



1 De lood / zwavelzuur accu

1.1 Historie

1.1.1 Inleiding

De ontdekking van de lood zwavelzuur accu in 1854 door Josef Sinsteden werd voorafgegaan door grote namen als Galvani en Volta, die als eersten de “elektriciteit” definieerden en op konden wekken. Geëxperimenteerd werd met verschillende metalen en zuren waarmee een spanning bleek op te wekken.

1.1.2 De lood zwavelzuuraccumulator

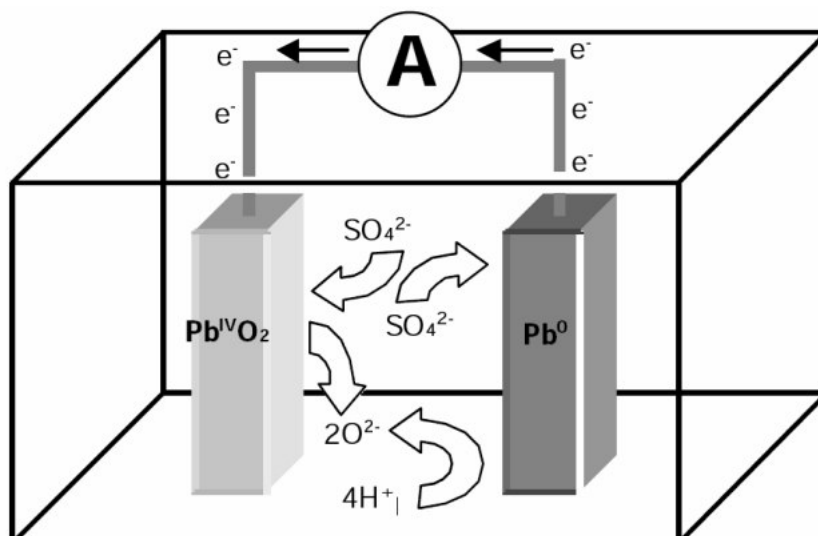
Sinsteden ontdekte dat loden platen in zwavelzuur reageerden met het zwavelzuur waarbij loodsulfaat gevormd werd. Gekoppeld aan de *primaire stroombron* (een niet oplaadbare batterij) werden één van de platen echter niet terug gevormd tot lood (Pb), maar tot looddioxide (PbO₂). De combinatie van deze twee materialen in zwavelzuur kon na het ontladen weer geladen worden en vormt daarmee een *secundaire batterij* of *accumulator*.

De ontwikkeling was hiermee niet beëindigd. De zeer hoge celspanning van 2 Volt maakte dat de lood zwavel zuur accumulator zeer interessant, mede door de uitvinding van de *dynamo*. Planté vergrootte het *reactief oppervlak* van de positieve looddioxide plaat door herhaaldelijk laden en ontladen. De grootste revolutie vormde echter de ontdekking van de *loodpasta* door de Fransman Fauré. Door het laten reageren van *loodstof* (loodoxide PbO), *verdund zwavelzuur* en *water* werd een dikke, cementachtige, pasta gevormd die in loden roosters gesmeerd werd. Het op deze manier gevormde actief materiaal heeft een zeer groot *relatief oppervlak* en kan daardoor veel sneller reageren met het *elektrolyet* (zwavelzuur): Het actief materiaal kan hierdoor meer, en grotere, stromen leveren.

1.2 De elektrochemie van de lood zwavelzuuraccu

1.2.1 Inleiding

De reden dat de lood zwavelzuuraccu zo'n grote vlucht genomen heeft komt deels door de vrij hoge spanning van 2V. Een Nikkel Cadmiumbatterij heeft bijvoorbeeld een spanning van slechts 1,2V. De hoge spanning betekent dat, bij een gegeven stroom, het geleverd vermogen (Watts) groter is dan dat van bijvoorbeeld weer de NiCad. Daarnaast is een lood zwavelzuur accu in staat een zeer hoge stroom te leveren bij een relatief kleine spanningsval.





1.2.2 De reactieve componenten

De lood zwavelzuuraccu bestaat uit 3, met elkaar reagerende, componenten te weten: looddioxide (PbO₂), lood (Pb) en verdund zwavelzuur (H₂SO₄). De reactie die tijdens het laden en ontladen plaatsvindt is een zogenaamde *REDOX* reactie waarbij componenten gereduceerd c.q. geoxideerd worden: wanneer *looddioxide* en *lood*, gedompeld in zwavelzuur, met elkaar verbonden worden wil het systeem (de 3 componenten) naar een thermodynamisch zo gunstig mogelijke toestand. Door de verbinding gaan *elektronen* (e⁻) lopen van de negatieve elektrode van *lood* Pb⁰ naar de positieve elektrode van *looddioxide* (Pb⁴⁺), waarbij aan zowel de positieve als de negatieve elektrode Pb²⁺, gecombineerd met sulfaat (SO₄²⁻) van het zwavelzuur, loodsulfaat (PbSO₄) gevormd wordt. Door deze elektronenstroom kan bijvoorbeeld een lamp branden. Zie Figuur 1.

1.2.3 De elektrochemische reacties

De elektrochemische reacties die in een cel plaatsvinden kunnen als volgt weergegeven worden:

Positieve elektrode: PbO₂ + H₂SO₄ + 2H⁺ + 2 e⁻ → PbSO₄ + 2H₂O

Negatieve elektrode: Pb + H₂SO₄ → PbSO₄ + 2H⁺ + 2 e⁻

Totale reactie: PbO₂ + Pb + 2H₂SO₄ → 2PbSO₄ + 2H₂O

Opvallend in dit elektrochemisch systeem is dat de reactieproducten van zowel de positieve als de negatieve elektrode hetzelfde zijn, te weten loodsulfaat. Daarom wordt hier ook wel gesproken over de "dubbel-sulfaattheorie".

Uit de hierboven gegeven reactie blijkt ook dat tijdens de ontlading zwavelzuur verbruikt, en water gevormd wordt. Praktisch betekent dit dat tijdens de ontlading de zuursterkte afneemt waarmee de zuursterkte een maat vormt voor de ladingstoestand van de accu. De zuursterkte is echter ook direct van invloed op de spanning van de accu. Dit kan verwoordt worden in de volgende formule:

$V_{cel} = 0,84 + s_{gelektrolyt}$ (sg = soortelijk gewicht in kg x l⁻¹, V_{cel} = celspanning in Volt, T=20 °C)

Wanneer een 12V accu een spanning heeft van 12,48V komt dit overeen met een zuursterkte (soortelijk gewicht) van:

$$\frac{12,48V}{6 \text{ cellen}} - 0,84 = 1,24 \text{ kgxl}^{-1}$$

Daarnaast heeft de temperatuur ook nog een belangrijke invloed op de celspanning. Dit is gevolg van het feit dat de dichtheid van het verdunde zwavelzuur afhankelijk is van de temperatuur. Als referentie temperatuur voor het soortelijk gewicht is 20 °C genomen. Bij een temperatuur hoger dan 20 °C neemt de dichtheid af en bij een temperatuur lager dan 20 °C neemt de dichtheid toe. Praktisch komt de stijging of daling overeen met één *punt* (0,01 kg x l⁻¹) per 14 °C. Dit betekent dat:

T = 6 °C, sg = 1,290 → T = 20 °C, sg = 1,280 @ T = 34 °C, sg = 1,270



2 De opbouw van de lood zwavelzuur accu

Een lood zwavelzuur accu is opgebouwd uit *platen*, die bestaan uit loden roosters gevuld met actieve massa. De positieve plaat heeft looddioxide als actief materiaal en de negatieve plaat *sponslood* (zeer zuiver lood met een groot relatief oppervlak). Er bestaan twee soorten positieve platen met elk een eigen toepassing:

- Gesmeerde *vlakplaten* voor start en semi tractie accu's en
- *Buisjesplaten* voor tractietoepassing (wordt verder niet behandeld).

