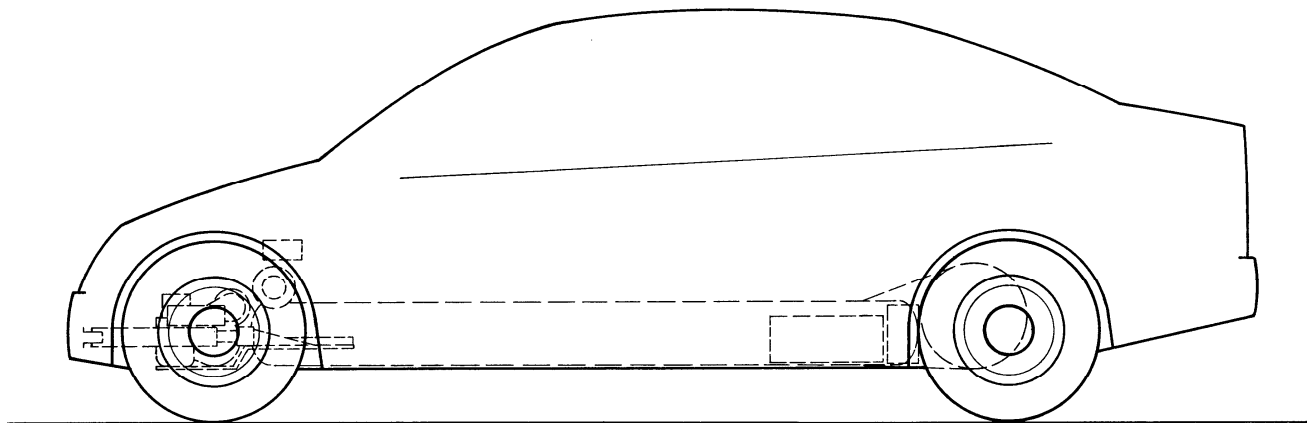


Das 2 Liter Auto



Hydrostatischer Antrieb mit Energiespeicher

Das 2 Liter Auto

Hydrostatischer Antrieb mit Energiespeicher

VALENTIN TECHNOLOGIES, INC.
14900 Westover Road
Elm Grove, WI 53122, USA
Telefon: (262) 821-1901
Fax: (262) 821-1910
Valentrain@msn.com
www.Valentrain.com
www.ValentinTechnologies.com

Copyright
April 2007

Was kann das 2-Liter Auto?

Energie sparen

Fahrzeuggewicht um 30% reduzieren.

Bremsenergie vollständig zurückgewinnen.

Optimale Bedingungen für kleinen Motor.

Abgase reduzieren

Nahezu homogene Diesel Verbrennung.

Vielstofffähig durch variable Kompression.

Sicherheit erhöhen

Aktive Stossfänger zur Energieaufnahme.

.... und in weniger als 5 sec. von 0 auf 100 km/Std beschleunigen.

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	5
FAHRZEUG	
1. Das Auto	7
2. Die Fahrzeug-Plattform	10
3. Hydrostatischer Antrieb mit Energiespeicher	11
4. Berechnung des Kraftstoffverbrauches	12
ANTRIEBS BAUGRUPPEN	
5. Antriebsmotor	16
6. Speicher	19
7. Radmotoren	20
8. Geräuschentwicklung	23
ANHANG	
Anmerkungen zu Hydrostatischen Fahrantrieben	24
Stellungnahmen	26
Literaturhinweise	29

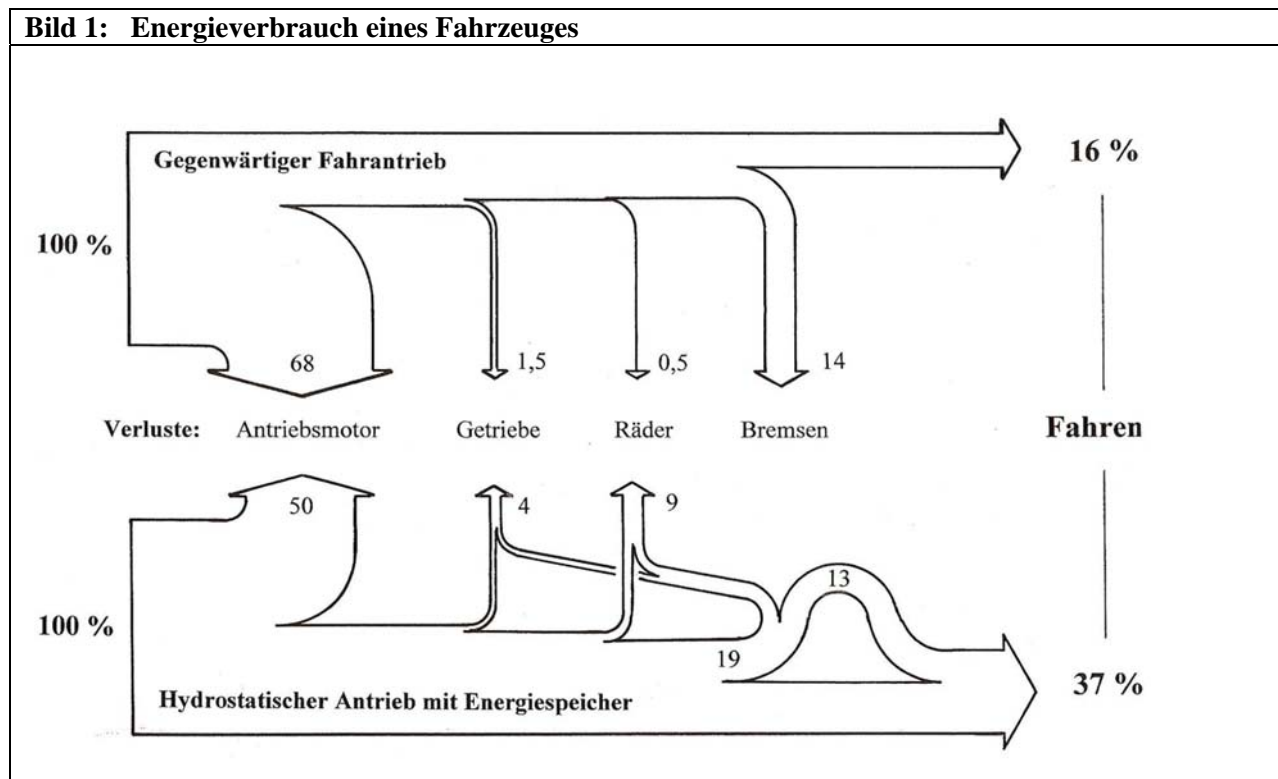
EINLEITUNG

Gegenwärtige Fahrzeugantriebe übertragen die Leistung des Verbrennungsmotors mit Hilfe eines Schaltgetriebes und durch Wellen auf die Räder. Das Getriebe dient hier dazu die unzulänglichen Fähigkeiten des Motors an die des Fahrzeuges anzupassen. Diese Antriebsform wurde im Laufe der Zeit umfangreich verbessert und hat ein hohes Mass an Reife erreicht. Die notwendigen technischen Verbesserungen werden jedoch zunehmend durch einen stark überproportionalen Anstieg an Komplexität und Kosten erzielt. Die derzeit populären Hybrid Antriebe reflektieren diese Entwicklung.

Die drastisch erhöhte Anforderungen die an zukünftige Fahrzeuge hinsichtlich Abgasentwicklung, Verbrauch und Sicherheit gestellt werden sind nur mit neuen Konzepten zu erfüllen. Wesentliches Merkmal dieser sind kleine und leichte Fahrtriebe bei denen die Bereitstellung und Verwendung der Energie wesentlich wirksamer erfolgt. Homogene Systeme die auf nur einem Funktionsprinzip beruhen erfüllen die Anforderungen prinzipiell besser als Hybrid Systeme die aufeinander abgestimmt werden müssen.

Die einzigen für die Fortbewegung eines Fahrzeuges erforderlichen Energien werden für die Überwindung des Luft- und des Rollwiderstandes benötigt und sind relativ gering - nur ca. 1/5 des Verbrauches. Die verbleibenden 4/5 gehen durch direkte Wärmeabfuhr verloren. Der Luftwiderstand wird von der Grösse und Form des Fahrzeuges bestimmt und der Rollwiderstand vom Fahrzeuggewicht und der Qualität der Reifen. Die erforderlichen Leistungsspitzen für die Beschleunigung und das Überwinden von Steigungen können durch Energierückgewinnung beim Bremsen bzw. durch die bei der Talfahrt ausgeglichen werden, soweit ausreichend Speicherkapazität für die zurückgewonnenen Energien zur Verfügung steht.

Der hohe Kraftstoffverbrauch gegenwärtiger Fahrzeuge entsteht durch die sehr grossen Energieverluste im Antriebsmotor und durch das Abbremsen des Fahrzeuges. Fahrtriebe die in der Lage sind diese Energie zu speichern ermöglichen es den Motor nur unter bestmöglichen Betriebsbedingungen hinsichtlich Abgasentwicklung und Verbrauch zu betreiben und die Bremsenergie zurückzugewinnen. Bild 1 zeigt den Vergleich des Energieverbrauches eines Fahrzeuges mit und ohne Energiespeicher. Die Einsparungen durch die Gewichtsreduzierung des neuen hydrostatischen Antrieb sind hier noch nicht berücksichtigt worden.



Fahrzeuge mit neuen Antriebskonzepten sind entwickelt worden. Personenwagen mit rein elektrischem Antrieb haben sich aus aufgrund mehrere Faktoren nicht durchgesetzt. Die unzureichende Kapazität der Batterie resultiert in geringe Reichweiten und hohes Fahrzeuggewicht bzw. sehr kleine Fahrzeuge mit geringer Zuladung. Die begrenzte Lebensdauer, Temperaturempfindlichkeit, hohen Kosten und unbefriedigende Entsorgung der Batterie sind weitere wesentliche Mängel.

Hybrid Antriebe - generell elektro-mechanisch - verwenden eine konventionellen Antriebsmotor der von einem Elektromotor mit Batterie unterstützt wird. Hierdurch werden die jeweiligen Schwächen des einen Systems überwiegend durch die Stärken des anderen ausgeglichen. Die Stärken des elektrische Teiles des Hybrids sind der Stadtverkehr, die des konventionellen mechanischen Fahrtriebes längere Strecken bei höheren Geschwindigkeiten. Der Gesamt-Antrieb ist aufgrund der unterschiedlichen Funktionsweisen prinzipbedingt grösser, schwerer und teurer. Die Regelung ist aufwendig und der Kraftstoffverbrauch ist - falls überhaupt - nur geringfügig besser als der moderner Diesel Motoren.

Wasserstoff-Antriebe - Wasserstoff kann zur Zeit nur als Energieträger für bereits vorhandene Energien genutzt werden. Bei seiner Herstellung aus derzeitigen Energiequellen (Öl, Gas, Kohle) geht ein grösserer Betrag der Energie verloren und es werden zusätzlich Emissionen erzeugt - ein Verbrauchsvorteil ist kaum noch vorhanden. Wasserstoff-Antriebe versprechen daher nur dann sehr gute Umwelt Verträglichkeit und Energie Effizienz wenn der Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen (Sonne, Wind) gewonnen wird. [1] Weiterhin sind operationelle Bedingungen, wie Temperaturempfindlichkeit und lange Vorbereitungszeiten für den Start der Brennstoffzelle ein Nachteil. Der permanente Energieverlust des Tankes und die Sicherheit bei der Kraftstoffübergabe sind nicht zufriedenstellend gelöst. Der Antrieb ist ausserdem deutlich grösser, schwerer und teurer - etwas was die Vorteile zu einem grossen Teil wieder aufhebt.

