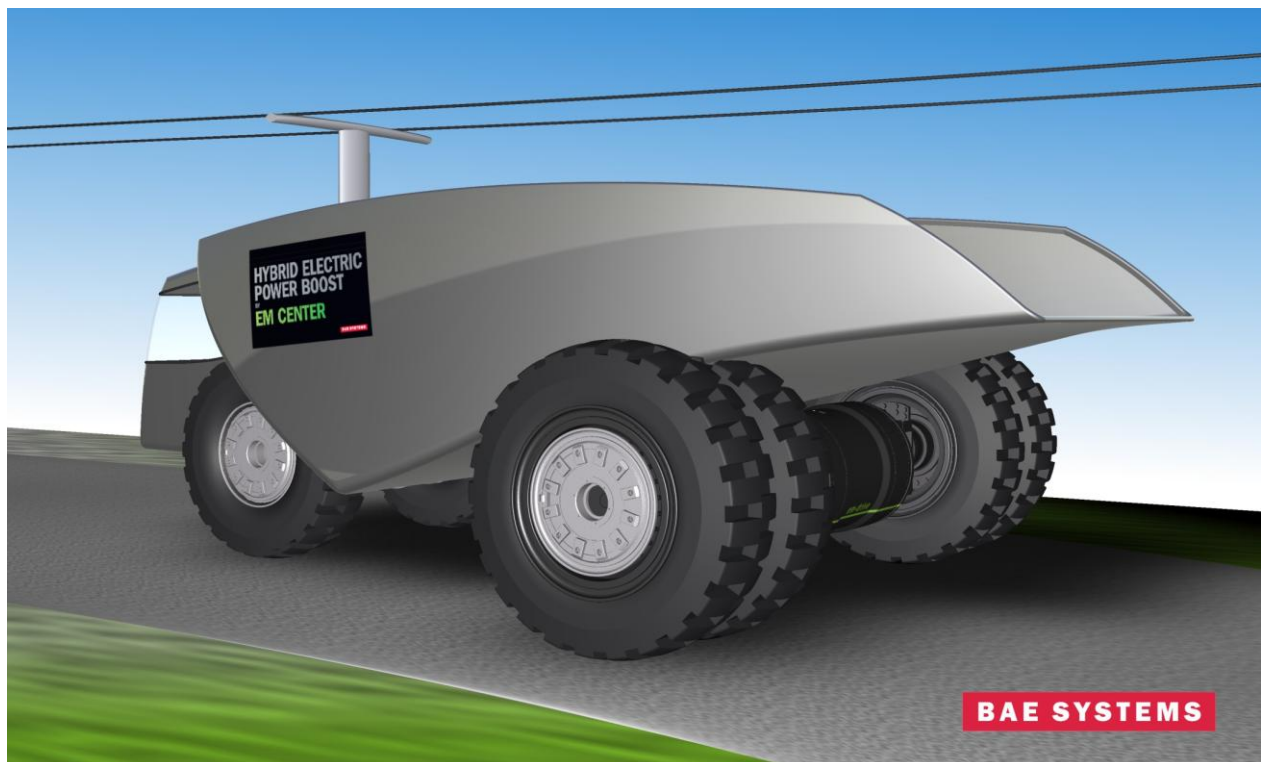


# Fordonssystem för Elvägar



Vilka möjligheter och fördelar finns det med fordon som anpassas för elektrifierade vägsträckor? Hur kan dessa fordons drivsystem och fordonssystem utformas? Vilka är motiven för en elektrifiering av tyngre transportfordon? Vilka utmaningar finns för att anpassa dessa system för elektrifierade vägar?

Dessa frågor belyses i denna rapport som utgör en del-rapport av ett forskningsprojekt med fokus på elektrifierade vägar. Förslag till utformning av dieselektriska drivlinor/hybrid drivlinor presenteras. Ett specifikt förslag till utformning av ett testfordon pekas ut, tänkt som ett förslag till ett prototypfordon att utveckla för en fortsatt test och utvärderingsverksamhet av elektrifierade vägar.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion och bakgrund.....</b>	<b>3</b>
1.1	Syfte.....	4
1.2	Omfattning och avgränsning .....	4
1.3	Avsedda läsare .....	6
1.4	Definitioner.....	6
1.5	Referenser .....	7
<b>2</b>	<b>Fordonssystem för Elvägar – en sammanfattning.....</b>	<b>8</b>
2.1	Drivkrafter .....	8
2.2	Önskingar och krav .....	8
2.3	Potential med elhybridteknik och fordon för elektrifierade vägar.....	9
2.4	Utmaningar .....	10
2.5	Förslag till prototypfordon.....	10
2.6	Slutsatser .....	11
<b>3</b>	<b>Drivkrafter för anpassning av tyngre transportfordon för Elvägar.....</b>	<b>12</b>
3.1	Kostnaden att äga och driva fordonet .....	13
3.2	Kapacitet och prestanda .....	14
3.3	Övriga aspekter.....	15
<b>4</b>	<b>Principlösningar och varianter av drivlinor för Elvägar. ....</b>	<b>17</b>
4.1	Principlösning av pantografansluten drivlina .....	18
4.2	Parallella och seriella hybridlösningar .....	19
4.2.1	Parallellhybridsystem .....	19
4.2.2	Seriehybridsystem.....	21
4.3	Funktioner .....	22
4.4	Fysisk systemuppbyggnad /Principschema .....	22
4.4.1	Gränssytor .....	24
4.4.2	Systemets olika ingående delar .....	24
<b>5</b>	<b>Utmaningar .....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Förslag till principutformning av prototypfordon .....</b>	<b>41</b>
6.1	Exempel på olika principlösningar av elektriska drivlinor för elektrifierade vägar. ....	41
6.2	Förslag till principlösning för prototypfordon.....	43
6.2.1	Beskrivning av prototypfordonet.....	44
<b>7</b>	<b>Slutsatser.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUKTION OCH BAKGRUND

Denna rapport är utarbetad av BAE Systems Hägglunds inom ramen för samarbetsprojektet Elektriska Vägar med fokus på utformning och integration av strömavtagare för matning av elkraft till tyngre transportfordon. Projektet samfinansieras av parterna och staten, den senare genom Energimyndigheten och VINNOVA.

Följande parter förutom de nämnda statliga myndigheterna har ingått i projektet:

- Svenska Elvägar AB
- Trafikverket
- BAE System Hägglunds AB
- Balfour Beatty Rail AB
- Mälardalens Högskola – robotdalen
- Elforsk

I projektet har dialog även skett med Scania och Volvo.



*Figur 1. Bilden visar ett framtida transportfordon som kör uppkopplat mot en elektrifierad vägsträcka. Bilden är framtagen av Svenska Elvägar AB som huvudansvarig för projektet "Elektriska vägar" med flera parter inblandade.*

Projektet är en förstudie som syftar till att utreda möjligheter och förutsättningar för elektrifierade vägar med huvudfokus på att belysa strömavtagarens utformning och funktion, vilket naturligt även resulterar i att i viss utsträckning belysa angränsande system. Angränsande system måste anpassas mot strömavtagaren men dessa systemen ställer även krav på strömavtagaren för att en fungerande lösning skall kunna erhållas.

De globala drivkrafter som talar för Elvägar kopplar till möjligheten att minska oljeberoendet och finna långsiktigt hållbara energilösningar. De fossila bränsletillgångarna är begränsade varför nya lösningar krävs. Det hela handlar även om miljöhänsyn och möjlighet att reducera kostnaderna för transportverksamhet.

Tilläggas bör även att BAE System Hägglunds AB, som står för utformningen av denna rapport, har haft en inriktning att konstruera och integrera dieselektriska drivlinor och drivsystem för tyngre fordon, som inledningsvis var för militär användning. Erfarenheten och kompetensen för tillämpning av dieselektriska drivsystem har på senare tid inriktats mot fordonsprojekt för den civila marknaden.

## 1.1 Syfte

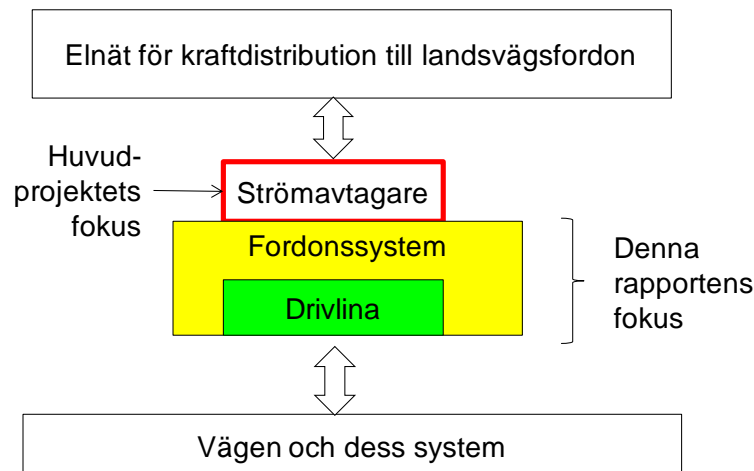
Om el-vägar inrättas utifrån övergripande globala drivkrafter ställer detta krav på att anpassade fordon tas fram. Denna rapport avser att belysa drivkrafter, möjligheter och motiv för en elektrifiering av drivlinorna för dessa fordon, som kan samverka med de globala övergripande kraven, som drivkraft för ett införande av elektrifierade vägar.

Syftet med denna rapport är att ge en bakgrund och fördjupad information till den sammanfattning som beskriver fordonssystemen i huvudrapporten för projektet Elektriska Vägar.

Ambitionen är att redovisa typiska och möjliga lösningar för sådana fordonssystem för att klargöra vad en sådan anpassning kan innebära i fråga om systemuppbyggnad. Rapporten avser belysa vilka insatser och utmaningar som är förknippade med detta.

## 1.2 Omfattning och avgränsning

Dokumentet beskriver olika möjliga systemuppbyggnader och principlösningar av tyngre fordon och i huvudsak så kallade "Långtradare" för att kunna ansluta dessa mot elektrifierade vägnät. Vid anslutning och drivs fordonen endast av elnätet och förbränningsmotor används inte.



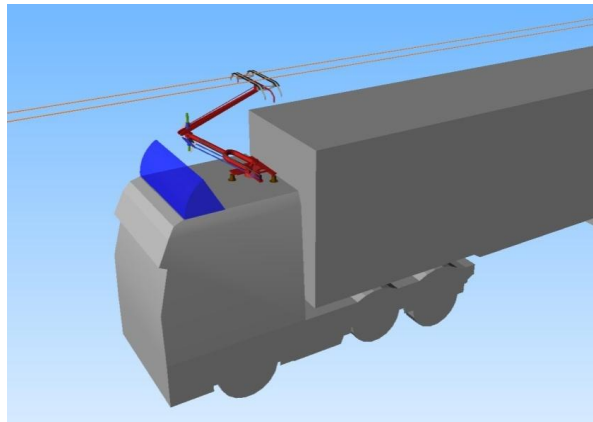
Figur 2. Bilden visar en övergripande vy av de delsystem som ingår i huvudprojektet om Elektriska vägar där huvudfokus ligger på Strömavtagaren. Denna rapport har fokus på fordonssystemen och deras drivlina i ett sådant system.

Denna rapport fokuserar i enlighet med Figur 2, på en delmängd av de samverkande system som elektrifierade vägar kräver. I fokus står själva fordonssystemen och de drivkrafter, möjligheter och utmaningar som finns för anpassning av dessa för eldrift och därmed möjliggöra en anslutning till ett elnät. Fokus läggs på integreringen av elektriska drivlinor och elhybridbaserade drivsystems införande i tyngre transportfordon.

Hanteringen av övriga delar i studiearbetet redovisas i huvudrapporten för projektet där bl a strömavtagaren som är i huvudfokus samt elnät och vägnätet beskrivs. En sammanfattning av detta dokument återfinns i huvudrapporten för projektet Elektriska Vägar under kapitlet "Fordonssystem för Elvägar".

Beskrivningen görs på en övergripande och principiell nivå, för att orientera om möjligheten att realisera drivlinor för tyngre transportfordon anpassade för körning på elektrifierade vägar som utgör delar av den totala transportsträckan. Körning på vägnät utan elektrifiering skall alltså även vara möjlig varför anslutning och frånkoppling skall kunna ske under körning, mot de vägavsnitt som har elektrifierats. I grunden krävs därför en dieselektrisk drivlina med eller utan större integrerat energilager, där omkoppling till helelektrisk drift skall kunna ske då anslutning kan göras mot externt elnät.

Någon ingående beskrivning av strömavtagaren (pantograf) görs inte då detta förutsätts göras i annan del i studiearbetet och dess huvudrapport.



*Figur 3. Strömavtagaren, eller Pantografen är i focus för huvudprojektet och beskrivs i annan del i studiearbetet och alltså inte i denna delrapport som fokuserar på fordonssystemet och drivlinan. .*

Avgränsningen av det system som beskrivs omfattar därför drivlinan för ett tyngre dragfordon med släp fram till gränssnittet mot strömavtagaren.

### 1.3 Avsedda läsare

Dokumentet vänder sig till alla som är intresserade av att erhålla en övergripande beskrivning av principiella systemlösningar för elfordon som är anpassade för elvägar. Någon djupare teknisk kunskap krävs inte för att ta del av beskrivningen.

### 1.4 Definitioner

Tung Lastbil	En tung lastbil definieras bl a av en maxvikt som överstiger 3,5 ton. Större tyngre lastbilar oftast med fler än två axlar har en maxvikt på över 16,5 ton. Dessa Tunga Lastbilar kan ha en maxvikt på 30 till 60 ton.(Över 60 ton krävs specialtillstånd i Sverige)
Långtradare	Används för fjärrtransport ofta med maximallängd med en längd mellan ~18 till ~25m
Mellanled	Se DC-link
Pantograf	Pantograf eller stömavtagaren är den del som elektriskt ansluter fordonssystemet till det fasta matningsnätet av elkraft för elektrifierad väg.
DC-Link	Kallas på svenska för DC-buss eller "mellanled" och är den elektriska kraftförmedling med likriktad ström som kopplar samman delsystemen i elhybridsystemet.
Strömavtagare	Se Pantograf

## 1.5 Referenser

Den enda referens som hänvisas till är "Kommunikations och Forskningsberedningen rapport 2000:57 [KFB 2000:57]. Rapporten [KFB 2000:57] är vid upprättandet av detta dokument tillgänglig på "webben" på adressen [www.kfb.se/pdf/R-00-57.pdf](http://www.kfb.se/pdf/R-00-57.pdf). För att ta del av tidiga praktikfall och erhålla mer fördjupad information rekommenderas läsning av denna rapport. Vissa allmänna data och inspiration till figurer är hämtad ur denna rapport.

