsbedarf im Stadt- und Landstraßenverkehr entspricht und hier mit maximal 10 kW angenommen wird. Grob überschlägig kann von einem Gewicht des Elektroschwungrades 43 von ca. 35 kg bei einem Volumen von ca. 25 dm³ ausgegangen werden.

Die Batterie 34 weist in diesem Beispiel eine nutzbare Kapazität von 7,5 kWh auf, was bei einem angenommenen nutzbaren SOC-Bereich von 50 % einer nominellen Kapazität der Batterie 34 von 15 kWh entspricht, wobei hier ein auf die nominelle Kapazität bezogener, nutzbarer SOC-Bereich von z. B. 40% bis 90 % zu Grunde gelegt wird. Auf Basis ausgereifter Lithium-Ionen-Batteriezellen kann die Batterie 34 mit ca. 130 kg bei ca. 60 dm³ Bauraum angenommen werden.

In den bevorzugten Ausführungsformen sind zwei oder vier Radnabenmotoren 45 mit einer elektrischen Auslegungsleistung von insgesamt 140 kW enthalten, wobei zur Erzielung einer optimalen Rekuperation entweder nur die Räder der Vorderachse elektrisch antreibbar sind oder bei einer bevorzugten Ausgestaltung als Vierradantrieb die Leistung ca. im Verhältnis 70:30 zwischen den Antriebsrädern 46 der Vorderachse und der Hinterachse aufgeteilt wird, wodurch sich eine Leistung der beiden vorderen Radnabenmotoren 45 von jeweils ca. 50 kW und der beiden hinteren Radnabenmotoren 45 von jeweils ca. 20 kW ergibt. Dies ermöglicht auch bei geringen Antriebs- und Rekuperationsleistungen einen Betrieb der Radnabenmotoren und deren Ansteuerungselektronik in einem Bereich guten Wirkungsgrades. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Räder einer Achse durch eine gemeinsame Elektromaschine 44 anzutreiben.

Gegenüber dem gedanklichen Ausgangsfahrzeug kann überschlägig von einem Gewicht der zusätzlichen Komponenten von 130 Kg für die Batterie 34 und 35 kg für das Elektroschwungrad 43 ausgegangen werden. Hinzu kommt das Gewicht der Radnabenmotoren 45 sowie der notwendigen Steuerungseinrichtungen,

- 54 -

elektrischen Leistungsverbindungen und weiterer kleiner Komponenten, das mit insgesamt ca. 150 kg angesetzt wird.

Diesem zusätzlichen Gewicht von insgesamt ca. 315 kg stehen

- 5 Gewichtseinsparungen durch einen deutlich verkleinerten Verbrennungsmotor 14 und bevorzugt den Entfall des Getriebes, der schaltbaren Reibkupplung und des mechanischen Antriebsstranges 82 zu den Antriebsrädern 46 gegenüber. Weiter kann die Bordnetzatterie erheblich kleiner auslegt werden oder ganz entfallen sowie ein kleinerer Kraftstofftank und eine verkleinerte Abgasanlage verwendet
- 10 werden, wodurch sich das Mehrgewicht im Vergleich zum gedanklichen Ausgangsfahrzeug Audi A2 1.2TDI auf ca. 200 kg reduziert.

Zusammenfassend ist das Beispielfahrzeug durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- 15 – 5-türiger Minivan für 4 oder 5 Personen mit ca. 1050 kg Gewicht
- Verbrennungsmotorischer Antriebsstrang in Form eines Stromaggregats 15 mit einem Diesel-Verbrennungsmotor 14 mit 25 kW Leistung im optimalen Arbeitsbereich und einem zugeordneten Kraftstofftank für beispielsweise 10 Liter Kraftstoff sowie einer ersten Elektromaschine 26 mit ebenfalls ca. 25
- 20 kW Leistung
- Schwungradbasierter Antriebsstrang mit einem Elektroschwungrad 43 mit 0,75 kWh nutzbarer Kapazität der Schwungradanordnung 42 und 100 kW maximaler Leistung der integrierten Elektromaschine 40, einer Batterie 34 mit 7,5 kWh nutzbarer Kapazität und einem externen Ladeport 38
- 25 – Vier Radnabenmotoren 45, wobei die auf die Antriebsräder 46 der Vorderachse wirkenden Elektromaschinen 44 eine Leistung von jeweils 50 kW und die auf die Antriebsräder 46 der Hinterachse wirkenden Elektromaschinen 44 eine Leistung von jeweils 20 kW aufweisen.
- 30 Es sei angemerkt, dass die Leistungsangabe der ersten Elektromaschine 26 eine Dauerleistung ist, während sich die Leistungsangaben der übrigen Elektromaschinen 40 und 44 sich, sofern Bauraum, Gewicht und Kosten verringert

- 55 -

werden sollen, auch auf Spitzenleistungen beziehen können, die über Zeiträume aufgebracht werden können, die sich aus sich aus den Anforderungsprofilen des konkreten Fahrzeugs ergeben aber zumindest ca. 10 Sekunden, bevorzugt wenigstens 20 - 30 Sekunden betragen sollten. Die Dauerleistungen können bei Bedarf bis zu ca. 50 % niedriger gewählt werden, wodurch sich eine Dauerleistung der Elektromaschine 40 des Elektroschwungrades 43 von minimal 50 kW und eine Gesamtleistung der Radnabenmotoren 45 von minimal ca. 70 kW ergeben.

- Durch diese erfindungsgemäße Dimensionierung der Komponenten entsteht ein Fahrzeug, welches
- eine Dauerhöchstgeschwindigkeit von 130 km/h unter ausschließlicher Nutzung des Verbrennungsmotors 14 aufweist,
 - Bei ausreichendem SOC der Batterie 34 eine erweiterte Dauerhöchstgeschwindigkeit von ca. 170 km/h aufweist,
 - eine maximale dynamische Antriebsleistung von 140 KW aufweist, wobei das Stromaggregat 15 ca. 25 kW und das Elektroschwungrad 43 ca. 100 kW Leistung bereitstellen können und die zu 140 KW fehlenden 15 KW bei Bedarf aus der Batterie 34 entnommen werden können,
 - bei voll geladener Batterie 34 und einem angenommenen durchschnittlichen Leistungsbedarf unter Berücksichtigung weitgehend vollständiger Rekuperation von 7,5 kW eine lokal emissionsfreie Fahrzeit von ca. einer Stunde aufweist,
 - die Batterie 34 aufgrund der im Normalbetrieb lediglich zur Nachladung der Schwungradanordnung 42 bzw. des Elektroschwungrades 43 benötigten Leistung von ca. 5 bis 10 kW sehr schonend und mit zeitlich weitgehend konstantem Strom entladen werden kann, was deren Lebensdauer erheblich verlängert, Temperierungsprobleme weitgehend vermeidet und ggf. eine Erweiterung des nutzbaren SOC-Bereiches ermöglicht,
 - durch die hohe maximale Rekuperationseingangsleistung von 140 kW durch die Radnabenmotoren 45 in nahezu allen Betriebszuständen eine weitgehend vollständige Rekuperation ermöglicht,

- 56 -

- eine weitgehend freie Platzierung und Anordnung des Stromaggregates 15, der Batterie 34 und des Elektroschwungrades 43 im Fahrzeug erlaubt,
- bei geeigneter Auslegung auf große Teile des bisher notwendigen Aufwandes für eine herkömmliche Bremsanlage verzichten kann.

5

Diese Fahrleistungen sind im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Leistung und maximaler Energieinhalt des Elektroschwungrades 43 so bemessen werden, dass in nahezu allen Betriebszuständen dessen volle Leistung von 100 kW für den Antrieb zur Verfügung steht oder aus dem Antrieb in das Elektroschwungrad 43
10 rekipiert werden kann, während die Batterie 34 im Wesentlichen nur für das Nachladen des Elektroschwungrades 43 zum Ausgleich unvermeidlicher Energieverluste durch Luftwiderstand und Reibung sowie ggf. für den Betrieb von Nebenaggregaten verwendet wird und der Verbrennungsmotor 14 so bemessen ist, dass er bei langen Fahrten bzw. weitgehend entladener Batterie 14 eine für den
15 Ausgleich dieser Verluste bei einer gewünschten Dauerhöchstgeschwindigkeit ausreichende Leistung aufweist, und bei geringeren für den Antrieb des Fahrzeugs angeforderten Leistungen ein Nachladen der Batterie 34 und des Elektroschwungrades 43 ermöglicht.

20 Erst durch die relative Auslegung der Komponenten zueinander wird ein Fahrzeug ermöglicht, welches bei exzellenten dynamischen Fahrleistungen für kürzere, von der nutzbaren Kapazität und dem SOC der Batterie 34 abhängenden Strecken von bis zu ca. 100 km als Schwungrad-Elektrofahrzeug lokal emissionsfrei betreibbar ist und sich gleichzeitig auch für Langstreckenfahrten ohne Einschränkungen eignet.
25 Selbstverständlich kann die nutzbare Kapazität der Batterie 34 bei Bedarf größer oder kleiner gewählt werden, wenn eine größere lokal emissionsfreie Reichweite realisiert werden soll bzw. bzw. eine geringere für ausreichend gehalten wird. Bei einer Verkleinerung der Batterie 34 ist jedoch zu beachten, dass diese so groß ausgelegt werden soll, dass die positiven Effekte einer geringen spezifischen Be-
30 und Entladeleistung C erhalten bleiben und bevorzugt weitestgehend unterhalb von 2 C, bevorzugt unterhalb von 1,5 C und besonders bevorzugt im Normalbetrieb

(entsprechend NEFZ Fahrzyklus bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor)
unterhalb von 1 C liegen.

Nachfolgend werden mit Bezug zu Figur 3 gemeinsam mit Fig. 2 wesentliche
5 Betriebszustände und Betriebsweisen des Beispielfahrzeugs und deren wesentliche
Vorteile erläutert, die sich aus der vorteilhaften Dimensionierung der Komponenten
ergeben.

Figur 3 zeigt ein Ablaufdiagramm, aus denen die wesentlichen Schritte für den
10 Kaltstart des Fahrzeugs, den Warmstart und den Normalbetrieb des Fahrzeugs im
Schwungradmodus, bei erweiterter Dauerhöchstgeschwindigkeit, im Range-
Externder- und im Boost-Modus dargestellt sind, wobei die wesentlichen logischen
Schritte aus Gründen der Übersichtlichkeit ohne ggf. erforderliche oder sinnvolle
Zwischenschritte dargestellt sind, die der Fachmann bei Bedarf entsprechend der
15 konkreten Ausgestaltung des Fahrzeugs und dessen Auslegungskriterien ergänzen
wird.

Das Flussdiagramm geht in Schritt S1 von einem Kaltstart des stehenden
Fahrzeugs mit abgeschaltetem Verbrennungsmotor 14 und einem sehr geringen
20 SOC des Elektroschwungrades 43 aus. Anschließend wird in Schritt S2 ermittelt, ob
der Zustand der Batterie 34 ausreichend ist, damit sie eine Leistung P1 abgeben
kann, die größer ist als eine Mindestleistung Pmin1. Diese ist notwendig, um den
Verbrennungsmotor 14 mittels der ersten Elektromaschine 26 durch direkt aus der
Batterie 34 entnommene Leistung zu starten. Dazu wird der Betriebszustand der
25 Batterie anhand verschiedener Parameter ermittelt, wie insbesondere, der SOC der
Batterie 34, deren Temperatur oder deren SOH. Weiterhin wird bevorzugterweise
auch die Alterung der Batterie 34 berücksichtigt. Pmin1 kann dabei eine festgelegte
Leistung sein, die auch unter ungünstigen Bedingungen für einen sicheren Start des
Verbrennungsmotors 14 ausreichend ist. Bei Bedarf kann Pmin1 jedoch auch unter
30 Berücksichtigung von Parametern wie beispielsweise der Außentemperatur, der
Motoröltemperatur oder historischen, für den Start des Verbrennungsmotors
ermittelten Leistungswerten bestimmt werden.

- 58 -

Ist der Batteriezustand nicht ausreichend ($P1 < P_{min1}$), wird zunächst das Elektroschwungrad 43 in Schritt S3 mit einer geringen Leistung aus der Batterie 34 auf einen zum anschließenden Starten des Verbrennungsmotors 14 ausreichenden SOC_{min1} beschleunigt und anschließend in Schritt S4 der Verbrennungsmotor 14 mit aus dem Elektroschwungrad 43 entnommener Energie durch die erste Elektromaschine 26 gestartet. Die aus der Batterie 34 in das Elektroschwungrad 43 übertragene Leistung kann dabei wiederum in Abhängigkeit von den vorgenannten Parametern der Batterie so gewählt werden, dass diese zumindest nicht dauerhaft geschädigt wird. Die Leistung kann bei einer sehr stark gealterten, teildefekten, fast vollständig entladenen oder sehr kalten Batterie 34 sehr gering sein und im Extremfall nur einige 10 Watt betragen. Da diese Leistung im Elektroschwungrad 43 gesammelt wird, steht dennoch nach einigen Sekunden und spätestens nach wenigen Minuten im Elektroschwungrad 43 eine ausreichende Energiemenge zur Verfügung, um den Verbrennungsmotor mit der benötigten hohen Leistung sicher starten zu können. Das Fahrzeug ist damit fahrbereit. Somit steht jetzt die Leistung des Verbrennungsmotors 14 zur Verfügung, die im bevorzugten Ausführungsbeispiel 25 kW beträgt.

Nicht zum Antrieb des Fahrzeugs benötigte Energie wird in Schritt S5 verwendet, um das Elektroschwungrad 43 weiter zu beschleunigen und/oder die Batterie 34 zu laden und/oder zu beheizen, solange diese ihre optimalen SOC's bzw. ihre Arbeitstemperatur noch nicht erreicht haben oder bis der Betrieb des Verbrennungsmotors durch einen Befehl des Fahrers oder einer Einrichtung des Fahrzeugs beendet wird.

