



# Lesbrief VDL & DAF

Hoe rijd je elektrisch met  
een bus of vrachtwagen?

## Lesbrief VDL & DAF

### Hoe rijd je elektrisch met een bus of vrachtwagen?



## Inhoudsopgave

Praktische informatie van de opdracht	2
Achtergrondinformatie	5
De les	8
Opdrachten voor leerlingen	14
Bijlagen	35

## Lesbrieven Brainport digibieb

Deze lesbrief maakt deel uit van een serie lesbrieven om ontwikkelingen van bedrijven in de Brainportregio in de klas te brengen. De lesbrieven zijn 'los' in te zetten, maar ook als praktische opdracht in de vaklessen te gebruiken. De opdrachten zijn op school uit te voeren met weinig voorbereiding. Daarnaast is bij iedere opdracht een thuisopdracht beschreven die de leerlingen kunnen uitvoeren als zij thuisonderwijs volgen.

### Colofon

Deze lesbrief sluit daarnaast aan bij het ['Tech Awareness' project](#) van Brainport Eindhoven. In dit project staan de vijf sleuteltechnologieën van Brainport centraal. Eén van deze sleuteltechnologieën is [Artificial Intelligence](#) (AI). AI wordt onder andere gebruikt in zelfrijdende auto's en vrachtwagens (**DAF Trucks**), het omzetten van taal in een andere taal (Google Translate) of om instructies te geven (Google Assistant en Siri bijvoorbeeld). Maar ook om super precies een plaats te kunnen bepalen (**ASML en VDL**). Daarmee kun je bijvoorbeeld artsen helpen om sneller en betere diagnoses te stellen (**Philips**), maar kun je ook een magazijn inrichten waarin automatische systemen alle producten die binnenkomen vanzelf op de goede plek opslaan en ophalen als ze nodig zijn (**Vanderlande**).

### Redactie en achtergrond

Het lesmateriaal is ontwikkeld in opdracht van Lianne Savelberg-van den Wittenboer, Sr. projectleider Onderwijs bij Brainport Development N.V, in samenwerking met [Bedrijf in de Klas](#). Heb je vragen of wil je de werkbladen in een bewerkbaar bestand ontvangen dan kun je contact opnemen via [info@lereninbrainport.nl](mailto:info@lereninbrainport.nl).

**Datum publicatie:** april 2021

# Praktische informatie van de opdracht

<b>Thema</b>	<b>Mobiliteit</b>
<b>Gekoppeld vak</b>	Scheikunde, natuurkunde/wiskunde
<b>Doelgroep</b>	Bovenbouw vmbo, havo en vwo
<b>Eindtermen</b>	<p>Verschillende vaardigheden uit 'oriëntatie op leren en werken en de basisvaardigheden' voor het vmbo. Voor havo/vwo uit domein A voor de vakken scheikunde, wiskunde en natuurkunde</p> <p><b>Vmbo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• NASK1/K/5 Elektrische energie</li> <li>• NASK1/K/9 Kracht en veiligheid</li> <li>• WI/K/5 rekenen, meten en schatten</li> <li>• WI/K/6 Meetkunde</li> </ul> <p><b>Scheikunde havo/vwo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• C1: Chemische processen (redoxreacties en/of accu's/ batterijen)</li> <li>• F3: Energieomzettingen: brandstoffen vergelijken en redeneren over aspecten van duurzaamheid die hierbij een rol spelen</li> </ul> <p><b>Wiskunde havo/vwo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• B1: Formules en functies: vuistregels en alledaagse formules (horend bij specifieke situaties) begrijpen en er eenvoudige berekeningen mee uitvoeren</li> <li>• C3: Integraalrekening: een bepaalde integraal opstellen t.b.v. de berekening van de oppervlakte van een vlakdeel</li> </ul>
<b>Leerdoel(en)</b>	Leerlingen maken kennis met uitdagingen bij VDL en bij DAF Trucks bij het ontwikkelen van elektrische voertuigen.
<b>Begeleiding</b>	docent scheikunde + eventueel toa
<b>Tijdsduur</b>	Losse opdrachten elk ongeveer één lesuur, maar uit te breiden tot een groter (vakoverstijgend) project

<b>Benodigheden</b>	<b>Hoe kies je de beste accu? (scheikunde)</b> <b>Opdracht A</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• krokodillenbekjes,</li><li>• elektriciteitsdraad,</li><li>• LED-lampjes</li><li>• spijkers</li><li>• 5 eurocent munten</li><li>• multimeters</li></ul> <b>Opdracht B</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Verschillende soorten batterijen (zie tips voor de docent),</li><li>• Multimeters</li><li>• Accu verschillen tabel (zie bijlage).</li></ul> Voor alle opdrachten is toegang tot internet nodig (kan via mobiel)
<b>Locatie</b>	<b>Voor de scheikundeopdracht:</b> scheikundelokaal

## Doe- en denkopdrachten

Bij iedere opdracht zijn doe- en denkopdrachten in verschillende niveaus beschikbaar. Je kunt daardoor zelf differentiëren, passend bij jouw klas, tijd, lokaal en mogelijkheden.

Aan de hand van deze praktische opdracht kun je verder met de theoretische onderbouwing van het onderwerp, of je bouwt de opdracht verder uit tot een groter project van meerdere dagen, misschien wel samen met andere vakken – aan jou de keuze!

De opdrachten zijn allemaal geschikt om uit te breiden met een (online) gastles, een bedrijfsbezoek, of om op voort te borduren met een profielwerkstuk.

## De opdrachten bouwen op in denkgraad:

Het achterliggende vraagstuk bij alle opdrachten is hetzelfde, maar ze lopen van A t/m C (of soms D) op in moeilijkheidsgraad en ze gaan van meer doen naar meer denken. Een A-opdracht is een handelende opdracht – leerlingen maken kennis met het concept en ervaren hoe iets werkt. Een D-opdracht is theoretischer, leerlingen maken berekeningen of verwerken complexere informatie.

Je kunt de opdrachten goed combineren. Zo kun je leerlingen bijvoorbeeld eerst met opdracht A kennis laten maken met het concept en van daaruit met opdracht C de diepte in laten gaan.

## Link met bedrijven

De opdrachten in deze lesbrieven zijn allemaal geschreven vanuit de uitdagingen van één van de bedrijven in de Brainport regio. Maar veel van die uitdagingen spelen ook bij andere bedrijven.

Heb je contact met een bedrijf? Vraag dan met welke uitdagingen zij te maken hebben en gebruik een vergelijkbare opdracht uit de digibieb!

## Bètadidactisch Ontwerpen

Aan deze lesbrief hebben studenten van de ESoE – de lerarenopleiding van de TU in Eindhoven meegewerkt.

Voor het vak 'bètadidactisch ontwerpen' is de opdracht als volgt: Om bètadocenten in opleiding voor te bereiden op het ontwerpen en innoveren van vakoverstijgend STEM onderwijs, maken zij in opdracht lesmateriaal aan de hand van vraagstukken uit de praktijk.

Aan deze lesbrief hebben meegewerkt:

- vanuit scheikunde: Anouar Kaychouhi en Ingrid Kuijpers
- vanuit wiskunde: Zareh Kirakosian, Marc Vorstermans, Patricia de Wit

# Achtergrondinformatie



## Het bedrijf: VDL Groep

Als je over de snelweg rijdt, zeker in de regio Eindhoven, zie je regelmatig een bord of gebouw met VDL erop staan. De naam 'VDL' staat voor 'Van der Leegte' – naar de familie die nog steeds aan de basis staat van dit internationale industriële bedrijf. Bij VDL Groep geloven we dat technologie ons leven en de samenleving helpt te verbeteren. In de werelden Mobility, Energy & Sustainability, Science, Technology & Health, Infratech, Foodtech en ontwikkelt en produceert VDL zeer diverse industriële en innovatieve producten en machines, van onderdelen tot eindproducten. Een aantal voorbeelden: elektrische bussen, vuilniswagens, systemen voor in chipmachines, bumpers voor een auto, bewegwijzeringsborden langs de snelweg, dakkoffers, de bekende Dopper-drinkfles, brievenbussen, zelfs zonnehemels. En nog veel meer... We zijn altijd gedreven om samen het verschil te maken. Door te denken. Te doen. En door vakmanschap en innovatie te combineren. Wij staan voor kracht door samenwerking.



Met al deze producten is het familiebedrijf, opgericht in 1953, heel groot geworden. Het bedrijf bestaat nu uit meer dan 100 bedrijven en er werken meer dan 15.000 mensen van allerlei nationaliteiten in verschillende beroepen. Dus wie weet, ga jij er ooit wel werken! Neem eens een kijkje op [www.vdlgroep.com](http://www.vdlgroep.com) voor meer informatie.