## 2 FORDONSSYSTEM FÖR ELVÄGAR – EN SAMMANFATTNING

I det följande sammanfattas den fördjupning som görs utifrån fordonssystemens perspektiv då det gäller tillämpning och användning av elektrifierade vägar. För fördjupad bakgrund hänvisas läsaren att ta del av övriga kapitel i rapporten.

### 2.1 Drivkrafter

Drivkrafter för en etablering av elektrifierade vägar i Sverige har utgångspunkter i miljöhänsyn, hållbarhetsaspekter men även möjligtvis nationalekonomiska. Bortsett från detta finns övergripande drivkrafter som självständigt talar för elhybridbaserade drivlinor, även för tyngre last- och dragfordon. Samverkar dessa drivkrafter kan vi betrakta en elektrifiering av framtida vägsträckor som ett komplement och option till transportfordon som redan har en elektrifierad drivlina. I ett sådant perspektiv blir elektrifiering av vissa vägsträckor en rätt naturlig företeelse.

Elektrisk drivning och elhybridbaserade lösningar erbjuder förbättringsmöjligheter för många egenskaper hos fordon som helhet och utökning av drivlinans funktion och kvalitet. I studien utvärderas ett antal aspekter som är centrala för transportverksamhet och fordonsägare. Studien pekar på möjligheter som finns för att möta dessa önskningar och krav med hybridbaserade drivsystem och en elektrifiering av drivlinor för tyngre transportfordon?

### 2.2 Önskningar och krav

Ur en fordonsägares perspektiv finns följande önskningar och krav:

- Reduktion av kostnaden att äga och driva fordonet:
  - Drivmedelskostnad
  - Förare och övriga personalomkostnader
  - Inköp och underhåll (kapitalkostnader mm)
- Öka kapaciteten och prestanda som baseras på:
  - Lastkapacitet och
  - Transporthastighet (acceleration och hastighet)
- Övriga aspekter som t ex
  - Förbättrad volymseffektivitet (lastförmåga)
  - Reducering av vikt och viktfördelning (olastad vikt)
  - Reducering av luftmotstånd (aerodynamiska egenskaper)

På vilket sätt investeringskostnaden för elektrifieringen av vägnätet kommer att betalas och hur betalssystemet kommer att se ut är

grundläggande för hela affärsmodellen för elektrifierade vägar. Detta påverkar i stor utsträckning förutsättningarna för användning av elektriska vägar och hur vägbunden transporverksamhet med detta står sig i konkurrens med andra alternativ.

### 2.3 Potential med elhybridteknik och fordon för elektrifierade vägar.

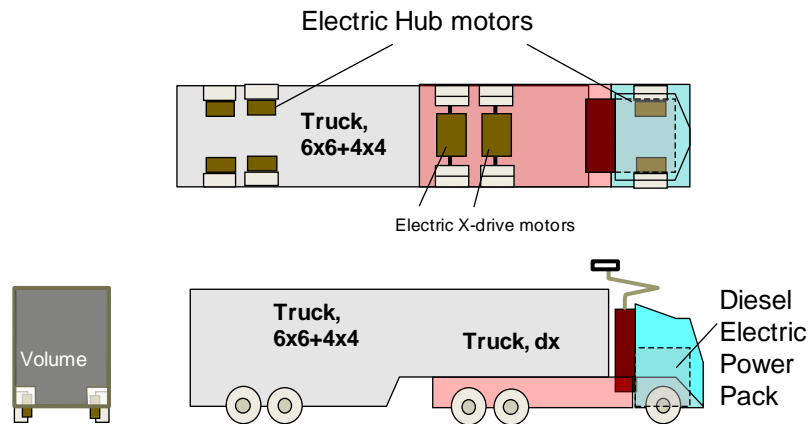
Studiearbetet pekar på att många av ovanstående krav och önskemål har potential att tekniskt kunna mötas för att åstadkomma förbättringar med hjälp av elhybridbaserade system. Där konventionella lösningar för drivlinor inte räcker till kan elektrifiering erbjuda nya möjligheter till förbättringar. Studien konstaterar bl a att följande möjliggörs med elhybridteknik:

- Bränslebesparing upp till 35%
- Återanvändning av bromsenergi
- Reducerade utsläpp av avgasemissioner
- Lägre ljudnivåer
- Lägre underhållskostnader (speciellt med seriehybridlösningar, med bl a reducerat slitage på bromsar men även för andra delsystem).

Studien visar vidare att det finns potential att förbättra följande parametrar vid användning av elektrisk drivning, speciellt vid tillämpning av seriehybridbaserade:

- Utökad lastkapacitet
- Högre transporthastighet och förbättrad framkomlighet (acceleration och hastighet)
- Förbättrad volymseffektivitet (lastförmåga)
- Reducering av vikt och viktfördelning (tom vikt)
- Reducering av luftmotstånd (aerodynamiska egenskaper)

Med Figur 4 redovisas ett exempel på möjligheten att integrera drivning på alla hjul med förbättrad drivförmåga och säkrare framdrivning. Genom att inte använda genomgående drivaxlar för släpet så erhålls utökad lastkapacitet. Utformningen medger reducerat vindmotstånd genom mindre vindfång även i fordonets underrede.



Figur 4. Flexibilitet i elhybridbaserade lösningar ger möjlighet till layoutförbättringar för ökad lastvolym, bättre/säkrare dragkraft och aerodynamiska egenskaper.

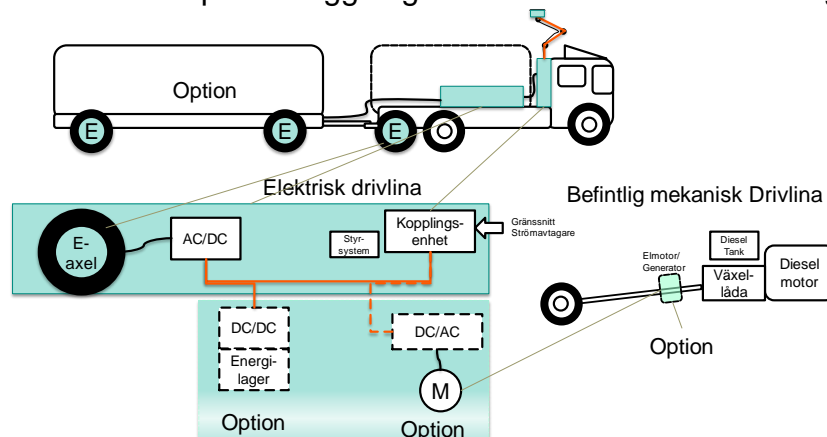
## 2.4 Utmaningar

Utmaningarna för fordonssystemens behov av anpassning för att kunna använda elektrifierade vägar sammanfattas med följande exempel:

- Konkurrens med traditionell redan utvecklad teknik
- Batterisystemutvecklingen, en flaskhals
- Nya infrastrukturer måste byggas upp, vilket tar tid och kräver stora investeringar.
- Kompetensbehovet för fordonsbranschen måste byggas upp för att optimera system och komponenter.
- Drivmedel är ännu relativt billigt

## 2.5 Förslag till prototypfordon

Figur 5 beskriver förslag och optioner för ett prototypfordon att användas för provanläggning för att testa elektrifierade vägar.



Figur 5. Förslag till prototypfordon för fortsatt testverksamhet av elektriska vägar.

## 2.6 Slutsatser

Slutsatserna är att elhybridbaserade lösningar och en elektrifiering av tyngre transportfordon definitivt är tekniskt möjlig. Elhybridbaserade systemlösningar har potential att erbjuda förbättringar av tyngre transportfordon på många sätt. Det finns redan i dag exempel och erfarenhet som pekar på detta. Tydliga drivkrafter för en elektrifiering finns därmed. Dessa drivkrafter samverkar med övergripande motiv och argument för elektrifiering av vägar.

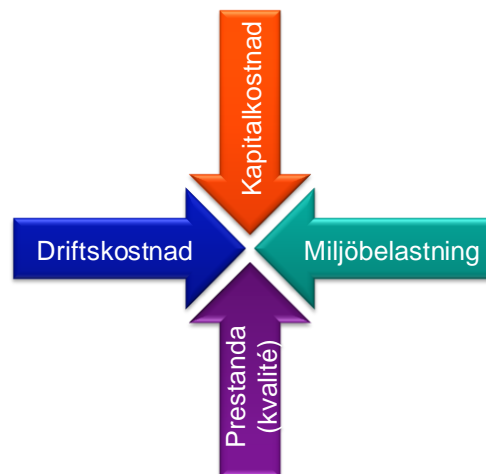
Det finns dock många utmaningar och motkrafter som motverkar en snabb förändring. Kostnaden för investeringen i nya lösningar behöver vägas mot nyttan. Allmän systemkunskap och erfarenhet har inte ännu byggts upp i fordonsbranschen för att mögenhet finns att optimalt tillämpa elhybridtekniken. Därför krävs satsning på tillämpad forskning, utveckling och testverksamhet. För att finna de rätta lösningarna behöver ansatser till möjliga lösningar prövas på vägen, dels för att bygga upp kunskap men även för att finna fram till de bästa lösningarna för respektive applikation.

Ett förslag till prototypfordon enligt Figur 5 är presenterat och beskrivet i rapporten som bygger på tillämpning av befintlig teknik för att skapa en provanläggning att testa en systemlösning av elektrifierade vägar. Ett sådant projekt innehåller många kunskapshöjande delar kring systemuppbyggnad och ingående delsystem som t ex energilager mm.

### 3 DRIVKRAFTER FÖR ANPASSNING AV TYNGRE TRANSPORTFORDON FÖR ELVÄGAR.

Svenskproducerad elkraft som distribueras i elnäten är till mycket stor del producerad av inhemsk vattenkraft, kärnkraft eller förnyelsebara energikällor och till en mycket liten del beroende av fossila produkter. Drivkrafter för en etablering av elvägar i Sverige har utgångspunkter i miljöhänsyn, hållbarhetsaspekter men även nationalekonomi. Det skall dock observeras att det i ett internationellt perspektiv skiljer sig rätt mycket mellan olika länder då det gäller hur miljömässigt "ren" produktionen är av den elenergi som levereras via elnätet.

För optimering av hybridfordon och egentligen för optimering av hela systemet för elektrifierade vägar handlar det om en balans av de parametrar som visas i



Figur 6. Optimeringsparametrar för elektriska vägar och hybridfordon.

I det följande fokuseras dock inte i huvudsak på alla dessa globala drivkrafter för en elektrifiering utan mer på de drivkrafter som finns enbart utifrån fordonen och den tjänst de utför, nämligen transportverksamhet. Det är då fordonsägaren och beställaren av tjänsten (indirekt konsumenten) som står närmast som intressenter och kravställare. Det är utifrån detta perspektiv som drivkrafterna för integrering av en elektrisk drivning och elhybridbaserade drivlinor för tyngre transportfordon kommer att belysas.

Med utgångspunkt från dessa kravställare blir kostnaden för att äga och driva fordonet samt dess kapacitet och prestanda mycket viktiga drivkrafter. Miljöaspekterna styrs mer av "tvingande" krav eller beskattning som definieras genom lagar och regelverk formulerade

av myndigheter och politiker. Naturligtvis kan påverkan även ske mer direkt från konsumenters önskan om miljöanpassade transporter. Troligtvis blir ändå förändring av lagar och regelverk den väg som konsumentensidans främst kan påverka deras krav på hänsynstagandet till miljön.

Motiven för en elektrifiering av drivlinan hos tyngre transportfordon förklaras mer ingående i detta kapitel enligt nedanstående uppdelning:

- Kostnaden att äga och driva fordonet
- Kapacitet och prestanda
- Övriga aspekter

### 3.1 Kostnaden att äga och driva fordonet

Naturligtvis beror kostnadernas storlek för att äga och driva ett fordon på storlek och typ av driftcykel som gäller för olika fordon. Förenklat gäller ändå att kostnaden att äga och driva fordonet består av nedanstående huvuddelar:

- Drivmedelskostnad
- Förare och övriga personalomkostnader
- Inköp och underhåll (kapitalkostnader mm)



Figur 7. I en dieseldriven lastbil ligger bränslekostnaden på en tredjedel av den totala kostnaden.

Drivmedelskostnaden för att driva ett tyngre transportfordon är i dag i storleksordningen 1/3 av den totala kostnaden. Där kapitalkostnaden också är av liknande storleksordning. Övriga kvarvarande omkostnader där förare mm ingår motsvarar den resterande tredjedelen. Drivmedelskostnaden står alltså redan i dag för en betydande del av den totala kostnaden.

Vilka möjligheter att påverka kostnaderna ger elhybridtekniken och en elektrifiering av vissa vägsträckor? Utan att medräkna anslutning mot ett externt elnät innebär en elektrifiering av drivlinan och integrering av hybridteknik med energilagring följande generella fördelar:

- Bränslebesparing upp till 35%
- Återanvändning av bromsenergi (ingår i föregående punkt)
- Reducerade utsläpp av avgasemissioner.
- Lägre ljudnivåer
- Lägre underhållskostnader (speciellt med seriehybridlösningar med bl a reducerat slitage på bromsar men även för andra delsystem).

Enligt ovanstående är drivkrafterna för elhybridfordon är tydliga. För ett redan befintligt elhybridfordon skulle en anslutning av en strömavtagare samt tillhörande nödvändig utrustning vara en mindre tilläggsalternativ och mycket väl kunna motiveras. Genom en stor skillnaden i pris mellan elenergin och tillgängliga alternativ till bränsle till förbränningsmotorer (t ex diesel) blir en anslutning till elektrifierade vägnät naturligt.