Om te voorkomen dat positieve en negatieve platen elkaar raken en daardoor, als gevolg van de kortsluiting, ontladen, worden deze van elkaar gescheiden door een *separator*.

2.1.1 Accuplatten

2.1.1.1 Roosters

Roosters worden vervaardigd van *hardlood*, een legering van Lood met andere metalen, bijvoorbeeld Antimoon. Roosters worden gegoten door vloeibaar lood in een zogenaamde "*boekmatrijs*" te gieten. Zuiver Lood echter heeft als vervelende eigenschap dat het zeer zacht-, en niet te gieten is. Het verwerken van zuiver Lood tot roosters is hierdoor niet mogelijk. Wanneer echter een legering gebruikt wordt, met als toevoeging het eerder genoemde Antimoon, maar ook Seleen en Tin, is het wel goed gietbaar en worden mechanisch sterke, en oxidatiebestendige roosters verkregen. Vooral het bestand zijn tegen oxidatie is van groot belang tijdens het leven van de accu: door het continue onder lading staan van een startaccu wordt het positieve rooster "meegeladen" en omgezet in looddioxide waardoor de sterkte en geleiding afneemt. De juiste legering vertraagt dit proces sterk waardoor een lange levensduur verzekerd kan worden. Voor de negatieve roosters komt ook de Lood/Calcium legering steeds meer in opmars. Het grote voordeel hierbij is de afwezigheid van Antimoon: een katalysator van de *waterontledingsreactie*. Hierdoor heeft een *hybride* accu minder last van waterverbruik en zelfontlading. Een nadeel is echter dat deze legering moeilijker te verwerken is en ook duurder is.

2.1.1.2 De actieve massa

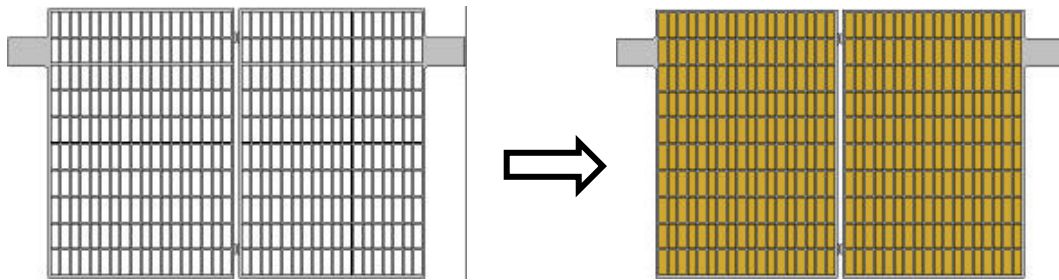
Zoals eerder vermeld bestaan de –geladen– positieve en negatieve actieve massa respectievelijk uit looddioxide en lood. Het is echter niet mogelijk deze materialen direct in een rooster aan te brengen. Het uitgangspunt in de productie van de actieve massa wordt gevormd door *Loodstof*, een zeer fijn poeder van Lood, omgeven door een oxidemantel (PbO). In een menger (reactor) wordt aan dit poeder water, verdund zwavelzuur en eventueel additieven toegevoegd. Het geheel vormt een zeer stijve, cementachtige *pasta*. Deze pasta wordt machinaal in het rooster gesmeerd.

2.1.1.3 De gesmeerde vlakplaat

Voor toepassing waarbij de accu niet al te diep ontladen wordt zoals het starten van een motor of lichte tractie wordt gebruik gemaakt van gesmeerde vlakplaten. De basis voor deze platen zijn *roosters*, gegoten uit een loodlegering (*hardlood*). Het rooster heeft twee functies:

- Het vormt de drager voor het actief materiaal en ondersteunt dit gedurende het leven,
- Het is de elektrische geleider voor de stroom. De stroom, gevormd in de actieve massa, loopt door de spijltjes naar het verzamelpunt, de vaan, en vervolgens door de *verbinder* naar de positieve pool.

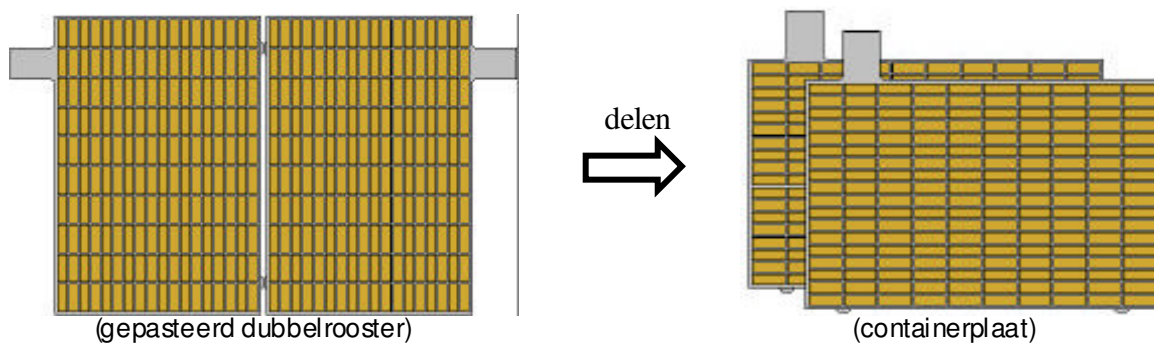
Het rooster wordt om productietechnische redenen dubbel gegoten. In het rooster wordt de actieve massa gesmeerd die zich, gedurende het productieproces, hecht aan het rooster en daarmee een vaste verbinding vormt. Op dit moment wordt gesproken over een positieve, ongeladen accuplaat.



Na het drogen van de gepasteerde roosters kunnen deze twee kanten opgaan afhankelijk van het type accu waarin deze gemonteerd gaan worden. Hierbij wordt onderscheidt gemaakt tussen de:

- Containeraccu en de
- Ongevuld geladen accu.

In een containeraccu worden de, hierboven beschreven, ongeladen platen gemonteerd. De accu wordt gevuld met verdund zwavelzuur van een lager soortelijk gewicht en geladen. De gepasteerde dubbelroosters hoeven, om toegepast te kunnen worden in de montage van containeraccu's, slechts gedeeld te worden.