Hydrostatische Fahrtriebe bei denen die Leistung durch Druckflüssigkeit übertragen wird weisen dem gegenüber hervorragende Eigenschaften in allen relevanten Bereichen auf die den Verbrauch und die Entstehung von Emissionen erheblich reduzieren:

- Einfache, stufenlose Geschwindigkeitsänderung.
- Grosse Leistungsdichte und hoher Wirkungsgrad.
- Sehr schnelle Energiespeicherung.
- Unabhängige Anordnung der Antriebskomponenten.

Diese Antriebsart wird daher seit ca. 50 Jahren überwiegend in schweren Arbeitsmaschinen und stationären Anlagen eingesetzt bei denen diese Eigenschaften unentbehrlich sind. Die bei Strassenfahrzeugen besonders hohen Anforderungen hinsichtlich Wirkungsgrad, Leistungsdichte (Gewicht), Geschwindigkeitsbereich und Kosten können sie jedoch zur Zeit nicht erfüllen.

Die wesentlichen Antriebskomponenten des 2 Liter Autos - hydraulische Radmotoren und eine Frei-Kolben Brennkraftmaschine - werden speziell für Kraftfahrzeuge entwickelt. Das Konzept wird hier durch die sehr deutlich verbesserten technischen Eigenschaften der Radmotoren bestimmt. Die bisherigen Entwicklungen und Tests der hydraulischen Motoren deuten daraufhin, dass die geforderten technischen Anforderungen erfüllt werden können.

Die das Konzept bestimmenden Baugruppen des neuen Hydrostatischen Fahrtriebes sind patentiert.

Radmotore:	Swashplate Type Axial-Piston Pump	US Patent 6,406,271 B1
Brennkraftmaschine:	Free-Piston Internal Combustion Engine	US Patent 6,293,231 B1
Einspritz Vorrichtung:	Free-Piston Internal Combustion Engine	US Patent 6,484,674 B2

[] Literaturhinweise

FAHRZEUG

1. Das Auto

Das 2 Liter Auto entspricht allen Anforderungen die heute an einen komfortablen und sehr leistungsfähigen Mittelklassewagen gestellt werden. Das Platzangebot und die Zuladung entsprechen dem des PNVG Programmes (Partnership for a New Generation of Vehicles), die Fahrleistungen sind merkbar höher. Erheblich bessere Werte werden auch hinsichtlich Verbrauch, Emissionen und Unterhaltskosten erreicht.

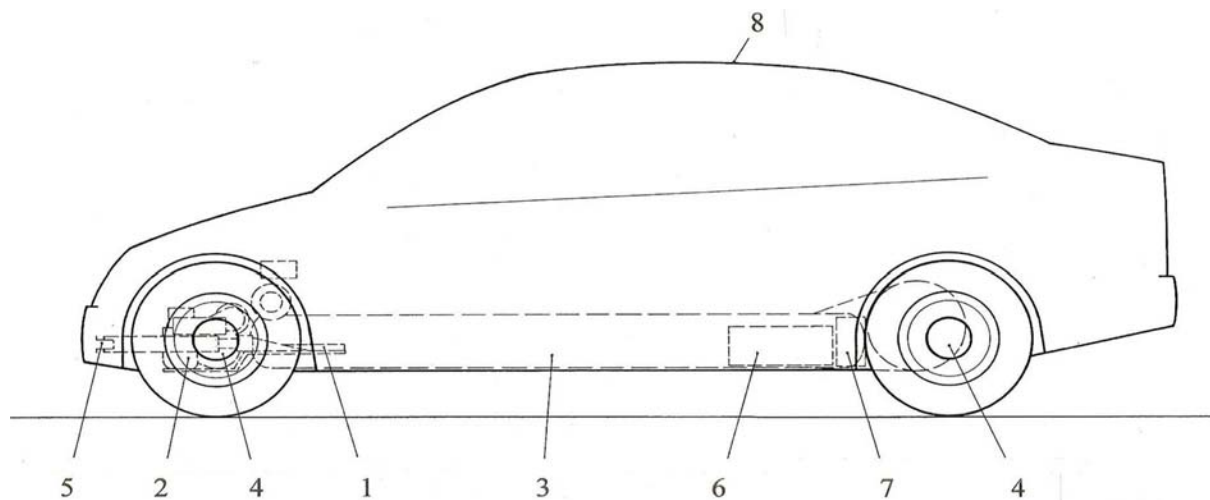
Das Erfüllen der Anforderungen wird durch die technischen Eigenschaften des neuen Hydrostatischen Fahrentriebes mit Energiespeicher ermöglicht. Die drastischen Reduzierungen von Verbrauch und Abgasen sind das Resultat einer sehr effizienten Umsetzung und Übertragung der Energie sowie dessen Fähigkeit die gesamte, normalerweise beim Bremsen verlorene Energie zurückzugewinnen. Der Antrieb ist ausserdem leichter und beansprucht weinger Raum. Das Gewicht des Fahrzeuges wird durch die Verwendung der Speichereinheit als tragendes Element des Fahrgastzelle weiterhin reduziert.

Hervorragende Fahreigenschaften werden durch das reduzierte Fahrzeuggewicht, die grossen Leistungsreserven für das Beschleunigen und den niedrigen Schwerpunkt des Fahrzeuges erreicht. Die individuelle Kontrolle der Leistung an jedem Rad erhöht die Sicherheit und den Komfort beim Fahren und Bremsen. Zusätzlich werden die Aktiven Stossfänger beim scharfen Bremsen automatisch ausgefahren und bringen das Fahrzeug im Falle eines Aufpralles ohne Schaden aus 40 km/h sicher zum Stillstand.

Aufbau und Eigenschaften des hydrostatischen Antriebes ermöglichen es die Funktionen wie ABS, Allrad-Antrieb, Schlupfregelung und Sperrdifferential durch die Software des Bordcomputers zur Verfügung zu

Bild 2: Das 2-Liter Auto

Typ:	Personenwagen, 5 Sitze	1. Plattform
Abmessungen:	430 x 175 x 142 cm	2. Antriebsmotor
Gewicht:	1000 kg	3. Hydraulik Speicher
Nutzlast	470 kg	4. Radmotor
Leistung:	44 kW	5. Aktive Stossfänger
Geschwindigkeit	150 km/h	6. Hydraulik Tank
Beschleunigung:	5 sec. (0-100 km/h)	7. Kraftstofftank
Verbrauch:	1,8 l/100km	8. Solarpanel



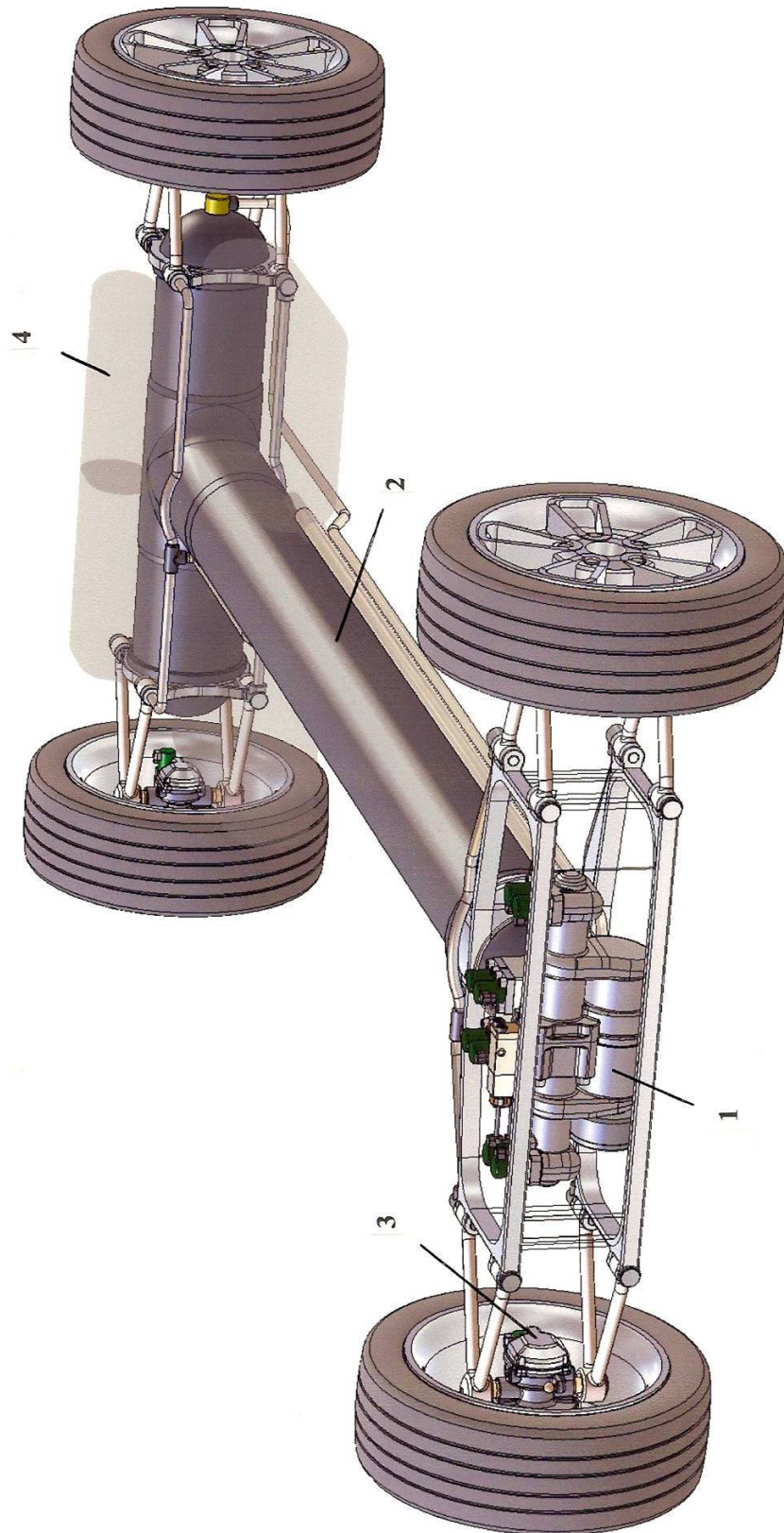
stellen. Der Computer regelt ebenso die aktiven Radaufhängungen und die Drehmoments der Radmotoren individuell. Hierdurch werden die Fahreigenschaften und die Sicherheit der Insassen merkbar erhöht. Die hydraulische Leistung für die Kontrolle des Fahrwerkes wird hier, wie auch für die der Radmotoren und Stossfänger, dem Energiespeicher entnommen.

Das 2 Liter Auto fährt sich wie ein derzeitiges Fahrzeug mit einem Automatik Getriebe. Die Bedienungsweise ändert sich nicht da alle neuen Funktion des Antriebes durch den Bordcomputer geregelt werden. Die Abläufe sind in Bild 3 dargestellt.