Frågan är dock vilken kostnad som infrastrukturen för elektrifieringen av vägen kommer att ha och på hur många användare detta skall fördelas. Denna delrapport fördjupar sig inte vidare i dessa delar då de ligger utanför själva fordonssystemen som här är i fokus.

### 3.2 Kapacitet och prestanda

Kapacitet och prestanda för ett transportfordon kopplar till den lastkapacitet som kan hanteras och till vilken hastighet samt kostnad detta kan göras. Att kunna skapa en systemutformning som i grunden är lätt, kan erbjuda en hög tillgänglighet och som kan rymma mycket lastkapacitet (volym och vikt) är därmed något att eftersträva.

Kapacitet och prestanda kopplas alltså bl a till:

- Utökad Lastkapacitet och
- Högre transporthastighet samt förbättrad framkomlighet (acceleration och hastighet)

Integreringen av elmaskiner parallellt med en traditionell drivlina ger möjlighet till att modifiera både växellåda och anpassa dieselmotorns egenskaper och storlek för att kunna göra en effektivare drivlina.

Att i grunden ersätta parallellhybridlösningen med en seriehybridlösning ger dock möjlighet att optimera drivlinans funktion och kvalitet ytterligare till att nå längre då det gäller vikt, volym och prestanda. Mer information om detta redovisas under kapitlet 4.2 som beskriver parallella och seriella drivlinor.

### 3.3 Övriga aspekter

Användning av elmaskiner för framdrivning medger möjlighet att förbättra framdrivningen för bättre framkomlighet och säkerhet. Genom t ex användning av individuella hjulmotorer kan fler drivande hjul integreras i fordonssystemet. Bland annat skulle tex framhjulsdrevning samt påskjuts-servo hos trailer integreras.

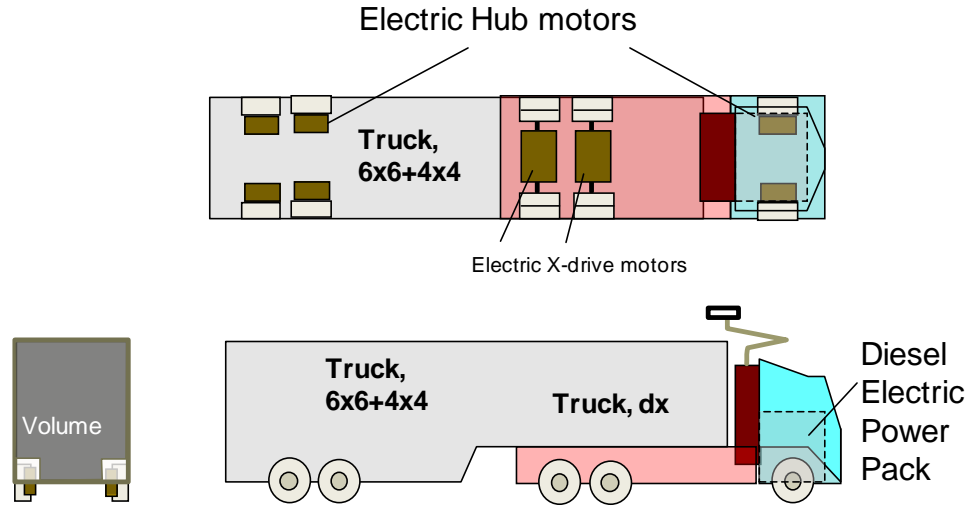
Specialfunktioner för start vid t ex halt underlag, mjukt underlag och överlagrad synkronisering av hjulen för varianter av "diff-spärr" eller momentfördelning och start i motlut /medlut ("hill-hold" funktioner) möjliggörs utan samtidig integrering av dyra mekaniska system. Funktionerna kan integreras i mjukvara för styrning och återkoppling av kraftelektronik och elmaskiner i drivlinan. Säkerheten och kvaliteten i drivlinans funktion kan på detta sätt förbättras.

Den flexibilitet i systemutformning som frånvaron en mekanisk drivlinas begränsningar medger (kardanaxlar, stora växellådor och hjulaxlar) medger utökad potential till en systemutformning med följande förbättringar:

- Förbättrad volymseffektivitet (lastförmåga)
- Reducering av vikt och viktfördelning (olastad vikt)
- Reducering av luftmotstånd (aerodynamiska egenskaper)
- Minskad systemkomplexitet för drivning av många hjul.

Genom energiåtervinningsmöjligheterna som en elektrisk drivlina med energilager erbjuder, medges möjlighet att via strömvtagare ansluta fordonens till elektrifierade vägsträckor. Bränsleförbrukningen reduceras med detta kraftigt samtidigt som negativ miljöpåverkan reduceras, då elenergin i Sverige produceras relativt "rent". Betydande kostnadsbesparingar kan genom detta erhållas för driften av fordonen.

Förbättrad utformning av fordon för att skapa utökad lastvolym och dragförmåga kan erhållas genom den flexibilitet i placering som elektriska drivsystem medger. I



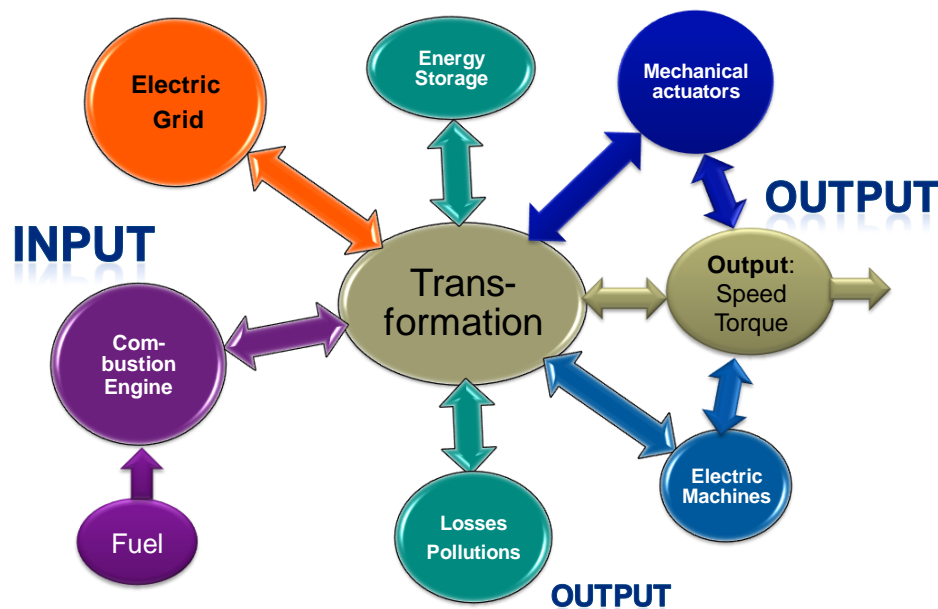
Figur 8. Genom drivning på alla hjul och genom att inte använda genomgående drivaxlar för släpet så erhålls utökad lastkapacitet, förbättrad drivförmåga och potential till säkrare framdrivning. Kanske utformningen även medger reducerat vindmotstånd genom mindre vindfång i fordonets underrede.

## 4 PRINCIPLÖSNINGAR OCH VARIANTER AV DRIVLINOR FÖR ELVÄGAR.

Genom att bara vissa vägsträckor förutsätts kunna elektrifieras kommer fordon som nyttjar dessa att behöva kunna köras utan denna energikälla.

Med känd batteritekniken är det inte möjligt att erbjuda den energi och effekttäthet att tyngre fordon som t ex långtradare skall kunna klara transporter enbart på batterier på de vägvagnitt som finns mellan möjliga elektrifierade vägvagnitt. Om elektrifierade vägar inte byggs där komplexare vägnät och trafiksystem finns behöver transporter kunna ske flera mil och längre utan anslutning till elnät. För att klara detta skulle storleken och vikten av batterierna kraftigt reducera lastförmågan till oralistiskt låga nivåer. Någon slags förbränningsmotor i kombination med elektrisk drivlina med ett mindre energilager är därför en realistisk lösning.

Vi har alltså att hantera en drivlina som innehåller delsystem enligt nedanstående generaliserade figur.

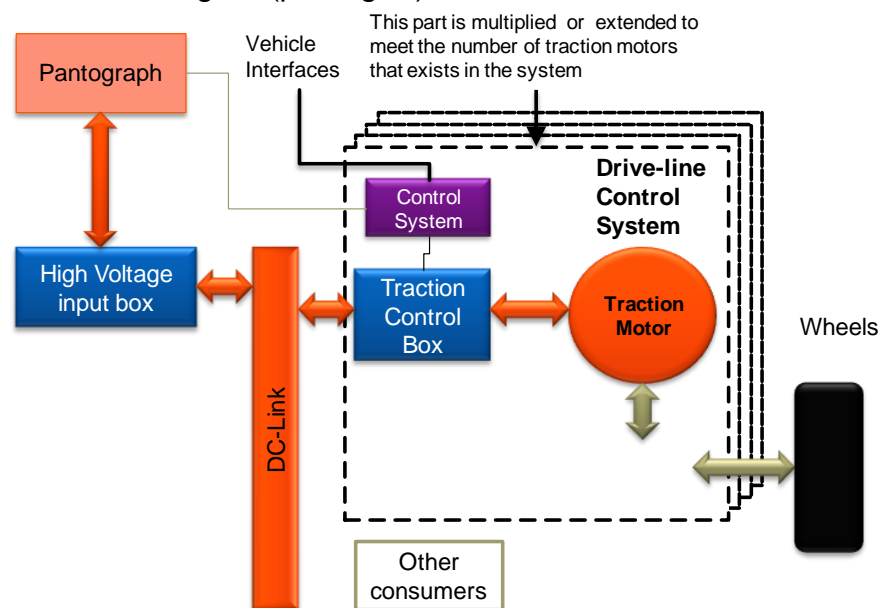


Figur 9. Delsystem som ingår i hybriddrivlinor för tyngre fordon som skall kunna köras anslutna till elektrifierade vägvagnitt (där även visa vägvagnitt inte är elektrifierade).

I det följande beskrivs exempel och alternativ till drivlinor uppbyggda med dessa ingående delar.

## 4.1 Principlösning av pantografansluten drivlina

Ett exempel på den elektriska drivlinans principiella fysiska systemuppbyggnad för ett anslutet fordon till en elektrifierad väg, redovisas i figuren nedan. I figuren fokuseras specifikt på delar som behöver ingå för att driva fordonet med el-energi överförd till fordonet via strömvtagare (pantograf).



Figur 10. Principfigur över ett system för drivning av ett hjul vid anslutning av fordon till elektrifierat vägnät.

Utgångspunkten för Figur 10 är en matning via strömvtagaren eller Pantografen till systemet med en likspänning, men principlösningen kan se ut på nästan samma principiella sätt även om matningen skulle ske via t ex en trefas växelspänning. Vid trefasmatning skulle det krävas en likriktare och transformator, eller aktiv "brygga" i fordonssystemet, vilket belastar fordonet med mer komponenter och vikt än då en likspänd matning via Pantografen kan ske till drivsystemet. I det följande kommer vi därför för enkelhets skull att utgå ifrån att drivlinan erhåller en likspänning på t ex ca 750VDC till systemet, som är standardmatning för bl a spårvagnar.

De system som krävs för en komplett drivning av fordonen måste bestå av fler samverkande system än vad Figur 10 redovisar, då körning skall kunna ske även där vägnätet inte är elektrifierat. Systemet kan delas upp i två samverkande delsystem. Dessa är:

- Energi hanteringssystemet (Power Management System) och
- Driv-line systemet (Drive-line Control System)

I energihanteringssystemet ingår bl a pantografen, batterier, dieselmotor, bränsletank och kraftelektronik. I Drivlinan ingår alla drivmotorer, växellådor eventuella kardanaxlar och drivande hjul mm.

Se exempelvis Figur 14 som visar ett helt sådant system baserad på en seriehybridlösning.

Det finns många exempel på existerande fordon som via pantograf matas med likspänning eller växelspänning. Se bl a länken [www.hutnyak.com/Trolley/trollephotos.htm](http://www.hutnyak.com/Trolley/trollephotos.htm) .

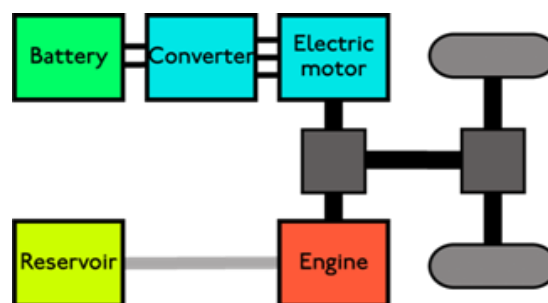
Bl a i Kiruna gruvan har ett antal fordon använts med pantograf för anslutning mot 690VAC. Dessa fordon kommer från GIA Industri AB med fordonen K635ED (35 ton) och K1050ED (50 ton) (se t ex [www.gia.se/underground/haulagetricks.asp](http://www.gia.se/underground/haulagetricks.asp) )

## 4.2 Parallella och seriella hybridlösningar

Det finns två huvudprinciper för utformning av hybridbaserade drivlinor. Det är parallellt- eller seriellt integrerade hybridbaserade drivlinor. I det följande beskrivs dessa.

### 4.2.1 PARALLELLHYBRIDSYSTEM

I parallella hybridssystem är den elektriska och mekaniska drivningen kopplad parallellt enligt nedanstående principbild.



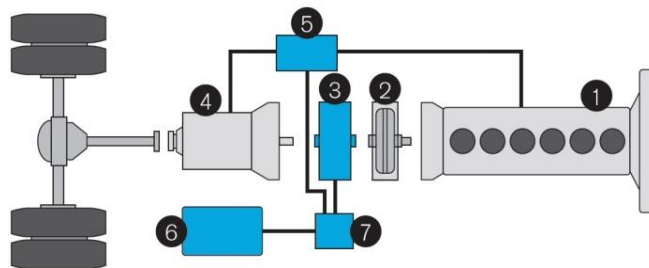
Figur 11. Principbild för parallellhybridbaserad drivlina.