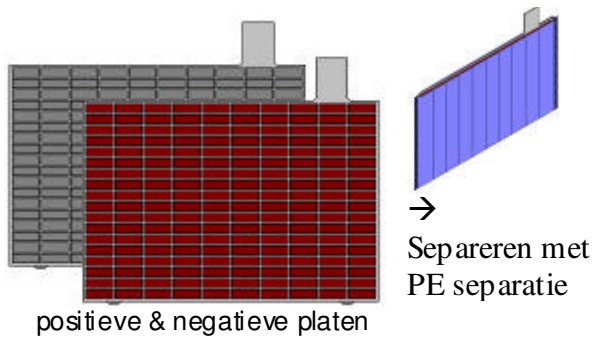
Voor een ongevuld geladen accu (een accu die na vullen gelijk stroom kan leveren) dienen de platen eerst geladen te worden. Daartoe worden de gepasteerde dubbelroosters eerst samengebouwd tot een "noodaccu" en geladen (de omzetting tot respectievelijk PbO_2 voor het positief actief materiaal (PAM) en Pb voor het negatief actief materiaal (NAM)). Na voltooiing van het laadproces worden de platen uitgebouwd, het zuur eruit gespoeld, gedroogd en gedeeld. Er wordt dan gesproken over een *geformeerde accuplaat*.

2.1.2 Separeren

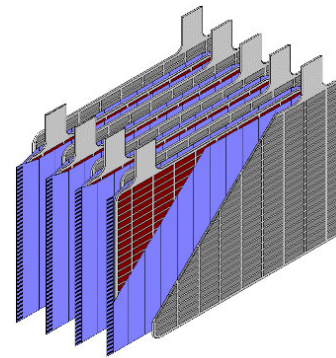
Geladen of ongeladen platen kunnen niet zomaar tot een oel verwerkt worden. Het is noodzakelijk een scheiding tussen de platen aan te brengen zodanig dat deze elkaar niet raken (celsluiting). Daarnaast dient deze scheiding een zeer lage weerstand uit te oefenen op de beweging van het elektrolyt.

De scheiding tussen positieve en negatieve platen wordt *separatie* genoemd en kan in twee verschillende vormen toepast worden en van verschillende materialen zijn:

- Steekseparatie: steekseparatie bestaat uit velletjes die iets groter zijn dan afmeting van de platen zodat de platen elkaar nooit kunnen raken. Steekseparatie wordt o.a. vervaardigd van:
 - Cellulose gecoat met hars (startaccu)
 - Dicht geweven glasvezels (startaccu)
 - PVC/Silica (semi tractie accu's), vaak voorzien van een glasmant aan de zijde van positieve plaat. De glasmant fungeert als externe steun van het PAM tijdens diep cyderen.
- Envelopseparatie: een separatie van zeer dun polyethyleen die als een "zakje" om de plaat heen zit. Hierdoor kan PAM wat tijdens te diep cyderen uitvalt geen sluiting veroorzaken. De PE heeft een zeer lage weerstand en is derhalve uitstekend geschikt voor startaccu's. Voorzien van een glasmant ook voor lichte tractietoepassingen.



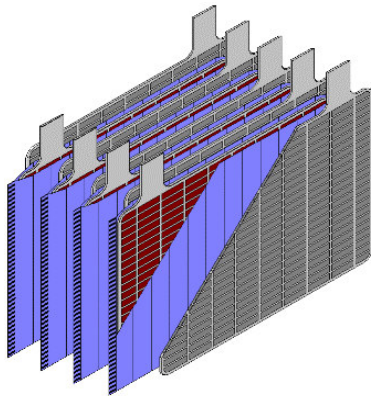
positieve & negatieve platen



Geënveloppeerd platenstel

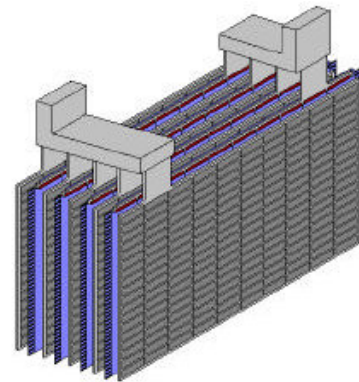
2.2 Montage van de accu

Het gesepareerd of geënveloppeerd platenstel wordt verder verwerkt door er loden *celverbinders* aan te gieten. Per cel worden zo de positieve platen met elkaar en de negatieve platen met elkaar verbonden. De platen worden zo, per cel, *parallel* geschakeld. De beide eindcellen (cel 1 & 6 in een 12V accu) worden voorzien van *poolstiften*.



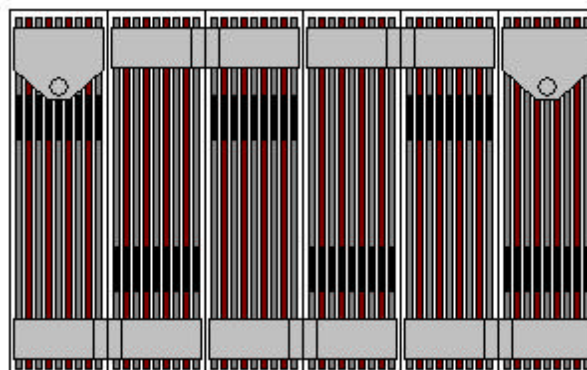
Geënveloppeerd platenstel

C(ast) O(n)
S(trap)
⇒
aangieten
celverbinders



Cel

De van celverbinders voorziene cellen worden vervolgens in de accubak geplaatst en de celverbinders door de bakwanden aan elkaar gelast zodat de cellen in *serie* geschakeld worden. De 6 cellen vormen zo de 12V accu. Na het oplassen van een deksel en polen is de ongevuld geladen accu klaar en kan droog geleverd worden. Vullen met verdund zwavelzuur 1,280 kg x l-1 en naladen is voldoende om de accu gebruiksklaar te hebben. Containeraccu's worden in de fabriek gevuld met een sterker verdund zwavelzuur dan 1,280 kg x l-1. Tijdens het laadproces, als gevolg van de omzettingreactie tot respectievelijk PbO₂ voor het positief actief materiaal (PAM) en Pb voor het negatief actief materiaal (NAM), komt het, tijdens de pastabereiding toegevoegde, zwavelzuur uit de platen vrij in het elektrolyt. Het laadproces wordt beëindigd als de zuursterkte 1,280 kg x l-1 bedraagt.





3 Start en semi tractie accu's

3.1 De startaccu

Kenmerken van een startaccu

Een startaccu is, zoals de naam al zegt, speciaal ontworpen om een voertuig te kunnen starten, ook bij extreem lage temperaturen. Een startmotor verbruikt relatief veel stroom, zodat een startaccu zodanig geconstrueerd is dat deze een korte tijd hoge stroom kan leveren (startstroom). Naast het leveren van een hoge stroom is ook de spanning van de accu bij het starten van belang: hoe hoger de spanning, hoe beter de startmotor ronddraait. Een startaccu heeft daarom twee kenmerken:

- een hoge stroom betekent dat de reactie tussen de componenten looddioxide (positieve plaat), lood (negatieve plaat) en het zwavelzuur zeer snel moet verlopen. Dit kan alleen maar als de reactie oppervlakken groot zijn. Een startaccu is daarom opgebouwd uit veel dunne platen.
- een hoge spanning betekent dat de interne weerstand van de accu laag is. Dit wordt bereikt door de platen dicht bij elkaar te monteren (dunne separatie) en een separatie te gebruiken die van zichzelf een zeer lage weerstand heeft, bijvoorbeeld de polyethyleen envelopseparatie.