Bild 3: Operationszyklus	
	<p>Aufladen und Fahren</p> <p>Der Antriebsmotor füllt den Speicher mit Druckflüssigkeit und treibt die Radmotoren des Fahrzeuges an. Das Aufladen des Speichers dauert weniger als eine Minute. Der Antriebsmotor wird abgeschaltet wenn der Speicher gefüllt ist und automatisch wieder in Betrieb genommen kurz bevor die Energie aufgebraucht ist.</p>
	<p>Fahren</p> <p>Die gespeicherte Energie treibt das Fahrzeug für ca. 7-9 km im Stadtverkehr und 4-5 km auf der Landstrasse. Der geringere Verbrauch im Stadtverkehr ergibt sich aus dem hier verringerten Luftwiderstand bei den niedrigeren Geschwindigkeiten sowie dem grossen Anteil an zurückgewonnenen Bremsenergie. Der Luftwiderstand beträgt ca. 45% bei 50 km/h und ca. 80% bei 120 km/h.</p>
	<p>Bremsen</p> <p>Beim Bremsen wird der Fahrtrieb vom Bordcomputer von ‚Antreiben‘ auf ‚Bremsen‘ gestellt. Die Bewegungsenergie des Autos wird in Druckflüssigkeit umgewandelt und wieder im Speicher aufgefangen. Durch diesen Vorgang wird ca. ¾ der normalerweise verloren gegangenen Energie wieder zum Fahren verwendet.</p>
	<p>Separates Aufladen</p> <p>Der Speicher kann auch separat aufgeladen werden. Die Elektro-Hydraulik Pumpe des Fahrtriebes wird dabei durch Strom aus der Steckdose in der Garage oder von dem Sonnenkollektor auf dem Dach des Autos versorgt. Die Versorgung durch den Kollektor ermöglicht es das Auto für 15-25 km pro Tag zu fahren - ohne Kraftstoffverbrauch und schädliche Abgase.</p>

Bild 4: Die Fahrzeug-Plattform

1. Frei-Kolben Brennkraftmaschine
2. Hydraulik Speicher
3. Radmotor
4. Hydraulik Tank



2. Die Fahrzeug-Plattform

Die **Plattform** ist eine vollständige, fahrbare Einheit. Alle Baugruppen des Antriebes sind in dieser zusammengefasst. Die sehr geringe Grösse aller Antriebskomponenten und die hydraulische Kraftübertragung durch Rohre und Schläuche erlaubt eine relativ unabhängig Platzierung der Komponenten zueinander. Hierdurch wird ein deutlich besseres Verhältnis von nutzbarem Raum zum Volumen des Antriebes erreicht. Die funktionelle Unabhängigkeit zwischen Antriebs-Plattform und Fahrzeugkörper vereinfacht die Herstellung einer Fahrzeugbaureihe. Die Funktion des Fahrzeuges wird danach durch die Art des Fahrzeugkörpers bestimmt.

Die beiden zur **Speichereinheit** zusammengefassten Behälter für die Druckflüssigkeit bilden das sehr steife, selbsttragende Rückgrad des Fahrzeuges. Durch diese Bauweise und die Integration der Aktiven Stossfänger müssen die wesentlichen Kräfte des Fahrwerkes und die von Unfalleinflüssen nicht vom Fahrzeugkörper aufgenommen werden. Das Gewicht und die Kosten für die Karosserie verringern sich durch die nicht erforderlichen Knautschzonen erheblich.

Die Grösse der Speichereinheit wird durch die maximal beim Bremsen anfallende Energie bestimmt. Der Antriebsmotor stellt nur die durchschnittlich vom Fahrzeug verbrauchten Mengen zur Verfügung. Diese beträgt ca. 1/3 der derzeit üblichen, da die Leistungsspitzen für das Beschleunigen und das bergauf Fahren überwiegend von der Speichereinheit zur Verfügung gestellt werden. Die Grösse des Motors ergibt sich aus der Leistung die für das Überwinden langer Steigungen oder das Ziehen von Anhängerlasten benötigt wird.

Jedes Rad wird von einem hydraulischen **Radmotor** angetrieben. Beim Bremsen und Allrad-Betrieb sind alle vier Räder aktiviert. Beim normalen Fahren werden nur die Hinterräder angetrieben, und bei langsamer Fahrt nur ein Rad, um den Verbrauch und die Emissionen zu minimieren. Die Bremsleistung der Radmotoren ist gleich oder besser als die der derzeitigen Scheibenbremsen. Die Baugrösse der Radmotoren wird durch das Gewicht des Fahrzeuges bzw. das Bremsmoment bestimmt. Deren Bauraum und Gewicht sind geringer als das der Scheibenbremsen die sie ersetzen.

Der **Antriebsmotor** ist eine 1-Zylinder, 2-Takt Diesel, hydraulische Frei-Kolben Brennkraftmaschine. Diese wandelt den Verbrennungsdruck ohne den üblichen Kurbelmechanismus direkt in hydraulischen Druck um. Hubzahl und Kolbenkraft, und damit die Verbrennungsbedingungen, bleiben während der Aufladung der Speichereinheit nahezu konstant. Ein neuartiges Höchstdruck-Einspritzsystem mit einer grossen Anzahl sehr feiner Schlitze verbessert die Kraftstoff Zerstäubung erheblich. Diese Bau- und Operationsweise erzeugt bestmögliche Voraussetzungen für die Minimierung von Kraftstoffverbrauch und Emissionen.

Die **Elektro-Hydraulik Einheit** kann im Zusatz zum Antriebsmotor den Speicher aufladen. Sie bezieht den Strom aus einer Steckdose oder von einer Solarzelle auf dem Dach des Autos. Diese Form der Energieversorgung ermöglicht es das Auto für 15-25 km pro Tag zu fahren - ohne Kraftstoffverbrauch und Abgase. Diese Energien wurden bei der Berechnung des Verbrauches jedoch nicht berücksichtigt.

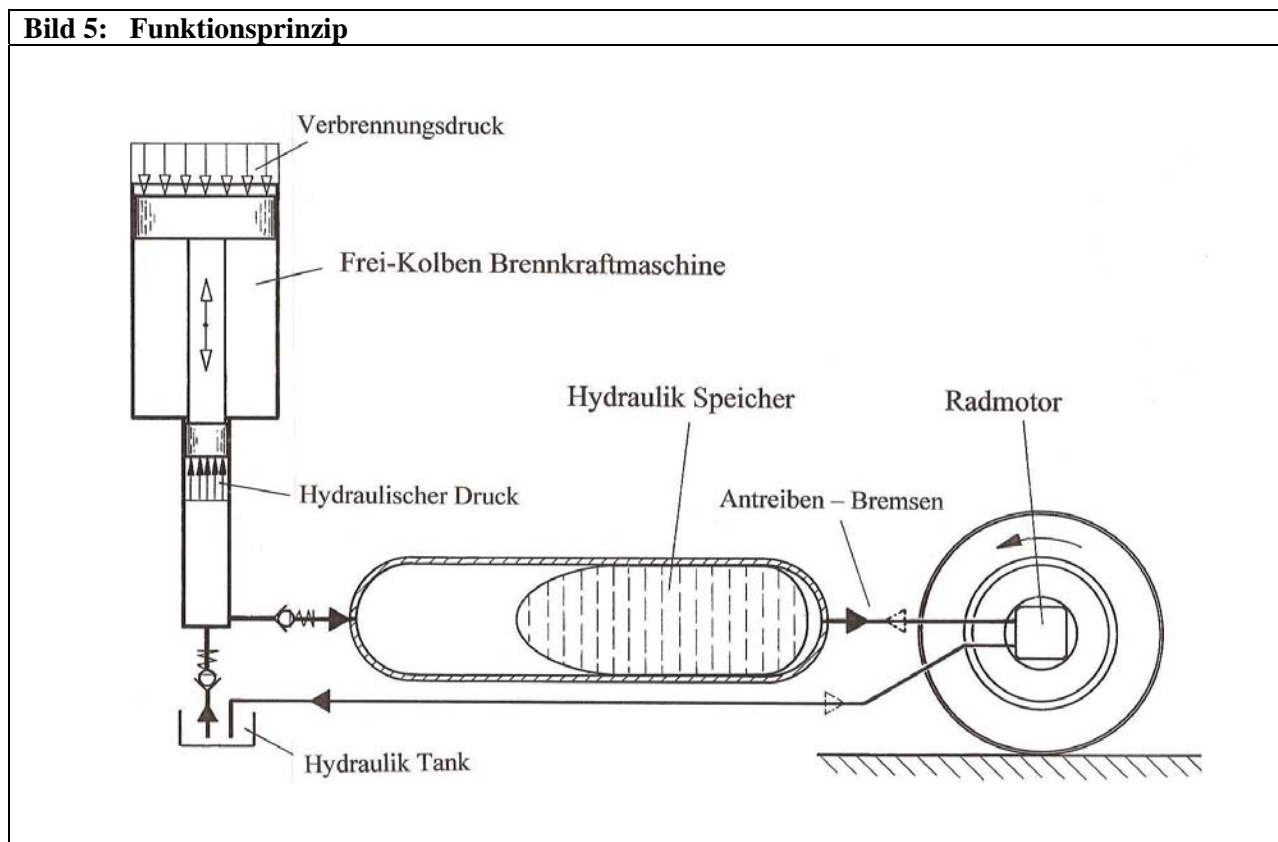
Der **Bordcomputer** steuert alle Komponenten der Plattform wie Antriebsmotor, Radmotoren, Fahrgestell, Speicher, Ventile und Stossfänger. Der Kontrollaufwand ist aufgrund der vereinfachten Wirkungsweisen wesentlich geringer als bei derzeitigen Antrieben. Alle Formen der Energieversorgung werden automatisch vom Controller vorgenommen. Funktionen wie die Sportlichkeit des Fahrwerkes, Allradantrieb, Traktions- und Lenkeigenschaften können auch vom Fahrer gewählt werden.

Die **aktiven Stossfänger** werden während einer harten Bremsung oder beim Wahrnehmen eines sich schnell nähernden Gegenstandes automatisch um ca. 40 cm ausgefahren. Die hydraulischen Zylinder der Stossfänger nehmen die beim Aufprall zu absorbierende Energie auf und leiten diese in Form von Druckflüssigkeit den Akkumulator weiter. Das Auto wird dadurch ohne Schaden von 40 km/Std sicher bis zum Stillstand abgebremst. Die auftretende Verzögerung von ca. 16 g an der Stossstange wird durch die Nachgiebigkeit des Sicherheitsgurtes für die Insassen merkbar reduziert.

3. Hydrostatischer Antrieb mit Energiespeicher

Hydrostatische Antriebe übertragen die Leistung durch Druckflüssigkeit in Rohren anstelle von Drehmomenten über Zahnräder und Wellen. Die Flüssigkeit wird für den Antrieb der Radmotoren verwendet. Die Einfachheit des Antriebskonzeptes ist in Bild 5 dargestellt. Es zeigt die unmittelbare Umsetzung des Verbrennungsdruckes in hydraulischen Druck, bzw. die der chemischen Energie des Kraftstoffes in hydraulische Energie der Druckflüssigkeit in der Frei-Kolben Brennkraftmaschine. Die Druckflüssigkeit wird aus einem einem Hydraulik Tank mit sehr niedrigem Druck in den Hydraulik Speicher mit hohem Druck gepumpt. Durch das Zusammendrücken einer mit Stickstoff gefüllten Gasblase wird hier die Energie gespeichert, Flüssigkeitsvolumen und Druck bestimmen die Energiemenge. Beim Bremsen werden die Radmotoren durch die Umkehr der Flussrichtung zu Pumpen und fördern die gesamte beim Bremsen gewonnene Energie wieder zurück in den Speicher. Das Hubvolumen der Radmotoren, und damit das Drehmoment und die Leistung sind sehr schnell und stufenlos im gesamten Operationsbereich von Null bis zu Maximalwerten feinfühlig verstellbar.

Bild 5: Funktionsprinzip



Die Antriebsbaugruppen können aufgrund der Form der Leistungsübertragung räumlich unabhängig voneinander angeordnet werden. Mehrere Radmotoren, auch zusätzliche Antriebsmaschinen und hydraulische Funktionselemente (Zylinder) unterschiedlicher Baugröße, können daher sehr einfach in den Hydraulik-Kreislauf integriert werden. Der Aufbau des Fahrzeuges und die Funktionalität werden dadurch wesentlich vereinfacht und die Wartungsfreundlichkeit durch die einfache Austauschbarkeit der Antriebskomponenten deutlich erhöht. Diese Eigenschaften sind speziell bei schweren Fahrzeugen oder kleinen Produktionszahlen von Vorteil.