I ovanstående system kan energi lagras i batteriet vid retardation och startmomentet kan förbättras genom samverkan mellan dieselmotor och elmotorn, där elmotorn kan arbeta både som drivmotor och generator.

Problemet med en parallellhybridlösning är dock att det innebär att en "traditionell drivlina" utökas genom parallell komplettering av

elmotorer och energilagrar. Även om förbränningsmotor ev kan dimensioneras ned kostar detta både vikt samt volym och ger därtill utökad komplexitet (mer komponenter). Därmed kommer sannolikt systemet även vara dyrare att producera och underhålla än befintliga traditionella system. Fördelarna med parallellhybridsystem är ändå att den konventionella drivlinans prispressade beprövade funktionalitet i stort finns kvar, och kan tjäna som utprövad tillförlitlig redundant lösning.

Existerande exempel på lastbilar med parallell hybridbaserade drivlinor är Volvos Söpbil. I Figur 12 presenteras en principbild av de komponenter som ingår i detta system. Genom att söpbilen har en körcykel med många accelerationer och inbromsningar kan bromsenergin återanvändas i stor grad.



#### The main components of the hybrid system

1. Diesel engine
2. Clutch
3. Electric motor/alternator
4. Transmission
5. Electronic control unit
6. Energy converter DC/AC
7. Batteries

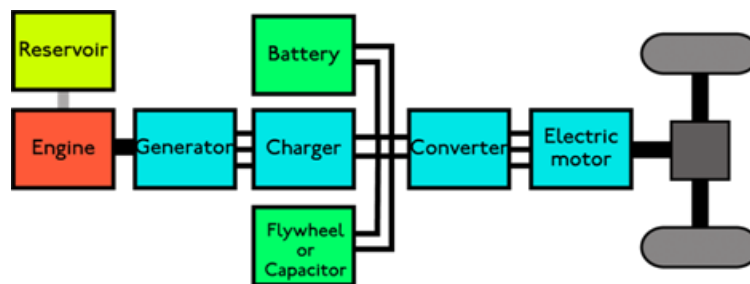
Figur 12. Principbild för den parallellhybridbaserade drivlinan för Volvolastbilar som används för soptransport.

Drivlinan enligt Figur 12 innehåller en elmotor som fungerar både som generator och drivmotor. Elmotorn (3) är integrerad mellan dieselmotorn (1) och växellådan (4) i den traditionella mekaniska drivlinan för Volvolastbilen i fråga. Elmotorn (3) fungerar som generator och kan ladda det inbyggda batteriet parallellt med körning eller genom återmatning av bromsenergi. På samma sätt kan elmotorn (3) jämte dieselmotorn (1) hjälpa till vid drivning vid t ex acceleration. Med en införd koppling (2) kan dieselmotorn (1) kopplas bort för att åstadkomma enbart elmotordrift där elenergin då behöver tas från batteriet (7). En elektronikenhet (5) styr hela systemet och en

DC/AC omvandlar batteriets likspänning till flerfasig AC spänning som styr elmaskinen.

#### 4.2.2 SERIEHYBRIDSYSTEM

I seriehybridsystem är framdrivningen beroende av ingående delsystem kopplade i serie enligt nedanstående principbild.



Figur 13. Principbild för en seriehybridbaserad drivlina. Systemet kan i denna konstruktion inte drivas bara mekaniskt utan mekaniska och elektriska delar i drivlinan ligger i serie. I princip behövs inte en flerstegs växellåda, men en reduktionsväxel kan behövas mellan en elmotor och drivhjul. Behovet av mekaniska växlar beror naturligtvis på valda komponenters egenskaper och storlek.

Ett exempel på seriehybridbaserad drivlina är Scantias konceptfordon i form av en buss för persontransport som visas i bilden nedan.



Scantias konceptbuss har utformats för att vara mer energieffektiv, ge mindre miljöpåverkan och erbjuda bättre användbar nyttovolym. Regenerering av bromsenergi ingår. Systemuppbyggnaden är modulariserad och ger flexibilitet i byggsätt för att uppnå en stor sammanhängande volym för passagerartransport utan att hjulhus mm stör utformningen av detta utrymme mm. Bakhjulsstyrning för att klara tillräcklig svängradier då den drivande bakaxeln placerats allra längst bak, ingår även i konceptet.

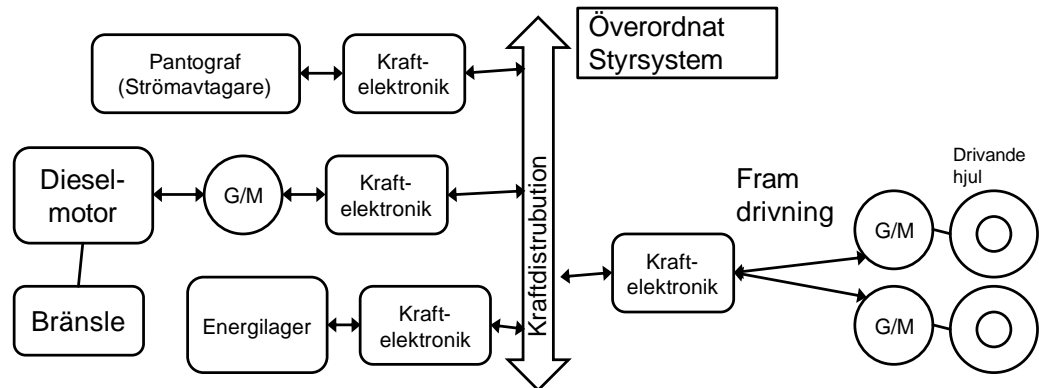
### 4.3 Funktioner

Det diesel-elektriskt baserade hybriddrivsystemet kan ha många funktioner i många hierarkiska nivåer. Nedan räknas några övergripande funktionerna upp.

- Anslutning / fränkoppling mot externt nät
  - Anslutning av strömavtagaren
  - Fränkoppling strömavtagaren
  - Styrning och reglering av pantograf
- Driftmoder vid framdrivning
  - Körning med matning från elnät
  - Körning med dieselektrisk drivning (körning fränkopplad från el-nät)
  - Start/Stopp funktioner vid stillastående
  - Funktioner för framdrivning (regenerering av bromsenergi, "retarder" stöd, antispinn, torque vectoring, hill-hold control, differential lock, differential control ...)
- Stödfunktioner till betalningssystem för elavgift (nätavgift & elförbrukning)
- Felhantering, systemskydd och diagnos
- Gränsyta mot förare (kommandon, status, driftmod etc..)
- Redundanta funktionsnivåer till stöd för säkerhet och tillgänglighet (då viktiga enheter slutar att fungera eller fungerar felaktigt tar andra delar i systemet över för att bibehålla viss nivå av funktionalitet).
- Övriga funktioner för styrning av kylsystem och övervakning

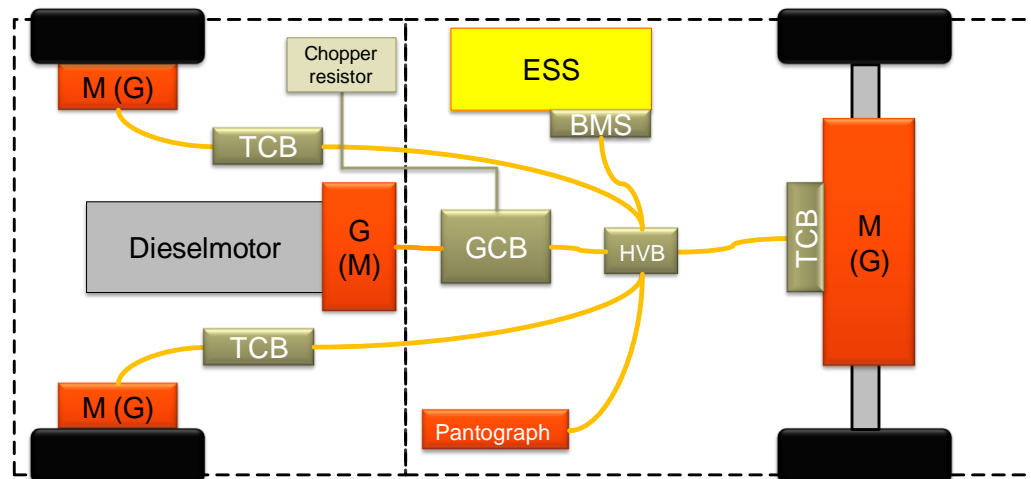
### 4.4 Fysisk systemuppbyggnad /Principschema

Nedanstående bild visar ett exempel på principiellt blockschema för ett seriehybridbaserat system med alla viktiga ingående delar medtagna. Detta systemet är utformat för att kunna fungera för ett fordon med individuella drivning av alla hjul via hjulmotorer med integrerade reduktionsväxlar.



Figur 14. Bilden beskriver ingående delar hos ett seriehybridsystem som har inbyggd anslutning mot pantograf för anslutning och matning från elektrifierade vägnät. För körning i vägnät utan elektrifiering krävs ett hybridbaserat system som i detta fall är ett seriehybridsystem

Arkitekturen för hur ingående delar paketeras och delas upp kan naturligtvis göras på många olika sätt. Systemet beskrivet i Figur 14, skulle integrerat i ett fordon kunna ha en förläggning och anslutning mellan ingående delar i enlighet med nedanstående principbild.



Figur 15. Principbild över enheter som ingår i drivlinan och krafthanteringssystem för ett seriehybridbaserat system. M(G)=elmotor/drivmotor som även kan fungera som generator, G(M)=Generator som även kan fungera som drivmotor, TCB= Traction Control Unit, GCB= Generator Control Box, BMS= Battery Management Unit, HVB= High Voltage Box, ESS= Energy Storage System

I följande kapitel beskrivs systemet och ingående delar lite mer i detalj.

#### **4.4.1 GRÄNSYTOR**

Ett hybridsystem med anslutning mot en strömavtagare (Pantograf) har i enlighet med redan redovisade principbeskrivningar många interna gränssytor. Ett viktigt gränssnitt är förargränssnittet.

Representation av förarens gaspedal, broms och rattposition ingår naturligtvis som signaler i detta gränssnitt, men även en hel del annan information för att föraren skall kunna både starta, stoppa och välja olika driftmoder mm i systemet. Återmatning av information för statusövervakning, underhåll och diagnos måste även ingå. En orientering av vilka funktioner som i ingår fins i kapitel 4.3. Alla dessa funktioner realiseras av systemets olika delar i samverkan, och måste därför avspeglas i gränssnitten mellan systemets olika delar.

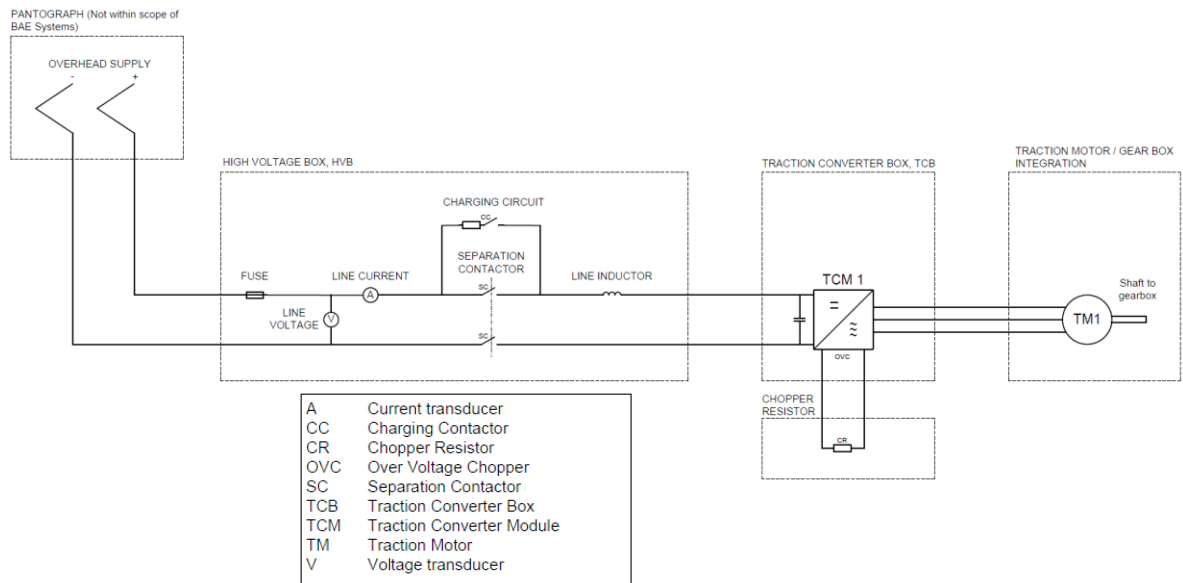
Denna rapport har inte som ambition att redovisa alla sådana detaljer. Därför utelämnas dessa delsystem och gränssnitt.

I följande beskrivning redovisas i stället de viktigaste delarna för det som ingår i en drivlina för att fungera mot elektrifierade vägar. I samband med dessa beskrivningar redovisas även samspelet och gränssytor för dessa delar.

#### **4.4.2 SYSTEMETS OLIKA INGÅENDE DELAR**

##### **4.4.2.1 Anslutning mot strömavtagaren**

Vid likström��matning av vägsystemet blir uppbyggnaden av fordonssystemet relativt enkelt, då någon omvandling mellan olika typer av spänningsnivåer och AC/DC inte behöver bli nödvändig. En matning med ca 750VDC skulle kunna balansera rätt bra mot en användbar spänningsnivå för det som brukas kallas för "DC-bussen", mellanledningsspänning eller på engelska: DC-Link. Nedanstående principfigur redovisar högeffektskretsar som kopplar samman pantografen med drivlinan.



Figur 16. Figuren visar principupbyggnad av högeffektskretsarna för anslutningen av en strömvagtare (Pantograf) till ett hybridfordons drivlina. Naturligtvis behöver en överordnad styrning och övervakning ske av ingående delar. Detta utförs av en eller flera mikrodatorbaserade kontrollenheter, kommunikationsnät samt sensorer och ställdon. Dessa är inte utritade i bilden för att förenkla överblick av systemet.