Door de constructie is een startaccu echter niet geschikt voor cyclisch gebruik (cycleren) en mag ten hoogste 20% ontladen worden. Ook al zien een startaccu en, bijvoorbeeld, een recreatieaccu er hetzelfde uit en hebben ze dezelfde capaciteit, een recreatieaccu zal langer meegaan vanwege het gebruik van andere materialen. De hogere prijs van een recreatieaccu betaalt zich terug in een langere levensduur.



3.2 semi tractie accu

Een semi tractie accu is een accu die voor twee sterk van elkaar verschillende toepassingen geschikt moet zijn: de accu moet in staat zijn te kunnen starten en een diep ontladen kunnen weerstaan. Een semi tractie accu bevat daarom vlakplaten om het startvermogen te kunnen realiseren maar deze zijn dikker dan die in een startaccu en de accu heeft een speciale separatie om diep ontladen te kunnen worden. Een Centurion semi tractie accu heeft altijd een DIN nummer dat begint met een 9 en is een heavy duty uitvoering.



4 Normering en prestaties

4.1 DIN

DIN staat voor Deutsche Industrie Norm. De DIN normen hebben, net als andere normen, de functie dat bepaalde zaken aangaande een product zijn vastgelegd. Voor accu's betekent dit dat elke fabrikant van accu's die deze normen hanteren zich vastlegt aan de regels zoals DIN die voorschrijft. De regels zijn bijvoorbeeld de manier hoe een accu getest wordt (koudstart, capaciteit, etc.) maar ook de afmetingen van een accu en de vorm en hoogte van de polen. Op dit moment is de vertrouwde norm DIN 43539-2 overgenomen door de Europese norm DIN-EN 60095/1. Het grootste gedeelte van de testsequentie is hierin gelijk gebleven aan de oude norm, er heeft slechts een aanpassing plaatsgevonden aan de koudstarttest en de "reservcapaciteit" is geïntroduceerd, beide om aansluiting te vinden aan de Amerikaanse SAE nom.



4.1.1 Nummering

Bij accu's die voldoen aan de DIN normen staat er ook een vermelding van DIN op de accu en de accu heeft een type aanduiding bestaande uit 5 cijfers. Het type en de capaciteit van de accu is opgenomen in het DIN nummer. Nummers die beginnen met een 5, 6 of 7 zijn 12 Volt start- en nummers die beginnen met een 9 zijn 12 Volt semi tractie accu's:

Voorbeelden van DIN nummering;

- 57412 Het nummer begint met een 5, wat aangeeft dat het om een startaccu gaat. Door van de eerste 3 cijfers 500 af te trekken (574-500) is het resultaat 74. De startaccu heeft een "20-urige" capaciteit van 74 Ah volgens DIN
- 70027 Het eerste cijfer is een 7 en daarmee ook voor een startaccu. Volgens dezelfde methode heeft deze accu een capaciteit (C_{20}) van 200Ah.
- 96803 Het eerste cijfer 9 reflecteert een semi tractie accu. In dit geval kan de 9 voor het gemak achteraan gezet worden. Het nummer wordt dan 68039. Conform eerder worden van de eerste 3 cijfers 500 afgetrokken (680-500) hetgeen resulteert in 180. De accu heeft een capaciteit van 180Ah maar dan gemeten in 5 uur (C_5). Deze 5 uur komt voort uit de lengte van een "werkdag".

4.1.2 Het testprogramma

Start en semi tractie accu's dienen aan een aantal voorwaarden te voldoen om het 5- cijferige DIN nummer te mogen dragen. Een DIN nummer is derhalve meer dan alleen een "typeaanduiding". In de tabel representeert C_x een capaciteitstest zoals deze uit het DIN nummer voorkomt (C_{20} of C_5) en C_{Res} de reservecapaciteit (zie punt 4.1.4.3). Een kruisje tussen haakjes betekent dat een test optioneel is als aan voorwaarde 1 voldaan is. Een reststart kan alleen uitgevoerd worden bij droog voorgeladen (OG) accu's.

Accu	1	2	3	4	5
1. Reststart	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
1. C_x of C_{Res}	X	X	X	X	X
1. Koudstart	X	X	X	X	X
2. C_x of C_{Res}	(X)	(X)	X	(X)	(X)
2. Koudstart	(X)	(X)	X	(X)	(X)
3. C_x of C_{Res}	(X)	(X)	X	(X)	(X)
3. Koudstart	(X)	(X)	X	(X)	(X)
Levensduur	X				
Zelfontlading		X			
Stroomopname			X		
Trillingsbestendigheid				X	
Waterverbruik					X

4.2 Reststart

De reststart is een test waarmee de staat van de ongevuld geladen accu vastgesteld kan worden: Een droge accu wordt gevuld met verdund zwavelzuur (1,280 kg x l⁻¹) waarna 20 min de tijd gegeven wordt om het zuur in de platen te laten trekken. Vervolgens wordt de accu ontladen met de aangegeven koudstartstroom (zie 4.1.6). De prestaties dienen conform die van de koudstarttest te zijn. Vertaald naar een voertuig zal de accu na 20 min genoeg kracht hebben om een motor te kunnen starten.

4.3 Capaciteit

De capaciteitsbepaling staat op verschillende manieren omschreven in de DIN normering. Dit kan zowel een verschillende manier van testen betekenen of de testmethode houdt rekening met de toepassing. Zoals reeds eerder vermeld zijn er 3 methodes gangbaar:

- C_{20} : 20 urige capaciteitsbepaling voor startaccu's,
- C_5 : 5 urige capaciteitsbepaling voor (semi) tractie accu's
- C_{Res} : Reservecapaciteitsbepaling voor startaccu's

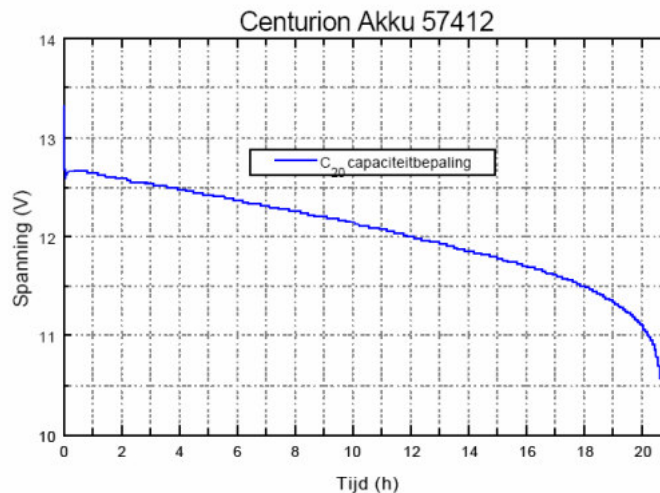


4.3.1 De 20 urige capaciteit

De capaciteit van een accu wordt uitgedrukt in Ampère - uur (Ah), hetgeen vertaald kan worden door hoelang een bepaalde accu met een ingestelde stroom ontladen kan worden (ampère x uur). De capaciteit, zoals weergegeven wordt in het DIN nummer van een startaccu, wordt gedefinieerd door het ontladen van de accu in 20 uur bij 27°C. De stroom waarmee ontladen wordt is dan 1/20e van de opgegeven capaciteit:

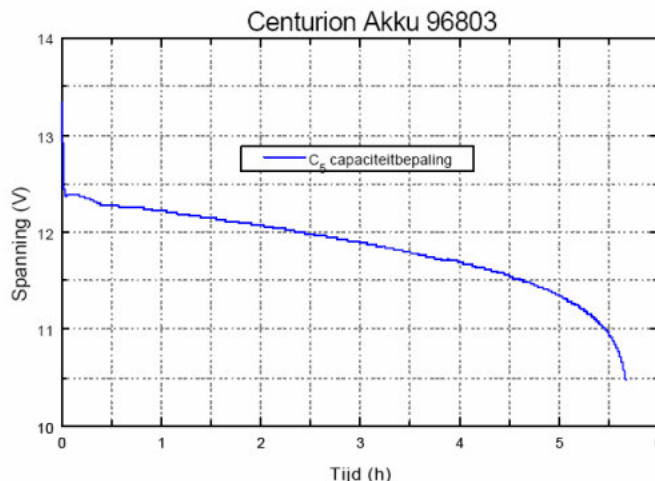
Accutype 57412 - 74Ah: ontladstroom = $74\text{Ah} / 20\text{h} = 3,7\text{ A}$

Aan de DIN norm wordt voldaan als de accu, aangeduid met het typenummer 57412, 20 uur lang ontladen kan worden met een stroom van 3,7 Ampère en waarbij de spanning gedurende deze 20 uur niet lager wordt als 10,5 Volt.



4.3.2 De 5 urige capaciteit

Voor een (semi-) tractie accu geldt dat de opgegeven capaciteit in 5 uur door de accu geleverd moet worden, dit omdat bij aandrijvingtoepassingen hogere stromen lopen. Voor het bovenstaande type, ook al is dit een startaccu, betekent dit dat deze 5 uur lang een stroom zou moeten kunnen leveren van $74 / 5 = 14,8$ ampère. Doordat voor het leveren van de hogere stroom een groter oppervlak van de actieve massa noodzakelijk is, zijn accu's met een gespecificeerde 5 urige capaciteit veelal zwaarder dan die met een vergelijkbare 20 urige capaciteit. Ruwweg kan gesteld worden dat de 5 urige capaciteit 75-80 % is van de 20 urige capaciteit. De 5 urige capaciteit van bovenstaand type 57412 zal daarom geen 74 Ah maar maximaal $74 / 100 * 80 = 59$ Ah zijn.



LET OP: de constructie van een (semi-) tractie accu is wezenlijk anders dan die van een start accu. Een start accu kan daarom nooit als vervanging dienen voor een semi-tractie en zal veel sneller uitvallen.



4.4 De reservecapaciteit

De reservecapaciteit is een test die voorkomt uit de Amerikaanse SAE norm. In deze test wordt elke batterij, ongeacht het type, ontladen met een stroom van 25A. Het aantal minuten dat deze stroom geleverd wordt vormt de reservecapaciteit C_{Res} . De achtergrond van deze test is het aangeven van hoelang een voertuig stil kan staan in een noodsituatie met de alarm en gewone verlichting aan voor dat de accu leeg is.

4.5 Koudstart

De (koud)startstroom is een door de fabrikant opgegeven stroom (in ampère (A)) die een type accu kan leveren bij -18°C . De DIN normering heeft ervoor gezorgd dat er een koppeling gekomen is tussen het 5-cijferige DIN nummer en een koudstartstroom: van elke fabrikant die volgens deze norm produceert levert bijvoorbeeld het type 54459 gegarandeerd een stroom van 210A. Er wordt gesproken over een koudstart omdat de opgegeven stroom geleverd moet kunnen worden bij een extreme kou van -18°C . Een koudstart kan op 2 manieren getest worden:

- Constante stroom ontlading tot 6V(DIN 43539)
- 10 sec ontlading met I_{CC} (cold cranking = koudstart), 10 sec pauze en vervolgens $0,6 \times I_{CC}$ ontlading tot 6V (DIN-EN 60095)

4.5.1 Koudstart DIN 43539

Bij de constante stroom ontlading wordt de accu aan een elektronische last aangesloten en met een constante stroom, b.v. 600A voor een 67043, ontladen tot een eindspanning van 6V. Volgens de norm DIN 43539-2 moet de spanning na 30s ontladen hoger zijn dan 9 Volt en na 150s ten minste 6 Volt.

Aangenomen dat er bij deze temperatuur slechts een kwart van de beschikbare capaciteit voorhanden is blijkt dat gedurende het leven van de accu deze sterk overgedimensioneerd is om een lange levensduur te garanderen en bij koude in staat is om een voertuig te starten. De genoemde spanning na 30s en de tijd dat de spanning hoger is dan 6V zijn sterk afhankelijk van de temperatuur: hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de spanning na 30s is en hoe langer gestart kan worden. Een hogere temperatuur (20°C) heeft een aantal voordelen:

- de accu levert de startstroom bij een hogere spanning,
- de olie van de motor is dunner en geeft minder weerstand.
- De startmotor draait sneller rond en de auto is eerder gestart bij een lagere belasting van de accu: de levensduur is langer.

4.5.2 Koudstart DIN-EN 60095

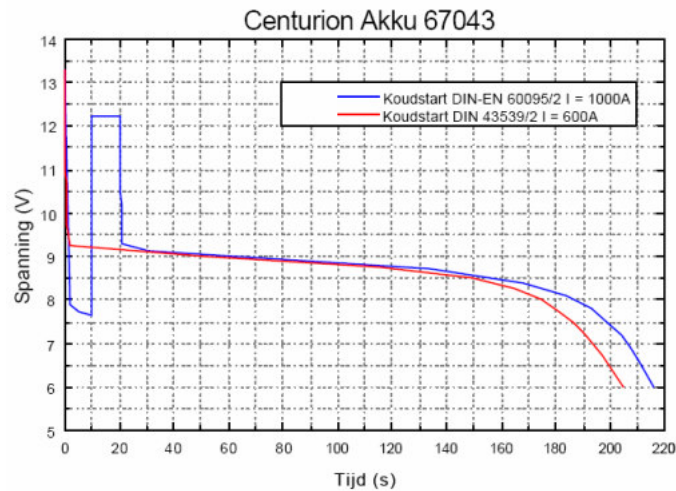
In de norm DIN-EN 60095 is de koudstart opgebroken in 2 delen:

- 10 seconden starten met I_{CC} (A) gevolgd door 10 seconden pauze,
- doorstarten met $0,6 I_{CC}$ tot $V = 6$ Volt.

Ook bij deze test is gekeken naar het Amerikaanse SAE systeem waarbij veel hogere ($\sim 1,6 \times$ DIN stroom) startstromen op de accu's vermeld staan. Gedurende de eerste 10 seconden wordt de accu met een veel hogere stroom ontladen. Voor het type 67043 betekent dit 1000A. Na de 10 seconden pauze wordt de 67043 verder ontladen met 600A (de "gewone" DIN stroom). Alhoewel de eis aan de eindtijd gelijk gebleven is aan de norm 43539 dient de accuspanning na de eerste 10 seconden starten $\geq 7,5\text{V}$ te zijn.