Ergibt die Abfrage in S2, dass der Batteriezustand ausreichend ist, um die nötige Leistung zu liefern ($P1 \geq P_{min1}$), wird in Schritt S6 zunächst überprüft, ob eine explizite Anforderung für einen Betrieb des Fahrzeugs im verbrennungsmotorischen Modus vorliegt oder ob die Batterie 34 einen SOC, SOH oder eine Batterietemperatur aufweist, die ein Starten des Fahrzeugs in einem Schwungradmodus nicht erlauben oder nicht wünschenswert erscheinen lassen.

- 59 -

Falls dies der Fall ist (Ja in Schritt S6), wird zu Schritt S7 übergegangen und der Verbrennungsmotor 14 mit aus der Batterie 34 entnommener Leistung durch die erste Elektromaschine 26 gestartet und das Fahrzeug befindet sich im vorstehend beschriebenen, fahrbereiten Zustand des Schrittes S5.

5

Im Normalfall sind der SOC der Batterie 34, deren Alterungs- und Gesundheitszustand (State Of Health, SOH) und deren Temperatur jedoch ausreichend, um eine für den Start des Fahrzeugs im Schwungradmodus ausreichende Entladeleistung und Energiemenge bereitzustellen. Sofern in Schritt 10 S6 keine explizite Anforderung für einen Betrieb des Fahrzeugs im verbrennungsmotorischen Modus vorliegt, wird die Abfrage des Schrittes S6 im Normalbetrieb des Fahrzeugs daher meist mit „Nein“ beantwortet und es erfolgt ein Sprung zu Schritt S8.

15 Ist dies der Fall, wird in Schritt S9 entschieden, ob die aus der Batterie 34 entnehmbare Leistung P mindestens gleich P_{min2} ist ($P \geq P_{min2}$), wobei $P_{min1} < P_{min2}$ gilt und P_{min2} einer möglichen Entladeleistung der Batterie 34 entspricht, die einen unmittelbaren Antrieb des Fahrzeugs durch aus der Batterie entnommener Energie ermöglicht, wie unten in den Schritten S 12 und S 13 beschrieben.

20

Ist die aus der Batterie 34 entnehmbare Leistung P geringer als P_{min2} , beispielsweise 20 kW, wird in Schritt S 10 zunächst das Elektroschwungrad 43 mittels aus der Batterie 34 entnommener Energie auf einen für den Beginn des Fahrbetriebs ausreichenden SOC_{min2} aufgeladen. Dies kann bei einer ausreichend 25 geladenen Batterie 34 bei sehr niedriger Batterietemperatur der Fall sein, bei der die Entnahmeleistung der Batterie 34 auf zunächst wenige kW begrenzt werden soll, um deren Alterung gering zu halten. Mit Nutzung der Batterie 34 und ggf. zusätzlicher Beheizung erhöht sich deren Leistungsfähigkeit in kurzer Zeit. Eine maximale anfängliche Leistung für den Antrieb des Fahrzeugs von weniger als z.B. 30 20 kW soll jedoch aus Gründen der Verkehrssicherheit vermieden werden und würde dem Fahrer zudem ein unangenehmes Fahrgefühl vermitteln.

- 60 -

Der SOCmin2 des Elektroschwungrades 43 kann dabei fest vorgegeben sein oder bevorzugt auf Grundlage der aus der Batterie 34 entnehmbaren Leistung und einer Einschätzung der Erhöhung dieser Leistung auf Grundlage weiterer Batterieparameter, insbesondere SOC, SOH und Batterietemperatur variabel festgelegt werden. Bei sehr kalter Batterie 34 oder einer aus der Batterie aus anderen Gründen für den Fahrzeugantrieb entnehmbaren Leistung von z.B. maximal nur 5 kW sollte der vor Fahrtantritt erreichte SOC des Elektroschwungrades 43 beispielsweise erheblich höher sein, als bei einer aus der Batterie 34 entnehmbaren Leistung von 10 KW, da die Nachladeleistung der Batterie 34 in das Elektroschwungrad 43 in den ersten Minuten der Fahrt im erstgenannten Fall mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht ausreichend sein wird, um die Energieverluste des Fahrzeugs auszugleichen. Selbstverständlich sind auch aufwändigere Berechnungen des SOCmin2 des Elektroschwungrades 43 unter Einbeziehung z.B. einer in Kauf genommenen Alterung der Batterie 34, der Außentemperatur sowie einer möglichen Heizleistung zur Erwärmung der Batterie 34, eines Batteriemodells, einer Vorhersage über das zu befahrende Streckenprofil und weiterer Einflussfaktoren denkbar und sinnvoll.

Mit Erreichen des SOCmin2 des Elektroschwungrades 43 am Ende von Schritt S10 wird zu Schritt S11 übergegangen, in dem das Fahrzeug im Schwungradmodus fahrbereit ist. In diesem Zustand steht die gesamte durch das Elektroschwungrad abgebbare Leistung von 100 KW, ggf. abzüglich des Leistungsbedarfs von Nebenaggregaten, für den Antrieb des Fahrzeugs zur Verfügung.

Es sei angemerkt, dass die bis zur Fahrbereitschaft des Fahrzeugs für das Aufladen des Elektroschwungrades 43 benötigte Zeitspanne sich aus Sicht des Fahrers verkürzen lässt, indem der Beginn des Ladens des Elektroschwungrades 43 beispielsweise bereits bei einer Entriegelung der Fahrzeurtüren, ggf. über eine spezielle Taste, oder bei Annäherung an die Fahrertür mit einem Transponder oder durch eine zeitliche Vorwahl eingeleitet wird. Zur Erhöhung der Zufriedenheit der Nutzer ist es sinnvoll, diesen eine Information über die verbleibende Zeit bis zur Fahrbereitschaft, beispielsweise in Form eines Countdowns einer optischen

Anzeige, z.B. durch eine Balkenanzeige, zu geben, wodurch diese eine qualifizierte Entscheidung treffen können, ob sie auf die Fahrbereitschaft im Schwungradmodus warten wollen oder die sofortige Fahrbereitschaft durch eine manuelle Anforderung des verbrennungsmotorischen Modus bevorzugen, was zu einem in der Figur nicht
5 dargestellten Wechsel zu Schritt S7 oder S3 führen würde.

Wird in Schritt S9 entschieden, dass die Entnahme einer hohen Entladeleistung von wenigstens P_{min2} (bevorzugt wenigstens z.B. 20 kW) aus der Batterie für den Antrieb des Fahrzeugs möglich ist und ein verbrennungsmotorischer Modus nicht
10 explizit gewählt wurde, wird zu Schritt S 12 übergegangen. In diesem Fall kann auf das Aufladen des Elektroschwungrades 43 auf einen SOC von SOC_{min2} und die damit verbundene Wartezeit verzichtet werden. Die Batterie 34 kann hier in Schritt S12 eine für den Antritt der Fahrt ausreichende bzw. akzeptable Leistung für den Antrieb der Radnabenmotoren 45 von in diesem Beispiel ca. 20 kW direkt
15 bereitstellen. Das Fahrzeug ist damit unmittelbar betriebsbereit, wenn auch anfangs nur mit einer geringen maximalen Leistung, die der durch die Batterie 34 abgebbaren Leistung, abzüglich der Leistung der Nebenaggregate entspricht.

Sobald für den Antrieb des Fahrzeugs eine geringere als die aus der Batterie 34
20 unter Berücksichtigung von SOC, SOH und Batterietemperatur maximal entnehmbare Leistung abgerufen wird, wird in Schritt S13 in Abhängigkeit vom Zustand der Batterie 34, insbesondere deren SOC, SOH und Temperatur, entweder der SOC des Schwungrades erhöht und/oder die Entnahmeleistung aus der Batterie verringert, um deren Alterung zu minimieren.

25 Es sei darauf hingewiesen, dass die Batterie 34 bei Durchführung des Schrittes S13 und ggf. und in geringerem Maße bei Durchführung des nachfolgend erläuterten Schrittes S14 für kurze Zeiträume mit einem höheren Entladestrom als 1 C belastet werden kann.

30 Ausgehend von einer nominellen Batteriekapazität von 15 kWh des Beispielfahrzeugs kann bei dafür geeigneten Batteriezuständen, insbesondere

- 62 -

Batterietemperatur und SOH beispielsweise kurzzeitig eine maximale Entladeleistung der Batterie von 1,5 C freigegeben werden. Da das Fahrzeug zu Beginn steht, ermöglicht dies auch bei anfangs vollständig entladene

5 Elektroschwungrad 43 eine sofortige Bereitstellung einer Fahrleistung, die aus Sicht eines Fahrers für Ausparkvorgänge oder das Fahren von einem Parkplatz nicht als eingeschränkt wahrgenommen wird und auch für eine Beschleunigung im Stadtverkehr für wenige Sekunden akzeptabel ist. Das Elektroschwungrad 43 würde z.B. bereits nach 15 Sekunden Ausparkvorgang bei einer Batterieleistung von 1,5 C entsprechend ca. 22 kW und bei durchschnittlich in dieser Zeit zur Ladung des

10 Elektroschwungrades 43 zur Verfügung stehenden Leistung von 18 kW einen Energieinhalt von ca. 0,075 kWh aufweisen, der rechnerisch ausreichen würde, um das Fahrzeug mit einer Leistung von 100 kW alleine aus dem Elektroschwungrad auf eine Geschwindigkeit von ca. 75 km/h zu beschleunigen, wobei zusätzlich aus der Batterie 34 eine Leistung von bis zu 22 kW zur Verfügung steht. Auch unter

15 Berücksichtigung von Umwandlungsverlusten und einer aufgrund geringer Drehzahlen nicht sinnvoll nutzbaren Schwungradladung unterhalb von z.B. 5 % SOC ist es daher unwahrscheinlich, dass ein Fahrer die in den ersten Sekunden eines Kaltstarts mit stehender Schwungradanordnung 42 aber ausreichend leistungsfähiger Batterie eingeschränkte Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs

20 überhaupt bemerkt. Dieser erhöhte Entladestrom der Batterie beim Start des Fahrzeugs wird jedoch nur benötigt, wenn der Schwungrad-SOC anfangs sehr gering ist, und bildet mit einer Zeitdauer von in der Regel weniger als 30 Sekunden einen im Verhältnis zur Gesamtbetriebszeit des Fahrzeugs vernachlässigbaren Sonderfall.

25

Zusammenfassend wird aus den beschriebenen Schritten S1 bis S13 deutlich, dass das Fahrzeug auch bei anfangs entladene Zustand des Elektroschwungrades 43 stets unmittelbar gestartet werden kann. Ist die mögliche Leistungsabgabe der Batterie 34 so gering, dass sie nicht einmal den Verbrennungsmotor 14 über die

30 Elektromaschine 26 direkt starten kann, wird zunächst das Elektroschwungrad 43 so weit geladen, dass mit dessen Hilfe ein sicherer Start des Verbrennungsmotors 14 erfolgen kann (Schritte S2 – S5). Genügt sie für das direkte Anlassen des

Verbrennungsmotors 14, wird dieser gemäß den Schritten S6, S7 und S5 direkt gestartet, sofern die mögliche Leistungsabgabe nicht für einen Start des Fahrzeugs im schwungradbasierten Antriebsmodus ausreicht oder durch den Fahrer oder eine Einrichtung des Fahrzeugs explizit der verbrennungsmotorische Antriebsmodus angefordert wurde. Genügt die mögliche Leistungsabgabe der Batterie 34, um das Fahrzeug im schwungradbasierten Antriebsmodus in Betrieb zu nehmen und ist durch den Fahrer oder eine Einrichtung des Fahrzeugs keine Inbetriebnahme im verbrennungsmotorischen Betriebsmodus vorgegeben, wird bei dafür ausreichender Leistungsfähigkeit der Batterie 34 gemäß den Schritten S12 bis S13 die Antriebsleistung des Fahrzeugs in den ersten Sekunden direkt aus der Batterie 34 entnommen und das Elektroschwungrad 43 mit zur Verfügung stehender, nicht für den Antrieb des Fahrzeugs und den Betrieb von Nebenaggregaten benötigter Leistung beschleunigt. Genügt die Batterieleistung hierfür nicht, wird gemäß der Schritte S10 bis S11 zunächst das Elektroschwungrad 43 auf einen zum sichern Antritt der Fahrt ausreichenden SOC aufgeladen.

Solange das Elektroschwungrad 43 noch nicht auf seinen gewünschten oder optimalen SOC beschleunigt ist, können die im Normalbetrieb gewünschten Fahrleistungen jedoch noch nicht vollständig bereitgestellt werden. Daher wird zur Herstellung der vollen Betriebsbereitschaft anschließend in Schritt S14 das Elektroschwungrad 43 auf einen optimalen SOC (SOC_{opt}) beschleunigt, wofür bei laufendem Stromaggregat 15 die momentan nicht für den Antrieb des Fahrzeugs und der Nebenaggregate benötigte Leistung des Stromaggregates 15 und unter Berücksichtigung von deren Leistungsfähigkeit alternativ oder bei Bedarf zusätzlich die Batterie 34 verwendet werden. Bei abgeschaltetem Stromaggregat 15 wird die Energie unter Berücksichtigung von deren SOC, SOH und der Batterietemperatur alleine aus der Batterie 34 entnommen. Sofern dies nicht möglich oder sinnvoll erscheint, da z.B. der SOC der Batterie gering ist, wird der Verbrennungsmotor analog zu Schritt S7 gestartet. In beiden Fällen wird das Elektroschwungrad zusätzlich bei rekuperativem Bremsen des Fahrzeugs beschleunigt.

- 64 -

Sollte der Fahrer dies wünschen kann er zur Erhöhung der zur Verfügung stehenden Gesamtleistung, und sofern eine Einrichtung des Fahrzeugs nicht explizit den schwungradbasierten Antriebsmodus vorgibt, jederzeit den Verbrennungsmotor 14 entsprechend Schritt S7 starten. Der verbrennungsmotorische Antriebsmodus
5 kann durch eine Einrichtung zur Vorgabe des Antriebsmodus auch automatisch gestartet werden, wenn beispielsweise der Bedarf an Energie für den Antrieb des Fahrzeugs und den Betrieb von Nebenaggregaten einen Grenzwert überschreitet oder der SOC der Batterie 34 unter einen Grenzwert fällt.