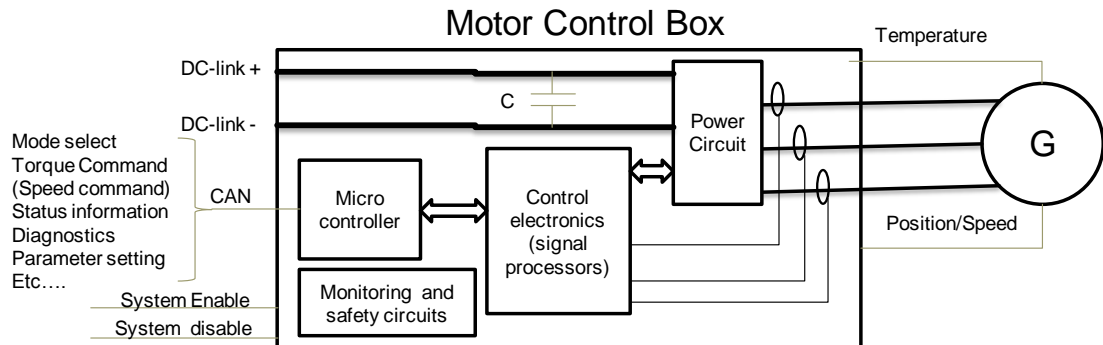
Det som i Figur 16 kallas för HVB (High Voltage Box) innehåller skyddskretsar, filterkretsar och kontaktorer som används för sammankoppling av det externa systemet med matningen till den fordonsbaserade kraftelektronikenheterna, som styr ut elmotorerna i systemet. Systemet innehåller dock inga energilagrar för att kunna spara regenererad energi i vid retardation. Återmatning skulle av energi skulle kunna ske till det externa nätet, men då måste elnätet vara anpassat för att klara av detta.

#### 4.4.2.2 Kraftelektronikenheter

Kraftelektronik och elektriska kretsar för att hantera och styra elmaskiner har stått under ständig utveckling. Trenden är att sträva efter att kunna hantera högre spänning men även högre strömmar. Det handlar om mycket speciella kretsar som kan bryta eller spärra ström och spänning. Oftast används puls-vids-reglerad utstyrning som följer speciella algoritmer och principer. Speciella signalprocessorbaserade kretsar används som utformats för styrning och kontroll av elkraftkretsar. Dessa styr kraftkretsarna och återkopplar ström och position mm hos olika typer av elmaskiner.

Oftast är allt som behövs för att styra en elmaskin integrerade i en kompakt enhet där kraft ansluts och signalgränssytor finns för seriell datorkommunikation samt andra digitala och ev analoga signaler.

Ett exempel på en styrenhet för en elmaskin ses i nedanstående bild.



Figur 17. Bilden visar ett generaliserat blockschema för den principiella uppbyggnaden av en enhet som styr t ex en synkron magnetmotor.

Systemuppbyggnaden hos kraftelektroniken kan delas upp i tre olika nivåer:

1. Kraftelektronik
2. Elektronik för elmotorstyrning
3. Elektronik för överordnad styrning och extern kommunikation

Systemdel 2 och 3 kan även vara integrerad och sammanbyggd.

Kraftelektroniken (1) består av specialkretsar som kan bryta och koppla den matande elkraften ut på respektive lindning. Utvecklingen går mot att hantera högre spänning (för att minska vikt i kablage mm), högre temperaturer och högre brytfrekvenser. Utmaningen är att samtidigt reducera den kopplingsresistans som finns i kretsarna för att minska förlusterna i dessa komponenter.

Elektroniken för elmotorstyrning (2) är skräddarsydd elektronikhårdvara och mjukvara baserade på signalprocessorbaserade enheter. Återkopplingen mot elmaskinen måste ske med hög bandbredd och algoritmer finns integrerade i styrsystemet för att switcha och styra ut ström i lindningarna i elmaskinen. Återkoppling av elmaskinens position (Permanent Magnet Motor) eller hastighet (Induktions Motor), utgående ström till motorlindningarna och temperaturmätning ingår.

Det finns även algoritmer utvecklade för sensorlös motorstyrning, där mätningen av utgående ström används som insignal.

Elektroniken som hanterar den överordnade styrningen av motorstyrboxen (3) är försedd med kommunikationsgränssnitt för extern styrning, med seriella, analoga och digitala signalgränssnitt.

Speciella övervakningskretsar kan ingå som separata moduler med högre säkerhetsklassning för att aktivera eller fränkoppla hela motorstyrenheten, som fränkopplat sätts i ett passivt känt läge.

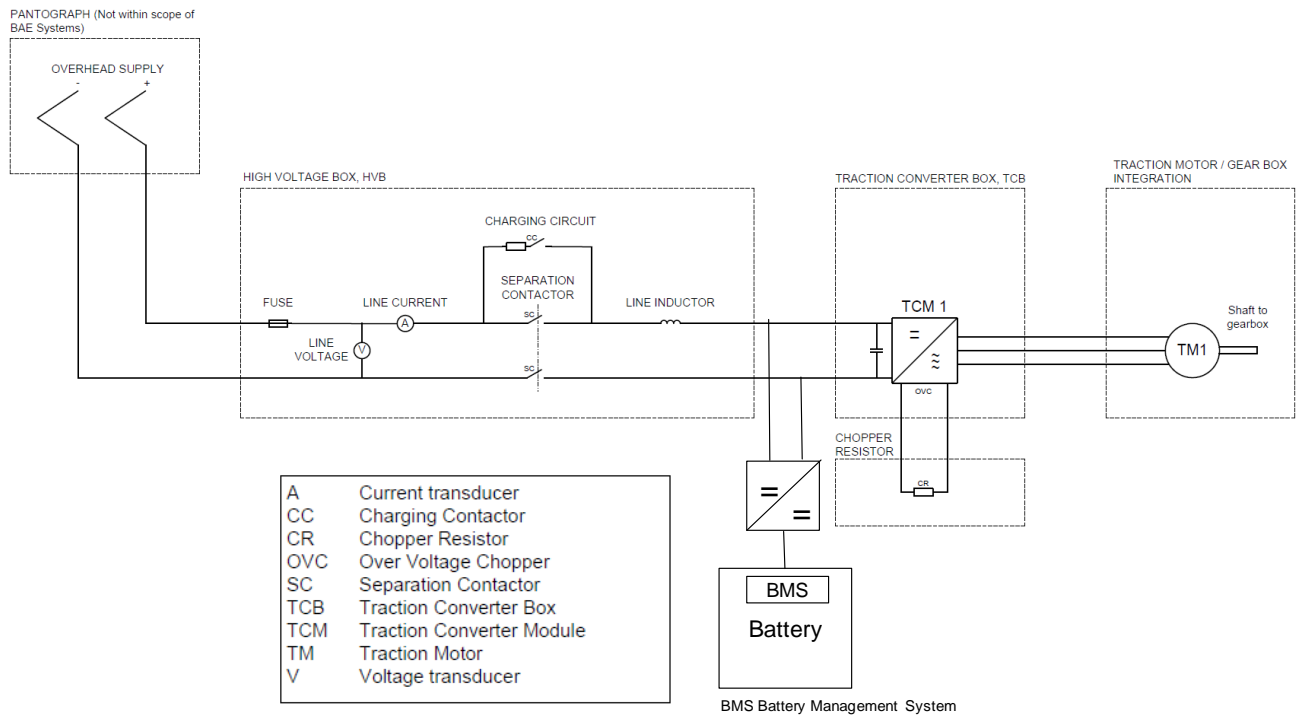
Normal kan dock övervakningslogiken vara integrerade som funktioner i de tidigare beskrivna delarna av enheten.

#### **4.4.2.3 Energilagring**

Om energilagret tas bort från ett seriehybridsystem så erhålls en renodlad dieselelektrisk drift. Detta tillämpas för en del existerande tyngre fordon. Tekniken är därmed rätt beprövad. Strömavtagare skulle i princip vara möjlig att integrera med en dieselelektrisk drivlina, utan att energilager ingår.

Användningen av ett energilager ger dock möjligheten att:

- lagra energi från nätet,
- regenerera energi vid retardation samt
- förenkla regleringen av högspänningsbussen och
- förbättra stabiliseringen av transienta förlopp i elkraftsdistributionen (vid snabba belastningsändringar och tillslag(frånslag).
- Enkelt kunna starta och stoppa delsystem (t ex dieselmotor) vid övergång mellan olika driftmod.



Figur 18. Drivlinan i ovanstående principalschema är försett med energilagrar för lagring av energi, genererad från elnätet eller från drivmotorerna vid retardation, då pantografen inte är ansluten.

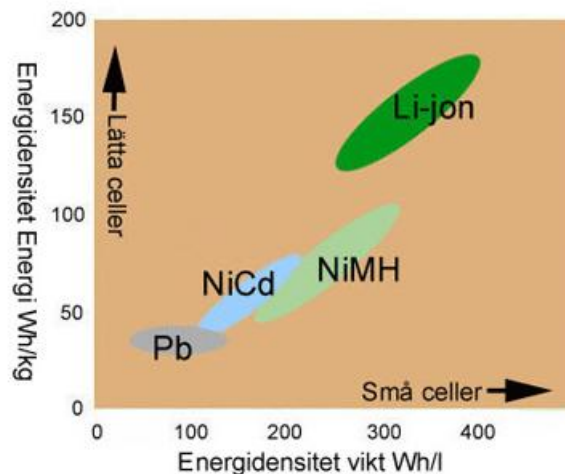
Ett problem är att tillgängliga utvecklade batterisystem i dag har en hög kostnad, innebär en tillkommande icke oväsentlig vikt och volym samt kan ha rätt begränsad livslängd (men detta beror på användning och dimensionering), varför livscykelkostnaderna riskerar kunna bli höga.

Erfarenheter och utvärdering av batteriers miljöbelastning i sig i ett livscykelperspektiv (från produktion till skrotning) har inte heller haft speciellt stort fokus men bör påverka vilken teknik som skall väljas. I det följande beskrivs några typiska alternativ till teknik för energilagrar.

#### 4.4.2.3.1 Batterityper

Olika typer av energilagrar finns som baseras på olika tekniker. Några av de vanligaste typerna är:

- **Blybatterier:** Den äldsta och hitintills mest frekventa använda batteritypen för alla konventionella bilar, men har sämst vikt/energi egenskap.
- **Nickel-metall Hydrid:** Har drygt dubbla kapaciteten mot blybatterier.
- **Litium-jon:** Många olika typer finns, men generellt kan sägas att denna batterityp har högre kapacitet än Nickel-metall hydridbatterier med drygt 3 gångers kapaciteten mot vad blybatterier kan erbjuda.



Figur 19. Bilden är hämtad från Batteriföreningens hemsida [www.batteriforeningen.se](http://www.batteriforeningen.se) där olika batteriteknologiers energidensitet jämförs. Batterityper: Bly (Pb), Nikelkadmium (NiCd), Nickel metallhydrid (NiMH) och Litium-jon.

Som en jämförelse med Figur 19 är det grovt sett 100 gånger lägre energi-innehåll (Wh/kg) för ett batteri jämfört med energiinnehållet (Wh/kg) för drivmedel till en förbränningsmotor.

Ett problem med alla batterier är deras livslängd och egenskaper i att möta de krav som ställs för att fungera i den miljö som råder för ett fordon. Temperaturområde och vibrationsmiljö måste klaras. Ofta begränsas ett batteris livslängd av hur ofta, med vilken ström och hur djupt det urladdas respektive laddas upp. De olika teknikerna innehåller alla i olika utsträckning denna typ av begränsningar som olika tillverkare under årtionden har kämpat med att förbättra.

Som exempel har Litium-jonbatteriet har enligt Figur 19 den högsta energidensiteten men tekniken har nackdelar och det pågår ett ständigt arbete med att förbättra dess svaghet och begränsningar. Några nackdelar är en relativt låg laddnings-/urladdningsström och försämringen av kapacitet kopplat mot antalet laddning/urladdningscykler.

Batteris möjlighet att massproduceras till acceptabla kostnader och samtidigt uppfylla fordonsbranschens krav är en av de stora utmaningarna och "flaskhalsarna" för användning av elhybridsystem.

#### **4.4.2.3.2 Superkapacitanser**

Ett alternativ till nämnda batterier är "superkapacitanser". Dessa har inte alls samma förmåga att lagra energi. Däremot klarar dessa komponenter att hantera högre effekt (strömmar) och urladdas / uppladdas oftare och djupare än vad som är typiskt för batterier, utan att åldras i någon nämnvärd omfattning. För regenerering av bromsenergin i ett fordon skulle därför dessa fungera utmärkt.

Baksidan är dock den låga energidensiteten. För att kunna lagra mycket energi krävs därför mycket stor volym för att rymma dessa komponenter. En kombination av batterier och superkapacitanser kanske skulle vara den bästa tekniska lösningen, men hur en sådan kombination skall se ut detta beror på vilken driftscykel som systemet skall hantera.

#### **4.4.2.3.3 Energilagring för tyngre transportforon.**

Det finns ett antal begränsande faktorer då det gäller användning av elektriska energilagring av typ batterier för bl a återanvändning av bromsenergi mm för tyngre fordon. Detta är främst kopplat till energilagringens kapacitet i relation till den stora rörelseenergi som tyngre fordon upp till en maxvikt på 60 ton.