Bekijk hier de video over VDL<sup>i</sup>



## Het bedrijf: DAF Trucks

DAF Trucks is een bedrijf in Eindhoven dat vrachtwagens ontwerpt, ontwikkelt, test, produceert en verkoopt. DAF Trucks produceert een aantal verschillende vrachtwagens: lichte trucks voor in de stad, middelzware vrachtwagens voor grotere afstanden en hele sterke vrachtwagens voor transport door de bergen en onder zwaardere omstandigheden.



Bij het maken van vrachtwagens zijn een aantal dingen belangrijk: een vrachtwagen moet betrouwbaar zijn. Hij mag onderweg natuurlijk zo min mogelijk stilstaan omdat hij stuk is. Daarnaast is het belangrijk dat een vrachtwagen zo weinig mogelijk brandstof nodig heeft, want brandstof is duur. En voor een chauffeur is het belangrijk dat hij of zij veilig en prettig rijdt in een vrachtwagen. Dit zijn de basiseisen voor een goed vrachtwagen ontwerp.

Maar DAF gaat nog verder: zij werken ook aan de ontwikkeling van technologie om wereldwijd de CO2-uitstoot te verlagen en de luchtkwaliteit te verbeteren. Dat doen zij onder andere door elektrische vrachtwagens te ontwikkelen. In Eindhoven werken zij daarvoor onder andere samen met VDL.



Bekijk hier de video over DAF<sup>ii</sup>



## Het project: elektrische bussen en vrachtwagens

Elektrisch rijden is beter voor het milieu. Twee fabrikanten van zware voertuigen in de Brainportregio – VDL die onder andere bussen maakt en DAF Trucks die vrachtwagens maakt – hebben hun handen ineengeslagen. Samen ontwikkelen zij bussen en vrachtwagens die elektrisch rijden.

Toch rijden nog niet alle voertuigen elektrisch. Dit heeft een aantal redenen. Omdat we pas aan het begin van de ontwikkeling staan, is elektrisch rijden nog erg duur. Daarnaast hebben elektrische voertuigen nog weinig 'trekkracht'. Zo kan een elektrische auto bijvoorbeeld wel een caravan trekken, maar neemt de actieradius daarbij sterk af. Ook kost het laden erg veel tijd.

VDL en DAF Trucks werken dus aan accu's die sterk genoeg zijn om een zwaar voertuig als een bus of vrachtwagen aan te drijven. Ook werken ze aan andere aspecten, om de actieradius van de voertuigen zo groot mogelijk te maken binnen de beschikbare capaciteit van de accu.

Daarnaast zijn zij veel bezig met h oe je elektrische voertuigen het beste kunt inzetten.

## De opdracht: hoe rijd je elektrisch met een bus of vrachtwagen?

In deze opdracht maken leerlingen bij scheikunde kennis met accu's voor zware voertuigen en met het kiezen van de juiste accu voor in een bus of vrachtwagen. Bij natuur-/wiskunde bedenken of berekenen de leerlingen welke factoren de actieradius beïnvloeden. Daarnaast bevat deze lesbrief een grote denkopdracht waarin zij allerlei vragen rondom elektrisch rijden met bussen of vrachtwagens kunnen onderzoeken.



# De les

## Introductie door de docent

- Maak zo mogelijk een link naar voorgaande lessen;
- Vertel de leerlingen over VDL en DAF, elektrisch rijden en de uitdagingen die daarbij komen kijken (zie achtergrondinformatie);
- Beeldmateriaal dat je kunt inzetten om deze uitleg te ondersteunen, vind je hier:



VDL<sup>iii</sup>



DAF<sup>iv</sup>



Samenwerking VDL en DAF  
op elektrisch rijden<sup>v</sup>



Elektrische bussen in  
Eindhoven<sup>vi</sup>:



De elektrische bus in het  
Klokhuis<sup>vii</sup>:



Elektrische truck  
ontwikkeling<sup>viii</sup>:

- Vertel de globale opzet van de opdracht.

## Uitvoering

Deze lesbrief bestaat uit twee scheikunde-opdrachten, twee natuur-/wiskunde-opdrachten en een afsluitende opdracht. Deze zijn los van elkaar uit te voeren, maar kun je ook inzetten als vakoverstijgend project door het gezamenlijke achterliggende vraagstuk.

Bij 'verdieping en verbreding' zie je hoe je ook andere vakken bij dit vraagstuk kunt laten aansluiten – zeker met natuurkunde is een goede koppeling te maken.

In iedere opdracht maken we onderscheid tussen verschillende 'denkniveaus'. Welke opdracht je kiest, bepaal jij afhankelijk van hoeveel tijd je hebt en waar jouw focus op ligt bij jouw leerlingen.

### Scheikunde | Welke accu is geschikt?

#### A) Hoe maak je een accu sterk genoeg voor een bus of vrachtwagen?

Leerlingen ontdekken aan de hand van een citroen-accu dat je door meerdere accu's te schakelen een sterkere batterij krijgt.

#### B) Welk soort accu is geschikt voor zware voertuigen?

Leerlingen vergelijken batterijen met elkaar. Zo ontdekken zij op welke punten batterijen (dus accu's) van elkaar kunnen verschillen. Op basis van dit onderzoek bedenken leerlingen wat voor accu geschikt kan zijn voor een bus of vrachtwagen.

### Wiskunde | Hoe maak je de actieradius zo groot mogelijk?

#### A) Welke factoren hebben invloed op de actieradius?

Leerlingen maken kennis met een aantal factoren die de actieradius kunnen beïnvloeden en bedenken hoe je vanuit VDL en DAF rekening houdt met deze factoren bij de ontwikkeling van elektrische bussen en vrachtwagens.

#### B) Hoe bereken je een actieradius?

Leerlingen berekenen zelf de actieradius van een elektrische vrachtwagen, door de rol- en luchtweerstand te berekenen. Op basis van de gebruikte formules, bedenken leerlingen voor welke toepassingen een elektrische vrachtwagen of bus wel of niet geschikt zou zijn.

### Denken over elektrisch rijden met bus of vrachtwagen

Aan de hand van een aantal denk-start-vragen bedenken de leerlingen zelf wat er komt kijken bij het invoeren van elektrische bussen of vrachtwagens. Waar mogelijk bedenken of zoeken leerlingen mogelijke oplossingen op hun vragen.

## Thuis-opdracht

In de A-opdracht van scheikunde (Hoe maak je een accu die sterk genoeg is voor een bus of vrachtwagen?) bouwen de leerlingen zelf een accu van citroenen. Deze opdracht kunnen leerlingen ook thuis uitvoeren met huis-, tuin- en keukenspullen. Geef eventueel de leerlingen de ontbrekende materialen mee naar huis.

Als leerlingen voldoende verschillende batterijen thuis hebben, kunnen zij het theoretische deel van opdracht B ook thuis uitvoeren. Voor het praktische deel hebben zij een multimeter nodig.

### Overige opdrachten

Voor de overige opdrachten hebben leerlingen alleen internet en eventueel een Binas nodig.

## Evaluatie

Bespreek met de leerlingen:

- Wat vonden zij interessant aan de doe-opdracht?
- Hoe zouden zij de handelingen uit deze opdracht tegen kunnen komen in hun toekomstige beroep?
- Wat vinden de leerlingen interessant aan de uitdagingen rondom elektrisch rijden waar DAF en VDL mee te maken hebben?
- Welke onderwerpen uit het lesboek zien zij bij deze opdracht terugkomen? Waarom leren ze dat dus?

## Tips voor de docent

Tips bij de opdrachten staan hieronder. Antwoorden op de opdrachten staan in de **bijlage 'antwoorden op de opdrachten'**.

### Scheikunde: welke accu is geschikt?

- In deze opdracht gebruiken we de woorden 'accu' en 'batterij' door elkaar. Feitelijk zit daar wel verschil tussen. Op deze pagina staat daar uitleg over:  
<https://www.saake-shop.nl/blog/een-accu-of-een-batterij-wat-is-het-verschil.html>

### B) Welk soort accu is geschikt voor zware voertuigen?

- Leerlingen vergelijken verschillende soorten batterijen met elkaar. Geef ze echt verschillende batterijen, liefst ook een li-ion batterij, een lood-accu, een alkaline batterij etc. Maar in ieder geval een li-ion batterij (die moet straks als 'beste uit de test' voor een bus/vrachtwagen komen). Het kan ook interessant zijn om een lood-accu in de vergelijking mee te nemen (want waarom zou je die niet gebruiken voor elektrisch rijden?!)