4. Berechnung des Kraftstoffverbrauches

Die Energien für die Fortbewegung des Fahrzeuges werden nur benötigt um den Rollwiderstand der Reifen auf der Fahrbahn und Bewegungswiderstand des Fahrzeugkörpers durch die Luft zu überwinden. Bei Fahrzeugen ohne oder mit nur unvollständige Energierückgewinnung muss noch zusätzlich die Energie für die Beschleunigung und das Überwinden von Steigungen erzeugt werden. Bei vollständiger Energie-Rückgewinnung heben sich beide jeweils auf, reduziert durch die Verluste (ca. 25%) die sich durch den gesamten Übertragungs- und Speichervorgang (Ladung, Entladung) ergeben.

Die Berechnung der Energieverbräuche basiert auf etablierten Methoden [2] und den Angaben der Tabellen 2: 'Technische Daten', 3: 'Technische Werte' und 4: 'Gewichtsberechnung'. Derzeitige Produktionsmethoden sind berücksichtigt worden, um einen besseren Vergleich mit gegenwärtigen Fahrzeugen zu ermöglichen. Die einzelnen Sektionen der Berechnung berücksichtigen folgende Bedingungen:

A. Fahrzyklus: Die Werte entsprechen dem des ‚Neuen Europäischen Fahrzyklus‘ (NEFZ). [2] Die hier angegebenen, sehr niedrigen Werte für das Beschleunigen und Bremsen sind vorteilhaft für konventionelle Fahrtriebe, entsprechen jedoch bei weitem nicht der üblichen Fahrweise. Im Gegensatz hierzu verbessert sich die Wirksamkeit des hydrostatischen Antriebes mit zunehmenden Leistungswerten. Die in der Berechnung des Kraftstoffverbrauches aufgeführten Schleppverluste der hydraulischen Motoren berücksichtigen die Widerstände der nicht aktivierten Radmotoren in Null-Stellung.

B. Fahrwiderstand: Der Roll- und Luftwiderstand bestimmt die erforderlichen Schubkräfte am Fahrzeug. Bei niedrigen Leistungen wird nur ein Radmotor aktiviert der dadurch in einem besseren Wirkungsgradbereich operiert. Beide Hinterräder treiben das Fahrzeug bei höheren Leistungen an um die Fahrstabilität zu verbessern. Bei der Berechnung der Verluste während der Beschleunigungs- und Bremsvorgänge werden 70% der Geschwindigkeiten für den Luft- und 50% für den Bremswiderstand berücksichtigt. Der Wirkungsgrad des Planeten Radsatzes ist in Sektion E miteinbezogen worden.

C. Kreislauf-Verluste: Alle Komponenten sind auf die maximale Leistungen beim Bremsen ausgelegt worden. Die Strömungsverluste beim normalen Fahrbetrieb sind daher sehr gering. Ein Verlust von 2% der übertragenen Leistung ist angenommen worden. Die hydraulischen Verluste der Antriebsmaschine werden in Paragraph 6.4 berücksichtigt.

D. Fahrenergie: Summiert den Verbrauch aller Energien für die Fortbewegung. (B., C.)

E. Kräfte am Fahrzeug: Die Kräfte bestimmen das erforderliche Drehmoment (Druck, Hubvolumen) der hydraulischen Motoren innerhalb der Radmotoren und damit deren Wirkungsgrad. Ein mittlerer konstanter Druck von 270 bar wurde verwendet um die Berechnung zu vereinfachen. Die berücksichtigten Wirkungsgrade sind von den gemessenen Werten des PoC Modelles (Proof-of-Concept) abgeleitet worden und berücksichtigen die erwarteten Verbesserungen des Prototyps. Paragraph 8.2.

F. Energien: Der Verbrauch ist in Joule (J) angegeben. 3.6 MJ entsprechen 1 kW·h oder auch 600 KW für 6 sec., zB. als aufgenommene Leistung während einer Vollbremsung. Der Wiederverwendungs-Wirkungsgrad (Beschleunigen/Bremsen) oder auch ‚Round-trip-efficiency‘ beträgt ca. 75% bei einem mehr realistischen Fahrzyklus als dem des NEFZ da der Wirkungsgrad des hydrostatischen Fahrtriebes mit zunehmenden Fahr- und Bremsleistungen ansteigt. Der Verbrauch der Zusatzantriebe (Lichtmaschine) ist mit 10% für den Stadtverkehr und 8% für die Landstrasse angenommen worden, die Verluste der Speichereinheit mit 4%. Energien für eine Zusatzheizung oder Air-Conditioner wurden nicht berücksichtigt soweit sie über diesen Bereich hinausgehen.

Beachtenswert: Beim NEFZ Fahrzyklus (Stadtverkehr) wird beim Bremsen mehr als das doppelte an Energie zurückgewonnen als für das Fahren mit konstanter Geschwindigkeit (45 %) verbraucht wird.

Tabelle 1: Verbrauchsberechnung

	N	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
Fahrzeug Daten																					
Gewicht	10000																				
Passagiere	1000																				
Frontfläche	2.10																				
Luftwiderstandsbeiwert	0.22																				
Rollwiderstand	0.0060																				
Reifen Radius	0.32																				
Übersezung vorne	6.6																				
hinten	10.0																				
Radsatz Wirkungsgrad	0.97																				
Druckspeicher	0.96																				
Zubehör 1	0.10																				
Zubehör 2	0.08																				
Kreislaufverluste	0.02																				
BKM Wirkungsgrad	grkWh 175																				
A. Fahrzyklus																					
Geschwindigkeit	km/h	0-16	16-0	0-32	32	32	32-0	0-50	50	50-0	36	0-70	70	70-50	50	50-70	70-100	100	100-120	120	120-0
Geschwindigkeit max.	m/sec	4.44	4.44	8.9	8.9	8.9	8.9	13.9	13.9	13.9	10	19.4	19.4	19.4	13.9	19.4	27.8	27.8	33.3	33.3	33.3
Zeit	sec.	5	8	10	23	13	13	23	12	23	12	34	100	13	68	12	34	28	18	13	38
Beschleunigen - Bremsen	m/sec ²	0.89	0	-0.63	0.89	0	-0.68	0.60	0	-0.60	0	0.57	0	-0.43	0	0.46	0.25	0	0.31	0	-0.93
Distanz Teil: 1 u. 2	m	11	36	16	44	204	58	160	167	160	120	331	1944	126	944	117	826	778	611	433	600
Radmotoren							975									6711					
Schleppverlust	N	16	20	16	20	20	20	16	20	20	20	16	20	16	20	20	20	20	20	20	20
B. Fahrwiderstand																					
Rollwiderstand	N	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
Luftwiderstand	N	2.68	5.48	10.73	21.90	10.73	2.68	26.20	53.47	26.20	27.72	51.35	104.81	77.00	53.47	77.00	154.53	213.89	258.91	308.00	150.92
Leistung	W	188	407	187	412	959	430	751	1937	779	1137	1287	3710	2650	1937	2717	5679	8330	10536	13133	3949
Energie	J	941	3252	1380	4121	22080	5689	17282	23245	17921	13846	44081	371011	34450	131724	32800	193096	233247	189843	170733	142152
Beschleunigen - Bremsen	N	997	0	-712	997	0	-767	677	0	-677	0	641	0	-479	0	519	275	0	346	0	-1038
Kräfte	N	11075	0	-11075	44298	0	-44298	108151	0	-108151	0	211975	0	-60564	0	60564	227116	0	211494	0	-622947
Energie	J	240	65	221	968	441	886	2509	465	2163	273	5121	7420	1900	2634	1893	8404	4685	8023	3415	12459
C. Kreislaufverluste																					
% von E-Transfer	J	31 + 34 + 36	3318	-9474	49388	22501	-37824	127941	23710	-86066	13819	261177	378431	-24214	134358	95028	428616	237912	409160	174148	-468336
D. Energieverbrauch																					
Fc=Fo+Fro+FH+Fa	N	1081	91	-623	1089	108	-670	785	139	-565	114	775	191	-320	139	682	515	300	691	394	-801
E. Kräfte am Fahrzeug																					
Radmotoren	Nm	34.6	2.9	-19.9	34.9	3.5	-21.4	25.1	4.5	-18.1	3.6	24.8	6.1	-10.2	4.5	21.8	16.5	9.6	22.1	12.6	-25.6
Aktive Radmotoren		R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1
Vorne - Hinten [R]		654	872	654	1308	1744	1308	2043	2724	2043	1962	2861	3814	3269	2724	3269	4632	5449	5994	6539	4804
Drehzahl vorne	rpm.	995	1327	995	1990	2654	990	3110	4147	3110	2986	4354	5805	4876	4147	4876	7049	8294	9123	9952	7464
hinten		26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schwenkwinkel vorne	%	97.7	8.3	56.3	98.5	9.8	60.6	71.0	12.6	51.1	10.3	70.0	17.2	28.9	12.6	61.7	46.6	27.1	62.4	35.6	72.4
hinten		8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wirkungsgrad hydr. Motor	%	90	45	86	93	56	90	93	70	90	60	94	80	87	70	93	91	86	93	87	94
gesamt Radmotor	%	87.3	43.7	83.4	90.2	54.3	87.3	90.2	67.9	87.3	58.2	91.2	77.6	84.4	67.9	90.2	88.3	83.4	90.2	84.4	91.2
F. Energien																					
Einzel Zyklus	J	14039	7600	-7903	54748	41423	-33020	141826	34919	-76882	23916	286441	487669	-20434	197877	105340	485574	285198	453964	206361	-427029
Gesamt Zyklus	J	13738				63152		123780				Gesamt				Teil 1					Teil 2
NEFZ - Zyklus Teil 1, u. 2.	J					802671					1541533	1284964	-565288			2060561					
Beschl.-Fahren-Bremsen	%					0.559					0.367	0.367				0.336					
Bremsen/Beschleunigen	%					0.370					0.200	0.200				0.178					
Bremsen/Ges. Verbrauch	%					80267					3108344	3237858				164845					
Zusatzantriebe Teil 1 u. 2.	J					Start										Landstr.					
Energie verbraucht	J																				
zugeführt	J																				
Kraftstoffverbrauch																					
100km/h: 2.15	L/100km																				
62 mph: 110	mpg																				
120 km/h: 2.79	L/100km																				
75 mph: 84	mpg																				
132 mpg.	L/100km																				
1.79	L/100km																				

Tabelle 2: Technische Daten				
Baugruppe	Gegenstand	Dimension	Wert	
<u>FAHRZEUG</u>	Abmessungen (Länge/Breite/Höhe)	cm	430 x 175 x 142	
	Radstand	cm	280	
	Leergewicht	kg	1000	
	Zul. Gesamtgewicht	kg	1470	
	Gewicht für den NEFZ Fahrzyklus	kg	1100	
	Achslasten (vorne/hinten) statisch	%	50 / 50	
	dynamisch (Bremsen)	%	68 / 32	
	Geschwindigkeit (max.)	km/h	150	
<u>ANTRIEB</u>	Beschleunigung (0-100 km/h)	sec.	5	
	Antriebsmotor	Hubraum	cm ³	500
		Bohrung/Hub	mm	ø56 / 102
		Hub/Bohrung-Verhältnis	-	1.8
		Verdichtung	-	18 (variabel)
		Hubzahl	l/min	3.000
		Leistung	kW	44
		Abmessungen (L x B x H)	cm	60 x 16 x 32
Gewicht		kg	32	
Räder	Radlasten (max. Bremsen) (vorne/hinten)	kg	500 / 235	
	Durchmesser	cm	64	
	Reibwert (Reifen/Fahrbahn)	-	0.85	
	Drehzahl	l/min	1240	
	Drehmoment	kpm	136 / 64	
Kreislauf	Druck (Speicher A/B)	bar	420 / 480	
Radmotoren	Anzahl (vorne/hinten)	-	2 / 2	
	Hubvolumen	cm ³ /U	26 / 8.0	
	Drehmoment (Bremsen)	kpm	20.8 / 6.4	
	Drehzahl	l/min	8.100 / 12.400	
	Leistung (max.)	kW	185 / 80	
	Getriebe-Übersetzungsverhältnis	-	6.5 / 10.0	
	Abmessungen (ø x Länge)	cm	16 x 20 / 16 x 18	
	Gewicht	kg	9 / 7	
Speichereinheit	Flüssigkeit (Speicher A/B)	L	27 / 27	
	Druckverhältnis	-	3,5 / 1,5	
	Energieinhalt	MJ (kWh)	1,80 (.50)	
	Fahrstrecke (mit Speicher Energie bei 50 km/h)	km	8	
	Abmessungen (Ø/Länge)	cm	24 x 258 / 25 x 115	
	Gewicht (leer)	kg	58 / 27	
	Tank (Flüssigkeit, Kraftstoff)	kg	25	
<u>GEWICHTE</u>	Fahrantrieb	Antriebsmotor	kg	32
		Speichereinheit	kg	85
		Radmotoren	kg	32
		Hydraulische Flüssigkeit	kg	45
		Kreislaufkomponenten	kg	25
		Tank	kg	25
		Gesamtgewicht	kg	244