10 Die Einrichtung zur Vorgabe des Antriebsmodus kann beispielsweise auf einer Auswertung des derzeitigen Ortes des Fahrzeugs und dessen Aufenthalt in einer Zone beruhen, in der der Betrieb im verbrennungsmotorischen Modus nicht gestattet ist, aber auch weitere Einflussgrößen berücksichtigen, die insbesondere die Zustandsdaten der verschiedenen Aggregate des Fahrzeugs aber auch weitere
15 Parameter umfassen können. Beispielsweise kann der Verbrennungsmotor 14 automatisch gestartet werden, wenn aufgrund sehr kalter Außen- und /oder Innenraumtemperaturen davon auszugehen ist, dass unmittelbar bei oder nach Fahrtantritt eine erhebliche Leistung für den Betrieb von Heizungen abgerufen wird, wenn aufgrund von aus einem Navigationssystem bekannten Daten geschlossen
20 werden kann, dass unmittelbar nach Fahrtantritt eine erhebliche Steigung befahren werden soll oder wenn aus Daten des Navigationssystems bekannt ist, dass das Fahrzeug in Kürze mit hoher Wahrscheinlichkeit in eine Zero-Emissions-Zone einfahren wird und der Ladegrad der Batterie 34 dafür als nicht ausreichend bewertet wird. Umgekehrt kann die Einrichtung zur Vorgabe des Antriebsmodus
25 beispielsweise den schwungradbasierten Antriebsmodus vorgeben, sofern aus z.B. Daten eines Navigationsgerätes geschlossen werden kann, dass der Betrieb des Verbrennungsmotors nicht gestattet oder erwünscht ist.

Da das Elektroschwungrad 43 bei geeigneter Auslegung, insbesondere einer
30 Lagerung in einem weitgehenden Vakuum oder einer druckverminderten Wasserstoff- oder Heliumatmosphäre, nur relativ wenig Energie an die Umgebung verliert, kann es nach Vorgabe durch eine nicht gezeigte Steuerungseinrichtung bei

- 65 -

üblichen Abstellzeiten des Fahrzeugs von einigen Stunden bis zu wenigen Tagen auf einer zum sofortigen Betrieb des Fahrzeugs im schwungradbasierten Antriebsmodus geeigneten Rotationsgeschwindigkeit gehalten werden. Bei Netzladung über den externen Ladeport 38 kann das Elektroschwungrad 43 parallel
5 oder alternativ zu einem Laden der Batterie 34 auf eine gewünschte Drehzahl beschleunigt und/oder in einem gewünschten Drehzahlbereich gehalten werden. Der in den Schritten S1 bis S13 beschriebene Kaltstart stellt daher im Betrieb des Fahrzeugs einen Sonderfall dar, der in der Praxis je nach Auslegung der Steuerung nur selten, beispielsweise nach Rückkehr aus einem Urlaub auftritt.

10

Bei einem Warmstart ist der SOC des Elektroschwungrades 43 für einen unmittelbaren Fahrtantritt ausreichend hoch, womit die in S11 beschriebene Situation vorliegt. Sofern durch den Fahrer oder die Einrichtung zur Vorgabe des Antriebsmodus explizit der verbrennungsmotorische Fahrmodus vorgegeben wird,
15 kann der Verbrennungsmotor entsprechend der in S4 oder S7 beschriebenen Schritte gestartet werden. Anschließend wird der SOC des Elektroschwungrades 43 wie in Schritt S14 beschrieben, auf einen optimalen SOC oder zumindest einen für die vollständige Fahrbereitschaft mit voller Leistung ausreichenden, minimalen SOC beschleunigt.

20

Am Ende von Schritt 14 ist das Fahrzeug vollständig fahrbereit. Das heißt insbesondere, dass der SOC des Elektroschwungrades 43 ausreichend hoch ist, um unter üblichen Betriebsbedingungen keine durch den Fahrer wahrnehmbare Leistungseinschränkungen des Fahrzeugs zu verursachen. In Schritt S15 wird
25 festgestellt, ob der Verbrennungsmotor 14 bzw. das Stromaggregat 15 in Betrieb ist. Ist dies der Fall, wird die erzeugte und nicht durch Nebenaggregate benötigte elektrische Energie in Schritt S16 vorrangig für den Antrieb des Fahrzeugs verwendet, um die Umwandlungsverluste möglichst gering zu halten. Überschüssige Leistung wird genutzt, um das Elektroschwungrad 43 und/oder die Batterie 34 zu
30 laden, wobei die Auswahl, welche Komponente 43, 34 mit welchem Teil der zur Verfügung stehenden Leistung geladen werden soll in erster Linie von deren SOC's und deren Abweichung von einem optimalen SOC abhängt und zusätzlich von der

- 66 -

bereits mehrfach genannten Vielzahl von Batterieparametern abhängig gemacht werden kann.

In Schritt S17 wird bestimmt, ob die Betriebszeit des Stromgenerators eine
5 gewünschte Zeitdauer erreicht hat und gleichzeitig das Elektroschwungrad 43 und
die Batterie 34 zumindest einen ausreichenden oder bevorzugt optimalen SOC
aufweisen, und es wird überprüft, ob ein Befehl zum Nicht-Betrieb bzw. Abschalten
des Verbrennungsmotors 14 durch den Fahrer oder durch die Einrichtung zur
10 Vorgabe des Antriebsmodus vorliegt. Der Betrieb des Verbrennungsmotors 14 über
eine bestimmte Mindestzeitspanne ist bevorzugt, um den anteiligen Betrieb bei
kaltem Motor und Abgassystem gering zu halten.

Werden diese beiden Abfragen mit nein (N) beantwortet, erfolgt ein Rücksprung zu
Schritt S16, andernfalls wird der Verbrennungsmotor 14 in Schritt 18 abgeschaltet
und es erfolgt ein Rücksprung zu Schritt S14.

15

Bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor 14 (Nein in Schritt S15) wird zunächst in
Schritt S19 geprüft, ob der SOC der Batterie 34 eine Nachladung durch den
Verbrennungsmotor 14 des Stromaggregats 15 erforderlich oder wünschenswert
macht und gleichzeitig der Betrieb des Verbrennungsmotors 14 gestattet ist.

20 Ist dies der Fall (Ja in Schritt S19), wird in Schritt S20 analog zu dem im Schritt S7
beschriebenen Vorgehen der Verbrennungsmotor 14 gestartet und anschließend zu
Schritt S16 gesprungen.

25 Ob ein Laden der Batterie 34 und ggf. des Elektroschwungrades 43 erforderlich
oder wünschenswert ist, kann neben dem SOC und SOH der Batterie 34 auch von
der momentanen oder erwarteten zukünftigen Leistung der Radnabenmotoren 45
abhängig gemacht werden. Ist beispielsweise absehbar, dass das Fahrzeug in
Kürze ein langes und erhebliches Gefälle befahren wird, kann der Start des
Verbrennungsmotors 14 bis zu einem niedrigeren SOC der Batterie 34 verschoben
30 werden, da in Kürze mit einer rekuperativen Aufladung der Batterie 34 zu rechnen
ist. Ist andererseits das Befahren einer langen und starken Steigung zu erwarten,
wird ein Anhängerbetrieb erkannt, wird das baldige Befahren einer Zero-Emissions-

- 67 -

Zone erwartet oder lässt der Fahrstil des Fahrers auf einen erhöhten durchschnittlichen Energiebedarf schließen, kann der Grenzwert für die Auslösung der Nachladung der Batterie 34 durch das Stromaggregat 15 entsprechend zu einem höheren SOC der Batterie 34 verschoben werden. Selbstverständlich können
5 auch eine Vielzahl weiterer Faktoren, insbesondere eine Prognose über eine bevorstehende Netzladung und die bis dahin benötigte Energie und weitere Zustandsgrößen des Fahrzeugs berücksichtigt werden.

In Schritt 21 wird überprüft, ob die Leistungsanforderung des Fahrzeugs unter
10 Berücksichtigung der Leistung der Nebenaggregate ohne Verbrennungsmotor 14 erfüllt werden kann, was beim Beispielfahrzeug üblicher Weise bei Leistungsanforderungen für den Antrieb des Fahrzeug von weniger als 115 - 100 kW der Fall ist. Ist dies nicht der Fall, und ist der Betrieb des Verbrennungsmotors 14 gestattet, wird ebenfalls zu Schritt 20 gesprungen und der Verbrennungsmotor
15 14 gestartet.

Selbstverständlich ist es möglich, den Schritt S21 zur Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit auch unabhängig vom Durchlaufen der Schritte S 15 und S19 bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor 14 mit hoher Frequenz durchzuführen.
20 Ebenso können die übrigen genannten Schritte sinnvoll variiert oder in der Reihenfolge vertauscht werden, solange die beschriebenen Wirkungen der Steuerung/Regelung auf die Fahrzeugkomponenten identisch oder vergleichbar sind. In sofern handelt es sich bei dem vorgestellten Ablauf um eine konkrete Ausgestaltung, die den Schutzbereich nicht einschränken soll.

25 Zusammengefasst wird durch die Schritte S14 bis S21 der Verbrennungsmotor 14 gestartet, wenn dies nicht durch den Fahrer oder die Einrichtung zur Vorgabe des Antriebsmodus verhindert wird und entweder der SOC der Batterie 34 angehoben werden soll oder die ohne Verbrennungsmotor 14 zur Verfügung stehende Leistung
30 für den Antrieb des Fahrzeugs und den Betrieb der Nebenaggregate nicht ausreichend ist. Dabei ist sichergestellt, dass die Betriebszeit des

Verbrennungsmotors 14 ausreicht, um diesen und das Abgassystem weit überwiegend in einem geeigneten Temperaturbereich zu betreiben.

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei der Nachladung des
5 Elektroschwungrades 43 durch die Batterie 34 sowie die Ladung der Batterie 34 und des Elektroschwungrades 43 um eine analytische Betrachtung handelt. In Betriebsphasen, in denen das Fahrzeug mit Hilfe des Elektroschwungrades 43 beschleunigt wird, verringert die Nachladeleistung der Batterie 34 beispielsweise die Entladeleistung des Elektroschwungrades 43, was hier ebenfalls als Nachladung
10 gelten soll. Die in der Praxis vorteilhaftesten Energiepfade hängen neben der konkreten Auslegung des Antriebssystems beispielsweise von den Ist- und Soll-Ladegraden des Elektroschwungrades 43 und der Batterie 34, den Wirkungsgraden der einzelnen Komponenten und den für den Antrieb des Fahrzeugs und den Betrieb von Nebenaggregaten erforderlichen Leistungen ab, wobei die Soll-
15 Ladegrade wie vorstehend beschrieben wiederum von einer Vielzahl weiterer Parameter abhängig gemacht werden können.

Nicht in der Figur 3 enthalten sind Notbetriebsmodi, auf die im Folgenden kurz eingegangen werden soll.

20

Bei einem Defekt im Bereich des Stromaggregates 15 bzw. des verbrennungsmotorischen Antriebsstranges 10 bleibt das Fahrzeug voll fahrtauglich, solange die Batterie 34 einen ausreichenden SOC und eine ausreichende Leistungsfähigkeit aufweist, um das Elektroschwungrad 43 in einem ausreichenden
25 SOC-Bereich zu halten. In diesem Fall kann die Reichweite des Fahrzeugs bei Bedarf durch Freigabe eines zusätzlichen SOC-Bereichs der Batterie 34 erheblich erhöht werden, insbesondere wenn die Entladeleistung der Batterie 34 in das Elektroschwungrad 43 auf einen geringen Wert von z.B. 0,5 C, oder 0,3 C begrenzt wird. Auch bei einem Defekt im Bereich des Elektroschwungrades 43 bzw. des
30 schwungradbasierten Antriebsstranges bleibt das Fahrzeug mit eingeschränkter Leistungsfähigkeit voll fahrtauglich. Auch im Fall einer nahezu entladenen oder defekten Batterie 34 kann das Fahrzeug gestartet werden, sofern die Batterie 34

- 69 -

wenigstens eine geringe Leistung bereitstellen kann. Da bevorzugt auch die Radnabenmotoren 45 mehrfach vorhanden sind und unabhängig von einander betrieben werden können, weist das Fahrzeug eine ausgesprochen hohe Ausfallsicherheit gegen Liegenbleiben auf.

5

Nachfolgend werden einige durch die erfindungsgemäße Dimensionierung der Komponenten und/oder die vorstehend beschriebenen Betriebsabläufe erzielbare Vorteile beschrieben.

- 10 Erstens können die Be- und Entladeströme der Batterie 34 zumindest nahezu vollständig in einem Bereich unterhalb von 1 C gehalten werden, was die Temperierung der Batterie 34 erleichtert und den dafür notwendigen Aufwand verringert. Der zulässige Be- und Entladestrom kann dabei ohne gravierende Auswirkungen auf die Fahrleistungen in weitem Umfang von den Batteriedaten
- 15 abhängig gemacht werden und die Batterie 34 damit insbesondere in Hinblick auf deren Alterung sehr schonend behandelt werden.

Zweites kann im schwungradbasierten Modus in Abhängigkeit von der erlaubten Entladungsleistung der Batterie 34 und dem Leistungsbedarf von

- 20 Nebenverbrauchern eine Antriebsleistung von 85 bis ca. 115 kW zur Verfügung gestellt werden, bei einem erlaubten Entladestrom der Batterie 34 von mehr als 1 C auch mehr.

Drittens kann auf Wunsch durch Starten des Verbrennungsmotors 14 die maximale

25 Antriebsleistung um weitere ca. 25 kW erhöht werden, wodurch eine maximale Antriebsleistung von bis zu 140 kW bereitgestellt werden kann.