## Wiskunde | Hoe maak je de actieradius zo groot mogelijk?

- Meer informatie over de rijweerstand vind je op <https://www.mvwautotechniek.nl/rijweerstand/>

### B) Hoe bereken je de actieradius?

- Voor meer uitdaging: geef de stappen (vanaf opdracht 2) niet, maar laat de leerlingen die zelf opzoeken in de tekst, Binas en de website. Een goede hulpbron voor de start is: <https://www.mvwautotechniek.nl/rijweerstand/>
- Voor nog meer uitdaging kun je de leerlingen de onbekende waarden ( $m$ ,  $C_{rol}$ ,  $C_w$ ,  $A$ ,  $v$ ) ook zelf laten opzoeken op internet en vooral te laten inschatten. Hoever komen ze daarmee?

Nog leuker is om de leerlingen de onbekende waarden ( $m$ ,  $C_{rol}$  en  $C_w$ ,  $A$ ,  $v$ ) zelf op te laten zoeken op internet en in te laten schatten. Daar komen ze al een heel eind mee!

Voor een inschatting van de (gemiddelde)snelheid maken transportbedrijven gebruik van 'SORT' cycli. Bij deze link<sup>ix</sup> vind je een presentatie over SORT-cycli en de bepaling daarvan.



## Denken over elektrisch rijden met bus of vrachtwagen

Bij deze opdracht staan twee mogelijkheden: laat de leerlingen zelf zoveel mogelijk vragen bedenken vanuit de denk-start-poster (van Bedrijf in de Klas). Of geef je leerlingen (een lijst met) vragen waar ze aan kunnen werken.

Deze opdracht kun je zo vrij invullen als je zelf wil. Laat de leerlingen alleen de vragen bedenken, of ook mogelijke oplossingen bedenken/opzoeken/onderzoeken. Of kies zelf één van de vragen uit om in de klas aan te werken. Deze opdracht kan ook een mooie opstap zijn voor een profielwerkstuk of een LOB-opdracht: welke vragen vinden de leerlingen het meest interessant? Waarom?

Als je vanuit de poster werkt, zijn de stappen:

- Bedenk zoveel mogelijk vragen bij de start-denkvragen
- Bedenk hoe je aan een antwoord kan komen (vaak meerdere mogelijkheden per vraag!)
- Met welke vraag wil je beginnen?
- Hoe ga je daaraan werken?
- Hoe ga je je antwoord presenteren?
- Veel plezier!

## Verdieping en verbreding

### Samen met bedrijven

- De opdracht kun je goed koppelen aan een (online) bedrijfsbezoek of gastles van een VDL-bedrijf of DAF Trucks.
- Vraag ook eens een transport bedrijf of zij al elektrische wagens hebben – waarom wel of niet?
- Meerdere bedrijven zijn bezig om over te gaan op een elektrisch wagenpark. Vraag bij een bezoek aan een bedrijf hoever zij zijn met het elektrisch maken van hun wagenpark.
- Andere mogelijkheden zijn om te vragen naar de voor- en nadelen van elektrische voertuigen bij een garage of een bedrijf dat accu's maakt of verkoopt.

### Vakoverstijgende opdracht met...

- **Wiskunde**  
Vraag de leerlingen om een dienstregeling te maken voor elektrische bussen in bijvoorbeeld Eindhoven: waar moet je dan rekening mee houden? Start met een dienstregeling voor één bus, voeg daar zoveel bussen en routes aan toe als de leerlingen aan kunnen.
- **Natuurkunde**  
Bij de berekeningen aan de actieradius hebben we nu alleen de rol- en luchtweerstand meegenomen. Welke factoren zijn er nog meer (weghelling, andere wegdekken, etc.)? Neem die ook mee in de berekeningen aan de actieradius.
- **Economie**
  - Hoeveel kost elektrisch rijden ten opzichte van benzine/diesel aan: Brandstofkosten/Aanschafwaarde voertuig / Onderhoud / Afschrijving
  - Voor welk bedrijf is een elektrisch voertuig interessant? Hoe kan duurder maar wel beter voor het milieu hierin meegenomen worden?
  - Hoe kan de overheid de aanschaf van elektrische voertuigen stimuleren? Wat is volgens jullie het meest effectief?
- **Biologie**  
Hoeveel fijnstof stoot je minder uit bij een elektrische bus versus benzinevoertuig? Hoeveel bomen bespaar je qua CO<sub>2</sub> met elektrische bus?
- **Maatschappijleer**  
Hoe kijkt de samenleving tegen elektrisch rijden aan (imago)? Wat voor discussiepunten kunnen er ontstaan bij elektrisch rijden (milieu versus economisch)?
- **Aardrijkskunde**  
Hoe hebben landschappelijke kenmerken invloed op de prestaties van truck of bus?
- **Engels**  
DAF is overgenomen door een Amerikaans bedrijf, PACCAR. Dit was een grote verandering voor DAF. Van een bedrijf uit de regio, die wel vrachtwagens verkocht in de hele wereld, kwamen er verkoopmogelijkheden bij. Maar ook in het bedrijf waren er veranderingen, zoals dat er veel meer Engels gesproken werd, er samengewerkt

ging worden tussen PACCAR en DAF. Vergelijk de websites van beide bedrijven met elkaar – hoe zie je de cultuur hierin terug?

- **Nederlands**

Een website heeft een bepaalde 'tone of voice'. Schrijf een stuk tekst voor op de website van dit bedrijf. Waar let je op? Vergelijk hiervoor de corporate website van DAF (<https://www.daf.com/nl-nl>) en die voor DAF-kopers <https://www.daf.nl/nl-nl/daf-dealernetwerk>) of de DAF merchandise store (<https://www.dafshop.com/>). Welke verschillen zie je? Waarom denk je dat deze zo gemaakt zijn?

- **Moderne vreemde talen**

Vraag als je bij een bedrijf op bezoek gaat, ook of zij medewerkers hebben uit een Engels-, Frans- of Duitstalig land of daar veel mee samenwerken. Leerlingen met een interesse in talen kunnen vragen voorbereiden en aan die medewerkers stellen. Denk hierbij aan cultuurverschillen, taalbarrière, vaktermen, verschillen in opleidingen, etc.

### Voor leerlingen met een niet-Nederlandse achtergrond

- Vraag leerlingen met een anderstalige achtergrond om op internet te zoeken naar wet- en regelgeving voor elektrische voertuigen in hun land. Wat mag wel of nog niet? Hebben ze voorbeelden (video's) daarvan?
- Misschien heeft een bedrijf waar je op bezoek gaat ook Pools, Turkse of Arabisch sprekende medewerkers en heb jij leerlingen die die taal spreken. Vraag of deze medewerker juist die leerlingen in hun eigen taal wil vertellen wat het werk inhoudt, hoe belangrijk het is (of niet) om goed Nederlands te spreken etc.

### Meer informatie



Werken bij VDL<sup>x</sup>



Dagelijkse operatie  
VDL Bus & Coach (Engels)<sup>xi</sup>



Grootste vloot elektrische  
bussen op Schiphol<sup>xii</sup>



DAF Trucks<sup>xiii</sup>



DAF Trucks over  
duurzaamheid<sup>xiv</sup>



Intelligente logistiek  
i.c.m.  
duurzaamheid<sup>xv</sup>



Alternatieve  
brandstoffen en  
elektrisch rijden<sup>xvi</sup>

# Opdrachten voor leerlingen

## **Scheikunde: welke accu is geschikt?**

- A) Hoe maak je een accu sterk genoeg voor een bus of vrachtwagen?
- B) Welk soort accu is geschikt voor zware voertuigen?

## **Wiskunde | Hoe maak je de actieradius zo groot mogelijk?**

- A) Welke factoren hebben invloed op de actieradius?
- B) Hoe bereken je een actieradius?

## **Denken over elektrisch rijden met bus of vrachtwagen**

## Scheikunde | welke accu is geschikt?



Een wereld zonder voertuigen kunnen wij ons echt niet meer voorstellen. Ze brengen ons veel goeds, maar helaas zorgen voertuigen die op benzine of diesel rijden ook voor milieuvervuiling door hun uitlaatgassen, geur en geluid. Zware voertuigen, zoals bussen en vrachtwagens nemen – doordat ze veel op de weg zijn – een groot deel van de uitstoot van CO<sub>2</sub> en stikstofgassen voor hun rekening.

Eén van de manieren om een zwaar voertuig duurzamer te laten rijden, is door de dieselmotor te vervangen door een elektrische motor. Bij een elektrische motor ontstaan geen schadelijke uitlaatgassen. Als de elektriciteit waar de motoren door worden aangedreven ook nog duurzaam wordt opgewekt, betekent dat dus een goede stap op weg naar een schoner milieu! VDL Groep en DAF Trucks, bedrijven in de Brainport regio, ontwikkelen samen aan elektrisch rijdende bussen en vrachtwagens.