In de toekomst zullen derhalve op de accu's hogere startstromen vermeld staan. Dit heeft dus niets te maken met een wijziging van de accu zelf maar van de manier van testen. Als vuistregel kan genomen worden:

$$I_{43539} = 0,6 \times I_{60095}$$



4.6 Overige testen

Niet alleen capaciteit en het koudstartvermogen zijn van belang voor een lood zwavelzuuraccu, maar ook aanduidingen zoals b.v. HD (Heavy Duty) impliceren een aantal testen:

4.6.1 Levensduur

De levensduur test is een simulatie onder laboratoriumomstandigheden van het bestand zijn tegen cycleren van een accu. Om de test te versnellen wordt deze uitgevoerd onder hoge temperaturen (40°C). De accu's worden in deze test gecycleerd en vervolgens gekoudstart. Cycleren, rusten en starten vormen een weekcyclus. De levensduurprestaties worden dan ook weergegeven in weken. De eisen zijn:

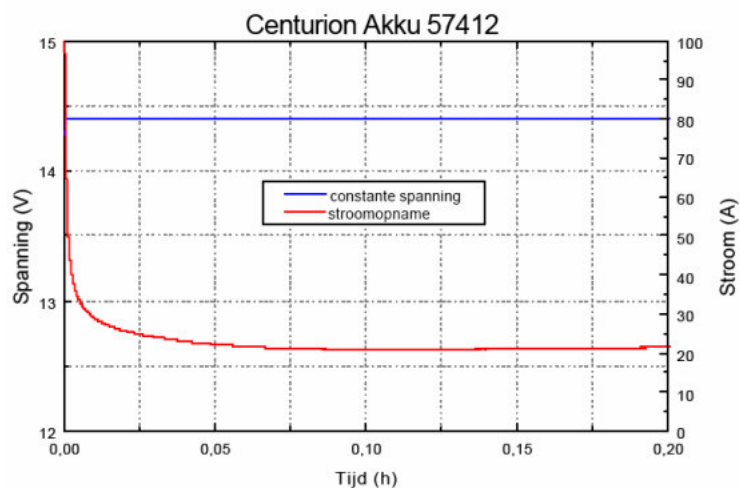
- Standaard startaccu: 5 weken
- Heavy Duty accu: 7 weken

4.6.2 Zelfontlading

Bij de zelfontladingstest wordt gekeken of de accu ook na een tijdje rust nog in staat is een motor te kunnen starten. De accu wordt daartoe bij 40°C weggezet en vervolgens gestart. De spanning na 30 sec ontladen bij -18°C mag niet lager zijn dan 8 Volt.

4.6.3 Stroomopname

De stroomopnametest vormt een maatstaf voor de kwaliteit van zowel PAM, NAM, legeringen als constructie. De accu wordt 50% ontladen, tot 0°C afgekoeld en vervolgens geladen waarbij de spanning begrensd is op 14,4V. De hoogte van de stroom na 10 min laden vormt de "stroomopname" en deze moet hoger of gelijk zijn aan $4 \times I_{20}$.





4.6.4 Trillingsbestendigheid

In zware voertuigen dienen accu onder zeer zware omstandigheden te opereren, niet alleen qua elektrische belasting maar ook mechanische. Deze omstandigheden kunnen (versneld) gesimuleerd worden op een triltafel. De accu wordt 20 uur getild waarna bij een warmstart (kamertemperatuur) de prestaties niet afgenomen mogen zijn.

4.6.5 Waterverbruik

Met de waterverbruikstest wordt de mate van onderhoud aan een accu vastgesteld. Waren vroeger service-intervallen van personenauto's 5000 km waarbij de accu met water bijgevuld werd, op dit moment is 10.000 of 20.000 km al geen uitzondering meer. Het onderhoud aan de accu is dientengevolge ook minder. Bij de waterverbruikstest wordt de accu 3 weken continue geladen met een spanning van 14,4V bij 40 °C. Het waterverbruik mag dan niet meer zijn dan 6 gr per Ah.

5 Onderhoud

Een moderne accu heeft relatief weinig onderhoud nodig om langdurig te kunnen blijven functioneren, net zoals elk product dat aan slijtage onderhevig is. Het onderhoud kan verdeeld worden in 3 categorieën:

- contact
- elektrolytniveau
- laadtoestand

5.1 Contact

Aan de buitenzijde van een accu vormen de polen het contact met de buitenwereld. Tussen de polen is een gewenst contact, het elektrisch systeem, waarbij het contact oppervlak zo groot mogelijk dient te zijn maar ook een ongewenst contact (sluiting) dat vermeden dient te worden:

5.1.1 Pool - klem

Aan een accu wordt stroom onttrokken via de loden eindpolen. Hierbij vormt de verbinding tussen de accuklemmen en de polen de "interface" tussen accu en het elektrisch systeem. Het is daarom van groot belang dat het contactoppervlak tussen beide zo groot mogelijk is. Opbouw van loodsulfaat (de welbekende "bloemkolen") verstoort dit contact en beïnvloedt zowel het laden als ontladen negatief. Doordat loodsulfaat een isolator is blokkeert deze de overdracht van stroom, hetgeen leidt tot een spanningsverlies bij ontladingen met hoge stroom (de startmotor draait "moeizamer" rond) en een spanningsverhoging bij het laden (de accu komt moeilijker "vol"). De volgende handeling kunnen deze problemen verminderen:

- Indien er bloemkolen aanwezig zijn, reinig dan zowel de polen als de klemmen grondig met een staalborstel,
- Behandel de polen met zuurvrije vaseline. Eventuele putjes waarin zich vocht en loodsulfaat kunnen ophopen worden opgevuld en overtollig vaseline wordt naar buiten gedreven zodat een goed contact gegarandeerd is.

5.1.2 Houdt het deksel van de accu schoon en droog.

Vet op het deksel kan vocht insluiten en zo een geleidend pad vormen tussen de positieve en negatieve pool. Het gevolg is een kortsluiting waardoor de accu buiten het elektrisch systeem om ontladen wordt. Het gevolg is een lagere laadtoestand van de accu en daarmee een verkorte levensduur.



5.2 Elektrolytniveau

Ook al is het waterverbruik ("gassen") van moderne accu's zeer laag, diverse externe omstandigheden zoals hoge temperaturen (onder een motorkap kan het soms 80 °C worden!) en spanning versnellen dit proces. Een accu zal derhalve ALTIJD water verbruiken, ook al bestaat er geen mogelijkheid deze bij te vullen. Waterverbruik zorgt voor een concentratietoename van het elektrolyt. Een volledig geladen accu dient een zuursterkte te hebben van 1,280 kg x l⁻¹. Omdat ook de hoeveelheid elektrolyt direct van invloed is op de capaciteit van de accu dient deze zo groot mogelijk te zijn. De zuursterkte van 1,280 kg x l⁻¹ is echter de hoogste concentratie waarmee een accu kan functioneren zonder schade: Verdund zwavelzuur met een concentratie van meer dan 1,300 kg x l⁻¹ is zeer agressief voor de roosters van de positieve platen en versnelt het corrosieproces. Het blijft daarom zaak af en toe het elektrolytniveau te controleren en deze aan te vullen met gedemineraliseerd water indien noodzakelijk.