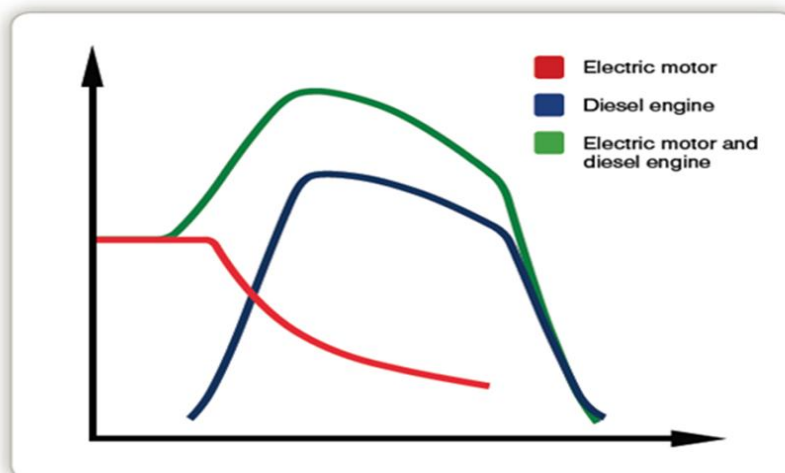
Det blir inte fysiskt praktiskt möjligt att dimensionera energilagret i en tung lastbil för att hantera t ex all bromsenergi och energi för acceleration för dessa fordon. Energilagren kan därmed erbjuda en stöttande funktion vid övergång mellan olika driftmoder, t ex vid anslutning och fränkoppling av strömavtagaren eller i relativt begränsad utsträckning lagra bromsenergi. Viktigt stöd vid start, acceleration och optimering av dieselmotorns användning kan naturligtvis i erhållas med hjälp av ett energilagring med avvägd storlek och kapacitet. En utökad möjlighet att stabilisera kraftgenereringen i reglersystemet för drivlina och kraftgenerering erbjuds med denna komponent.

För att ett energilager skall kunna användas optimalt och erbjuda nämnda funktionalitet krävs dock mer än bara själva batteriet eller energilagret. Det krävs liksom för elmaskinerna ett system för övervakning, återkoppling och styrning. Det handlar om kraftelektronik och elektronikbaserade styrsystem som erbjuder en gränssyta till överordnat system att hantera batterisystemet. Dessa system brukar kallas för BMS (Battery Management System).

#### 4.4.2.4 Förbränningsmotor

Verkningsgraden för en förbränningsmotor är inte hög även om den förbättrats en hel del genom åren. En modern dieselmotor kan i dag ha en verkningsgrad på över 45%, men det gäller inte inom hela arbetsområdet.

Ett parallellhybridsystem gör det möjligt att erhålla högre startmoment och regenerera energi vid retardation med hjälp av elmaskiner och elektriskt energilager, vilket påverkar både prestanda men naturligtvis även bränsleekonomi och miljö. Figur 18 visar hur startmomentet kan förbättras i ett parallellhybridsystem.



Figur 20. Ett hybridfordon ger högre moment direkt från start med mindre förluster. Elmotorns föredömliga låghastighetsegenskaper adderas till dieselmotorns dragkraftsegenskaper vid högre varvtal för en totalt förbättrad prestanda jämfört med traditionella renodlat mekaniska drivlinor.

Om motorn i stället skall användas för att styra en generator i en seriehybridbaserad drivlina kan systemet regleras ännu mer effektivt, så att förbränningsmotorn oftare arbetar under gynnsammast möjliga arbetsförhållandet för att ligga nära maximal verkningsgrad större del av tiden.

Hänsyn måste även tas till föroreningsgraden hos avgaserna. Optimum för låga emissioner behöver inte sammanfalla med

arbetspunkten för bästa verkningsgrad varför en kompromiss behöver göras utifrån hur förbränningsmotorerna skall arbeta och ingående delsystem skall dimensioneras.

Elhybridbaserade drivlinor erbjuder alltså nya möjligheter att bättre optimera användningen av förbränningsmotorer ur olika aspekter för att t ex minska miljöpåverkan och erhålla lägre bränsleförbrukning.

Konventionella drivmotorer baseras i huvudsak på den dominerande "Otto-motor" tekniken med 4-takts cykel. Dessa är som regel utvecklade och dimensionerade för att vara den huvudsakliga drivkällan för att skapa drivmomentet genom hela varvtalsområdet.

Genom att användning i ett hybridsystem erhålles andra driftförhållanden som förändrar kraven för förbränningsmotorn. En generators belastning på förbränningsmotorn regleras genom kraftelektronik så att arbetspunkten för skall bli mer optimal för förbränningsmotorn. På detta sätt ersätter kraftelektroniken i ett seriehybridsystem till stora delar en mekanisk eller hydraulisk växellåda i ett konventionellt fordon, med skillnaden att det inte finns några distinkta växelsteg och att dynamik och flexibiliteten är större då detta konfigureras helt med mjukvara. En samverkan mellan styrningen av förbränningsmotorn och styrningen av generatorn är därför lika naturlig i ett hybridfordon som samverkan mellan motor och växellåda i ett konventionellt fordon med mekanisk drivlina.

Potential för att finna användning av andra effektivare förbränningsmotorer kan även komma i fråga. Ett exempel på detta är på bensinmotorsidan. En bensinmotor har som regel lägre verkningsgrad än en dieselmotor men genom en modifierad variant av "Otto-motorn" som heter Atkinson motorn har verkningsgraden kunnat förbättras. Atkinson motorn har därför kommit till utökad användning just för elhybrida fordon.

Atkinson motorn använder en modifierad förbränningscykel som bl a medger ett högre kompressionsförhållande som gör att dess verkningsgrad mycket bättre än en konventionell bensindriven Otto-motor. En Atkinson motor skulle dock inte fungera så bra vid kombination med en konventionell mekanisk drivlina då den har ett för begränsat varvtalsområde inom vilket den fungerar effektivt.

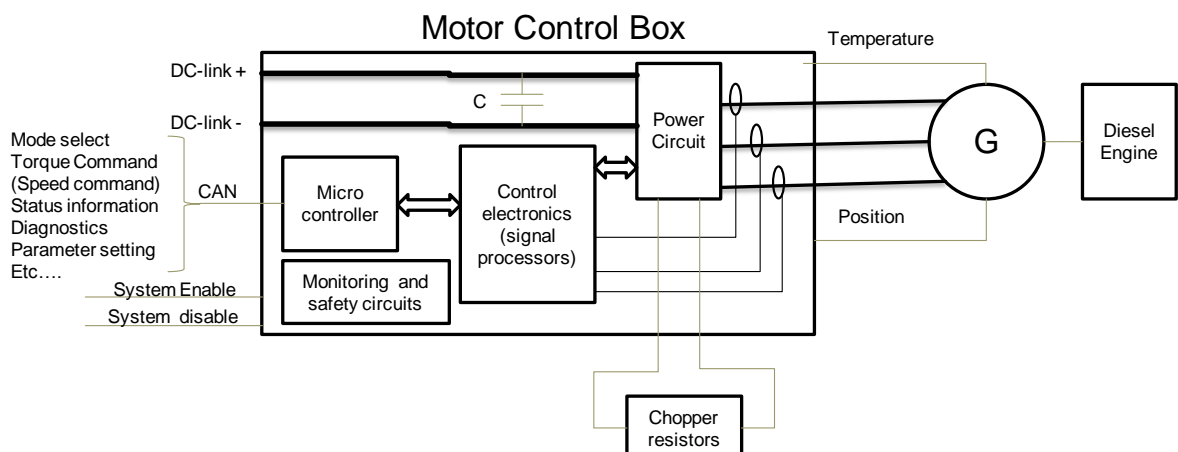
#### **4.4.2.5 Generator**

Generatorn i en hybriddrivlina kan vara dimensionerad för att generera all den elkraft som används för framdrivning av fordonet. Detta gäller för ett seriehybridfordon som använder elmaskiner för att

driva fordonet utan att parallell mekanisk traditionell drivlina ingår. Generatoren och dess kraftelektronik används då för att omvandla förbränningsmotorns moment till elektrisk energi som drivlinans drivmotorer (och kraftelektronik) behöver för att generera önskat moment till fordonets drivande hjul.

Generatoren kan även användas motriktat som elmotor för att ex driva dieselmotorn vid motorbromsning. Avgasbroms (så kallad "retarder") kan alltså användas även för hybridfordon, men det är kanske mer intressant att lagra bromsenergin i ett energilager i en sådan situation. Energilager har dock begränsad kapacitet och kan vara fulladdade varför avgasbroms ändå kan ha sitt berättigande, om man vill spara på bromsbelägg.

För mer avancerad reglering och optimal systemkonstruktion krävs som regel alltid kraftelektronik som är anpassad och dimensionerad för respektive elmotor. Detta gäller även för generatoren. Kraftelektronik och generator behöver dimensioneras för att åstadkomma så hög verkningsgrad som möjligt. För att skydda hela systemet mot för höga spänningsspikar, kan generators kraftelektronik vara anpassad för att dumpa ström till så kallade chopper resistorer (högeffektsmotstånd) som kan vara placerade i kylvätskan. Sådana skyddskretsar kan och bör för övrigt placeras strategiskt i systemet för att hantera spänningstransienter i systemet. Förutom att skydda mot överspänningar kan dessa motstånd användas för att hantera energin från elektrodynamisk bromsning (bromsmotstånd) och avsiktligt ladda ur systemet från kvarvarande spänning spänningsnivåer (t ex inför service och underhåll).



Figur 21. Figuren visar kraftelektroniken som styr generatoren där en Chopper resistor finns ansluten för att kraftelektroniken skall kunna dumpa energi för att kapa spänningsspikar i systemet.

De så kallade chopper resistorerna kan naturligtvis dimensioneras upp i kapacitet (påverkar även kylsystemet i så fall) för att likt retarder-funktionen via drivlinan bromsa fordonet elektriskt för att spara på de mekaniska bromsarna.

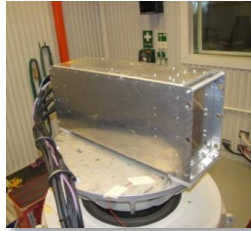
#### **4.4.2.6 Elektriska drivmotorer**

I princip så fungerar elmaskiner för framdrivning och elmaskiner som används som generator exakt på samma principiella sätt, varför läsaren hänvisas att först ta del av till tidigare kapitlet som beskriver generatoren. Drivmotorn fungerar som generator t ex bara genom att ändra det beordrade momentet i gränssnittet mot dess kraftelektronik, från att vara positivt till att verka negativt (bromsa). Drivhjulen på fordonet drivs då med ett moment som verkar för att rotera dem åt andra hållet, och om fordonet redan rör sig i motsatt riktning omvandlas dess rörelseenergi till en elektrisk energi som matas tillbaka till DC-bussen.

I praktiken finns dock skillnader mellan en elektrisk drivmotor och generator. Förutom att storlek, utformning och andra mekaniska skillnader finns kan skillnader finnas i den kraftelektronik som krävs för att enheterna skall fungera i systemet.

Om funktioner som t ex antispinn och "hill-hold" skall implementeras behövs sannolikt en bra hastighetsåterkoppling överlagras den momentåterkoppling som finns i kraftelektroniken och dess styrsystem. I princip finns stöd normalt för hastighetsåterkoppling integrerat i kraftelektronik då återkoppling behöver göras mot motorliningarnas position för att kunna styra ut elmaskiner. Det kan dock vara nödvändigt att integrera fler givare och mer signalhantering för att stödja sådana funktioner men detta beror på hur den mekaniska integrationen av drivmotorerna är gjord med t ex reduktionsväxlar etc.

### Kraftelektronik



### Elmaskin



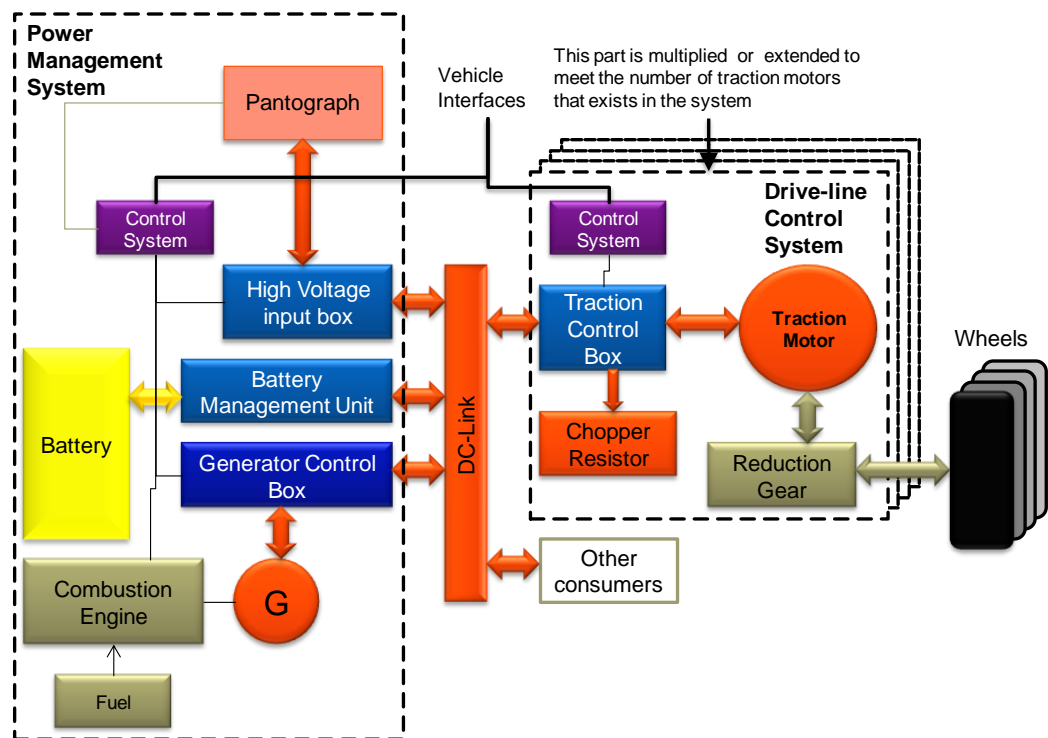
Elektrisk drivaxel utvecklad  
av BAE System Hägglunds

Figur 22. Bilden visar en drivaxel för tunga fordon utvecklad av BAE System Hägglunds. Drivaxeln har integrerad differential, och har integrerad hydraulisk utvinkling av hjulen för att kunna svänga med fordonet.

#### 4.4.2.7 Styrssystem

Styrsystemet för en el-hybridbaserad drivlina måste i sin uppbyggnad anpassas mot de krav och den uppbyggnad som systemet i övrigt har. Styrsystemet för drivlinan är egentligen sammankopplingen av alla delsystems styrenheter. En uppdelning av systemet i olika strukturer krävs för att utveckla, producera, testa och underhålla systemet.