Gegenstand	Beschreibung	Wert
Leergewicht	Konventioneller Personenwagen: 1420 kg (PNGV Konditionen) Reduzierung des Leergewichtes durch neuen hydrostatischen Fahrtrieb: 420 kg (Tabelle 4)	1000 kg
Luftwiderstand	Der Motor des 2 Liter Autos ist klein, temperaturunempfindlicher und strahlt weniger Wärme ab. Der Motorraum ist daher nahezu geschlossen und der gesamte Unterboden glattflächig. Derzeitige Bestwerte: 0,26. Experimentelle Personenwagen: 0,14 – 0,16. [3]	0,22
Stirnfläche	Motor und Getriebe beeinflussen den Innenraum nicht. Die Stirnfläche ist daher geringfügig reduziert: BMW 3-Serie 2,1 m ² , Audi A4 2,14 m ² .	2,1 m ²
Rollwiderstand	Konventionelle Reifen: 0,007 - 0,009. Gegenwärtige Bestwerte: 0,0055 - 0,007. Experimentelle Reifen: 0,0045 [3]	0,0060
Antriebsmotor	Hydraulische Frei-Kolben Brennkraftmaschine. 1 Zylinder, 2 Takt Diesel, gegenläufige Kolben, Puls-Druck Lader. Geringe Reibungs- und Wärmeverluste. Konstante Betriebsbedingungen. Nebenabtriebe werden separat berücksichtigt. Gegenwärtige Bestwerte: Kleine Zylinder (Pkw) 194 g/kWh, mittlere Zylinder (Lkw) 190 g/kWh, sehr grosse Zylinder, mit jedoch geringem Verdichtungsverhältnis (Schiffe) 156 g/kWh. [4] [5]	175 g/kWh
Wirkungsgrade	Radmotoren: Axial-Piston Motor, in Abhängigkeit von den Betriebszuständen: Druck, Drehzahl, Hubvolumen. (Tabelle 1, Sektion F) Planetengetriebe: Einstufig. Hydraulischer Speicher: Kohlefaser, Blase mit Schaumstoff gefüllt. [6]	0,65 - 0,95 0,97 0,96

Konventionelles Auto	kg	kg	Das 2 Liter Auto
Leergewicht	1420		
Brennkraftmaschine, 125 kW	165	32	Brennkraftmaschine, 44 kW
Bremssystem	64	32	Radmotoren
Getriebe (Automatic)	50	130	Speichereinheit, Hydraulik Flüssigkeit (54 l)
Antriebswellen, Differential	35	25	Kreislauf Komponenten
Kühl- und Ansaugsystem	32	-	Ansaugsystem (in BKM)
Kraftstoff (56 Liter), Tank	60	25	Tank : Hydraulik Flüssigkeit, Kraftstoff (12 l)
Batterie	14	6	Batterie
Fahrtrieb	420 ↓	250	Hydrostatischer Fahrtrieb Fahrtrieb: - 170 kg
Leergewicht ohne Fahrtrieb	1000 »	»1000 -250	Leergewicht ohne Fahrtrieb Reduzierung des Leergewichtes um 1/4 durch: Karosserie: Leichtbau, aufgrund der Belastungsverringerung durch selbsttragende Plattform und aktive Stossfänger. Verkürzung des Fahrzeuges durch reduzierte Motorlänge: 45cm Komponenten: Leichtere Räder und Aufhängung aufgrund verringerten Fahrzeuggewichtes, keine Servo-Lenkung, Karosserie: - 250 kg
		750 +250 1000 100 1100	Reduziertes Leergewicht ohne Fahrtrieb Hydrostatischer Fahrtrieb. Fahrzeug: - 420 kg (30%) Fahrer und Zuladung für NEFZ Fahrzyklus. Gewicht für NEFZ Verbrauchsberechnung.

ANTRIEBS - BAUGRUPPEN

Der Antrieb von Strassenfahrzeugen durch einen hydrostatischen Fahrtrieb hat sich in der Vergangenheit als nicht zweckmässig erwiesen. Die Gründe waren der wesentlich zu schmale Operationsbereich der hydraulischen Motoren und deren hohe Kosten und Gewichte. Der Vorteil der einfachen und schnellen hydraulischen Energiespeicherung ermöglicht es die Energieumwandlung in der Brennkraftmaschine vom Energieverbrauch in den Radmotoren zu trennen. Die Maschine kann daher für einen sehr schmalen, optimalen Betriebsbereich ausgelegt werden. Damit wird eine der wesentlichen Voraussetzung für geringstmögliche Werte von Verbrauch und schädlichen Abgasen erfüllt.

5. Antriebsmotor.

Hydraulische Frei-Kolben Brennkraftmaschinen haben einen Pumpenhub als Ausgangsbewegung. Sie sind sehr einfach im Aufbau, robust und effizient. [7][8] Frei-Kolben Maschinen sind in der Vergangenheit wegen der unbefriedigenden Kontrollierbarkeit der Kolbenbewegung (Umkehrpunkte, Geschwindigkeit) nicht verwendet worden. Bei der Brennkraftmaschine des 2 Liter Autos können die hydraulischen Kräfte am Frei-Kolben während des Hubes mehrfach variiert werden und ermöglichen dadurch die Kontrolle der Umkehrpunkte und Geschwindigkeiten. Ein neues Einspritzsystem verteilt wesentlich feiner zerstäubten Kraftstoff gleichmässig im Brennraum. Der schmale Betriebsbereich und das nahezu homogene Kraftstoff-Luft-Gemisch, sind die wesentlichen Voraussetzungen für eine sauberere und effizientere Verbrennung.

Die Brennkraftmaschine setzt sich aus den folgenden Unterbaugruppen zusammen. Die Anwendung der folgenden neuen Merkmale ist hier nahezu frei von Kompromissen:

Einzyldrige 2-Takt Brennkraftmaschine mit gegenläufigen Kolben.

- Last- und temperatur unempfindlicher Kolben.
- Sehr kompakter Brennraum.
- Geringe Reibung und Wärmeabstrahlung.
- Wirkungsvolle Gleichstromspülung.

Puls-Druck Lader.

- Hohe Leistungsdichte.
- Hoherer Wirkungsgrad.

Mantelschlitzdüsen-Direkteinspritzung.

- Sehr gute Luftausnutzung.
- Hohe Zerstäubungsgüte.

5.1. Mechanisches System

Die Frei-Kolben übertragen den Verbrennungsdruck direkt in hydraulischen Druck, ein Kurbeltrieb wird daher nicht benötigt. Die Gegenläufigkeit und geradlinige Bewegung der Kolben erzeugt einen vibrationsfreien Lauf. Ein grosses Hub/Bohrungsverhältnis von 3.6 (üblich 1,1) wird durch die freie Bewegung der Kolben erreicht. Ausserdem ermöglicht es diese Bauweise die geometrische Form des kompakten Brennraumes auf bestmögliche Verbrennungsbedingungen hin auszulegen. Das Verdichtungsverhältnis wird durch den elektronischen Antriebs-Kontroller geregelt, so dass unterschiedliche Kraftstoffe unter optimalen Bedingungen verwendet werden können.

Die Kontrolle der Kolbenbewegung wird durch die Veränderung der hydraulischen Kraft als Gegenkraft zu

den Gaskräften erreicht. Die Anzahl der druckbeaufschlagten Flächen des Frei-Kolbens und das Druckniveau der Flüssigkeit bestimmen die hydraulische Kraft. Die Vergrößerung der Kraft zu einem früheren Zeitpunkt erhöht die Kompression bzw. verschiebt den Oberen Totpunkt nach aussen. Während des Expansionshubes kontrollieren diese Schalterpunkte die Energieentnahme bzw. den Unteren Totpunkt. Durch eine zeitlich versetzte Beaufschlagung der beiden Frei-Kolben können ‚Öffnen‘ und ‚Schliessen‘ der Ein- und Auslassschlitze frei gewählt werden um beste Spülbedingungen zu erzielen. [9][10]

Die Kolben sind prinzipiell frei von Seitenkräften. Die Reibungsverluste und Materialanforderungen werden dadurch merkbar reduziert. Werkstoffe kommen zum Einsatz die bei unterschiedlichen Temperaturen ein nahezu gleichbleibend geringes Spiel zwischen Zylinder und Kolben erzeugen. [11][12] Es wird erwartet, dass sich durch den kleinen Kolbendurchmesser mit geringem Spiel und den sehr langen Kolbenmantel (2x Kolbendurchmesser) die ‚blow-by‘ Brenngasverluste auf das Mass gegenwärtiger Werte verringern lassen ohne die Verwendung von Kolbenringen. Aufgrund dieser Bedingungen ist eine Schmierung des Kolbens nicht vorgesehen und die Kühlung wird wesentlich vereinfacht.

Der Puls-Druck Lader, bestehend aus einem einfachen Ladergehäuse mit sehr leichtem Separator Element, wandelt den Auslass-Puls der Brenngase direkt und mit hohem Wirkungsgrad in den Einlass-Puls der Frischluft um. Ein nachgeschalteter Energieumwandler (zB. Turbine) treibt die Elektro-Hydraulik Einheit an. Die so gewonnene Energie wird der Batterie oder direkt dem hydraulischen Speicher zugeführt.

5.2. Brennraum

Der Brennraum ist mit einem Durchmesser/Höhe Verhältnis von ca. 4.6 : 1 sehr kompakt. Die Oberfläche beträgt weniger als 50% derzeitiger Dieselmotoren und ist glattflächig. Die Wärmeverluste sowie die Anzahl und Grösse der Crevice-Bereiche werden dadurch erheblich reduziert und der thermische Wirkungsgrad entsprechend erhöht.

Die Gleichstromspülung mit unsymmetrischer, kolbenkontrollierter Öffnung der Ein- und Auslassschlitze sowie die Puls-Druck Aufladung bei konstanten Drehzahlen (Hübe/min) erzielen einen gleichbleibend hochwertigen Austausch der Brenngase. [13] Der hohe Ladedruck, die Lage der Einspritzdüsen am Umfang der Brennkammer sowie der sehr hohe Einspritzdruck verbessern das Kraftstoff-Luftgemisch und damit die Verbrennungsbedingungen. [14][15][16] Die Bildung schädlicher Abgase wird dadurch erheblich reduziert.

5.3. Einspritz System

Pumpe: Die Kolben der Kraftstoff-Einspritzpumpe übertragen den Flüssigkeitsdruck der hydraulischen Speichereinheit direkt in den des Kraftstoffes. Die einfache Druckverstärkung durch den Pumpenkolben ermöglicht es sehr hohe Einspritzdrücke (zB. 3500 bar) relativ einfach und ökonomisch zu erzeugen. Die Kolben erfüllen hierbei eine Pump- und Druckhalte Funktion, ein Abspritzen von überschüssigem Kraftstoff ist daher nicht erforderlich. Ein Common Rail und Verrohrungen werden nicht benötigt.