- Viertens ist bei einem dafür ausreichender Batterie-SOC bis zu dessen Abfall auf ein vorbestimmtes Minimum eine erhöhte Dauerhöchstgeschwindigkeit möglich,
- 30 indem die Leistung des Stromaggregats 15 um maximal die mögliche Entladungsleistung der Batterie 34 für den Antrieb des Fahrzeugs und den Betrieb von Nebenaggregaten erhöht wird. Bei anfangs voll geladener Batterie 34 und

- 70 -

5 einem angenommenen maximalen Entladungsstrom von 1 C entsprechend 15 kW erhöht sich die Gesamtleistung damit für eine Fahrzeit von ca. 30 Minuten von ca. 25 kW auf ca. 40 kW, was einer erweiterten Dauerhöchstgeschwindigkeit von überschlägig ca. 170 km/h entspricht. Dabei ermöglicht das Elektroschwungrad 43 weiterhin das kurzfristige Bereitstellen einer erheblich höheren Antriebsleistung.

10 In Bezug auf die Ladegrade der Batterie 34 und des Elektroschwungrades 43 im Fahrbetrieb werden folgende Auslegungen bevorzugt, wobei es sich hier um ungefähre Angaben handelt, die in Abhängigkeit von einer Vielzahl von Parametern abgewandelt werden können:

Bei einem SOC der Batterie 34 unterhalb von ca. 20 % wird eine Nachladung der Batterie 34 durch das Stromaggregat 15 ausgelöst, sofern dessen Betrieb gestattet wird und sofern nicht in Kürze mit einer Ladung der Batterie 34 durch eine
15 Netzladung und/oder eine lange Gefällestrecke gerechnet wird. Selbstverständlich kann eine Ladung der Batterie 34 auch manuell oder automatisch bei einem höheren SOC ausgelöst werden, um beispielsweise das Fahrzeug auf eine Fahrt mit erhöhtem durchschnittlichen Leistungsbedarf wie einer Fahrt oberhalb der Dauerhöchstgeschwindigkeit oder das Befahren einer längeren Steigung
20 vorzubereiten, eine große Reichweite im Schwungradmodus zu ermöglichen oder wenn eine hohe Zuladung oder eine Verschlechterung des Cw-Wertes, beispielsweise durch einen Dachgepäckträger oder einen Anhänger vorliegt. Weiter kann, wie bereits erwähnt, bei Bedarf auch ein zusätzlicher SOC-Bereich der Batterie 34 von z.B. bis zu 15 % der nominellen Batteriekapazität entsprechend 30
25 % SOC freigegeben werden, um einen Leistungseinbruch des Fahrzeugs zu vermeiden. Wird der Stromgenerator 15 aus anderen Gründen, beispielsweise durch eine manuelle Anforderung des Fahrers oder zur Bereitstellung einer abgerufenen, zusätzlichen Antriebsleistung gestartet, erfolgt bevorzugt auch bei einem höheren SOC der Batterie 34 eine Ladung derselben, um eine vorteilhaft
30 lange Dauer des Betriebes des Verbrennungsmotors 14 und einen entsprechend kleinen Anteil der Betriebszeit bei kaltem Verbrennungsmotor 14 bzw. kalter Abgasanlage zu bewirken.

- 71 -

Wird das Stromaggregat 15 gestartet, wird die Batterie 34 bevorzugt auf wenigstens 90 %, bevorzugt auf nahe 100 % SOC aufgeladen, sofern der Betrieb des Stromgenerators 15 weiter gestattet ist und nicht mit einer erheblichen rekurperativen Ladung oder Netzladung gerechnet wird, die einen geringeren SOC der Batterie 34 am Ende der Ladephase sinnvoll erscheinen lässt. Bei einer normalen Nachladung der Batterie 34 mit Hilfe des Stromaggregates 15 wird die Batterie bei der angenommenen Leistung des Stromaggregats 15 von 25 kW und einem angenommenen durchschnittlichen Leistungsbedarf für den Antrieb des Fahrzeugs und den Betrieb von Nebenaggregaten von zusammen ca. 10 kW mit ca. 15 kW geladen, was einer vorteilhaft langen Betriebszeit des Stromgenerators von ca. 24 Minuten und einem Ladestrom der Batterie von 1 C entspricht. Sollte die für den Antrieb des Fahrzeugs und der Nebenaggregate benötigte Leistung unter 10 kW fallen, kann bei aufnahmefähigem Elektroschwungrad 43 ein Teil der elektrischen Ladeleistung in diesem gespeichert werden und/oder die Leistung des Verbrennungsmotors 14 bzw. des Stromaggregates 15 bei Bedarf wie bereits erwähnt vorübergehend um bis zu ca. 20 %, entsprechend 5 kW abgesenkt werden, um den Ladestrom der Batterie 34 nach Möglichkeit auf 1 C zu begrenzen, und/oder vorübergehend ein erhöhter Ladestrom von bevorzugt maximal bis zu 1,5 C gestattet werden.

Der Soll-SOC des Elektroschwungrades 43 soll im normalen Fahrbetrieb stets mindestens ausreichend sein, um das Fahrzeug aus dem Stillstand auf die Dauerhöchstgeschwindigkeit, zumindest aber auf 100 km/h zu beschleunigen, was im Ausführungsbeispiel einer Energiemenge von ca. 0,12 bis 0,2 kWh und damit einem Ladegrad von ca. 16 % bis 27 % SOC entspricht.

Es ist vorteilhaft, wenn der minimale Soll-SOC des Elektroschwungrades 43 zusätzlich stets so gewählt wird, dass das Fahrzeug ausgehend von dessen momentaner Geschwindigkeit mit Hilfe des Elektroschwungrades 43 um eine fest vorgebbare oder situationsabhängige Differenzgeschwindigkeit von beispielsweise 40 km/h, jedoch maximal auf die absolute Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs

beschleunigt werden kann. Dies ermöglicht in allen Betriebszuständen ein schnelles Beschleunigen und vermittelt dem Fahrer den Eindruck einer stets möglichen maximalen Fahrleistung. Bei einer technisch möglichen Maximalgeschwindigkeit des Fahrzeugs von 200 km/h wäre bei einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h damit eine Energiemenge von mindestens ca. 0,185 kWh, entsprechend 25 % SOC der Schwungradanordnung 42 vorzuhalten. Bevorzugt soll jedoch der SOC des Elektroschwungrades 43 auch für eine Aufrechterhaltung der erreichten Geschwindigkeit über eine fest oder dynamisch vorgegebenen Distanz oder Zeitspanne ausreichen, was weiter unten mit Bezugnahme auf das Anzeige-konzept genauer ausgeführt wird. Im hier auslegungsrelevanten Fall einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h soll der minimale Soll-SOC des Elektroschwungrades 43 daher überschlägig 40 % SOC betragen.

Der maximale Soll-SOC des Elektroschwungrades 43 soll stets so gering sein, dass die gesamte kinetische Energie des Fahrzeugs in das Schwungrad 42 rekuperierbar ist. Im Auslegungsbeispiel beträgt die kinetische Energie des Fahrzeugs bei einer Fahrgeschwindigkeit von 130 km/h bzw. 180 km/h überschlägig 0,20 kWh bzw. 0,38 kWh, was einen maximalen Soll-SOC des Schwungrades 42 von ca. 73 % bzw. 49 % SOC entspricht. Für den hier auslegungsrelevanten Fall einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h bei einer möglichen Höchstgeschwindigkeit von 200 km/h wäre damit ein freier SOC in Höhe von ca. 44 %, entsprechend einer Energiemenge von ca. 0,33 kWh vorzuhalten, womit der Soll-SOC-Bereich der Schwungradanordnung 42 hier zwischen 40 % und 46% liegen würde. Bei niedrigeren und höheren Fahrgeschwindigkeiten erweitert sich der Soll-SOC-Bereich. Es wird ersichtlich, dass die Dimensionierung der Kapazität des Elektroschwungrades in Bezug auf das Beispielfahrzeug und eine Auslegung auf eine technisch mögliche Maximalgeschwindigkeit von 200 km/h ein Optimum darstellt.

Da eine zügige und durchgängige Rekuperation aus hohen Geschwindigkeiten bis zum Stillstand bzw. auf sehr niedrige Geschwindigkeiten jedoch in der Praxis kaum vorkommt, kann der für Rekuperationsleistung frei zu haltende SOC-Anteil des

Elektroschwungrades 43 im oberen Geschwindigkeitsbereich, z.B. oberhalb der Dauerhöchstgeschwindigkeit bzw. oberhalb von ca. 120 bis 160 km/h auch kleiner als die maximal rekuperierbare kinetische Energie des Fahrzeugs gewählt werden, wodurch die Kapazität des Elektroschwungrades ggf. kleiner gewählt werden oder
5 bei gleicher Schwungradkapazität bei hohen Geschwindigkeiten vorteilhaft ein höherer Soll-Ladegrad des Elektroschwungrades 43 vorgesehen werden kann. Dies ermöglicht eine Erhöhung der bei hohen Fahrgeschwindigkeiten im Elektroschwungrad 43 vorhältbaren Energiereserven und entsprechend bessere Fahrleistungen im Grenzbereich und eine trägere Regelung der Nachladeleistung
10 des Elektroschwungrades 43.

Der anzustrebende optimale SOC kann bevorzugt im Bereich von 60 % bis 100 % der Spannweite zwischen dem minimalen und maximalen Soll-SOC des Elektroschwungrades 43 liegen. Die für die Nachladung des Elektroschwungrades
15 43 aus der Batterie 34 entnommene Leistung kann bevorzugt in Abhängigkeit von der Differenz zwischen dem optimalen und tatsächlichen SOC des Elektroschwungrades 43 und/oder von der Geschwindigkeit gewählt werden, mit der sich der SOC vom optimalen SOC entfernt. Dabei soll die Gesamtbelastung der Batterie 34 im Wesentlichen auf einen Entladungsstrom von 1 C, hier entsprechend
20 15 kW begrenzt sein, der in Ausnahmefällen bei Bedarf jedoch auch überschritten werden kann, sofern der Zustand der Batterie dieses erlaubt. Bei geringerem Nachladebedarf des Elektroschwungrades 43 kann die Ladeleistung vorteilhaft abgesenkt werden, wodurch die Batterie 34 über weite Betriebsphasen lediglich mit
ca. 0,3 bis 0,7 C belastet wird.

25 Die vorgestellte Dimensionierung der Antriebskomponenten ermöglicht weiter eine vorteilhafte Auslegung der elektrischen Komponenten zur bedarfsgerechten Umwandlung elektrischer Energie und damit einen hohen Wirkungsgrad dieser Komponenten. Bei einer Auslegung der Ladeelektronik der Batterie auf maximal 1,5
30 C und der Leistungselektronik des Elektroschwungrades auf 100 kW können diese Komponenten überwiegend in einem Leistungsbereich zwischen 15 und 80 % und damit in einem Bereich guten Wirkungsgrades betrieben werden. Zur weiteren

- 74 -

Verringerung von Umwandlungsverlusten ist es bevorzugt auch möglich, diese Leistungen auf mehrere, parallel betreibbare Komponenten aufzuteilen, wobei bei einer Aufteilung auf 2 bzw. 3 Teilkomponenten eine Aufteilung etwa im Verhältnis 30:70 bzw. 15:30:55 bevorzugt wird.

5

Durch die Aufteilung der Leistung der Radnabenmotoren 45 von maximal 140 kW im Verhältnis von ca. 70:30 zwischen Vorder- und Hinterachse wird nicht nur ein weitgehend vollständiges rekuperatives Bremsen auch bei starken Verzögerungen aus hohen Geschwindigkeiten ermöglicht, sondern es können bei geringen Antriebs- und Bremsleistungen auch bevorzugt die Radnabenmotoren 45 der Hinterachse angetrieben bzw. generatorisch betrieben und so der Wirkungsgrad erhöht werden. Ist eine weitere Optimierung der Wirkungsgrade erwünscht, ist es weiter möglich, die Leistung der hinteren Radnabenmotoren 45 von hier jeweils 20 kW auf jeweils zwei parallel wirkende Radnabenmotoren mit beispielsweise 5 kW und 15 kW aufzuteilen, womit auch sehr geringe Antriebsleistungen, wie sie bei einem bloßen Aufrechterhalten der Fahrgeschwindigkeit im Stadt- und Landstraßenverkehr häufig vorkommen, mit optimalem Wirkungsgrad erzeugt werden können.

10

15

20

25

Weiter erlaubt die bevorzugte Begrenzung des Be- und Entladestroms der Batterie 34 auf 1,5 C eine Auslegung der Ladeelektronik auf eine Dauerleistung von ca. 22 kW, die bei einer Netzladung der Batterie 34 von einer mit 32 Ampere abgesicherten Drehstromsteckdose im 3 * 230 V Netz abgegeben werden kann, was eine Schnellladung einer vollständig entladenen Batterie in gut 20 Minuten ermöglicht. An einer üblichen, mit 16 Ampere abgesicherten „Haushalts-Drehstromsteckdose“ würde die Ladezeit bei maximal 11 kW in der doppelten Zeit und mit einem vorteilhaft kleinen Ladestrom von ca. 0,73 C erfolgen. An einer üblichen, mit 16 Ampere abgesicherten 230 Volt-Haushaltssteckdose ist eine Ladeleistung von 3,6 kW möglich, was einer noch akzeptablen Ladezeit von etwas über 2 Stunden bei einem Ladestrom von unter 0,25 C entspricht.

30

Im Gegensatz zu üblichen Hybridfahrzeugen betragen die typischen Be- und Entladeströme der Batterie 34 im normalen Fahrbetrieb des Fahrzeugs bevorzugt 5

- 75 -

kW bis 10 kW und bevorzugt höchstens 20 kW entsprechend 1/3 bis maximal 4/3 C, wodurch der Laderegler stets in einem Bereich guter Energieeffizienz arbeiten kann. Sollte durch eine extreme Leistungsanforderung kurzfristig eine höhere Entladeleistung von z. B. 30 kW gewünscht sein, kann diese Spitzenleistung
5 üblicher Weise für einige Sekunden durch eine auf 22 kW ausgelegte Ladeelektronik übernommen werden.