Toch rijden nog niet alle voertuigen elektrisch. Dit heeft een aantal redenen. Omdat we pas aan het begin van de ontwikkeling staan, is elektrisch rijden nog erg duur. Daarnaast heeft een accu nog weinig energie in vergelijking tot diesel of benzine. Zo kan een elektrische auto bijvoorbeeld wel een caravan trekken, maar is de actieradius (hoe ver een voertuig komt) daarbij nog heel klein.

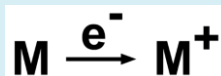
Een accu die geschikt is voor een bus of vrachtwagen moet dus een hele sterke accu zijn. Maar hij moet ook zo licht mogelijk zijn, weinig plaats innemen en natuurlijk geschikt zijn om in een bus of vrachtwagen in te bouwen. Daarnaast kun je de prestatie van een accu verbeteren door onderzoek te doen aan de chemie in de accu.



## A) Hoe maak je een accu sterk genoeg voor een bus of vrachtwagen?

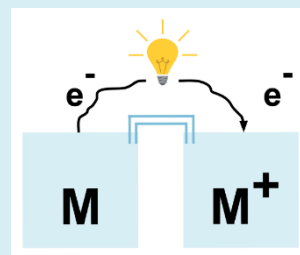
Om een zwaar voertuig ver genoeg te kunnen laten rijden, heb je een sterke accu nodig.

In een accu wordt stroom opgewekt door een chemische reactie waarbij elektronen van de ene stof aan de andere stof worden overgedragen.



Door de stoffen die reageren van elkaar te scheiden en zo de elektronen te 'dwingen' om door een geleidende draad heen te gaan, ontstaat er een elektrische stroom.

Die stroom kun je gebruiken om een lamp mee te laten branden, maar ook om een bus of vrachtwagen op stroom te laten rijden.



De sterkte van de accu hangt af van de 'kracht' waarmee de elektronen door de geleidende draad heen 'geduwd' worden. Dat noem je de spanning. Hoe meer spanning de accu heeft, hoe sterker deze is.

Omdat een bus of vrachtwagen heel zwaar is, heb je een sterke accu nodig om deze te laten rijden.

In deze opdracht onderzoek je hoe je een accu bouwt en hoe je deze sterker kan maken.

Veel mensen noemen een accu ook wel een batterij.

1. Bouw een citroen-batterij volgens de instructie op deze pagina<sup>xvii</sup>.
2. Meet hoeveel spanning jouw citroenbatterij opwekt met een multimeter.



Onze citroenaccu levert een spanning van \_\_\_\_\_ Volt.

Je kunt een batterij sterker maken (meer volt!) door meer citroenen achter elkaar te schakelen.

3. Combineer jullie citroenbatterijen: verbindt meer citroenen met elkaar op dezelfde manier als in proef 1 en meet de spanning net als in proef 2.
4. Hoeveel spanning kunnen jullie opwekken?

Een batterij met \_\_\_\_\_ citroenen levert een spanning van \_\_\_\_\_ Volt.

Om een bus of vrachtwagen te laten rijden, heb je wel 600 Volt nodig.

5. Hoeveel citroenen zou je daarvoor achter elkaar moeten schakelen?

Om 600V op te wekken, heb je gemiddeld \_\_\_\_\_ citroenen nodig.

Een accu in een bus of vrachtwagen is niet gemaakt van citroenen. Daar gebruiken ze een lithium-ion cellen voor. De cellen bouw je op in modules en de modules samen vormen de accu.

Eén lithium-ion cel levert een spanning van 3,6 Volt. Een accu voor een bus of vrachtwagen heeft zo'n 600 Volt nodig.

6. Bereken hoeveel lithium-ion cellen je achter elkaar moet schakelen om voldoende spanning op te wekken om een bus of vrachtwagen te laten rijden.

Om een bus of vrachtwagen te laten rijden, moet je \_\_\_\_\_ Li-ion accu's achter elkaar schakelen.



## B) Welk soort accu is geschikt voor zware voertuigen?

Accu's verschillen op veel punten: op basis van welke chemische reactie ze stroom leveren, hoeveel stroom kunnen ze leveren, hoeveel spanning ze op wekken enzovoorts.

Om een voertuig als een bus of een vrachtwagen elektrisch te laten rijden, kun je verschillende soorten accu's kiezen. Je zou zelfs een citroen-accu kunnen maken! Maar om te bepalen welke accu het meest geschikt is voor een bus of een vrachtwagen, houd je rekening met de eisen die het gebruik van een bus of vrachtwagen aan de accu stelt.

In deze opdracht onderzoek je verschillen tussen batterijen (dat zijn ook accu's!) en kies je op basis daarvan welke soort accu het meest geschikt zou zijn voor in een bus of vrachtwagen.

### 1. Vraag aan je docent

- minimaal drie verschillende, goed werkende batterijen
- de tabel 'accu verschillen'.

### 2. Bekijk de batterijen én de tekst daarop goed.

Zoek zoveel mogelijk verschillen tussen deze batterijen, net als in het voorbeeld hieronder.

*Tip:*

*Zoek eerst zelf verschillen die je kunt zien aan de batterij, de verpakking etc.*

*In de volgende opdrachten gaan we ook verschillen onderzoeken. Dat hoeft nu dus nog niet!*

	Batterij A	Batterij B	Batterij C
Merk	Duracell	Conrad	123accu <u>Xtreme power</u>
Type	Ultra 123 <u>photo</u>	Energy alkalinebatterij 23A	AAA
Spanning	3V	12 V	1,5 V

*Voorbeeld tabel 'accu verschillen'*



In de vorige opdracht heb je verschillen onderzocht die je zelf kunt zien.

Voor een batterij maakt het ook uit hoeveel energie hij kan leveren. Dat onderzoeken we in deze opdracht.

3. Voeg de volgende kenmerken toe aan je verschillen tabel:

- Stroomsterkte
- Vermogen
- Capaciteit
- Energiedichtheid
- Elektrische energie



4. Meet of bereken de waarde van deze kenmerken en vul de waarde voor de verschillende batterijen in de tabel in:

Kenmerk	Grootheid (Eenheid)	Uitleg Opzoeken/meten/berekenen door:
Spanning	U (V)	Met hoeveel 'kracht' stuurt de accu de stroom door? Staat op de batterij, maar ook te meten met een multimeter.
Stroomsterkte	I (A)	Meet de stroomsterkte met een multimeter.
Vermogen	P (W)	$P = U \times I$
Capaciteit	C (Ah)	Hoeveel uur een bepaalde hoeveelheid stroom (Ampère) geleverd kan worden. Opzoeken op internet, onder andere wikipedia <sup>xviii</sup> is een fijne bron van informatie!
Elektrische energie	E (kWh)	Hoeveel (elektrische) energie kan een accu leveren: $E = U \times C$
Energiedichtheid	w (kWh/kg)	Hoeveel energie levert een accu per kg gewicht $w = E / m$



Een accu voor een vrachtwagen of bus moet voldoen aan de volgende eisen:

- Zo veel mogelijk **elektrische energie** (kWh).  
Met meer elektrische energie komt het voertuig verder op één accu.
- Zo laag mogelijk **gewicht**  
Hoe zwaarder de batterij, hoe hoger het energieverbruik (en dus een kleinere actieradius). Bovendien mag een vrachtwagen in Nederland – inclusief vracht én natuurlijk de accu – maximaal 50 ton wegen. Dus met een lager gewicht van de accu mag de bus of vrachtwagen meer passagiers of goederen vervoeren.
- Zo **klein** mogelijk (Wh per liter)  
Meer energie meenemen is één ding, maar er moet ook genoeg ruimte zijn voor passagiers en goederen. Zeker omdat de maten van bussen en vrachtwagens door de wet begrensd zijn.
- Zo snel mogelijk **opladen**: iedere minuut dat een bus of vrachtwagen moet opladen kan deze niet rijden, en dus ook geen geld verdienen. Dieselmotoren rijden gemiddeld zo'n 18 uur per dag, en moeten met de huidige technologie minimaal 1 keer per dag (gedeeltelijk) worden bijgeladen
- Minimale **spanning** = 600V  
Dit is geen eis, maar een gevolg van de gebruikte componenten en bijvoorbeeld de laadsnelheid. De motoren vragen dergelijke spanning en bij het laden is de stroom (A) de beperkende factor. Je kunt sneller laden (meer kW per h) door de spanning te verhogen waardoor je het vermogen (kW) vergroot.
- **Levensduur**  
Het aantal laadcycli (hoe vaak kun je een accu op- en ontladen) is van belang. Een loodbatterij is per kWh veel goedkoper dan een Li-ion, maar kan veel minder cycli mee: per cyclus is deze daardoor dus duurder dan een Li-ion.

5. Ga met behulp van bovenstaande informatie en jullie accuverschillen-tabel na welke van jullie batterijen het beste zou zijn om een bus op te laten rijden:

- Vul in de kolom 'bus/vrachtwagen' in wat het beste zou zijn voor een accu voor een bus of vrachtwagen. Maakt het niet uit of kun je dat niet weten? Laat het vakje dan leeg.
- Ga voor ieder kenmerk na welke het beste voldoet aan de eisen voor een bus of vrachtwagen.