Einspritzring: Die innere Bohrung des Einspritzringes bildet den Mantel der Brennkammer. Der Zulaufkanal des Kraftstoffes und die Einspritzschlitze sind in die seitliche Stirnfläche einer Ringhälfte eingearbeitet und mit der anderen Ringhälfte abgedeckt. Die stark reduzierte Weite der Mikro-Schlitze (0.02 mm, ca. 1/6 derzeitiger Düsenurchmesser) und die Verdoppelung des Einspritzdruckes fördern den Zerfall des flüssigen Kernes des Kraftstoffstrahles und damit die Zerstäubung deutlich. [17][18] Die grosse Anzahl von Mikro-Schlitzen am Umfang der Brennkammer und deren tangentielle Ausrichtung resultieren in eine deutlich bessere Verteilung des verfeinerten Kraftstoffsprays. Zusätzlich wird durch die verdoppelte Distanz des Einspritzstrahles bis zur Wandberührung das unerwünschte Auftreffen des Kraftstoffes auf die Brennraumwand stark reduziert. [19] Die erhöhte Homogenisierung des Kraftstoff-Luftgemisches und verringerte Wandberührung reduzieren den Verbrauch und das Entstehen schädlicher Abgase erheblich. [4][20][21]

5.4. Wirkungsgrad

Die mechanischen Reibungsverluste sind sehr gering da die Frei-Kolben Maschine keinen Kurbel- und Ventiltrieb verwendet und die Kolben frei von Seitenkräften sind. Es wird daher erwartet, dass nur maximal 2% der übertragenen Leistung als Reibung verlorengehen. Die hydraulischen Verluste werden mit 10% angenommen. Diese ergeben sich aus:

Hydraulische Ventile (Betätigung)	2,5 %
Kompressionsverluste (hydraulisch)	2,0 %
Leckage	2,0 %
Durchflusswiderstand	2,0 %
Einspritzpumpe (Antrieb)	1,5 %

Diese Verlustminderungen sollten die Gesamt-Reibungsverluste bei Vollast um ca. 40% reduzieren - von derzeit ca. 18% auf 10%. Aufgrund der zusätzlich geringeren Verluste für den Antrieb von Nebenaggregaten (Lichtmaschine, Wasser- und Ölpumpe) sowie verringerte Wärmeverluste durch die kompakte Brennkammer wird erwartet, dass ein spezifischer Kraftstoffverbrauch von 175 g/kWk (-10%) erreicht wird.

5.5. Abgase

Voraussetzungen für eine gravierende Reduzierung der schädlichen Abgase, hier speziell CO, ist die Minimierung der verbrannten Kraftstoffmenge und eine Verbesserung der Qualität der Verbrennung. Die Verringerung wird durch die Reduzierung der oben beschriebenen Reibungs- und Betätigungsverluste und die Qualität durch ein homogeneres Kraftstoff-Luftgemisches erzielt.

Die höhere Homogenisierung ist das Resultat der Verdoppelung des Einspritzdruckes und der grossen Anzahl schmaler Mikro-Schlitze am Umfang der Brennkammer, anstelle der Konzentration von Kraftstoffstrahlen im Zentrum der Brennkammer. Die Verbrennung erfolgt ausserdem bei nahezu gleichen Betriebsbedingungen (Geschwindigkeit, Last), Leerlauf findet nicht statt. Ein hoher Luftüberschuss und die einfache Zuführung gekühlter Abgase wird durch den Puls-Druck Lader erzielt. Die Reduzierung der Emissionen bezieht sich hier speziell auf die für Dieselmotoren kritischen Bereiche von Stickoxyden und Russ. [21]

6. Speicher

Die Energie wird in Form von Druckflüssigkeit im Speicher gelagert. Die Aufnahme und Abgabe wird durch den elektronischen Controller gesteuert und kann sehr schnell erfolgen. Die Höhe der Ladung (SoC) und der Temperaturen haben keinen Einfluss auf die Fahrleistungen des Autos. Abweichend von elektrischen Batterien kann hier auch die gesamte Speicherkapazität ohne Lebensdauereinbussen beansprucht werden.

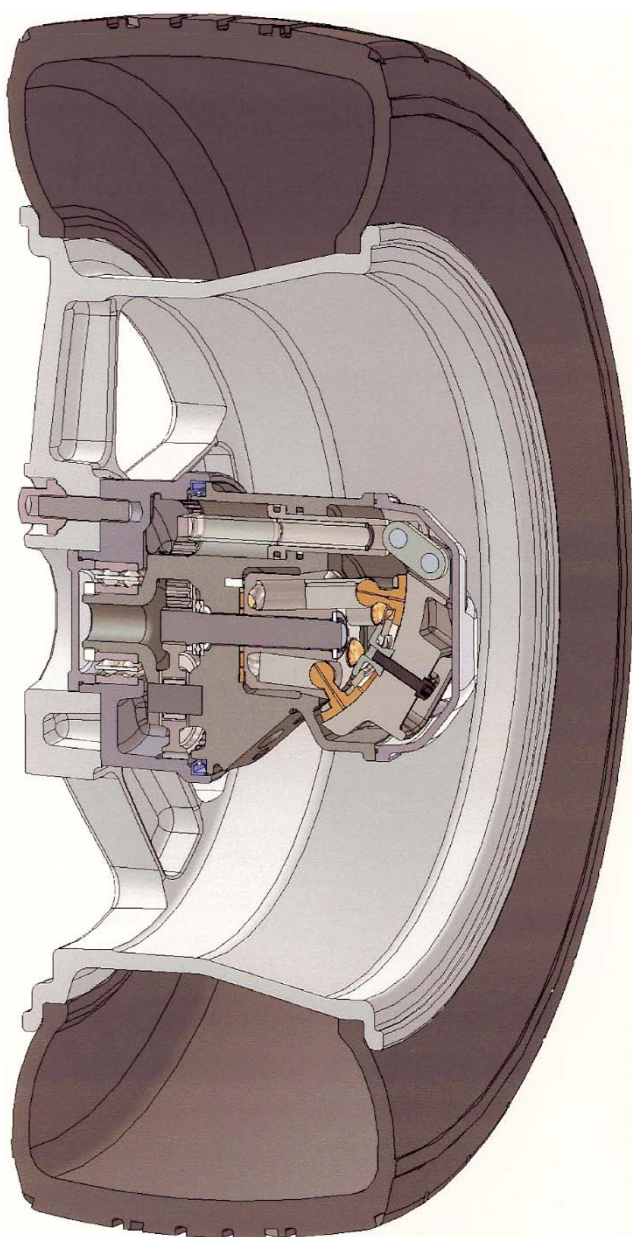
Die einströmende Flüssigkeit komprimiert eine Gasblase die dadurch die Energie aufnimmt. Die Behälter sind aus Kohlenstofffasern oder ähnlichen Werkstoffen hergestellt. Die Herstellung ist vergleichbar mit denen von Erdgas. [22] Die beiden Speicher sind zu einer T-förmigen Einheit zusammengefasst und bilden das Rückgrad des Fahrzeuges. Im Falle einer Kollision wird das nicht brennbare Gas der Blase unmittelbar an die Umgebung abgeführt. Die Blase ist mit Schaumstoff gefüllt um die Wärmeverluste zu reduzieren. [6]

Die Biege- und Torsionssteifigkeit der Speichereinheit ist sehr hoch. Die internen Axialkräfte betragen ca. ein hundertfaches des Fahrzeuggewichtes. Eine geringfügige Erhöhung der Wandstärken (10%) ist daher ausreichend die Lastaufnahmefähigkeit der Speichereinheit um den Betrag der zusätzlichen erwarteten äusseren Kräfte auf das Fahrzeug zu erhöhen. Aufhängepunkte für den Karosserieaufbau, die Hilfsplattform der Antriebsbaugruppen, Radaufhängungen und aktiven Stossfänger sind integriert.

Der minimale Druckwert des Hochdruck-Speichers ‚A‘ (320 bar – 480 bar) ermöglicht es die hohen Bremsmomente der Radmotoren unter extremen Bedingungen zu erreichen. Der Wert ermöglicht auch eine grössere Verdichtung für den Kaltstart oder die Verwendung von Alternativ-Kraftstoffen die eine höhere Zündtemperatur erfordern. Der Ladungszustand des Speichers ‚A‘ wird durch die Fahrgeschwindigkeit bestimmt. (V_{\min} = Speicher voll, V_{\max} = Speicher leer.) Dadurch steht bei jeder Geschwindigkeit ausreichend Energie für die Beschleunigung und Kapazität für die volle Speicherung der Bremsenergie zur Verfügung. Der grosse Druckbereich des Mitteldruck-Speichers ‚B‘ (120 bar - 420 bar) ergibt eine hohe Speicherkapazität. Dieser Speicher wird überwiegend für das normale Fahren bei verwendet.

7. Radmotoren

Bild 7: Radmotor



Der Radmotor besteht aus einem hydraulischen Axial-Kolben Motor mit stufenlos verstellbarem Hubvolumen und einem einstufigen Planetengetriebe. Die neuartige Bauweise erfüllt die für Strassenfahrzeuge erforderlichen hohen Voraussetzungen hinsichtlich Wirkungsgrad, Leistungsdichte und sehr weiten Bereichen für die Drehzahl und Verstellung des Hubvolumens.

Die Baugrösse des Motors wird durch das maximal erforderliche Bremsmoment des Rades bestimmt. Die Eckleistung der angetriebenen Räder beträgt 530 kW (720 PS) bei einem um ca. 30% verringertem Fahrzeuggewicht. Die Radmotoren sind wesentlich leichter als die Scheibenbremsen die sie ersetzen.

Die Verstellung der Schwenkwiege im Motor verändert das Hubvolumen von Null bis zum Maximum und, multipliziert mit dem Druck der Flüssigkeit, das Drehmoment. Die Verstellung wird vom Bordcomputer vorgenommen. Bei geringen Geschwindigkeiten wird nur eines der Hinterräder angetrieben, um den Radmotor im Bereich hoher Wirkungsgrade zu betreiben. Zwei oder mehr Radmotoren werden aktiviert wenn höhere Leistungen beim Beschleunigen oder eine grössere dynamische Fahrstabilität verlangt wird.

Bild 7 zeigt das Vorderrad. Die Abmessungen des Radmotores für das Hinterrad sind ca. 1/5 kleiner.

7.1. Hydraulischer Axial-Kolben Motor

Die Funktionen hydraulischer Motoren oder Pumpen können mit denen elektrischer Motoren bzw. Generatoren verglichen werden. Anstelle elektrischen Stromes verwenden hydraulische Motoren jedoch einen Strom von Druckflüssigkeit für die Übertragung der Leistung. Betriebsdruck und Flüssigkeitsstrom (Elektrik: Volt und Ampere) bestimmen hier die Grösse der übertragenen Leistung. Hydraulische Systeme ermöglichen hier jedoch im Vergleich zu elektrischen eine mehrfach höhere Leistungsdichte (Bauraum, Gewicht), bessere Kontrolle der Betriebsdaten und eine einfachere Speicherung der Leistung. Die stufenlose Verstellung des Flüssigkeitsstromes bzw. dessen Umkehr wird durch die Schwenkung der Schrägscheibe im Motor erreicht. Der Betriebsdruck ergibt sich aus der Belastung.

Die Maximalleistung der Radmotoren des 2 Liter Autos wird nur bei extremen Bremsungen benötigt. Im Verhältnis hierzu erfordert das Beschleunigen des Fahrzeuges nur mittlere und das Fahren mit konstanten mittleren Geschwindigkeiten nur sehr geringe Leistungen - < 5 %. Ein sehr weiter Leistungsbereich mit geringen Verlusten ist daher die Vorbedingung für die Verwendung von hydrostatischen Fahrtriebe in Strassenfahrzeugen. Das ‚Gesamt-Regelverhältnis‘ bestimmt die Güte des Antriebes für diese Anwendung, und ergibt sich aus der Multiplikation des jeweiligen maximal/minimal Wertes für Hubvolumen, Drehzahl und Druck. Der Maximalwert ist konstruktionsbedingt, und die Minimalwerte ergeben sich aus den in der Praxis akzeptierbaren Werten die im wesentlichen durch die Wirkungsgrade (Verluste) bestimmt werden.