Eine durch die vorteilhafte Dimensionierung der Batterie 34, ermöglichte Begrenzung der Be- und Entladeleistung auf – mit Ausnahme kurzzeitiger
10 Leistungsspitzen – 22 kW ermöglicht weiter eine Auslegung der Batteriespannung auf bzw. knapp unterhalb von 100 bzw. 120 Volt. Dies ermöglicht eine berührspannungssichere Auslegung der Batterie 34, wodurch diese bei abgestelltem Fahrzeug nicht vollständig vom Bordnetz getrennt werden muss, was wiederum die Nutzung der Batterie 34 auch für die Versorgung der Niedervolt-
15 Verbraucher des 12 Volt-Bordnetzes ermöglicht, wodurch eine separate Niedervolt-Bordnetzbatterie vorteilhaft entfallen kann. Weiter wird es ohne besondere Sicherheitseinrichtungen möglich, die Batterie 34 auch bei abgestelltem Fahrzeug zur Aufrechterhaltung eines für diesen Zustand für optimal erachteten SOC des Elektroschwungrades 43 zu nutzen bzw. bei hohem SOC des Elektroschwungrades
20 43 nach Abstellen des Fahrzeuges einen Teil der Energie des Schwungrades 43 in die Batterie 34 zu laden und die Verluste des Elektroschwungrades 43 bei abgestelltem Fahrzeug damit zu minimieren. Zugleich sinkt der notwendige Aufwand für die Sicherstellung der elektrischen Sicherheit gegen Personenschäden erheblich.

25 Weiter können bei Bedarf auch die elektrischen Leitungen 64, 66, 68, 72 und 84 auf eine berührsichere Gleichspannung ausgelegt werden, da hier mit Ausnahme der elektrischen Leitungen 66 zu den Radnabenmotoren 45 der Vorderachse ebenfalls Leistungen von maximal 25 kW zu übertragen sind. Die Radnabenmotoren 45 der
30 Vorderachse weisen zwar mit bis zu 50 kW eine höhere maximale Leistung auf, jedoch sind hier bei einer Anordnung des Elektroschwungrades 43 im Bereich der Vorderachse die notwendigen Leitungslängen sehr gering. Es ist damit möglich,

- 76 -

nicht-berührsichere Spannungen im Antriebs-Stromnetz des Fahrzeugs bei Bedarf weitgehend oder vollständig auf die den einzelnen Elektromaschinen 26, 40, 44 zugeordnete Ansteuerungseinrichtungen und die Ladeelektronik der Batterie 34 zu begrenzen, sofern diese Einrichtungen in unmittelbarer Nähe zu den betreffenden
5 Elektromaschinen 26, 40, 44 bzw. der Batterie 34 angeordnet werden. Auch dies ermöglicht eine wesentliche Verringerung des notwendigen Aufwandes zur Verhütung von Personenschäden.

Die Temperierung der Batterie 34 stellt bei Hybridfahrzeugen häufig ein Problem
10 dar, da Lithium-Ionenzellen in einem recht engen optimalen Temperaturfenster von zumeist ca. 15-25 °C mit optimaler Effizienz und minimaler Alterung betrieben werden können. Temperaturen oberhalb von ca. 60 ° C und unterhalb von ca. 0 ° C sollen im Betrieb unbedingt vermieden werden, da sie zu einer raschen Alterung und/oder zu geringen bereitstellbaren Leistungen führen. Im Betrieb ist eine
15 Erwärmung der Batterie 34 durch den Innenwiderstand und die daran entstehende Verlustleistung nicht zu vermeiden. Die Verlustleistung hängt allerdings stark vom fließenden Strom ab. Aufgrund der relativ geringen und gleichmäßigen Be- und Entladeströme gestaltet sich die Temperierung der Batterie 34 daher bei einer erfindungsgemäßen Auslegung des Antriebs vergleichsweise wenig kritisch, was
20 eine erhebliche Reduzierung des dafür notwendigen Aufwandes ermöglicht. Daher kann hier auf Peltierelemente zurückgegriffen werden, die wahlweise zur Kühlung und zur Beheizung der Batterie verwendet werden können. Auch wird hierdurch die Nutzung von Wärmespeichern und insbesondere Latentwärmespeichern für die Batterie 34 erleichtert. Es sei angemerkt, dass auch für die Temperierung des
25 Verbrennungsmotors 14 ein Latentwärmespeicher vorteilhaft ist, da in Betriebsphasen anfallende Abwärme einerseits genutzt werden kann, um den Verbrennungsmotor 14 für die nächste Betriebsphase zumindest annähernd in einem erwünschten Temperaturbereich zu halten. Zudem erlauben Latentwärmespeicher eine träge Regelung der Temperierung und die Unterstützung
30 einer Innenraumbeheizung durch gespeicherte Abwärme und ermöglichen damit einen geringeren Energiebedarf für die Temperierung des Innenraums des Fahrzeugs. Selbstverständlich kann Wärmeenergie eines Latentwärmespeichers bei

Bedarf auch zur Temperierung des anderen Latentwärmespeichers verwendet werden.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Dimensionierung und Verteilung der Leistung der Radnabenmotoren 45. Damit können die Vorderräder unabhängig von einander mit jeweils 50 kW und die Hinterräder unabhängig von einander mit jeweils 20 kW beschleunigt oder abgebremst werden. Die mögliche Verzögerung eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs ist aufgrund des Haftreibungskoeffizienten zwischen Gummi und trockenem Asphalt physikalisch auf ca. 0,8 G begrenzt. Bei einer starken Bremsung mit 0,6 g und einem Fahrzeuggesamtgewicht von 1200 kg kann demnach bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 70 km/h vollständig rekuperativ gebremst werden. Sind die Radnabenmotoren 45 auf eine Dauerlast von 50 bzw. 20 kW und auf eine kurzzeitig mögliche Spitzenleistung von jeweils 150 % ausgelegt, kann das Fahrzeug bei einem Gesamtgewicht von 1200 kg alleine durch die Radnabenmotoren 45 aus einer Geschwindigkeit von ca. 107 km/h mit 0,6 G und aus einer Geschwindigkeit von 80 km/h mit 0,8 G verzögert werden, sofern die erzeugte elektrische Energie von ca. 210 kW in der Spitze abgeführt werden kann. Dies ist beispielsweise durch eine Beaufschlagung der hinteren Radnabenmotoren 45 durch ein der Drehrichtung entgegengesetztes Drehmoment bei gleichzeitiger maximaler Ladung des Schwungrades und der Batterie möglich.

Bei einer maximalen Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs von 160 bzw. 180 bzw. 200 km/h übersteigt die maximale Bremsleistung jedoch die Leistung der Radnabenmotoren 45 weshalb auf eine weitere Bremse nicht verzichtet werden kann. Die gute Steuerungsfähigkeit der durch die Radnabenmotoren 45 aufgebrauchten Drehmomente erlaubt es jedoch, die Funktionen eines Antiblockiersystems, eines elektronischen Stabilitätsprogramms, einer Schlupfregelung und weiterer fahrdynamisch wirksamer Assistenzsysteme in die Steuerung des Antriebsstranges zu integrieren und die weitere Bremse relativ leistungsschwach, einfach und für geringe Gesamtbremsleistungen über deren Lebensdauer und damit leicht, klein und kostengünstig auszubilden. Gegebenenfalls kann auf eine zusätzliche Bremse für die Hinterräder vollständig verzichtet werden.

Die weitere Bremse ist bevorzugt eine übliche Reibungsbremse, insbesondere eine klein dimensionierte Scheibenbremse, die auch zur Abbremsung des Fahrzeugs aus sehr niedrigen Geschwindigkeiten bis zum Stillstand und als Feststellbremse genutzt werden kann.

5

Das vorgestellte Antriebskonzept zeichnet sich durch eine sehr hohe Designfreiheit aus, da die wesentlichen Komponenten Stromaggregat 15, Elektroschwungrad 43 und Batterie 34 nahezu beliebig im Fahrzeug platziert werden können.

- 10 Gemäß einer Weiterbildung des Antriebskonzeptes kann vorgesehen sein, dass das Stromaggregat 15 ggf. mit oder ohne den Tank 20 und nicht gezeigte Komponenten, insbesondere die Steuerung des Stromaggregats 15 und dessen Abgasanlage, als Modul ausgebildet wird, das bevorzugt als Ganzes aus dem Fahrzeug entnehmbar ist. Auf diese Weise kann das Gewicht des Fahrzeugs auf Wunsch um das Gewicht
- 15 der genannten Komponenten verringert werden, sofern die Batteriekapazität für die geplanten Fahrten für ausreichend angesehen wird.

Der durch die Entnahme des Stromaggregat-Moduls frei werdende Platz kann beispielsweise durch Vorsehen eines entsprechenden Einsatzes als weiterer

- 20 Gepäckraum zur Verfügung gestellt werden oder es kann bei Bedarf eine weitere Batterie zur Erhöhung der lokal emissionslosen Reichweite eingebaut werden.

Ein ausgebautes Stromaggregat-Modul kann, ggf. durch Einbau in ein Stand-alone-Modul, das nicht aus dem Fahrzeug entnommene Komponenten wie eine

- 25 Steuerungseinrichtung, einen Kraftstofftank und/oder eine Abgasanlage umfasst, als mobiles Stromaggregat betrieben werden. Sofern dieses mobile Stromaggregat durch einen Netzbetreiber gesteuert werden kann, kann es beispielsweise dafür genutzt werden, um Leistungsspitzen abzudecken bzw. Regelenergie zur Verfügung zu stellen. Gerade bei Fahrzeugen, die zumindest während der Woche weit
- 30 überwiegend für die Fahrt zur Arbeit und andere relativ kurze Strecken eingesetzt werden, kann das Stromaggregat 15 so einer sinnvollen Zweitnutzung zugeführt werden. Selbstverständlich ist es hierfür sinnvoll, das Stromaggregat-Modul und ggf.

ein an dessen Stelle einbaubares Batteriemodul so auszugestalten, dass es vom Nutzer ohne besondere Kenntnisse in kurzer Zeit ein- und ausgebaut und ggf. in ein Stand-Alone-Modul eingebaut werden kann, wofür es bevorzugt als gekapselte Einheit mit Schnellverbindungen für Frischluft, Abgas, Kraftstoff, elektrische Energie und Steuerungssignale ausgebildet wird.

Wird das Fahrzeug mittels des externen Ladeports 38 an ein externes Stromnetz angeschlossen und kann der Netzbetreiber bei Bedarf, insbesondere zum Ausgleich kurzfristiger Leistungsspitzen eine Einspeisung elektrischer Leistung aus dem Fahrzeug in das Stromnetz anfordern, können bis zu ca. 22 KW durch das Stromaggregat 15 und/oder die Batterie 34 bereitgestellt werden. Ist die Laderegelung entsprechend ausgelegt, ist zudem unter Einbeziehung der Batterie 34, des Elektroschwungrades 43 und/oder des Stromaggregates 15 die kurzfristige Bereitstellung von höheren Leistungen möglich.

Es hat sich gezeigt, dass das beschriebene Antriebskonzept in vorteilhafter Weise ergänzt werden kann durch ein Anzeige-Konzept, das im Folgenden näher beschrieben wird.

Das vorgestellte Antriebskonzept vermittelt einem Fahrer den Eindruck, dass das Fahrzeug zu jeder Zeit über eine Antriebsleistung von wenigstens ca. 115 KW, bei Betrieb des Stromaggregats 15 sogar über 140 kW Leistung verfügt. Es sind jedoch Situationen denkbar, in denen das Elektroschwungrad 43, das mit ca. 100 kW den größten Teil der Maximalleistung bereitstellt, während der Fahrt so weit entladen wird, dass es keine Antriebsleistung mehr abgeben kann, wodurch die maximal bereitstellbare Antriebsleistung für den Fahrer unvorhergesehen und stark auf maximal ca. 35 kW – 45 kW abnehmen kann. Da das Elektroschwungrad 43 bis zur nahezu vollständigen Entladung im Wesentlichen die volle Leistung abgeben kann, kann ein für den Fahrer überraschender Leistungseinbruch zu gefährlichen Situationen, beispielsweise während eines Überholvorgangs führen.

- 80 -

Zur Abmilderung des Einbruchs der Antriebsleistung ist es sinnvoll, den Leistungsübergang bei weitgehender Entladung des Elektroschwungrades 43 durch eine zunehmende Begrenzung der durch das Elektroschwungrad 43 abgebbaren Leistung weniger abrupt zu gestalten, wobei eine Anforderung maximaler Leistung, beispielsweise durch einen Kickdown des Fahrpedals, ggf. hiervon ausgenommen werden kann. Weiter ist es sinnvoll, die kurzzeitig mögliche Entladungsleistung der Batterie 34 nach Möglichkeit auf z. B. 30 kW, entsprechend 2 C anzuheben, sofern die aktuellen Batterieparameter und die Auslegung der Batterieelektronik dies gestatten. Diese Anhebung der Entladungsleistung der Batterie 34 kann bevorzugt bereits bei einem SOC des Elektroschwungrades 43 von z.B. 20 % einsetzen, um einen Leistungseinbruch hinauszuzögern und nach Möglichkeit ganz zu vermeiden.

Fährt das Fahrzeug jedoch über eine längere Strecke mit einer Geschwindigkeit, die deutlich über der Dauerhöchstgeschwindigkeit liegt oder wird aus anderen Gründen, beispielsweise bei einer Passfahrt mit langen Steigungen oder im Zugbetrieb mit einem Anhänger über einen längeren Zeitraum eine Leistung für den Antrieb des Fahrzeugs und den Betrieb der Nebenaggregate abgerufen, die über der Leistung des Stromaggregates 15 von hier 25 kW zuzüglich der hier mit maximal 15 kW angenommenen, normalen Entladeleistung der Batterie 34 liegt, wird das Elektroschwungrad 43 kontinuierlich entladen. Wird der Fahrer hierüber nicht durch eine leicht verständliche und unmittelbar wahrnehmbare Information unterrichtet, kann es insbesondere bei Überholvorgängen zu gefährlichen Situationen kommen, die unbedingt vermieden werden sollen. Es besteht daher ein Bedarf nach einer einfachen und klaren Anzeige des Ladegrades des Elektroschwungrades 43 in Form einer Anzeige der momentan und in naher Zukunft voraussichtlich abrufbaren Fahrleistungen.

Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl von Vorschlägen für die Anzeige eines verfügbaren Energiegehaltes in Elektro- und Hybridfahrzeugen bekannt, die sich jedoch auf den Energiegehalt einer Traktionsbatterie beziehen, der entweder als prozentualer Wert des maximalen absoluten oder nutzbaren SOC, als absoluter Wert einer aus der Batterie abrufbaren elektrischen Energiemenge oder als mit

- 81 -

dieser Energiemenge voraussichtlich zurücklegbare Fahrstrecke angezeigt werden. Ziel dieser Anzeigen ist eine Information über den Energiegehalt der Batterie und damit eine verbesserte Planbarkeit von Netzladungen und ein Schutz vor sogenannten Liegenbleibern durch entladene Traktionsbatterien.

5

Das hier vorgestellte Anzeigekonzept zielt dagegen auf eine Information des Fahrers, die es ihm erlaubt, die kurzfristig für den Fahrzeugantrieb abrufbare Leistung bzw. Arbeit auf möglichst leicht verständliche und intuitive Weise abzuschätzen, um einen plötzlichen und unvorhergesehenen, vorübergehenden Einbruch der verfügbaren Antriebsleistung vermeiden zu können.

10

Ohne eine derartige Anzeige könnte es zu Situationen kommen, in denen ein Fahrer im Vertrauen auf die üblicher Weise zur Verfügung stehende maximale Antriebsleistung des Fahrzeugs von z.B. 140 KW beispielsweise zu einem Überholmanöver ansetzt, das jedoch nur gefahrlos ausgeführt werden kann, wenn die Antriebsleistung nicht für den Fahrer unvorhergesehen auf die Leistung des Stromaggregates 15 und der aus der Batterie 34 entnehmbaren, für den Antrieb verfügbaren Leistung von in diesem Beispiel zusammen ca. 40 kW - 45 KW einbricht.

15

20

Ein bevorzugtes Anzeigekonzept wird im Folgenden anhand von Fig. 4 erläutert.

In Fig. 4 ist eine Geschwindigkeitsanzeigeeinheit 100 dargestellt, die im Folgenden auch kurz als Tachometer bezeichnet wird. Darin ist neben einer Tachonadel 110 auch ein zusätzliches Höchstgeschwindigkeits-Anzeigeelement 130 vorgesehen, auf dem die zu einem gegebenen Zeitpunkt durch das Fahrzeug erreichbare und für eine für eine festgelegte Mindestdistanz aufrecht erhaltbare Höchstgeschwindigkeit dargestellt werden kann. Das Höchstgeschwindigkeits-Anzeigeelement 130 kann aus einem zusätzlichen Zeiger eines als Rundinstrument oder Balkeninstrument ausgebildeten Tachometers 100 oder einer vergleichbaren Anzeige in Form eines segmentweise oder stufenlos optisch veränderbaren Streifens oder Kreis- bzw. Kreisringsegments bestehen.

25

30

- Das Anzeigeelement 130 stellt im Normalbetrieb einen deutlich sichtbaren Bereich 150 dar, der eine untere Grenze 120 (hier ca. 125 km/h) und eine obere Grenze 140 (hier ca. 175 km/h) hat. Die untere Grenze 120 entspricht der derzeitigen
- 5 Geschwindigkeit des Fahrzeugs, entsprechend der Tachometeranzeige, und die obere Grenze 140 wird ermittelt durch die kurzfristig erreichbare und für eine vorgegebene Fahrstrecke aufrechterhaltbare Höchstgeschwindigkeit, im folgenden auch kurzfristige Höchstgeschwindigkeit 140 genannt.
- 10 Diese vorgegebene Fahrstrecke kann im einfachsten Fall fest vorgegeben sein und beispielsweise 500 m betragen. Bevorzugt kann sie jedoch auch als Funktion der derzeitigen Geschwindigkeit und/oder der erreichbaren Maximalgeschwindigkeit variabel sein. An Stelle der festgelegten Fahrstrecke kann äquivalent eine
- 15 Zeitspanne vorgegeben werden, über die die kurzfristige Höchstgeschwindigkeit aufrecht erhalten werden kann.

- Hierfür wird zumindest die ermittelte oder angenommene Masse des Fahrzeugs, die derzeitige Fahrgeschwindigkeit und der derzeitige nutzbare Energiegehalt des Elektroschwungrades 43 ermittelt. Mit Hilfe von Angaben zu den unter normalen
- 20 Bedingungen bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten zur Beschleunigung auf eine höhere Geschwindigkeit benötigten Energiemenge und der zur Aufrechterhaltung dieser höheren Fahrgeschwindigkeit über die vorgegebene Fahrstrecke bei konstanter Fahrgeschwindigkeit benötigten Energiemenge, kann die kurzfristige Höchstgeschwindigkeit 140 ermittelt und angezeigt werden.

25

- Die genaue Art der Ermittlung kann durch den Fachmann bei Vorliegen der genannten Eingangsdaten leicht auf unterschiedliche Arten festgelegt werden, wobei im einfachsten Fall auf ein zuvor erstelltes mehrdimensionales Kennfeld zurückgegriffen werden kann. Alternativ ist auch eine arithmetische Berechnung,
- 30 ggf. mit das gewünschten Verhältnis zwischen Aufwand und Genauigkeit berücksichtigenden Vereinfachungen, möglich.

- 83 -

Ausgehend von der vorstehend vorgestellten Grundvariante sind eine Vielzahl von Abwandlungen und Weiterbildungen zur Verbesserung der Genauigkeit möglich, deren wichtigste im Folgenden dargestellt werden sollen:

- 5 Abwandlungen bzw. Erweiterungen zur Erhöhung der Genauigkeit:
- Berücksichtigung der möglichen Leistungsabgabe der Batterie 34, wobei vorteilhaft beispielsweise der SOC, SOH und Temperatur der Batterie 34 und ggf. der Bedarf an nicht für den Antrieb verwendeter elektrischer Leistung für z.B. Innenraumklimatisierung, Heizungen und weitere Verbraucher
 - 10 berücksichtigt werden können.
 - Genauere Ermittlung der tatsächlichen Masse des Fahrzeugs, beispielsweise durch Beladungssensoren, aus fahrdynamischen Daten, etc.
 - Genauere Ermittlung der für die Beschleunigung auf die kurzfristige Höchstgeschwindigkeit 140 benötigten Energie und der zur Aufrechterhaltung
 - 15 dieser Geschwindigkeit über die vorgegebenen Strecke notwendigen Energie durch Berücksichtigung von ermittelten, übermittelten, abgeschätzten oder angenommenen Werten für den Luftwiderstand, wobei beispielsweise das Vorhandensein von Dachkoffern, Dachgepäckträgern oder Anhängern berücksichtigt werden kann, durch Berücksichtigung der Windrichtung und-
 - 20 Geschwindigkeit, der Berücksichtigung von relevanten Eigenschaften der derzeitigen und/oder voraus liegenden Fahrstrecke und insbesondere deren Steigung, die beispielsweise aus einem Navigationssystem bekannt sein können.
 - Variable Vorgabe der festgelegten Fahrstrecke, über die die kurzfristige
 - 25 Höchstgeschwindigkeit 140 aufrecht erhalten werden kann.
 - Variable Vorgabe eines Sicherheitspuffers, beispielsweise über eine feste oder variable, rechnerische Verringerung der zu Grunde gelegten, im Schwungrad 42 verfügbaren Energiemenge, durch eine Verringerung der ermittelten kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit 140 um einen festen oder variablen,
 - 30 absoluten oder prozentualen Wert, und/oder durch entsprechende Sicherheitsfaktoren bei der Ermittlung der in die Ermittlung eingehenden Parameter.

- 84 -

- Berücksichtigung der Möglichkeit, zurzeit nicht für den Fahrzeugantrieb genutzte Energie zur Verfügung zu stellen, indem beispielsweise nicht zwingend erforderliche, leistungsstarke Verbraucher, insbesondere Heiz- und Klimatisierungseinrichtungen vorübergehend abgeschaltet werden.

5

Abwandlungen und Erweiterungen zur Verbesserung der Darstellung der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit 140:

- 10 – Grundsätzlich ist es sinnvoll, die mögliche maximale Anzeige der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit 140 auf die durch das Fahrzeug durch konstruktive Festlegung absolut erreichbare Höchstgeschwindigkeit zu begrenzen.
- 15 – Weiter ist es sinnvoll, die Wahrnehmbarkeit bzw. Auffälligkeit der Anzeige der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit 140 veränderbar zu gestalten, indem beispielsweise bei einer Differenz zwischen der derzeitigen Fahrgeschwindigkeit und der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit unterhalb eines ersten Grenzwertes die Helligkeit, die Farbe oder der Kontrast der Anzeige erhöht wird und/oder der Fahrer durch optische, akustische und/oder haptische Signale darauf aufmerksam gemacht wird, dass er sich einem Grenzbereich nähert, in dem ein plötzliches Absinken der Antriebsleistung eintreten könnte. Selbstverständlich können auch mehrere Grenzwerte mit abgestuften Graden der Wahrnehmbarkeit oder der Dringlichkeit von Warnsignalen definiert werden und diese Grenzwerte fest vorgegeben oder in Abhängigkeit weiterer Größen variabel vorgegeben werden.
- 20 – Die Anzeige der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit 140 könnte bei Überschreitung eines festen oder variablen Grenzwertes der Differenz zwischen derzeitiger Fahrgeschwindigkeit und der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit 140 abgeschaltet werden, da sie für den Fahrer in diesem Fall nur einen geringen Informationswert für sein Fahrverhalten besitzt.
- 25
- 30

Beispielsweise könnte die Anzeige der kurzfristig erreichbaren Höchstgeschwindigkeit 140 erst dann aktiviert werden, wenn diese weniger als 50 km/h über der derzeitigen Fahrgeschwindigkeit liegt. Sobald die Differenz zwischen derzeitiger Fahrgeschwindigkeit 120 und kurzfristig erreichbarer Höchstgeschwindigkeit 140 weniger als 40 km/h beträgt, könnte die Anzeige von z. B. grün auf z.B. gelb, bei Unterschreitung einer Differenz von 30 km/h auf rot wechseln und bei Unterschreitung einer Differenz von 20 km/h zusätzlich blinken und/oder eine akustische Warnung ausgegeben werden. Eine Hysteresefunktion ist zur Vermeidung einer schnellen und wiederholten Umschaltung der Anzeige sinnvoll.

Schließlich ist selbstverständlich eine Personalisierung der Anzeige möglich, bei der die Art der Anzeige, die Höhen der Grenzwerte und ggf. weitere Parameter entweder durch einen Servicetechniker, durch den Fahrer, über eine Auswertung des Fahrverhaltens des Fahrers oder durch Wahl zwischen bestimmten Voreinstellungen, beispielsweise "ökonomisch" oder „sportlich“ gewählt bzw. veränderbar eingestellt bzw. vorgegeben werden können.

Figur 4 zeigt den Tachometer 100 mit einem innerhalb der Skala des Tachometers 100 angeordneten Höchstgeschwindigkeits-Anzeigeelement 130 zur Anzeige der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit 140. Der mögliche Anzeigebereich des Anzeigeelementes 130 kann - wie hier dargestellt - erst bei einer Position der Tachometerskala beginnen, bei der in der Praxis ein Auftreten eines Leistungseinbruchs durch ein entladenes Elektroschwungrad unter normalen Bedingungen für möglich gehalten wird, hier ab einer Fahrgeschwindigkeit von 90 km/h. Der mögliche Anzeigebereich des Anzeigeelementes 130 kann vorteilhaft auf die konstruktiv festgelegte, absolute Höchstgeschwindigkeit, hier ca. 199 km/h begrenzt werden.

Der Tachometer 100 ist vereinfacht dargestellt und kann selbstverständlich wie üblich weitere Anzeigen, Kontrollleuchten etc. beinhalten und als physikalisches Instrument oder als Darstellung eines Instrumentes auf einem Display ausgeführt

sein und von einer Kreisform abweichende Gestalten aufweisen. Das Anzeigeelement 130 kann wie hier dargestellt im Innern des Tachometers 100, aber auch räumlich benachbart zu diesem vorgesehen werden.

- 5 Im hier dargestellten Beispiel beträgt die momentane Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs 125 km/h, was hier durch die Tachonadel 110 angezeigt wird. Statt der Tachonadel 110 können selbstverständlich auch andere geeignete Mittel verwendet werden. Entsprechend beginnt der für den Fahrer sichtbare bzw. optisch hervorgehobene Bereich des Anzeigeelements 130 bei einer der gezeigten Stellung
- 10 der Tachonadel 110 entsprechenden Position und erstreckt sich bis zu einer Position 140, die der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit, jedoch bevorzugt höchstens der absoluten Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs, entspricht.