Kenmerk	Batterij A	Batterij B	Batterij C	Bus/ vrachtwagen
Merk	Duracell	Samsung	123accu <u>Xtreme power</u>	
Type	Ultra 123 <u>photo</u>	ICR18650-26 ZLF / 18650 Z- soldeerlip Li-ion	AAA	
Oplaadbaar	Nee	<u>Ja</u>	Nee	Ja!

- Tel bij elk van de drie batterijen op hoeveel keer zij een 'beste kenmerk' hebben.
- De batterij met de meeste beste kenmerken is jouw beste keuze!

Onze beste keuze accu/batterij voor een bus of vrachtwagen is

Omdat

Elektrische voertuigen rijden meestal op lithium-ion accu's. In dit artikel van de ANWB<sup>xix</sup> staat een aantal redenen waarom dat zo is.



6. Noem minimaal drie redenen uit het artikel waarom een lithium-ion accu een goede keuze is voor elektrisch rijden:

De lithium-ion accu is een goede keuze voor elektrisch rijden, omdat...

7. Noem minimaal twee dingen die nog als nadeel van een lithium-ion accu worden genoemd en die ze dus nog aan het verbeteren zijn:

Aan de lithium-ion accu kunnen de volgende dingen nog verbeteren:

## Wiskunde | Hoe maak je de actieradius zo groot mogelijk?



Een wereld zonder voertuigen kunnen wij ons echt niet meer voorstellen. Ze brengen ons veel goeds, maar helaas zorgen voertuigen die op benzine of diesel rijden ook voor milieuvervuiling door hun uitlaatgassen, geur en geluid. Zware voertuigen, zoals bussen en vrachtwagens nemen – doordat ze veel op de weg zijn – een groot deel van de uitstoot van CO<sub>2</sub> en stikstofgassen voor hun rekening.

Eén van de manieren om een zwaar voertuig duurzamer te laten rijden, is door de dieselmotor te vervangen door een elektrische motor. Bij een elektrische motor ontstaan geen schadelijke uitlaatgassen. Als de elektriciteit waar de motoren door worden aangedreven ook nog duurzaam wordt opgewekt, betekent dat dus een goede stap op weg naar een schoner milieu! VDL en DAF Trucks, bedrijven in de Brainport regio, ontwikkelen samen aan elektrisch rijdende bussen en vrachtwagens.

Toch rijden nog niet alle voertuigen elektrisch. Dit heeft een aantal redenen. Omdat we pas aan het begin van de ontwikkeling staan, is elektrisch rijden nog erg duur. Daarnaast hebben elektrische voertuigen nog weinig 'trekkracht'. Zo kan een elektrische auto bijvoorbeeld wel een caravan trekken, maar neemt de actieradius (hoe ver komt een voertuig) daarbij sterk af.

Deze actieradius is wel van groot belang voor bussen en vrachtwagens. Zij moeten hun route kunnen rijden, zonder te vaak stil te moeten staan om te laden.

De actieradius is afhankelijk van verschillende factoren, zoals hoeveel energie kost het om de bus of vrachtwagen te laten rijden, maar ook hoeveel systemen verbruiken stroom in het voertuig.

De uitdaging die hier ligt is dus: hoe krijg je zo'n groot mogelijke actieradius?



## A) Welke factoren hebben invloed op de actieradius?

De actieradius is de afstand die je kunt rijden op een volle accu. Voor een bus en een vrachtwagen is het belangrijk om zo ver mogelijk te kunnen rijden op één accu: hoe verder je kunt rijden, hoe minder tijd je kwijt bent om te tanken. En tijd is geld!

De actieradius wordt beïnvloed door verschillende factoren. Denk hierbij aan:

- De rijweerstand
- Het rijgedrag van de chauffeur
- Andere systemen die energie vragen van de accu

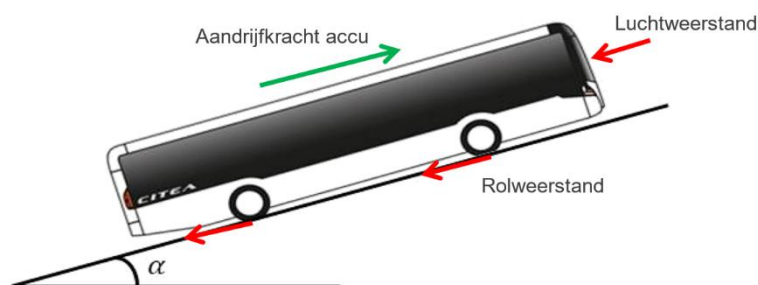
Door het rijden voor een bus of vrachtwagen zo makkelijk mogelijk te maken, komt het voertuig zo ver mogelijk met de energie uit één accu.

In deze opdracht onderzoek je hoe deze factoren invloed hebben op de actieradius en bedenk je hoe je een zo groot mogelijke actieradius kan krijgen.

### Rijweerstand

Tijdens het rijden krijgt de bus of vrachtwagen weerstand door:

- Rolweerstand
- Hellingweerstand
- Luchtweerstand



De **rolweerstand** is de weerstand die een rond voorwerp, zoals een wiel, ondervindt als het rolt over een oppervlak. De rolweerstand hangt onder andere af van de vorm van de band en van het wegdek.

1. Geef in de tabel hieronder aan wat welke kenmerken zorgen voor een hoge rolweerstand of een lage rolweerstand.

	Hoge rolweerstand	Lage rolweerstand
Vorm van de band		
Massa van het voertuig		
Wegdek		

De **hellingweerstand** is de weerstand die een voertuig krijgt als het een heuvel op rijdt.

2. Vul in onderstaande tabel in of een steile helling juist een hoge hellingweerstand geeft of andersom.

	Hoge hellingweerstand	Lage hellingweerstand
Helling	<i>steil / niet steil</i>	<i>Steil / niet steil</i>

De **luchtweerstand** is hoeveel tegendruk een voertuig krijgt van de lucht tijdens het rijden. Deze hangt vooral af van de vorm van het voertuig.

3. Hieronder zie je een raceauto, een bus en een vrachtwagen. Benoem zoveel mogelijk verschillen in de vorm van de voertuigen en geef aan of die zouden zorgen voor een hoge of een lage luchtweerstand.



Verschillen	Luchtweerstand
	Laag/hoog
	Laag/hoog
	Laag/hoog
	Laag/hoog
	Laag/hoog
	Laag/hoog

De rijweerstand is een optelsom van de rolweerstand, de hellingweerstand en de luchtweerstand:  $\text{rijweerstand} = \text{rolweerstand} + \text{hellingweerstand} + \text{luchtweerstand}$ .

Hoe minder weerstand je hebt, hoe groter de actieradius van een voertuig is.

4. Beschrijf hieronder hoe je een zo groot mogelijke actieradius kunt krijgen, door rekening te houden met de rijweerstand van een voertuig:

Voor een zo groot mogelijke actieradius, moet de rijweerstand zo hoog/laag\* mogelijk zijn. Dat kun je doen door:

\* streep door wat niet van toepassing is



Als iets energie kost, kun je die energie niet meer gebruiken om te rijden: de actieradius wordt dus kleiner.

7. Benoem hieronder de drie dingen uit jouw tabel van opdracht 6 die het meeste energie kosten. Hoe zou je kunnen zorgen dat dat minder energie kost?

Kost meeste energie	Kan minder energie kosten, door...

Je hebt in opgave 1 t/m 7 allerlei factoren onderzocht die invloed hebben op de actieradius van een voertuig.