Die drastische Verbesserung aller relevanten technischen Daten und die der Kosten sind daher erforderlich, um diese Fahrtriebe vorteilhaft für Strassenfahrzeugen zu verwenden. Die technischen Verbesserungen werden durch die Anwendung neuer Konstruktionsmerkmale erzielt und die der Kosten durch reduzierten Materialaufwand (>50%) und eine stark verringerte Teilezahl. Diese Ursachen hierfür sind:

Kegelige Zylinderlagerung:

- Erhöhte Zylinder Lagestabilisierung (Leckage, Verschleiss, Geräusch).
- Reduzierter Durchmesser durch biegefreie Antriebswelle.

Sphärische Kolben-Laufbahnen:

- Erweiterter Regelbereich (50%) durch reduzierte Kolbenseitenkräfte.
- Erhöhter Wirkungsgrad bei verkürzter Baulänge.

Interne Formschlüssige Führung:

- Erhöhte Gleitschuh Lagestabilisierung (Leckage, Verschleiss, Geräusch).
- Erweiterter Drehzahlbereich.

Gerade Kolbenanzahl:

- Reduzierte Pulsationskräfte und Geräusch.
- Mitteldruck-Sektion für Geräusch- und Leckageminderung.

Aussermittige Schwenkung:

- Verringerte Kompressions- und Reibverluste.

Ein Vergleich technischer Daten mit denen derzeitiger Produkte ist in Tabelle 5 aufgeführt. Alle Gewichtsangaben beziehen sich auf komplette, reversierbare Pumpen-Einheiten für geschlossene Kreisläufe. Die Werte des neuen Motors basieren auf den Testdaten des PoC Modelles und denen der oben aufgeführten neuen Konstruktionsmerkmale. Die Verbesserungen zeigen an, dass die für einen Fahrtrieb erforderlichen technischen Daten und Kosten erreicht werden sollten.

Tabelle 5: Technische Daten - Axial-Kolben Pumpen*						
Produktdaten	Dimension	Prototyp	PoC Modell	Hersteller A	Hersteller B	
Hubvolumen	cm ³ /U	100	90	100	90	
Betriebsdruck	bar	500	420	480	420	
Drehzahl	1/min	6000	3800	3650	2900	
Schwenkwinkel (Hubvolumen)	Grad	32	25	18	18	
Gewicht	kg	19	28	68	51	
Eckleistung	kW	500	240	292	183	
Leistungsgewicht	kg/kW	0,038 \ ___	0,117 6.1	0,233 ___ /	0,278	
Wirkungsgrad	Betriebsdruck	bar	120	-	120	120
bedingte, praktikable	Drehzahl	1/min	500	-	600	600
Minimalwerte:	Schwenkwinkel	Grad	6	-	7	7
Gesamt-Regelverhältnis	-	267 \ ___	111 4,2	63 ___ /	44	
Verhältnisse: Druck x Drehzahl x Schwenkwinkel Beispiel Prototyp: 500/120 x 6000/500 x 32/6 = 267						

*) Vergleich von reversierbaren Einheiten für geschlossenen Kreislauf, mit Füllpumpe, Ventilen und Steuergerät.

Die Werte zeigen, das Gewicht der Radmotoren würde sich bei Anwendung derzeitiger Technologien mehr als vervierfachen und damit dem ca. doppelten gegenwärtiger Scheibenbremsen entsprechen. Eine alternative Anbringung der Motoren im Fahrzeugkörper ergibt eine zusätzliche Erhöhungen von Raumbedarf, Gewicht, (Gelenkwellen) und Kosten. Ein geringerer Gesamt-Regelbereich erfordert ein zwei- oder dreistufiges Schaltgetriebe in den Radmotoren. Diese Lösung ist für Strassenfahrzeuge aus fahrtechnischen Gründen und der hoher Gewichte und Kosten wegen nicht akzeptierbar. In allen Fällen erhöhen sich ausserdem die Baugrösse der Motoren und deren Kosten und Energieverluste.

Stand der Entwicklung: Die Maximalleistung des PoC Modelles ist 1987 erfolgreich getestet worden. (Liebherr-Bulle, Schweiz) Die Wirkungsgrade für sehr geringe Leistungen (<0,5%) wurden 1988 gemessen. (UW-Madison, Madison, Wisconsin, USA) Diese Ergebnisse und die erwartenden Auswirkungen der geplanten Verbesserungen wurden bei der Berechnung des Verbrauches berücksichtigt.

7.2. Wirkungsgrad

Die Wirkungsgradverluste entstehen durch mechanische Reibung, sowie Flüssigkeits- und Kompressionsverluste. Eine Reduzierung der Verluste, speziell in Bereichen sehr kleiner Leistungen, erhöht das Gesamt-Regelverhältnis und damit den Anwendungsbereich des hydrostatischer Antriebes ganz erheblich. (Tab. 5)

Die bedeutenden Reibverluste entstehen zwischen den Gleitschuhen und der Schwenkwiege und durch die Vorspannung des Triebwerkes. Die Verringerung der Kolben- (30%) und Vorspannkkräfte (75%) sowie die PVD Beschichtung der Laufflächen reduziert die mechanischen Verluste erheblich. [23][24] Geringere Leckageverluste werden durch verkürzte Dichtlängen (30%) erzielt. Weitere wesentlichen Verluste ergeben sich durch Lage-Instabilitäten an der Stirnfläche der Gleitschuhe und beim Druckausgleich zwischen dem Hoch- und Niederdruck-Kanal in der Ventilplatte. Die Leck- und Reibkraftverluste an den Gleitschuhen werden durch eine winkelkontrollierte Steuerung des Entlastungsdruckes und deren formschlüssige Führung merkbar verringert. Der Mitteldruck-Kanal in der Ventilplatte resultiert in eine starke Reduzierung der Pulsation der Kolbenkräfte und der inneren Leckageverluste. Eine exzentrische Lagerung der Schwenkwiege minimiert die Kompressionsverluste.

8. Geräusentwicklung.

Antriebsmotor: Die axialen Bewegungskräfte der Frei-Kolben gleichen sich im Prinzip vollständig aus. Roationsbewegungen die Schwingungen erzeugen treten nicht auf. Der sehr kleine, gekapselte Motor ist elastisch an der Plattform aufgehängt und arbeitet nur während der Aufladung des Speichers.

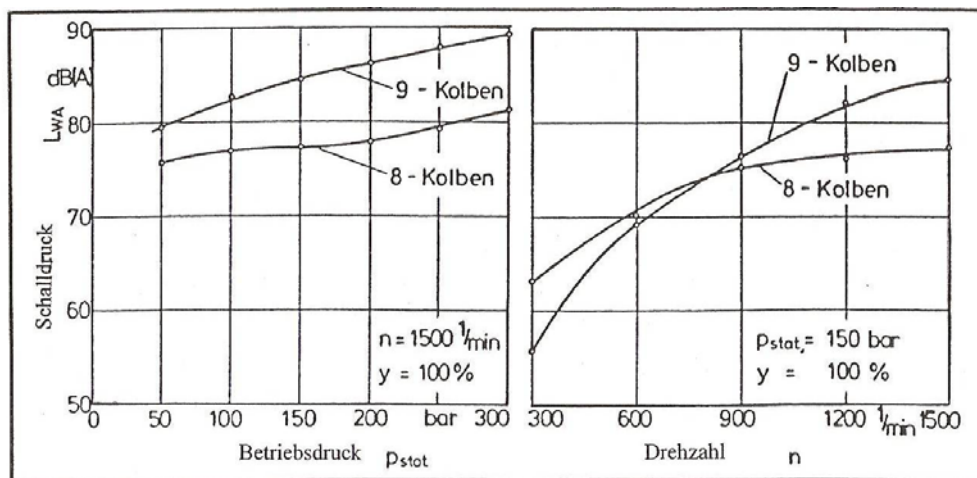
Hydraulischer Kreislauf: Die Druckflüssigkeit wird durch Rohre und Schläuche übertragen die elastisch and der Plattform befestigt sind. Der Fahrzeugaufbau ist über aktive oder passive Dämpfungselemente mit der Plattform verbunden. Höhere Betriebsgeräusche sind nur bei sehr hohen Leistungen (Not-Bremsungen) zu erwarten und können durch sorgfältige Auslegung der Baugruppen auf ein für den Fahrantrieb akzeptables Niveau reduziert werden.

Radmotore: Die übertragene Leistung der Radmotoren liegt bei konstanten Geschwindigkeiten im Stadtverkehr unterhalb 5% und auf der Landstrasse unterhalb 20% der Maximalleistung. Die für eine geringe Geräuschabstrahlung angewandten Konstruktionsmerkmale sind in Bild 8 aufgeführt. Der Axial-Kolben Motor hat sehr geringe Abmessungen (10 x 10 x 12 cm) und ist daher einfach und wirkungsvoll kapselbar.

Bild 8: Massnahmen zur Geräuschminderung - Axial-Kolben Motor

- | | |
|---|-----------|
| 1. Reduzierung der Erregerkräfte. | - 30 % |
| 2. Zweistufiger Druckausgleich and der Ventilplatte. | 2 - 4 dBA |
| 2. Kräftefluss nicht durch die Gehäuseschale. | * |
| 3. Gleitlagerung des Zylinders.
(Reduzierung durch Gleitlagerung bei kleinen Zahnradpumpen: 2 - 5 dBA) | 4 - 6 dBA |
| 4. Massives Gehäuse mit kleinem Schalenanteil. | * |
| 5. Keine Seitenbelastung der Antriebswelle.
(Keine pulsierende Wellenbiegung, kein Abrollen des Wellenprofiles) | * |
| 6. Halbierung der Pulsationen durch gerade Kolbenanzahl.
(Pumpen mit gerader und ungrader Kolbenzahl -Ssiehe Diagramm unten.
Messungen: RWTH Aachen) [25] | 4 - 8 dBA |

(*) Anhaltswerte nicht bekannt.



Geräuschvergleich: Axial-Kolben Pumpe mit gerader (8) und ungrader (9) Anzahl von Kolben.

ANHANG

Anmerkungen zu Hydrostatischen Fahrtrieben.

Hydrostatische Antriebe werden gegenwärtig überwiegend in Baufahrzeugen (Planiertrappen, Hydraulik Bagger), Garten Traktoren und industriellen Anlagen (Pressen) verwendet. Das Fahren ohne Unterbrechung der Antriebskraft, die sehr gute Kontrollierbarkeit der Leistung sowie die Fähigkeit Energie sehr schnell zu speichern und wieder abzugeben sind hier die wesentlichen Gründe für die Anwendung dieser Technologie. Die Antriebe werden jedoch in vielen Fällen als laut, schwer, teuer und undicht angesehen. Die folgenden Anmerkungen sollen diese Ansichten relativieren:

Gewicht: Der neue hydrostatische Antrieb mit Energiespeicherung ist 170 kg (40%) leichter als die herkömmlichen mechanischen Fahrtriebe. (Tabelle 4) Der Gewichts- und Baugrößenunterschied zu den neuen alternativen Antrieben (Hybrid- und Fuel-Cell Antriebe) ist noch erheblich grösser. Die neuen Axial-Kolben Pumpen/Motoren sind auch wesentlich leichter und kleiner als die gegenwärtigen Produkte. (Tabelle 5)

Kosten: Aufgrund der Einfachheit des Antriebes ist zu erwarten, dass die Herstellkosten langfristig gesehen geringer, und die Kraftstoff- und Unterhaltungskosten wesentlich geringer sein werden als die gegenwärtiger Fahrzeuge. Eine Umstellung der Infrastruktur der Energieversorgung (Tankstellen) ist nicht erforderlich.