- Das Anzeigeelement 130 kann zur Erhöhung der Übersichtlichkeit vollständig
- 15 abgeschaltet bzw. optisch unauffällig geschaltet werden, wenn der durch das Anzeigeelement 130 darzustellende Geschwindigkeitsbereich einen ggf. von der Fahrgeschwindigkeit abhängigen Grenzwert überschreitet. So kann es sinnvoll sein, die Anzeige 130 zu deaktivieren, wenn die darzustellende kurzfristige Höchstgeschwindigkeit 140 mehr als z. B. 50 km/h über der momentanen
- 20 Fahrgeschwindigkeit liegt, da in diesem Fall eine plötzliche Beschleunigung bis an die Energie- und Leistungsgrenzen des Fahrzeugs unwahrscheinlich ist und eine Aktivierung des Anzeigeelementes 130 in jedem Fall so rechtzeitig erfolgt, dass keine sicherheitsrelevanten Effekte zu befürchten sind. Selbstverständlich kann auch dem Fahrer die Auswahl überlassen werden, ob das Anzeigeelement im
- 25 Fahrbetrieb dauernd aktiv sein soll. Weiter kann es dem Fahrer ermöglicht werden, die hierfür relevanten Grenzwerte z.B. über ein Bildschirmmenü selbst festzulegen, wobei die Auswahl durch den Hersteller vorteilhaft so begrenzt werden kann, dass die beabsichtigte Warnfunktion in ausreichendem Maße erhalten bleibt.

- 30 In Figur 4 ebenfalls nicht dargestellt ist eine Verstärkung der Wahrnehmbarkeit des aktiven Bereiches 150 des Anzeigeelementes 130 in Abhängigkeit von der durch das Anzeigeelement 130 angezeigten Beschleunigungsreserve, also der Differenz

- 87 -

zwischen der derzeitigen Fahrgeschwindigkeit und der kurzfristigen Höchstgeschwindigkeit, beispielsweise durch unterschiedliche Farbgebungen, Helligkeiten, Kontraste und/oder zusätzliche optische, akustische und/oder haptische Signale.

5

Schließlich sei erwähnt, dass das Anzeigeelement 130 selbstverständlich auf unterschiedliche Arten realisiert werden kann und beispielsweise auf einer Reihe von bei Rundinstrumenten kreisbogenförmig angeordneten LEDs oder anderer Leuchtmittel oder auf mechanischen und beweglichen Blenden basieren kann. Bei 10 einem ohnehin für die Darstellung des Tachometers 100 verwendeten, grafischem Display oder einem innerhalb oder außerhalb des Tachometers 100 benachbart angeordnetem und geeigneten grafischen Display ist die Darstellung des Anzeigeelementes 130 als Teil dieses grafischen Displays bevorzugt.

Referenzzeichenliste

	10	Verbrennungsmotor-Modul
	11	Erstes Brennstoffzellen-Modul
5	12	Zweites Brennstoffzellen-Modul
	13	Hochleistungsenergiespeicher, Schwungrad-Modul
	14	erster chemisch-mechanischer Energiewandler, Verbrennungsmotor
	15	Stromaggregat
	16	Erste Brennstoffzelle
10	18	Erste Kraftstoffleitung
	20	Erster Tank
	22	Zweite Kraftstoffleitung
	24	Zweiter Tank
	26	Erste Elektromaschine
15	28	Zweite Brennstoffzelle
	30	Dritte Kraftstoffleitung
	32	Dritter Tank
	34	erster elektrischer Energiespeicher, Batterie
	36	Erste elektrische Leitung
20	38	Ladeport
	40	Zweite Elektromaschine
	42	Schwungradanordnung
	43	Hochleistungsenergiespeicher, Elektroschwungrad
	44	Dritte Elektromaschine / Antriebs-Elektromaschine
25	45	Radnabenmotor
	46	Antriebsmittel, Antriebsrad / Antriebsräder
	48	Erster mechanischer Antrieb
	50	Zweiter mechanischer Antrieb
	52	Dritter mechanischer Antrieb
30	54	Vierter mechanischer Antrieb
	56	Fünfter mechanischer Antrieb
	57	Zweite elektrische Leitung

- 89 -

	58	Dritte elektrische Leitung
	60	Vierte elektrische Leitung
	62	Siebte elektrische Leitung
	64	Fünfte elektrische Leitung
5	66	Achte elektrische Leitung
	68	Neunte elektrische Leitung
	70	Zehnte elektrische Leitung
	72	Sechste elektrische Leitung
	74	Elfte elektrische Leitung
10	82	Sechster mechanischer Antrieb
	84	Zwölfte elektrische Leitung
	100	Geschwindigkeitsanzeigeeinheit / Tachometer
	110	Tachonadel
	120	Untere Grenze von 150
15	130	Höchstgeschwindigkeits-Anzeigeelement
	140	Obere Grenze von 150 bzw. kurzfristige Höchstgeschwindigkeit
	150	Aktiver Anzeigebereich von 130

Patentansprüche

1. Antriebsvorrichtung zum Antrieb von Maschinen mit instationärem Leistungsbedarf, insbesondere von Kraftfahrzeugen, mit einem ersten
5 chemisch-mechanischen Energiewandler (14) und/oder einer ersten Brennstoffzelle (16), einem ersten elektrischen Energiespeicher (34) und/oder einer zweiten Brennstoffzelle (28), einem Hochleistungsenergiespeicher (13 bzw. 43) und einem Antriebsmittel (46), wobei
- die vorgenannten Komponenten (14 und/oder 16; 34 und/oder 28; 13 bzw.
10 43) derart gestaltet und angeordnet sind, dass sie das Antriebsmittel (46) mechanisch und/oder elektrisch antreiben können, dadurch gekennzeichnet, dass
 - der Hochleistungsenergiespeicher (13 bzw. 43) eine Leistung für den Antrieb der Maschine abgeben kann, die um den Faktor 1,5 bis 8, bevorzugt 2 bis 6,
15 besonders bevorzugt 3 bis 5 und am meisten bevorzugt um ca. den Faktor 4 höher ist als die Summe der Leistungen des ersten chemisch-mechanischen Energiewandlers (14) im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich und/oder der ersten Brennstoffzelle (16).
- 20 2. Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochleistungsenergiespeicher (13 bzw. 43) einen mechanischen Energiespeicher insbesondere in Form einer Schwungradanordnung (42) enthält, die bevorzugt mindestens ein schnelldrehendes, gewickeltes Schwungrad umfasst, das weiter bevorzugt in einem Teilvakuum und/oder in
25 einer Atmosphäre aus einem leichten Gas läuft und dieser mechanische Energiespeicher mit einer zweiten Elektromaschine (40) mechanisch gekoppelt ist.
3. Antriebsvorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
30 der Hochleistungsenergiespeicher (13 bzw. 43) ein Speicher auf Basis von Kondensatoren, insbesondere Doppelschichtkondensatoren und besonders

- 91 -

bevorzugt Superkondensatoren oder Hybridkondensatoren ist und/oder einen solchen Speicher enthält.

4. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
5 dadurch gekennzeichnet, dass
- der chemisch-mechanische Energiewandler (14) mechanisch mit einer ersten Elektromaschine (26) gekoppelt ist,
 - das Antriebsmittel (46) mechanisch mit mindestens einer dritten Elektromaschine (44) verbunden ist,
 - 10 - der erste elektrische Energiespeicher (34) mit der ersten und/oder der zweiten Elektromaschine (26; 40) elektrisch verbunden ist, so dass der erste elektrische Energiespeicher (34) von dort elektrische Energie aufnehmen und dorthin abgeben kann.
- 15 5. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Brennstoffzelle (16) und/oder die zweite Brennstoffzelle (28) als reversible Brennstoffzellen ausgebildet sind, die zusammen mit einem zugehörigen Kraftstofftank (24 bzw. 32) ein als elektrischer Energiespeicher fungierendes erstes und/oder zweites
20 Brennstoffzellenmodul (11 bzw. 12) bilden.
6. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste chemisch-mechanische
25 Energiewandler (14) im verbrauchsoptimalen Betriebsbereich und/oder die gegebenenfalls vorhandene erste Brennstoffzelle (16) derart ausgelegt sind, in Summe eine Leistung abzugeben, die der Summe des Leistungsbedarfs üblicher im Betrieb aktiver Nebenverbraucher und des Leistungsbedarfs zur Aufrechterhaltung einer konstanten Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs in der Ebene bei einer gewünschten Dauerhöchstgeschwindigkeit entspricht, die
30 bevorzugt im Bereich zwischen 90 km/h und 150 km/h, besonders bevorzugt zwischen 110 km/h und 140 km/h und am meisten bevorzugt bei ca. 120 km/h bis 130 km/h liegt.

7. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochleistungsenergiespeicher (13; 43) eine maximale nutzbare Energiemenge speichern kann, die ausreicht, um die Maschine bzw. das Kraftfahrzeug ohne Rekuperation zumindest zwei mal, bevorzugt mindestens drei mal und besonders bevorzugt zwischen 3,5 und 5 mal aus dem Stillstand auf die Dauerhöchstgeschwindigkeit zu beschleunigen.
8. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste elektrische Energiespeicher (34) derart ausgelegt ist, um im Normalbetrieb der Maschine mit Leistungen von maximal 2 C, bevorzugt maximal 1,5 C und besonders bevorzugt maximal 1 C belastet zu werden, wobei die Be- und Entladung im Vergleich zum Leistungsbedarf der Maschine sehr gleichmäßig erfolgt.
9. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die nutzbare Kapazität des ersten elektrischen Energiespeichers (34) so bemessen ist, dass sie zumindest um den Faktor 4, bevorzugt um den Faktor 8 und besonders bevorzugt um den Faktor 10 größer als die nutzbare Kapazität des Hochleistungsenergiespeichers (13; 43) ist.
10. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine über einen Ladeport (38) verfügt, über den elektrische Energie zwischen einem maschinenexternen Stromnetz und zumindest einem der vorhandenen elektrischen Energiespeicher (11, 12, 13 bzw. 43, 34) ausgetauscht werden kann und wobei eine Laderegelseinrichtung zum Laden zumindest einer der vorgenannten elektrischen Energiespeicher (11, 12, 13 bzw. 43, 34), bevorzugt des ersten elektrischen Energiespeichers (34) und des Hochleistungsenergiespeichers (13 bzw. 43), vorgesehen ist, deren Dauerleistung so bemessen ist, dass sie einen maximalen Ladestrom für den ersten elektrischen Energiespeicher (34) in Höhe von mindestens 1 C, bevorzugt von ca. 1.5 C abgeben kann.

11. Antriebsvorrichtung gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass elektrische Leitungen (57; 58; 60; 62; 64; 68; 70; 72; 74; 84 und bevorzugt 66), soweit vorhanden, zur Übertragung elektrischer Leistungen zwischen dem ersten elektrischen
5 Energiespeicher (34) und/oder der zweiten Brennstoffzelle (28) und der ersten Elektromaschine (26) und/oder der ersten Brennstoffzelle (16) und dem Hochleistungsenergiespeicher (13 bzw. 43) bzw. dessen Elektromaschine (40) sowie der dritten Elektromaschine (44) vorgesehen sind, die für berührsichere Spannungen ausgelegt sind, wobei Spannungsumsetzer den jeweiligen
10 Komponenten (16; 26; 28; 34; 40; 44) zugerechnet werden und örtlich zugeordnet sind.
12. Kraftfahrzeug mit einer Antriebsvorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Fahrzeug
15 zumindest zwei Achsen mit Antriebsmitteln (46) aufweist, welche jeweils von mindestens einer der dritten Elektromaschinen (44) antreibbar und unter Erzeugung von Rekuperationsenergie bremsbar sind und wobei die Summe der Leistungen der dritten Elektromaschinen (44) der vorderen Achse und der
20 hinteren Achse ein Verhältnis zwischen 80:20 und 60:40, bevorzugt ca. 70:30 aufweist und die Summe der Leistungen der dritten Elektromaschinen (44) so bemessen ist, dass sie zumindest über einen Zeitraum von 10 Sekunden, bevorzugt über einen Zeitraum von 20 Sekunden und besonders bevorzugt zeitlich unbegrenzt eine elektrische Leistung aufnehmen und abgeben können, die zumindest der maximalen elektrischen Leistung des
25 Hochleistungsenergiespeichers (13 bzw. 43) bzw. der darin ggf. enthaltenen zweiten Elektromaschine (40) entspricht und bevorzugt um wenigstens die von dem ersten chemisch-mechanischen Energiewandler (14) und/oder der ersten Brennstoffzelle (16) erzeugten maximalen elektrischen Leistungen größer als diese Leistung ist und besonders bevorzugt nochmals um eine Leistung größer
30 ist, die der Summe aus dem Entladestrom des ersten elektrischen Energiespeichers (34) bei 1 C und/oder der maximalen elektrischen Leistung der zweiten Brennstoffzelle 28 entspricht.

13. Kraftfahrzeug mit einer Antriebsvorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche und bevorzugt nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest der erste chemisch-mechanische Energiewandler (14) und die erste Elektromaschine (26) und/oder das erste Brennstoffzellenmodul (11) baulich gemeinsam derart als Stromgenerator-Modul (15) gestaltet sind, dass dieses auf einfache Weise aus dem Fahrzeug entnommen werden kann.
14. Kraftfahrzeug mit einer Antriebsvorrichtung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche und bevorzugt nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsmotor (14) durch den ersten mechanischen Antrieb (48) mit einer ersten schaltbaren Kupplung mit der ersten Elektromaschine (26) und diese über den sechsten mechanischen Antrieb (82) mit einer zweiten schaltbaren Kupplung mit einem Antriebsrad (46) verbunden ist, wobei zwischen dem Verbrennungsmotor (14) und dem Antriebsrad (46) bevorzugt nur eine Getriebestufe mit fester Übersetzung, alternativ ein schaltbares Getriebe mit nur zwei Gängen oder ein stufenlos variables Getriebe mit einer geringen Spreizung der Drehzahlübersetzung von höchstens Faktor 3 vorgesehen ist.
15. Signalvorrichtung für eine Antriebsvorrichtung bzw. ein Kraftfahrzeug gemäß zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- eine Auswerteeinheit vorgesehen ist, die aufgrund vorgegebener Parameter einen Wert für eine erreichbare und für eine vorbestimmte Strecke aufrechterhaltbare Höchstgeschwindigkeit (140) der Maschine bzw. des Kraftfahrzeugs ermittelt, und dass
 - Mittel (130) vorgesehen sind, mittels derer der Wert für die genannte Höchstgeschwindigkeit (140) optisch und/oder akustisch dargestellt werden kann.