Omschrijf hieronder van ieder kenmerk wat je bij een bus of vrachtwagen kunt doen om een zo groot mogelijke actieradius te krijgen:

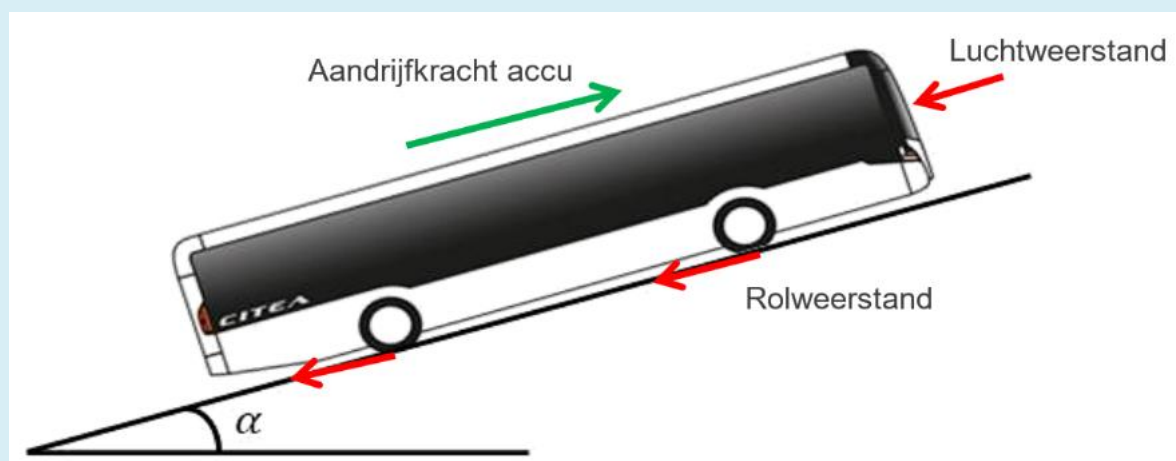
		Hoge actieradius, door:
Rijweerstand	Rolweerstand	
	Hellingweerstand	
	Luchtweerstand	
Rijgedrag	Snelheid	
	Hard optrekken	
	Remmen	
Energie vreters (zie opdracht 7)		

## B) Hoe reken je aan actieradius?

De actieradius is de afstand die je kunt rijden op een volle accu. Voor een bus en een vrachtwagen is het belangrijk om zo ver mogelijk te kunnen rijden op één accu: hoe verder je kunt rijden, hoe minder tijd je kwijt bent om te tanken. En tijd is geld!

Er zijn verschillende factoren die invloed hebben op de actieradius. Een belangrijke factor is de rijweerstand: de tegenwerkende kracht die een voertuig moet overwinnen om te kunnen rijden.

De rijweerstand bestaat onder andere uit: de rolweerstand, de hellingweerstand en de luchtweerstand.



Hierbij geldt: meten is weten!

DAF Trucks heeft verschillende vrachtwagens: de LF is een lichte vrachtwagen, wendbaar in druk verkeer en daardoor heel geschikt voor in de stad. De XF is de truck voor lange afstanden. De CF zit daar tussenin en wordt dus ingezet voor langere afstanden én voor in de stad. Van de CF en de LF zijn ook elektrische vrachtwagens beschikbaar.

Voor dit voorbeeld kijken we naar de **DAF CF Electric FT-trekker (4x2)**.

Op de website staat een actieradius voor deze vrachtwagen van 200 km.

In deze opdracht gaan we deze actieradius zelf berekenen.

Aan de hand van de gebruikte formules gaan we achterhalen hoe je deze actieradius mogelijk zou kunnen verhogen.

1. Open de website van de DAF CF Electric<sup>xx</sup>



Om een voertuig te laten rijden, moet deze de **rijweerstand** overwinnen. Deze bestaat – op een vlak wegdek – onder andere uit de rolweerstand en de luchtweerstand.

Als je weet hoeveel **rijweerstand** een voertuig moet overwinnen, weet je ook hoeveel **vermogen** de accu moet leveren om het voertuig vooruit te krijgen met een bepaalde snelheid.

Als je weet hoeveel **energie** de accu heeft, kun je met dat **vermogen** uitrekenen hoever een voertuig komt met een bepaalde snelheid: de **actieradius!**

Dit gaan we stap voor stap uitrekenen:

### Hoe groot is de rijweerstand voor een vrachtwagen?

Hiervoor berekenen we de rolweerstand en de luchtweerstand van de vrachtwagen.

De **rolweerstand** is de weerstand die een rond voorwerp, zoals een wiel, ondervindt als het rolt over een oppervlak. De rolweerstand hangt onder andere af van de vorm van de band en van het wegdek.

De formule voor rolweerstand is  $F_{rol} = C_r \cdot m \cdot g$

Hierin is

- $C_r$  de rolweerstandscoefficiënt. Deze hangt af van het materiaal van het wiel en het wegdek – zie de tabel<sup>xxi</sup> hiernaast. Gebruik de waarde voor  $C_r$  van een glad betonwegdek.
- $m$  = de massa van het voertuig (kg)  
Gebruik hiervoor de maximaal toelaatbare massa van een beladen vrachtwagen: 19 ton
- $g$  = de valversnelling:  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Ondergrond:	Rolweerstandscoefficiënt
Gladde geasfalteerde weg	0.010
Gladde betonweg	0.011
Ruw, goede betonweg	0.014
Goede stenen bestrating	0.020
Versleten wegdek	0.035
Goede onverharde weg	0.045
Droog grasveld	0.080
Slechte onverharde weg	0.160
Harde karrensporen	0.070 – 0.120
Zachte karrensporen	0.140 – 0.240
Los zand	0.100 – 0.300

*rolweerstand van rubberen banden op verschillende soorten ondergrond*

### 2. Bereken de rolweerstand van de DAF CF Electric

De **luchtweerstand** is hoeveel tegendruk een voertuig krijgt van de lucht tijdens het rijden. Deze hangt vooral af van de vorm van het voertuig en de snelheid.

De formule voor luchtweerstand is  $F_{LW} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot v^2$

Hierin is

- $R$  de luchtweerstand onder normale omstandigheden
- $C_w$  de luchtweerstandscoefficiënt. Ga uit van een waarde van 0,7.
- $A$  het frontale oppervlakte van de vrachtwagen. Ga hierbij uit van  $8 \text{ m}^2$ .
- $v$  = de snelheid van het voertuig. Ga uit van een gemiddelde snelheid van 27 km/u (let op de eenheden!)

### 3. Bereken de luchtweerstand voor de DAF CF Electric.

De rijweerstand is een optelsom van onder andere de rolweerstand en de luchtweerstand.

De formule voor de rijweerstand is  $F_{rij} = F_{rol} + F_{LW}$ .

- Bereken de rijweerstand voor de DAF CF Electric.

Het vermogen dat nodig is om deze rijweerstand te overbruggen bij een bepaalde snelheid, bereken je met de formule  $P = F \cdot v$

- Bereken het **vermogen** dat de accu van een DAF CF Electric moet leveren bij een snelheid van 72 km/u (let op de eenheden!).
- Zoek op de website van de DAF CF Electric op wat zijn **effectieve accucapaciteit** is.
- Bereken **hoeveel uur** een DAF CF Electric met die capaciteit kan rijden met een snelheid van 27 km/u.
- Bereken hoe **ver** een DAF CF Electric komt in die tijd met die snelheid.  
**Dit is de actieradius!**

Op de website staat een actieradius met een volledig opgeladen accu tot 220 km. Als het goed is, kwam je op een hoger getal uit. Op de website staat dan ook genoemd als opmerking bij dit bereik:

*Afhankelijk van de toepassing, de rijomstandigheden en de belading.*

- Noem voor elk van deze factoren één reden waarom het bereik op de website lager zal liggen dan wij hebben berekend.

Door goed naar de formule voor de rijweerstand te kijken, kun je veel ontdekken over de factoren die invloed hebben op de actieradius:

$$F_{rij} = F_{rol} + F_{LW} = C_r \cdot m \cdot g + 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot v^2$$

- Ga voor elk van de factoren na hoe je deze kunnen beïnvloeden om de actieradius groter te maken. Neem onderstaande tabel over en vul deze in.

	Om de actieradius groter te maken, kun je...
$C_r$	
$m$	
$C_w$	
$A$	

Elektrische vrachtwagens, maar ook bussen worden nog voornamelijk voor de korte en midden lange afstand ingezet. Dat heeft twee redenen: de snelheid op het traject en de tijd die het kost met een elektrisch voertuig om langere afstanden te rijden in verband met de laadtijd.

11. Ga na met behulp van bovenstaande formules na:

Als de snelheid 2 keer zo hoog wordt, wordt de actieradius ...

12. Vergelijk de reistijd van een elektrische vrachtwagen met die van een dieselvrachtwagen op een rit van Eindhoven (NL) naar Bordeaux (FR).

We laten de rij- en rusttijden van de chauffeur hier even buiten beschouwing.



a. Bereken de reistijd van een elektrische vrachtwagen op dit traject met de ANWB routeplanner voor elektrische auto's<sup>xxii</sup>.

Vul bij 'auto-type' de Mazda MX-30 in. Deze heeft een vergelijkbare actieradius als een elektrische vrachtwagen.

b. Zal de reistijd voor een vrachtwagen hoger of lager liggen dan de reistijd voor deze Mazda? Leg uit waarom.

c. Bereken de reistijd met een vrachtwagen die op diesel rijdt. Gebruik hierbij de volgende gegevens:

- De vrachtwagen hoeft onderweg niet te tanken.
- De vrachtwagen rijdt gemiddeld 89,2 km/u
- Laat de dieselvrachtwagen dezelfde route rijden als de ANWB-routeplanner aangeeft voor de Mazda MX-30.