Die Produktionsmethoden entsprechen dem gegenwärtigen Stand der Technik. Die Anzahl der Einzelteile sowie der Materialeinsatz für den Fahrtrieb sind deutlich geringer (Fertigteile -170 kg). Enge Fertigungstoleranzen beziehen sich auf kleine, massive Bauteile einfacher Geometrien. Die Montagekosten sind niedriger aufgrund der geringeren Anzahl von Bauteilen und grösseren Teilegleichheit.

Die Materialkosten für den Kohlefaser-Verbund Druckspeicher sind ein wesentliche Faktor. Die Voraussagen hinsichtlich der Kosten dieses Werkstoffes lassen jedoch erwarten, dass die Herstellkosten des neuen Fahrzeuges aufgrund der Einsparungen von 420 kg an Fertigteilen (Fahrtrieb 170 kg, Karosserie 250 kg) bereits mittelfristig mit denen derzeitiger Personenwagen vergleichbar sein werden. Langfristig sollten die Material- und Fertigungskosten der Speichereinheit (85 kg) durch die Einsparungen mehr als aufgewogen werden. Es wird daher erwartet, dass die Herstellkosten des Fahrzeuges langfristig geringer sein werden. [26][27]

Die konstanten Operations- und verbesserten Verbrennungsbedingungen des Frei-Kolben Antriebsmotors reduzieren die Emissionen erheblich und dadurch die Art und den Umfang der Abgas-Nachbehandlung. Der geringe Durchsatz an Abgasen (ca. 1/6) und deren verbesserte Qualität reduziert die Kosten der Anlage ganz erheblich.

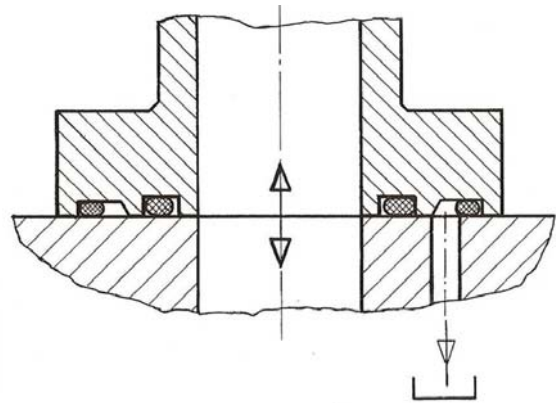
Mit einer zunehmender Verfeinerung des Antriebskonzeptes - Standardisierte Plattform plus anwendungsorientierte Karosserie - sowie einer Reduzierung des Wartungsaufwandes und der Unfallfolgekosten durch aktive Stossfänger ist zu erwarten dass sich die Unterhaltskosten zusätzlich verringern.

Geräusch: Generell wird angenommen, dass hydrostatische Antriebe laut sind. Bei Übertragung dieser Annahme auf Strassenfahrzeuge sollte jedoch berücksichtigt werden:

- Derzeitige Maschinen mit hydrostatischen Antrieben werden überwiegend in ihrem oberen Leistungsbereich betrieben (50 kW - 300 kW), während Personenwagen überwiegend nur mit einem zehntel ihrer Leistung (5 kW - 20 kW) angetrieben werden.
- Die Quelle von Geräuschen ist bei den derzeitigen Anwendungen vielfältiger: Arbeitsgeräusche, Zusatzantriebe, ungekapselte Motoren und grosse Lüfter zur Abführung der Wärme die durch grössere Verlustleistungen (Wirkungsgrad) entstanden sind.

Dichtheit:

Alle Hochdruckverbindungen haben eine doppelte O-Ring Abdichtung. Eventuell ausschwitzende oder auslaufende Flüssigkeit wird in den Tank geleitet. Daher wird nur drucklose Flüssigkeit zur Umwelt hin abgedichtet. Der zusätzliche Aufwand hinsichtlich Kosten und Bauraum ist vernachlässigbar.



Stellungnahmen

Ganzseitige Vorstellung des 2-Liter Autos in der New York Times vom 14. Februar 1996:

How Much Is It Worth To You To Increase Your Car's Gas Mileage To 120 MPG?

1. As a mechanical engineer, I know that your engineering principles are sound and that the projected energy savings are realistic.

Richard E. Kronauer
Professor of Mechanical Engineering
Harvard University
Cambridge, MA

2. I mention these factors only to demonstrate my familiarity with your concept and conviction that it offers a significant improvement in design concept over current autos.

Peter Hunt
Director of Research and Analysis
House Subcommittee on Energy and Power
Alexandria, VA

3. He is not a crackpot. This is not like a backyard inventor, trying to solve the energy crisis.

Tom Wanke
Professor – Director, Fluid Power Institute
Milwaukee School of Engineering
Milwaukee, WI

4. It appears that the Hydrostatic Powertrain with Energy Storage would go a long way in the right direction. We certainly support to further existing development and ask our government

Marion Leonhard
Director
Save our World
Sag Harbor, NY

5. ... a major portion of the smoggy ‘soup’ that completely blankets the residential area of the city ... is due to vehicular emissions ... and the situation shows precious few signs of improving, unless there is a major technological breakthrough in thinking. I hope your system might be just such a technological advance.

Lic. Robert A. Fredericks S.
Professor
Presidente I.D.E.A
Oaxaca, Mexico

6. We stand inalterably opposed to such (governmental) support, even as we may, subject to your further proof of your claims, totally support your work, even to the point of interest in considerable investment.

John H. Com – Carol A. Com-Fields
Chicago, IL

7. As one of the topics we are examining is how to evaluate new products and technologies in terms of their economical feasibility.

Robert L. Berry, Ambassador
Clinical Professor
Environmental Studies
Kellogg Graduate School of Management
Northwestern University
Evanston, IL

8. I did not write the above to discourage you. I hope you succeed. However, the NIH (Not invented here) factor is very strong in the auto industry

John R. Sellars, Ph.D.
Aeronautical Engineer
Redondo Beach, CA

9. ... will encourage the government to make it difficult for you to succeed, so it will take a lot of efforts to make it work. The theory behind your idea is solid and I wish you good luck.

Paul R. Overmyer
Sunnyvale, CA

10. I want to encourage you to keep me informed about your development. Especially with regards to legislative changes that would facilitate your goals, but in others ways, we may be able to find opportunities to work together.

Ned Ford
Energy Chair
Sierra Club – Ohio Chapter
Cincinnati, OH

11. I hope the ad will spur academic and other researchers worldwide to seriously examine your technology and the claims you have made for it.

Mark Ellis
Graduate Student
MIT – Technology and Policy Program
Cambridge, MA

12. I frankly do not know what to believe about your claims. If true, you are indeed worthy of a second look here in Washington.

Michael G. Frodl
Attorney and Counselor at Law
Chairman of the Environmental Committee
Bar Association of the District of Columbia

13. The concept of your powertrain certainly makes basic technical sense. Your problem is the inertia (sorry for the pun!) of the automotive industry – not the technology.

Richard A. Turner
President
Fish Creek Technologies, Inc.
West Caldwell, NJ

14. People want what you are doing to work, and if you make enough noise, somebody will hear you. If you have no capabilities of creating an internet page, I personally would be honored to create one for you with your permission and the permission of my school.

Matthew Gallino
Student
Columbia University
New York, NY

15. For reasons of national security alone, I strongly recommend that our government acts to subsidize its final development.

Anders Nereim
Chairman
Interior Architecture Department
School of the Art Institute of Chicago
Chicago, IL

16. Your concept appears to be precisely the kind of innovation that should receive support. I regret that financial support is something I am not able to provide.

James A. Schmid, Ph.D.
President
Schmid & Company, Inc.
Media, PA

Reaktionen zur Anzeige: 1,841

Literaturhinweise

1. Hoehlein, B., v. Andrian, S., Biedermann, P., Grube, Th., Menzer, R.: Critical Assessment of Powertrains with Fuel-Cell Systems. Proceedings, Global Powertrain Congress, Stuttgart, Germany, October 1999.
2. Bosch – Automotive Handbook, SAE 2000.
3. Lovins, A.D., Barnett, J.W.: Advanced ultralight hybrid-electric vehicles. Rocky Mountain Institute. 1739 Snowmass Creek Road, Snowmass, CO 81654-9199.
4. Mollenhauer, K.: Handbuch Dieselmotoren. Springer, 2002.
5. ATZ/MTZ extra. Vieweg Verlag, Oktober 2003.
6. Otis, D.R. at all: Improving Performance of a Gas-Charged Accumulator Using Elastomeric Foams. Proceedings, International Symposium on Advanced and Hybrid Vehicles, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, September 1994.
7. Hibi, A.: Hydraulic Free-Piston Internal Combustion Engine. Hydraulic, Pneumatic, Mechanical Power. March/April 1984.
8. Achten, P.: A Review of Free-Piston Engine Concepts. SAE Report 941776.
9. Somhorst, J.H.E. at all: The Combustion Process in a DI Diesel Hydraulic Free-Piston Engine. SAE Report 960032.
10. Heywood, J.B., Sher, F.: The Two-Stroke Cycle Engine. Taylor & Francis/SAE, 1999.
11. Tree, D.R. at all: Experimental Measurements on the Effects on Insulated Pistons on Engine Performance and Heat Transfer. SAE Report 960317.
12. Munz, D., Fett, T.: Ceramics. Springer, 1999.
13. Goldsborough, S.S., Van Blarigan, P.: Optimizing the Scavenging Process for a Two-Stroke Cycle, Free Piston Engine for High Efficiency and Low Emissions: A Computational Approach. SAE 2003-01-0001.
14. Warnatz, J. at all: Combustion. Springer, 1999.
15. Borman, G.L., Ragland, K.W.: Combustion Engineering. WCB McGraw Hill, 1998.
16. Goldsborough, S.S.: Van Blarigan, P.: A Numerical Study of a Free-Piston IC Engine Operating on Homogeneous Charge Compression Ignition Combustion. SAE Report 1999-01-0619.
17. Kabori, S. at all: Ignition, Combustion and Emissions in a DI Diesel Engine Equipped with a Micro-Hole Nozzle. SAE Report 960321.
18. Sirignano, W.A.: Fluid Dynamics and Transport of Droplets and Sprays. Cambridge University Press. 1999.

19. Tomanaga, T. at all: A Study of Combustion Behavior of a Diesel Fuel Spray Impinging on a Wall. SAE Report 960028.
20. Heywood, J.B.: Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw Hill, 1988.
21. Sher, E.: Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines. Academic Press, 1998.
22. GRI – Gas Research Institute: Compressed Natural Gas Storage Optimization for Natural Gas Vehicles. Institute of Gas Technology, Des Plaines, IL.
23. Berger, M.: PVD Schichten für Antriebselemente. VDI Berichte, Nr. 859, 1990.
24. Beyer, E., Scheibe, H.-J., Schultrich, B., Weihnacht, V.: Deposition Technology, Tribological Properties and Applications of Superhard Amorphous (ta-C) Carbon Films. Fraunhofer USA, Center for Coatings and Laser Applications, East Lansing, MI, USA.
25. Haarhaus, M., Haas, H.J.: Untersuchung neuer Wege zur Geräuschminderung bei Axialkolbeneinheiten. o+p ölhydraulik und pneumatik, 29 (1985) Nr. 3.
26. Moore, T.C., Lovins, A.B.: Vehicle Design Strategies to Meet and Exceed PNGV Goals. The Hyper Car Center, Rocky Mountain Institute. SAE Report 951906.
27. Mascarin, A.E., Dieffenbach, J.R., Brylawski, M.M., Cramer, D.A., Lovins, A. B.: Costing the Ultralite in Volume Production: Can Advanced Body-in-White be Affordable? The Hyper Car Center - Rocky Mountain Institute. 1995.