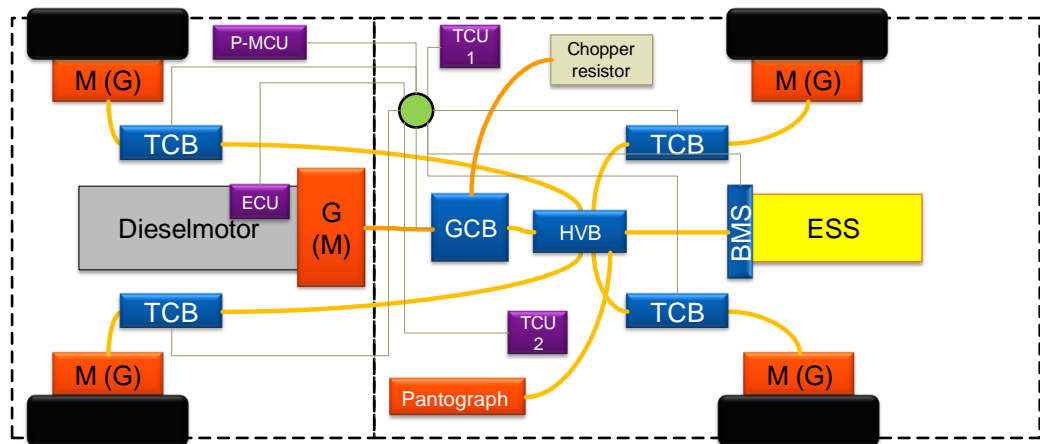
Nedanstående bild visar ett exempel på principiellt blockschema för ett seriehybridbaserat system med alla viktiga ingående delar medtagna. Detta systemet är utformat för att kunna fungera för ett fordon med individuella drivning av alla hjul via hjulmotorer med integrerade reduktionsväxlar.



Figur 23. Bilden beskriver ett seriehybridsystem som har inbyggd anslutning mot pantograph för anslutning och matning av systemet från externt elnät.

Arkitekturen för hur ingående delar paketeras och delas upp kan naturligtvis göras på många olika sätt. Uppdelningen i ett "Power Management System" samt i ett "Drive Line Control System" är inte heller given, men görs ur en funktionell utgångspunkt. Säkerhetsaspekter och tillgänglighetsaspekter mm ställer även krav på utformningen. Behovet av bl a tillförlitlighet och redundans för kommunikation samt styrning kan även lösas på olika sätt och med olika tekniker. Beskrivningarna som här ges får därför ses som möjliga exempel.

Systemet beskrivet i Figur 23 skulle, integrerat i ett fordon, kunna ha en anslutning mellan ingående delar i enlighet med nedanstående principbild i Figur 24.



Figur 24. Principbild över drivlina och krafthanteringssystem för ett seriehybridbaserat system. M(G)=elmotor/drivmotor som även kan fungera som generator, G(M)=Generator som även kan fungera som drivmotor, TCB= Traction Control Box, GCB= Generator Control Box, TCU=Traction Control Unit, ECU= Engine Control Unit, BMS= Battery Management Unit, HVB= High Voltage Box, ESS= Energy Storage System. P-MCU= Power Management Control Unit.

Figur 24 är ett exempel på ett fullt utbyggt system för seriehybridbaserad drivlina, med individuella hjulmotorer för alla hjul. Styrsystemet utgörs sammantaget av enheter som ingår i alla de violetta och blå-färgade delarna. Styrsystemet kan mycket väl integreras med kraftelektroniken till färre standardiserade moduler och byggblock. Enheter har i figuren ändå ritats fristående för att de skall framgå.

Ingående styrenheter i styrsystemet är uppbyggda av mikrodatorenheter som sammankopplas via seriell kommunikation. Även andra signaler mellan styrenheter kan behöva förekomma av bl a säkerhetsskäl. Hela systemets funktion byggs upp av programvara distribuerad i de olika styrenheterna.

Samma principiella uppbyggnad och byggteknik som har utvecklats för dagens personbilar och lastbilar kan tillämpas. Processer och teknologier för att utveckla detta styrsystem finns alltså och tillämpas i dag.

Mycket mer finns att beskriva kring styrsystemet, dess hårdvaru- och programvaruplattform. Det övergripande styrsystemet är naturligtvis mycket viktigt då detta sammanbinder och förverkligar hela systemets funktionalitet. Då denna rapport inte avser att gå in i detaljerna och inte har detta i huvudfokus, lämnas dock en sådan fördjupad beskrivningen utanför denna rapport.

#### 4.4.2.8 Stödsystem

Till stödsystem för elhybridsystemet med integrerad strömvtagare räknas system som t ex:

- Kylsystem
- Smörjssystem
- Diagnossystem

Denna rapport avser inte att fördjupat beskriva dessa utan mer peka på betydelsen och vikten av dessa system. Ofta kan smörjssystem vara en del av kylsystemet, där t ex oljecirkulation till elmotorer medger värmetransport för att kyla men även smörja vissa delar av de elmaskiner som ingår. Naturligtvis kan luftkyllning tillämpas, men med kompakta byggsätt för att reducera vikt och volym följer utmaningar att transportera ut värme från de enheter som utvecklar detta.

Kraftelektronikenheter behöver därför även vätskekylas. Ett problem för många av dessa enheter kan vara att de i praktiken inte klarar så höga temperaturer att samma kylsystem som redan finns för konventionella förbränningsmotorn, kan användas. Separata kylsystem krävs ofta därför för elkraft och elmaskiner.

Drivning av kyl och smörjssystem, kräver integrerade pumpar, värmeväxlare, kylare och fläktdrivning för att det elhybridbaserade systemet skall kunna fungera. Det kan vara så att ett underdimensionerat eller feldimensionerat kyl, eller smörjssystem är det som blir systembegränsande för en teknisk systemlösning. Dessa system kräver både, vikt och volym och står för en systemkostnad som man inte bör bortse från i sammanhanget.

Diagnossystemen för att stödja underhåll och kanske inbyggd felhantering är även helt nödvändiga och viktiga för denna typ av system, som till mycket stor utsträckning styrs av mjukvara och elektronik. Detta skiljer sig för övrigt inte mot annanfunktionallitet som finns i dagens fordonssystem som också i stor utsträckning har integrerad elektronik och mjukvara. Elhybridbaserade system baseras dock i större utsträckning på mjukvara och elektronik än vad konventionella mekaniska drivlinor gör. Både inbyggda och externa diagnossystem med funktioner för att understödja felsökning mm är därför helt oundgängligt för dessa typer av system.

## 5 UTMANINGAR

Vi fokuserar i denna del på att sammanfatta några utmaningar som finns för utveckling av själva fordonssystemen och lämnar elektrifieringen av elnätet, utformningen av pantograf och anpassningen av vägnätet åt sidan.

Utmaningarna sammanfattas med följande exempel Utmaningarna för fordonssystemens behov av anpassning för att kunna använda elektrifierade vägar sammanfattas med följande exempel:

- Konkurrens med traditionell redan utvecklad teknik
- Batterisystemutvecklingen, en flaskhals
- Nya infrastrukturer måste byggas upp, vilket tar tid och kräver stora investeringar.
- Kompetensbehovet för fordonsbranschen måste byggas upp för att optimera system och komponenter.
- Drivmedel är ännu relativt billigt

De traditionella lösningarna har under lång tid optimerats för effektiv serieproduktion varför alternativa lösningar som baseras på annan teknik kräver tid för att bli kostnadseffektiva och möjliga att serietillverka till acceptabel kostnadsnivå. Massproduktion och produktionsteknik av t ex kraftelektronik och elmaskiner tar tid att utveckla, där specialkrav som fordonsbranschen ställer måste klaras.

Batteritekniken är en nyckelteknologi för elhybridtekniken och har inbyggda funktionella och fysiska begränsningar samt egenskaper som långt ifrån är ideala. Området är ett exempel på teknik som tar tid att utveckla till acceptabel kvalitet och kostnad.

Investeringar i traditionella lösningars infrastruktur och kompetens är stor varför motstånd finns i att inte fortsätta utnyttja dessa. Samtidigt är kostnaden för investering i nya icke-traditionella utmanande då risken och tiden för att denna investering skall ge återbetalning är svår att förutse.

Tillgång till rätt kompetens och behovet av specialistkompetenser som krävs för utveckling av nya system för elektrisk transmission är en flaskhals i sammanhanget. Behovet av att ny kompetens tar tid att utveckla och bygga upp.

Dessutom har vi i dag en situation där drivmedel ännu är relativt billigt och miljökraven inte så hårda.

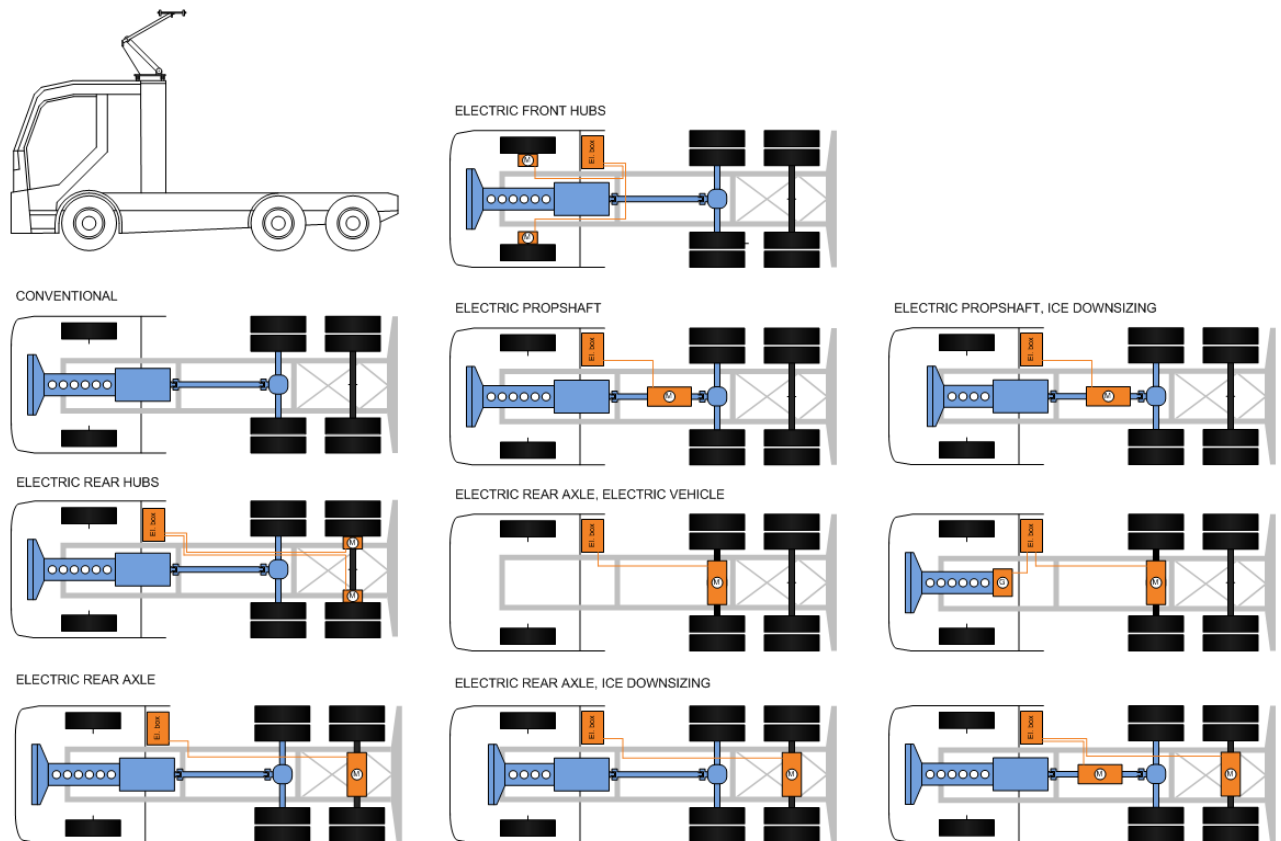
---

Kostnaden för investeringen i nya lösningar behöver vägas mot nyttan. Allmän systemkunskap och erfarenhet har inte ännu byggts upp i fordonsbranschen för att mögenhet finns att optimalt tillämpa elhybridtekniken. Därför krävs fortsatt satsning på forskning, utveckling och testverksamhet .

## 6 FÖRSLAG TILL PRINCIPUTFORMNING AV PROTOTYPFORDON

### 6.1 Exempel på olika principlösningar av elektriska drivlinor för elektrifierade vägar.

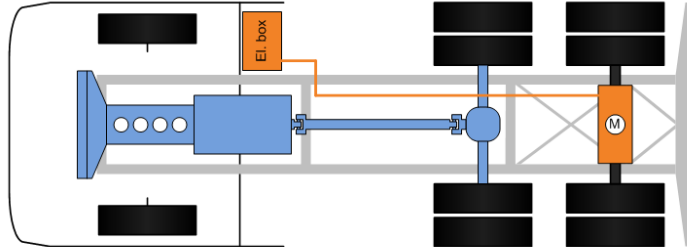
I Figur 18 visas exempel på olika möjliga anslutningar av elektriska drivmotorer för att möjliggöra elektrisk drivning av en treaxlig lastbil.



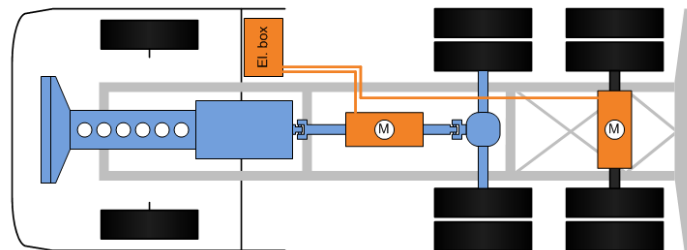
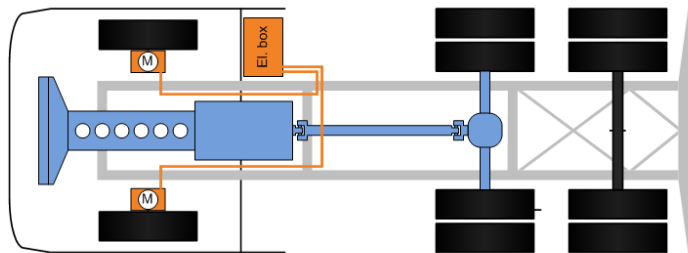
Figur 25. Figuren visar några alternativ till elektrifiering av drivlinor. De gul/bruna delarna är kraftelektroniken tillsammans med drivmotorer som kan integreras på olika sätt.