5.3 Laadtoestand

Een lood zwavelzuuraccu heeft de langste levensduur in een volledig geladen toestand. Wanneer een accu voor langere tijd (gedeeltelijk) ontladen staat bestaat er een kans op sulfateren. Dit kan gedeeltelijk zijn waardoor er irreversibel (start) capaciteitsverlies optreedt, maar ook volledig waardoor de accu niet meer te laden en dus kapot blijkt. Het is daarom aan te bevelen de laadtoestand van de accu te controleren aan de hand van het soortelijk gewicht van het elektrolyt (zuurweger) en de accu bij te laden indien noodzakelijk. Een voertuig start dan eenvoudiger en de accu gaat langer mee.



6 Laden van lood zwavelzuuraccu's

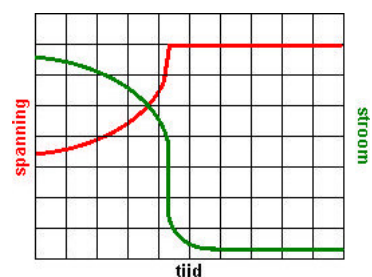
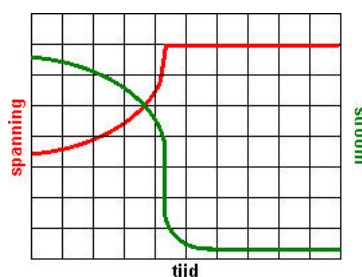
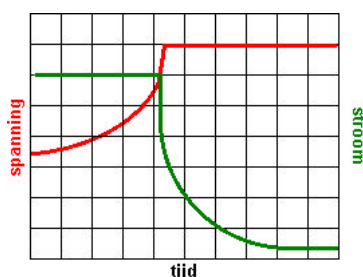
Er zijn verschillende types laders in de handel die gebruikt kunnen worden t.a.v. het laden van accu's. Er kan onderscheidt gemaakt worden tussen geregelde en ongeregelde laders en verschillende karakteristieken:

- Ongeregelde lader: een ongeregelde lader is een lader waarbij de laadspanning niet begrensd is zodat continue de ingestelde stroom blijft lopen. Aan het einde van het laadproces eindigt dit meestal in het sterk gassen en warm worden van de accu. Dit gebeurt ook wanneer een zogenaamde "snellader" gebruikt wordt.
- Geregelde lader: de laadspanning is begrensd op een door de leverancier van de lader afgeregeld eindspanning, bijvoorbeeld 14,4V. Wanneer deze spanning bereikt wordt neemt de laadstroom af waardoor gassen en warm worden minder aan de orde is en de accu minder sterk wordt overladen.

6.1 Karakteristieken

De laadkarakteristiek van de lader is de manier waarop deze functioneert en wordt

- IU karakteristiek: de lader schakelt over van een constante stroom (I-deel van de lading) naar een constante spanning (U-deel van de lading. U is gelijk aan V, spanning).
- W karakteristiek: de lader werkt volgens een constant vermogen principe ($W = \text{Watt}$). Als de laadspanning toeneemt a.g.v. de toename van de laadtoestand van de accu, neemt de stroom af: $W = V \times I$ (vermogen = spanning x stroom).
- WU karakteristiek: de lader schakelt over van een constant vermogen lading op een constante spanningslading.





Over hoe een accu te laden kunnen, vanwege de verschillende karakteristieken en ingestelde eindspanningen, slechts richtlijnen gegeven worden. Het einddoel dient echter altijd een volledig geladen accu te zijn met een zuursterkte van $1,280 \text{ kg} \times \text{l}^{-1}$ (20°C).

- Meet de spanning van de accu of de zuursterkte van het elektrolyt om een idee te krijgen van de ladingstoestand van de accu;
- Als vuistregel geldt:
 - Accuspanning $> 12,55 \text{ V}$: benodigde lading (Ah) = $0,3 \times$ accucapaciteit (Ah)
 - Accuspanning $< 12,55 \text{ V}$: benodigde lading (Ah) = $1,0 \times$ accucapaciteit (Ah)
- Stel de gelijkrichter in op een stroom $1/10$ van de capaciteit van de accu (10A voor het laden van een 100Ah accu):
 - In het geval van een ongeregelde lader (snellader) betekent dit dat het laden na 10 uur gestopt dient te worden ($10 \text{ uur} \times 10\text{A} = 100\text{Ah}$).
 - In het geval van een geregelde lader duurt het proces iets langer: tot een ladingstoestand van 70-80% verloopt het laden zeer efficiënt en wordt alle laadstroom door de accu opgenomen. Daarna wordt de stroom afgekapt en gaat het laden langzamer. Gun de accu daarna genoeg tijd om "doorgeladen" te worden.
- Het laden is voltooid wanneer de zuursterkte van $1,280 \text{ kg} \times \text{l}^{-1}$ (20°C) bereikt wordt.

6.2 Werkwijze

Tijdens het laden van lood zwavelzuuraccu's wordt het explosieve knalgas gevormd, een mengsel van waterstof (H_2) en zuurstof (O_2). Dit betekent echter niet dat het laden van accu's risicovol is, mits de juiste werkwijze gehanteerd wordt:

- Laad een accu altijd in een goed geventileerde ruimte zodat de vrijkomende gassen snel kunnen verdunnen.
- Wanneer een accu geladen wordt hoeven de doppen niet verwijderd te worden. Doppen zijn altijd van ontluchting voorzien of de ontluchting gaat centraal. Op deze manier wordt het rondspetteren van elektrolyt vermeden.
- Sluit altijd eerst de klemmen van de gelijkrichter aan op de accu en controleer of deze goed in de polen grijpen. Wanneer krokodillenklemmen gebruikt worden controleer dan ook of deze niet kunnen verspringen (beweeg de kabel heen en weer) en zodoende een vonk veroorzaken. Schakel vervolgens de gelijkrichter in.
- Schakel bij controle van het laadproces (het "wegen" van het zuur") of handelingen in de buurt van een accu onder lading ALTIJD de gelijkrichter uit. Bij het per ongeluk aanraken van de klemmen kan vonkvorming optreden. Daarnaast:
 - Laad een nooit in de buurt van open vuur.
 - Niet roken.
 - Schakel na het laden altijd eerst de gelijkrichter uit en gun de accu ongeveer 2 uur de tijd om het overtollige gas te laten ontsnappen. Verwijder dan de klemmen van de gelijkrichter.

6.3 Opmerking

- Een akku bevat lood en zwavelzuur. Lood is slecht voor de gezondheid. Was, na het werken met een akku, altijd goed de handen.
- Zwavelzuur is een bijtend product. Indien dit op de handen terechtkomt gaat dit prikkelen. Spoel de handen grondig af met water. Kijk zeer goed uit met katoenen kleding: een druppel zwavelzuur op katoen heeft direct een gat tot gevolg, al wordt deze pas na de eerste keer wassen zichtbaar.



Opslag, onderhoud en ingebruikname van nieuwe accu's

6.4 Onderscheidt droog v oorgeladen en natte accu's

Bij start en semi tractieaccu's kan een onderscheidt worden gemaakt in de:

- Ongevuld geladen accu (droge accu) en de
- Gevuld geladen accu (natte accu).