13. Leg uit met behulp van de berekening bij opdracht 12 waarom elektrische vrachtwagens en bussen niet voor lange afstanden worden ingezet.

14. Voor de kortere afstanden worden wel elektrische bussen en vrachtwagens ingezet.

a. Noem minimaal drie toepassingen van bussen en vrachtwagens voor op de korte afstand.

b. Waarom zou juist voor deze toepassingen een elektrisch voertuig veel meerwaarde bieden?

Gebruik bij je antwoord argumenten uit deze twee video's:



Invoering van elektrische bussen in Eindhoven<sup>xxiii</sup>



Presentatie elektrische truck VDL en DAF<sup>xxiv</sup>

## Denken over elektrisch rijden met bus of vrachtwagen

### Elektrische stadsbussen

In Eindhoven rijdt sinds 2016 één van de grootste elektrische busvloeden van Europa. De overstap van dieselbussen naar elektrische bussen was een enorme operatie.



Bekijk in deze video<sup>xxv</sup> de aankondiging van de elektrische vloot:

Dat dit niet zonder slag of stoot gaat, zie je in deze video<sup>xxvi</sup>:



### Opdracht

- Bedenk welke vragen je vooraf moet beantwoorden om zo'n groot project te laten slagen.  
Maak hierbij gebruik van de denk-start-poster hieronder.
- Kies welke vragen je wil beantwoorden.
- Bedenk hoe je het antwoord wil gaan presenteren.  
Maak hierbij eventueel gebruik van de tips op deze pagina<sup>xxvii</sup>.



Kijk op deze pagina<sup>xxviii</sup> voor meer toelichting op de denk-start poster.



## Elektrische vrachtwagens

Eindhoven zet stappen naar een nul-emissiezone binnen de ring van Eindhoven. Vanaf 2025 mogen alleen nog elektrische vrachtauto's op de wegen in het centrum van Eindhoven rijden. Vanaf 2030 wil Eindhoven dat de nul-emissiezone voor álle voertuigen gaat gelden.

Dat betekent nogal een omslag voor veel bedrijven.

### Opdracht

- Bedenk wat er allemaal komt kijken bij het invoeren – en handhaven van zo'n nul-emissiezone.
- Welk effect heeft dat op bedrijven? En op een bedrijf als DAF Trucks? Welke kansen biedt dit? En welke bedreigingen?

Maak hierbij gebruik van de denk-start-poster hieronder:

- Kies welke vragen je een antwoord op wil vinden.
- Bedenk hoe je het antwoord wil gaan presenteren. Maak hierbij eventueel gebruik van de tips op deze pagina<sup>xxx</sup>.



Kijk op deze pagina<sup>xxx</sup> voor meer toelichting op de denk-start poster.



## Een lijst met vragen over elektrische bussen en vrachtwagens

Bij het vervangen van (stads)bussen en vrachtwagens die op diesel rijden door elektrische bussen en vrachtwagens, komt veel kijken. Hieronder staat een lijst met mogelijke vragen waar je over na kan denken bij het rijden met 'nul-emissie'.

Kies één of meerdere vragen uit de lijst hieronder. Bedenk/zoek op/onderzoek een mogelijk antwoord op deze vragen.

### Bij de overgang naar volledig elektrisch buspark in Eindhoven<sup>xxxii</sup>:



- Hoe is het voor passagiers om in een elektrische bus te rijden?
- Hoe is het voor chauffeurs om in een elektrische bus te rijden?
- Hoe lang duurt het om een bus op te laden?
- Vergelijk hoeveel energie 43 elektrische bussen verbruiken, wanneer deze 80.000 kilometer per bus per jaar rijden, met huizen: hoeveel huizen verbruiken samen net zoveel energie als deze bussen? (Gebruik eventueel gegevens uit wiskunde-opdracht B hierbij)
- Hoe krijg je die energie bij de bussen? Is dat makkelijk denk je? Bekijk hiervoor deze video<sup>xxxiii</sup> over het aanleggen van de kabel en het plaatsen van de betonnen behuizing voor de aansluiting.
- Is het slim om elektrische bussen in een bebouwde omgeving op te laden, of juist niet? Denk ook aan kosten voor het leggen van kabels enzovoorts.
- Waarom kun je niet 'gewoon' de dieselbussen door elektrische bussen vervangen? Wat kan er mis gaan?
- Wat doe je met de oude bussen?
- Hoe krijg je 43 elektrische bussen in Eindhoven? Of vervang je de oude bussen stapsgewijs?
- Welke regio's volgen? Waarom juist die?
- Eindhoven is trots op zijn elektrische bussen! Waar zie en merk je dat aan?
- Waarom is het voor VDL belangrijk dat het goed zichtbaar is dat zij deze bussen hebben ontwikkeld?



### In 2022 komen er weer nieuwe elektrische bussen in Eindhoven

Bekijk deze video's over de introductie van nieuwe generatie elektrische bussen van VDL:



New Gen Citea  
the making of movie<sup>xxxiii</sup>



New Gen Citea Launch movie<sup>xxxiv</sup>

- Waarin zijn deze beter dan de oude?
- Waarom konden die verbeteringen nu pas ingevoerd worden?

## **Elektrisch rijden door bussen en vrachtwagens**

- Waarom heeft VDL in deze ontwikkeling samen gewerkt met DAF?
- Waarom zou je eerst de stadsbussen elektrificeren en daarna pas het streekvervoer?
- Bij elektrisch rijden is het belangrijk om de accu niet helemaal 'leeg' te rijden. Onder een Depth of Charge (hoeveel is de accu nog opgeladen) van 20% slijt de accu sterk. Waarom is dat? En hoe kun je zorgen dat buschauffeurs of vrachtwagenchauffeurs niet onder die DoC van 20% komen?
- Elektrisch rijden is nog veel duurder dan rijden op diesel. Waarom zou dat zijn? Waarom kiezen partijen dan toch voor elektrisch rijden? Wat zou er moeten gebeuren om elektrisch rijden aantrekkelijker te maken?

## **Vanaf 2025 geldt een nul-emissiebeleid binnen de ring van Eindhoven**

- Waarom zou een gemeente dat invoeren?
- Wat vinden mensen daarvan?
- Wat maakt dat uit voor VDL?
- Wat maakt dat uit voor DAF?
- Hoe gaan bedrijven dat aanpakken? Nieuwe – elektrische – voertuigen kopen? Of via een soort 'hub' waar goederen worden overgeladen? Of...?

## **Vanaf 2040 wil DAF Trucks alleen nog maar zero-emissie vrachtwagens maken**

- Voor welke toepassingen is elektrisch rijden geschikt?
- Voor welke niet? Op welke alternatieven zou je ook kunnen inzetten? Wat zijn de voor- en nadelen?

# Bijlagen

## Accuverschillen

Kenmerk	Batterij A	Batterij B	Batterij C	Bus/ vrachtwagen
Merk				
Type				

## Antwoorden op de opdrachten

### Scheikunde: welke accu is geschikt?

#### A) Hoe maak je een accu sterk genoeg voor een bus of vrachtwagen?

2. Bij deze opdracht meten leerlingen de spanning van hun citroenbatterij met een multimeter. Een makkelijke uitleg voor multimeters staat hier:  
<https://www.coolblue.nl/advies/multimeter-gebruiken.html>
4. Met één citroen-batterij wek je ongeveer 0,9V op.
5. Voor een bus/vrachtwagen heb je dus  $600 / 0,9 = 667$  citroenen nodig
6. Of  $600/3,4 = 176$  li-ion accu's.