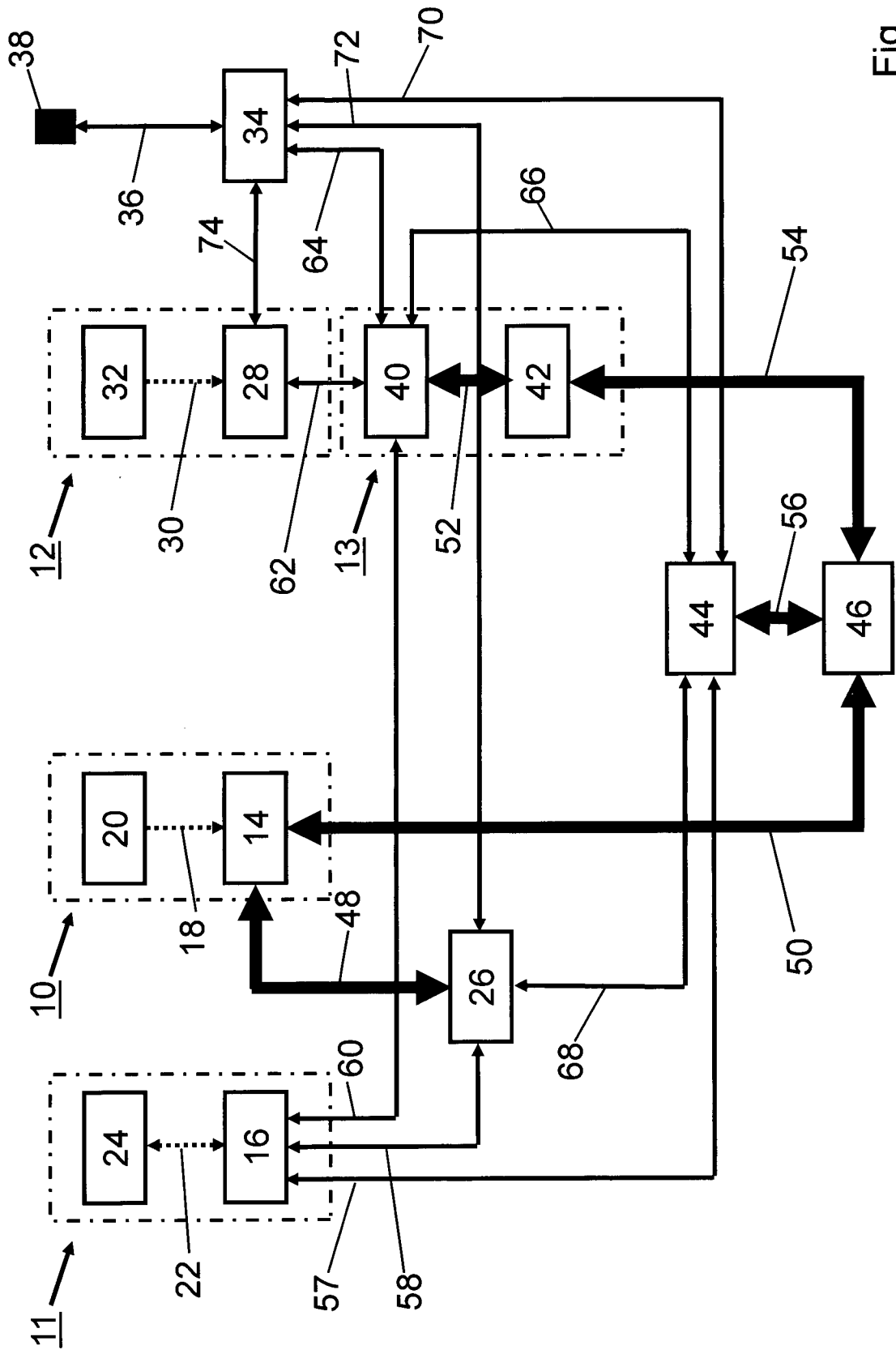


Fig. 1

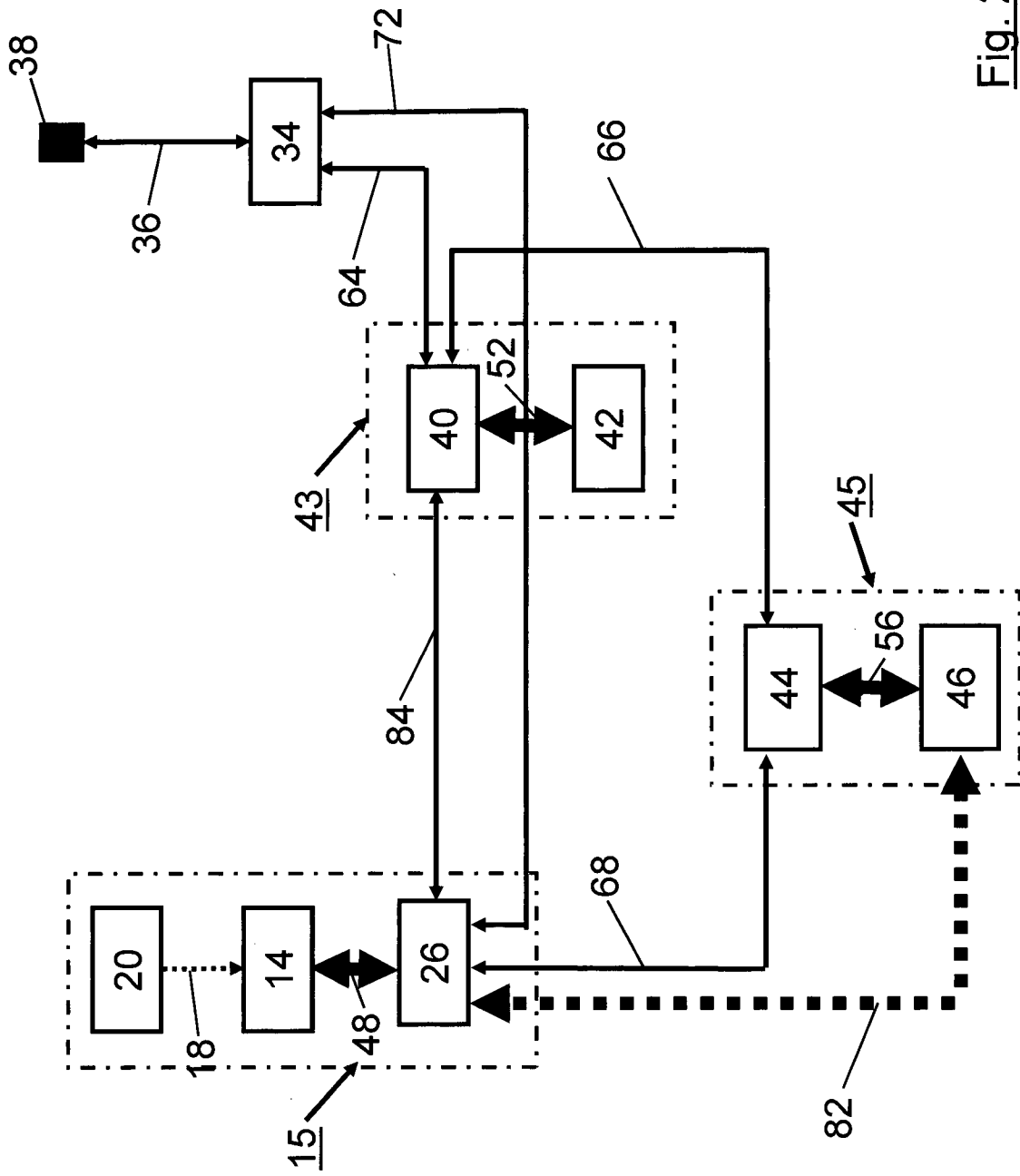


Fig. 2

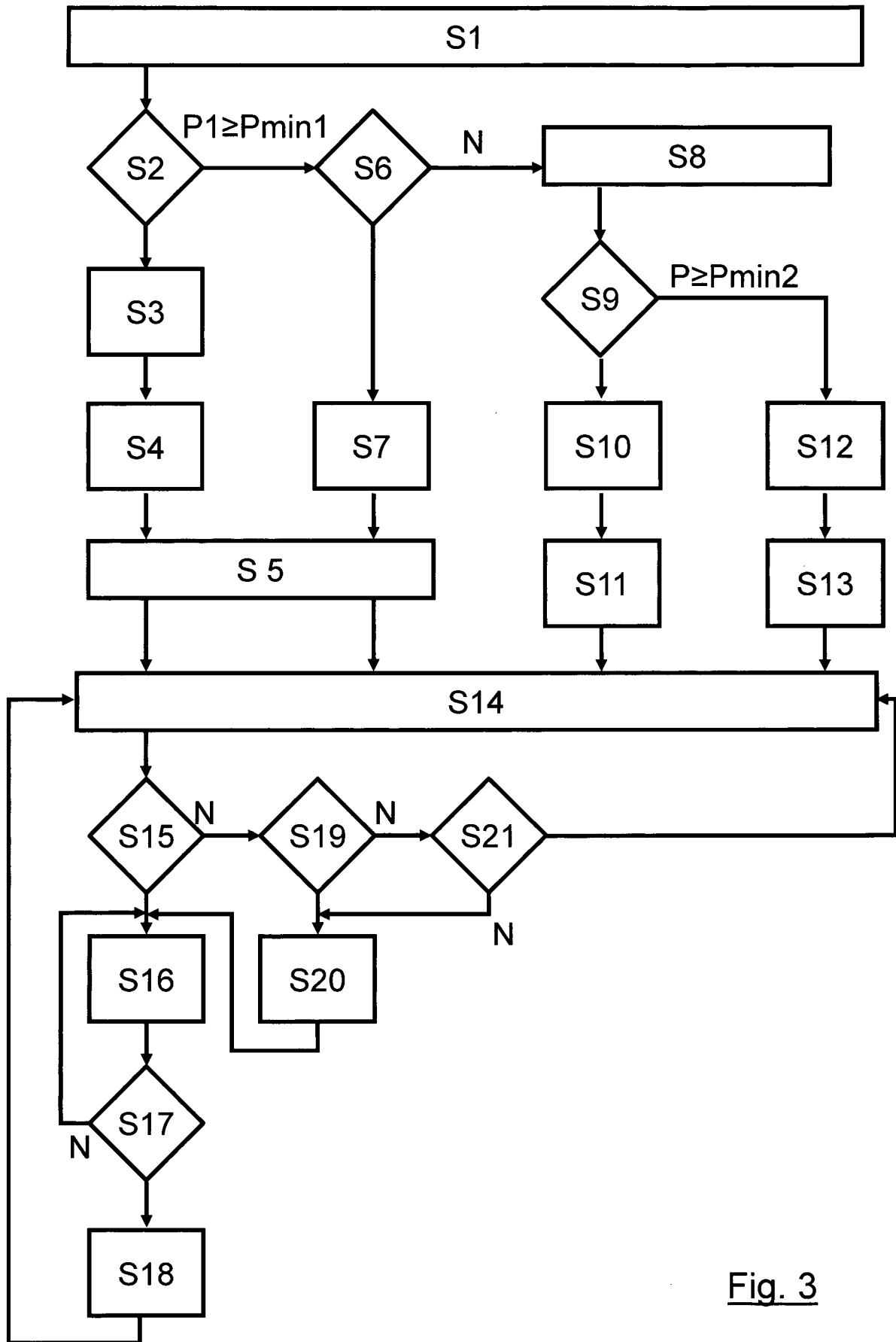


Fig. 3

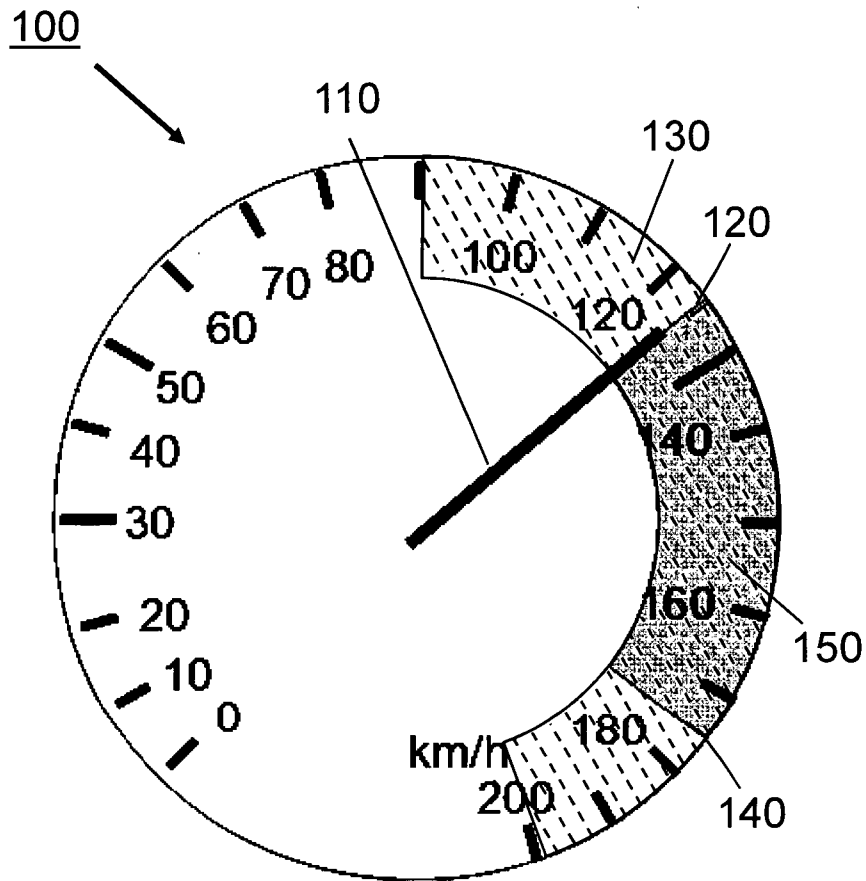


Fig. 4