I Figur 26 nedan redovisas eldrivning baserat på parallellhybridlösningar.

ELECTRIC REAR AXLE, ICE DOWNSIZING



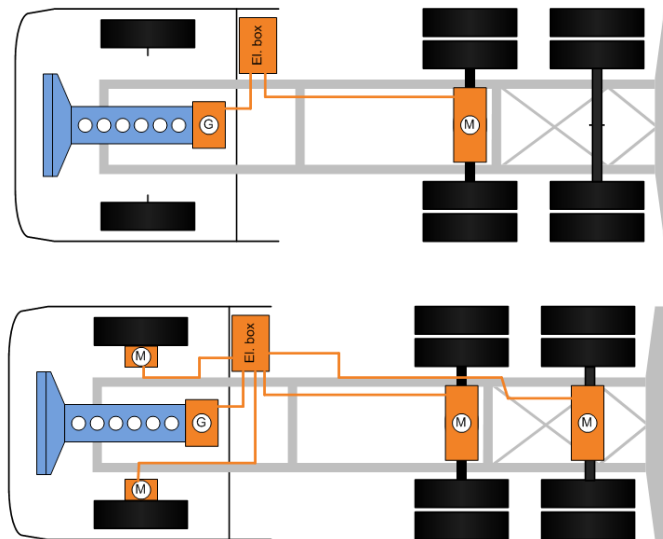
ELECTRIC FRONT HUBS



## Parallellhybrid

Figur 26. Parallellhybridbaserade lösningar till elektrisk drivlina. Översta figuren redovisar ett möjligt tilläggsystem där en drivaxel är elektrisk. Mellanlösningen erbjuder drivning på framhjulen med hjälp av inbyggda elmotorer. Den tredje lösningen (längst ned) erbjuder elektrisk drivning på alla hjul, men även överföring av drivning på den bakersta axeln i frångkopplat läge, då dieselmotor och den mekaniska drivlinan driver (den främre elmaskinen fungerar då som generator). Dieselmotorn frångkopplas vid matning från strömvtagare.

I Figur 27 beskrivs seriehybridbaserade lösningar för elektrisk drivning.



## Seriehybrid

Figur 27. Figuren beskriver exempel på eldrivning baserat på seriehybridlösningar. Den översta medger endast drivning på en bakaxel. Den nedre erbjuder drivning på alla hjul, inklusive framhjulen. En strömvtagare kan relativt enkelt anslutas till dessa lösningar för att driva fordonen. En frånkoppling av generatoren och dieselmotorn bör göras vid matning av strömvtagare.

## 6.2 Förslag till principlösning för prototypfordon

Föregående kapitel redovisar många olika möjliga fysiska systemutformningar för elhybridbaserade drivlinor, möjliga att integrera mot pantograf för att användas på elektrifierade vägar.

Ett steg i utvärderingen av elektriska vägar är att genomföra test av prototypfordon vid elektrifierad testbana. Ett befintligt fordon kan för detta ändamål byggas om och förses med pantograf. Med fördel kan existerande hybridfordon anpassas. I rapporten har tidigare nämnts:

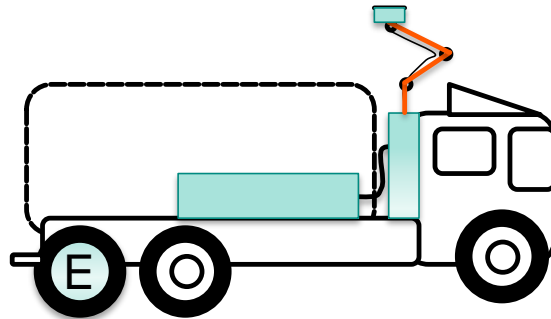
- Gruvfordon redan anpassade med elektrisk drivlina.
- Volvolastbilar finns som utvecklats med hybriddrivning anpassade för sophämtning.

I denna rapport föreslås dock att som prototypfordon i första hand utgå ifrån ett existerande konventionellt dragfordon i form av långtradare för långdistanstransport och bygga om denna med en elektrisk drivlina. Argumentet för detta är att kunna använda nya tekniska lösningar som optimeras för ändamålet. Ett annat argument är att utvärdera omkonverteringsmöjligheterna vid användning av ett befintligt fordon

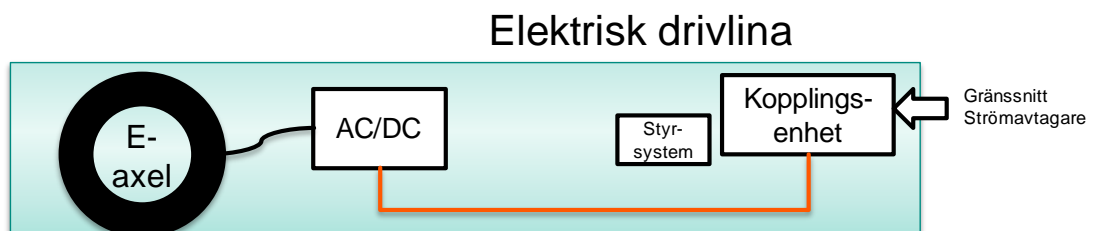
I Figur 28 presenteras en principbild som beskriver detta.

## 6.2.1 BESKRIVNING AV PROTOTYPFORDONET

Prototyplösning baserad på att konvertera ett befintligt dragfordon/lastfordon till en parallellhybrid där ena bakaxeln på fordonet blir en elektrisk axel. Systemet kopplas samman med pantografen och bildar ett helt fristående system.



Figur 28. Ett befintligt dragfordon byggs om genom att drivning på en av bakaxlarna förses med elektrisk drift. Pantograf med tillhörande fästeanordning, styrning och gränssyta placeras bakom hytten. Kraftelektronik och styrsystem placeras i utrymmet bakom detta.



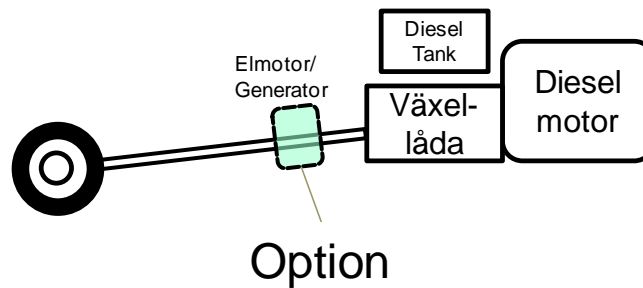
Figur 29. Schematisk principbild av det separate drivsystem som kopplas till pantografen, för ett prototypfordon

### 6.2.1.1 Option 1

En option till presenterat system, som vi kallar för option 1 är en integrering av generator som införs parallellt på den mekaniska drivlinan. Pantografen kan då överföra kraft till båda axlarna, men i detta fallet skall naturligtvis dieselmotorn fränkopplas. Vid fränkoppling av pantografen från den elektrifierade vägsträckan kan den främre elmotorn, som kopplas till den mekaniska drivlinan användas som generator. Detta medger överföring av elenergi till den

bakre helelektriska drivaxeln. Drivning av båda axlarna möjliggörs på detta sätt med endast dieselmotorn som energikälla.

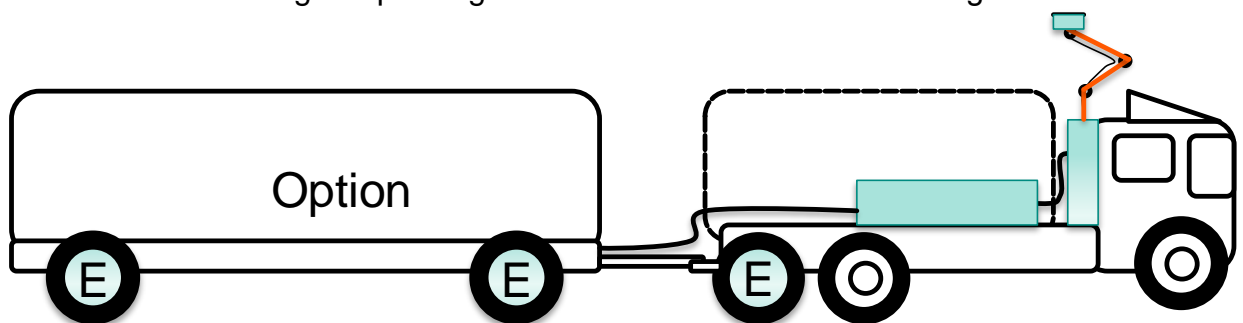
## Befintlig mekanisk Drivlina



Figur 30. Som tillägg och option kan drivmotor införas i befintlig drivlina för att tjänstgöra som drivmotor vid anslutning av pantograph och som generator vid frånkoppling av pantograph då endast dieselmotor används som energikälla.

### 6.2.1.2 Option 2

En option, som vi kallar för option 2, är att lägga till ett släp som innehåller drivmotorer på ingående drivaxlar för att skapa en "servofunktion" för att själv kunna bidra till framdrivningen. Ett befintligt släp byggs helt enkelt om och förses med hubmotorer alternativt elektriska axlar och strömförsörjs från strömavtagaren och det system som finns integrera på dragfordonet."servo" för att stötta sin egen last.



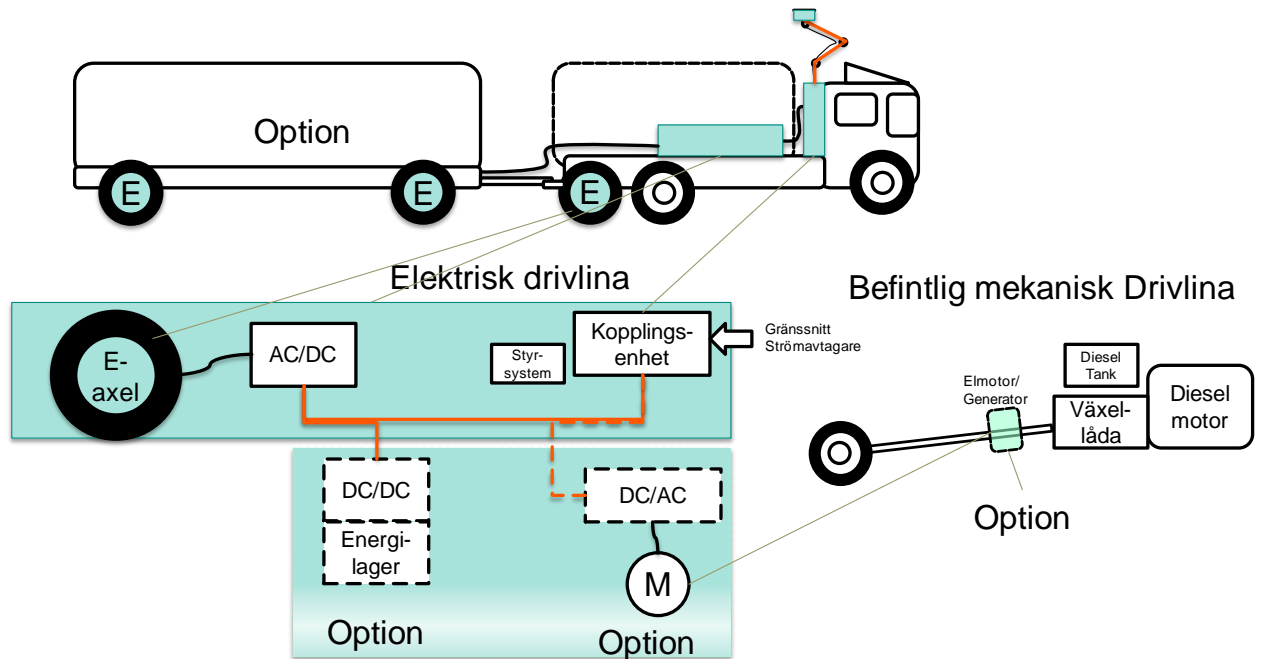
Figur 31. Påskjutsservo införes genom att förse släpet med elektrisk drivning på samtliga hjul, där kraften kan förmedlas från pantografen även till drivningen av släpets drivenheter.

### 6.2.1.3 Option 3

En ytterligare option är införandet av ett energilager i systemet.

### 6.2.1.4 Sammanfattning av föreslagna systemlösningar för prototypfordon

Figur 32 beskriver förslag och optioner för ett prototypfordon att användas för provanläggning för att testa elektrifierade vägar.



Figur 32. Figuren beskriver de principlösningar som föreslås kunna ingå i ett prototypfordon, som utgår i från ombyggnation av ett befintligt dragfordon och släp.

## 7 SLUTSATSER

Slutsatserna är att elhybridbaserade lösningar och en elektrifiering av tyngre transportfordon definitivt är tekniskt möjlig. Elhybridbaserade systemlösningar har potential att erbjuda förbättringar av tyngre transportfordon på många sätt. Det finns redan i dag exempel och erfarenhet som pekar på detta. Tydliga drivkrafter för en elektrifiering finns därmed. Dessa drivkrafter samverkar med övergripande motiv och argument för elektrifiering av vägar.

Det finns dock många utmaningar och motkrafter som motverkar en snabb förändring. Kostnaden för investeringen i nya lösningar behöver vägas mot nyttan. Allmän systemkunskap och erfarenhet har inte ännu byggts upp i fordonsbranschen för att mögenhet finns att optimalt tillämpa elhybridtekniken. Därför krävs satsning på tillämpad forskning, utveckling och testverksamhet. För att finna de rätta lösningarna behöver ansatser till möjliga lösningar prövas på vägen, dels för att bygga upp kunskap men även för att finna fram till de bästa lösningarna för respektive applikation.

Ett förslag till prototypfordon enligt Figur 5 är presenterat och beskrivet i rapporten som bygger på tillämpning av befintlig teknik för att skapa en provanläggning att testa en systemlösning av elektrifierade vägar. Ett sådant projekt innehåller många kunskapshöjande delar kring systemuppbyggnad och ingående delsystem som t ex energilager mm.