#### B) Welk soort accu is geschikt voor zware voertuigen?

2. Leerlingen kunnen bijvoorbeeld verschillen opmerken aan de vorm, afmetingen, massa, oplaadbaarheid, kleur, verpakking, grootte (of het ontbreken van) die 'knopjes' op de bovenkant etc. Voorbeelden van genoemde dingen om te onderzoeken vind je hier: <https://www.acculaders.nl/blogs/blog-acculaders/welke-soorten-accus-zijn-er/>
5. Leerlingen onderzoeken welke batterij het meest geschikt is voor een zwaar voertuig. Als het goed is, komt hier de lithium-ion accu als beste uit de test. Maar dat ligt aan de verschillen die de leerlingen gevonden hebben. Komen ze op een andere batterij/accu uit? Kijk dan of hun redenering wel klopt
6. Redenen waarom een li-ion accu een goede keuze is voor elektrisch rijden:
  - hoge energiedichtheid en
  - een lange levensduur
  - prijs van lithium-ion-accu's is de afgelopen jaren spectaculair gedaald
7. Verbeteringen aan de li-ion accu:
  - Prijs
  - Gevoeligheid voor temperatuur

## Wiskunde | Hoe maak je de actieradius zo groot mogelijk?

### A) Welke factoren hebben invloed op de actieradius?

1. Rolweerstand:
  - Vorm van de band: hoe kleiner opp de grond raakt, hoe minder rolweerstand
  - Massa: hoe minder massa, hoe minder de bank indrukt dus hoe minder rolweerstand.
  - Wegdek: hoe gladder het wegdek, hoe minder rolweerstand
2. Een steile helling geeft een hoge hellingweerstand
3. Zo aerodynamisch mogelijk: druppelvorm, zo klein mogelijk, niet hoekig, gladde overgangen.
4. Bovenstaande punten samenpakken.
5. Rijgedrag:
  - Hoge snelheid geeft een kleinere actieradius
  - Veel hard optrekken geeft een kleinere actieradius
  - Veel remmen geeft een grotere actieradius
6. Dingen die energie kosten:
  - Bus en vrachtwagen: lampen, besturing dashboard, alle meet- en regelsystemen, ...
  - Bus: open en dicht doen van de deuren, informatievoorziening passagiers, soms ook wifi, OV-chip systeem, airco voor de passagiers
  - Vrachtwagen: airco chauffeur, koelkast, systemen bij het bed, koelen van de lading
7. Vooral de airco en het koelen van de lading kost veel energie. Besparen op de airco kan door de deuren minder lang open te houden, dikkere kleren aan te doen (chauffeur), raampjes open in de zomer etc.
8. Samenvatting van eerdere factoren – zie boven.

### B) Hoe reken je aan actieradius?

2.  $F_{rol} = 0,011 \cdot 19 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 2,0 \text{ kN}$
3.  $27 \text{ km/u} = 7,5 \text{ m/s}$   
 $F_{LW} = 0,5 \cdot 1,29 \cdot 0,7 \cdot 8 \cdot 7,5^2 = 0,2 \text{ kN}$
4. Bereken de rijweerstand voor de DAF CF Electric.  
 $2,0 + 0,2 = 2,2 \text{ kN}$
5.  $P = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 7,5 = 16,5 \text{ kW}$
6. effectieve accucapaciteit = 315 kWh
7.  $315 / 16,5 = 19 \text{ uur}$
8.  $19 \cdot 27 = \mathbf{515 \text{ km}}$

9. *Toepassing:* Puur tractie zit zo'n bus zo rond de 0,7 kWh per km. Maar je moet ook weer kijken naar energie terugwinnen (bij remmen), omzet verliezen, interne weerstanden enzovoorts. Je hebt dus veel meer kracht om te overwinnen dan alleen de rol- en wrijvingskracht, maar wint ook energie terug met starten en stoppen. Daarnaast kun je nooit 100% van de batterij gebruiken. Dit zit maximaal tussen de 80 à 90% van de bruto opgegeven grootte.

*Rijomstandigheden:* we zijn nu uitgegaan van een volledig vlakke weg. Heuvelop vraagt meer energie (dus lagere actieradius)

*Belading:* we zijn nu van de maximaal toelaatbare belading uitgegaan. Belaad je de vrachtwagen lichter, dan wordt de actieradius groter.

10. Actieradius groter maken door:

- $C_r$  – banden goed oppompen, gladde wegen maken en onderzoek doen aan betere banden die minder 'plakken'
- $m$  – voertuigen zo licht mogelijk maken
- $C_w$  – aerodynamica van de voertuigen verbeteren (bij een vrachtwagen maakt een Amerikaanse truck met 'neus' vs een Europese truck met een 'platte' voorkant al veel uit!)
- $A$  – oppervlakte verkleinen, maar dat is lastig. Tenzij je de voertuigen weer veel langer en lager mag maken oid. Maar bij een bus is dat lastig 😊

11. Als de snelheid 2 keer zo hoog wordt, wordt de actieradius **4x zo klein** ( $v^2!$ )

12. Reistijd elektrisch vs reistijd diesel:

- a. Reistijd Mazda MX-30: 22 uur en 13 minuten (!!!)
- b. Reistijd vrachtwagen: hoger – langer opladen
- c. Reistijd diesel vrachtwagen:  $1106 / 89,2 = 12,4$  uur (!!!!!)

13. De reistijd elektrisch is zóveel hoger dan met diesel... dat betekent ook dat vrachtwagens bezet zijn, chauffeurs betaald moeten worden (extra overnachtingen!) – daar gaat niemand voor betalen.

14. Waar wel bussen en vrachtwagens inzetten:

- a. Korte afstand: stadsbus, bevoorrading winkels, vuilniswagen, kiepwagens voor in de bouw, ...
- b. Dat is in de stad, daar wonen veel mensen. Met elektrische bussen/vrachtwagens heb je veel minder luchtverontreiniging en minder geluidsoverlast.

## Gebruikte links bij QR-codes

---

- i [https://www.youtube.com/watch?v=m28E\\_t\\_V-bl&list=TLGGcEP0uwk8Gz4wNzA0MjAyMQ](https://www.youtube.com/watch?v=m28E_t_V-bl&list=TLGGcEP0uwk8Gz4wNzA0MjAyMQ)
- ii [https://www.youtube.com/channel/UCYpTG2hNwR9\\_NQxnOuf7Azg/featured](https://www.youtube.com/channel/UCYpTG2hNwR9_NQxnOuf7Azg/featured)
- iii [https://www.youtube.com/watch?v=m28E\\_t\\_V-bl](https://www.youtube.com/watch?v=m28E_t_V-bl)
- iv [https://www.youtube.com/channel/UCYpTG2hNwR9\\_NQxnOuf7Azg/featured](https://www.youtube.com/channel/UCYpTG2hNwR9_NQxnOuf7Azg/featured)
- v <https://www.youtube.com/watch?v=njYfLKY317g>
- vi <https://youtu.be/lbsuy7axynM>
- vii <https://www.hetklokhuis.nl/tv-uitzending/4503/Stadsbussen>
- viii <https://youtu.be/UZzysi9TEWo>
- ix [https://ec.europa.eu/environment/archives/clean\\_bus/slides/etienne\\_sort.pdf](https://ec.europa.eu/environment/archives/clean_bus/slides/etienne_sort.pdf)
- x <https://www.youtube.com/watch?v=aaigwTZi01M>
- xi <https://www.vdlbuscoach.com/nl/openbaar-vervoer/dagelijkse-operatie>[https://www.youtube.com/playlist?list=PLXjLhOWHRka\\_KrSyGpZjglIxa1qLarwjm](https://www.youtube.com/playlist?list=PLXjLhOWHRka_KrSyGpZjglIxa1qLarwjm)
- xii <https://www.schiphol.nl/nl/schiphol-group/pagina/grootste-vloot-elektrische-bussen/>
- xiii <https://www.daf.com/nl-nl>
- xiv <https://www.daf.com/nl-nl/over-daf/duurzaamheid>
- xv <https://www.daf.com/nl-nl/over-daf/duurzaamheid/intelligente-logistiek>
- xvi <https://www.daf.nl/nl-nl/trucks/alternatieve-brandstoffen-en-aandrijflijnen/batterij-elektrische-voertuigen/daf-cf-electric>
- xvii <https://www.expeditionchemistry.nl/citroenbatterij/>
- xviii [https://nl.wikipedia.org/wiki/Batterij\\_\(elektrisch\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Batterij_(elektrisch))
- xix <https://www.anwb.nl/auto/elektrisch-rijden/elektrische-autos/accus-techniek-en-kosten>
- xx <https://www.daf.nl/nl-nl/trucks/alternatieve-brandstoffen-en-aandrijflijnen/batterij-elektrische-voertuigen/daf-cf-electric>
- xxi <https://www.mvwautotechniek.nl/rijweerstand/>
- xxii <https://www.anwb.nl/verkeer/routeplanner-elektrische-auto>
- xxiii <https://youtu.be/lbsuy7axynM>
- xxiv <https://youtu.be/AwKorlG2epA>
- xxv [https://youtu.be/rNCC5\\_2pW2Y](https://youtu.be/rNCC5_2pW2Y)
- xxvi <https://youtu.be/4sHRcncvJwN4>
- xxvii [www.bedrijfindeklas.nl/nl/hulpbronnen](http://www.bedrijfindeklas.nl/nl/hulpbronnen)
- xxviii <https://bedrijfindeklas.nl/lesmateriaal/verdieping/verdieping-algemeen/>
- xxix [www.bedrijfindeklas.nl/nl/hulpbronnen](http://www.bedrijfindeklas.nl/nl/hulpbronnen)
- xxx <https://bedrijfindeklas.nl/lesmateriaal/verdieping/verdieping-algemeen/>
- xxxi <https://youtu.be/Q6q9PKtu-2s>
- xxxii <https://youtu.be/Q6q9PKtu-2s?t=203>
- xxxiii <https://youtu.be/osekxIJjWHY>
- xxxiv <https://youtu.be/i4z30zUWzAE>