In een ongevuld geladen accu is nog geen elektrolyt, een 37% verdunde zwavelzuuroplossing, aanwezig, om de houdbaarheid te verlengen. De droge accu moet eerst gevuld worden vóór ingebruikname. Een gevuld geladen accu is reeds voorzien van elektrolyt en is daarmee klaar voor gebruik.

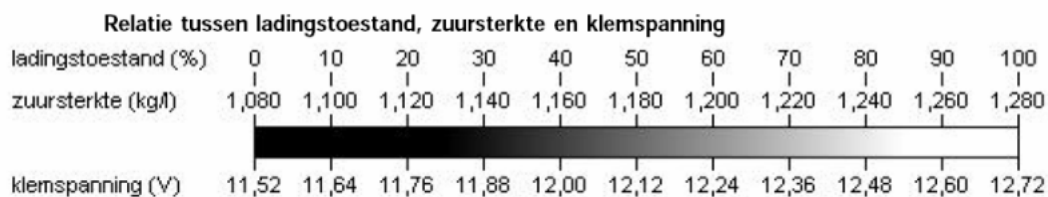
6.5 Opslag & onderhoud

Alhoewel een droog voorgeladen accu in principe onder ideale omstandigheden onbepert houdbaar is, verouderd deze toch in de tijd als gevolg van externe omstandigheden. Vooral vocht is funest voor de elektrische prestaties van de droge accu direct na het vullen. Vocht katalyseert de oxidatie van de negatieve platen waardoor deze "ontladen" worden. Een natte accu is onderhevig aan zelfontlading, een onvermijdelijk proces eigen aan het lood zwavelzuurprincipe. Door de zelfontlading vermindert de laadtoestand van de accu geleidelijk en kan leiden tot het uitvallen van de accu, door sulfateren, nog voordat deze überhaupt in gebruik genomen is.

Voor zowel droge als natte accu's geldt: **KOEL**, **DROOG** en **SCHOON** bewaren.

Vanwege de beschreven zelfontlading vergen natte accu's, indien deze langere tijd staan, meer onderhoud dan droog voorgeladen accu's. Een volgeladen accu heeft een zuursterkte van 1,28 kg x l⁻¹, een waarde die correspondeert met een klemspanning 12,72 Volt en een ladingstoestand van 100%. Afhankelijk van de omstandigheden waarin de natte accu's opgeslagen staan kan, om de accu's in optimale conditie te houden de accu's het beste bijgeladen worden indien:

- Een opslagtermijn van 3 maanden overschreden wordt, of
- Wanneer het soortelijk gewicht van het elektrolyt (zuursterkte) lager dan 1,25 kg x l⁻¹ wordt. Deze waarde correspondeert met een klemspanning van 12,54V en een ladingstoestand van 85% (20 °C). Zie hiervoor onderstaande figuur.



LET OP: De zuursterkte van het elektrolyt is afhankelijk van de temperatuur. Bij temperaturen lager dan de 20 °C wordt het zuur "dikker" door krimp en zal dus een hogere waarde afgelezen worden. Bij temperaturen hoger dan 20 °C geldt het omgekeerde. Als vuistregel kan genomen worden dat bij elke 7 °C lager dan 20 °C de zuursterkte met 0,005 toeneemt en bij elke 7 °C hoger dan 20 °C de zuursterkte met 0,005 afneemt:

Temperatuur (°C)	Gemeten zuursterkte (kg x l ⁻¹)	Gecorrigeerde zuursterkte (kg x l ⁻¹) bij 20 °C
6	1,290	1,280
13	1,285	1,280
20	1,280	1,280
27	1,275	1,280
34	1,270	1,280

Indien er na het laden vocht op het deksel van de accu aanwezig is, veeg deze dan goed schoon en droog zodat de accu niet door een lekstroom over het deksel versneld ontladen kan worden.



6.6 Ingebruikname van accu's

6.6.1 Gevuld geladen accu

Als een gevuld geladen accu behandeld is zoals hierboven beschreven dan is deze in optimale conditie en kan zonder verdere handelingen in een voertuig geplaatst worden. Vet eventueel, voordat de klemmen geplaatst worden, de polen even in met zuurvrije vaseline om de vorming van zogenaamde "bloemkolen" te vermijden.

6.6.2 Droog v oorgeladen accu

Aan een droog voorgeladen accu dienen nog wel handelingen verricht te worden voordat deze gebruiksklaar is:

- Vul de cellen voorzichtig met accuzuur (soortelijk gewicht $1,280 \text{ kg x l}^{-1}$) tot aan de MAX indicatiestreek en gun het elektrolyt de tijd om in de platen te trekken. Gedurende deze tijd zal het niveau van het zuurlicht dalen en ontsnappen luchtballen uit de accu.
- Indien de accu na het vullen warm wordt betekent dit dat er oxidatie van de negatieve platen heeft plaatsgevonden. In dit geval dient de accu, na een afkoelperiode, ALTIJD geladen te worden.
- Als het zuur "rustig" geworden is, vul dan het niveau met accuzuur aan tot aan de MAX streep.
- Controleer ± 20 min na het vullen de zuursterkte van het elektrolyt. Is deze lager dan $1,25 \text{ kg x l}^{-1}$ (accuspanning 12,54V) of verschilt de zuursterkte tussen de cellen onderling met $0,01 \text{ kg x l}^{-1}$ of meer, laadt de accu dan eerst bij tot alle cellen een zuursterkte hebben van $1,28 \text{ kg x l}^{-1}$.

NB: er dient nooit vanuit gegaan te worden dat een vers gevulde droog voorgeladen accu of deels ontladen gevuld geladen accu in een voertuig "wel bijgeladen zal worden". In de praktijk zijn de afstanden die afgelegd worden nadat een accu vervangen is dermate klein dat de toegevoerde hoeveelheid lading sterk onvoldoende is om de accu geladen te krijgen. Alhoewel het een tijdsbesparing oplevert door een accu meteen na vullen te plaatsen kan dit in een later stadium zeer veel problemen opleveren t.a.v. een daim.

Indien de uit te leveren accu's in een 24V systeem in serie komen te staan, let er dan op dat:

- het accu's van hetzelfde type zijn (5 cijferig DIN nummer op de DIN sticker op het deksel of aan de zijkant van de bak).
- de uitvoering hetzelfde is van beide accu's (010, 020 of 021 op de DIN sticker op het deksel of aan de zijkant van de bak)
- de productiestempels, een slagstempel in het deksel bestaande uit een cijfer-lettercijfer-cijfer combinatie, van beide accu's met elkaar corresponderen.

De accu's dienen als "team" te opereren in het voertuig zodat het van groot belang is dat de eigenschappen van beide accu's zoveel mogelijk met elkaar overeenkomen.

6.7 Bijladen vers gevulde OG en natte accu's

Voor het bijladen van zowel vers gevulde droge als natte accu's geldt hetzelfde als voor het laden van gebruikte accu's. Ook hier is het doel het verkrijgen van een volledig geladen accu zodat de levensduur tijdens gebruik het langste is. De richtlijnen zijn dan ook precies hetzelfde als voor het "normale" laden:

Gevulde droge accu:

- Meet de spanning van de accu ongeveer 20 minuten na het vullen. Het zuur heeft dan voldoende tijd gekregen om in de platen te trekken.

Opgeslagen natte en gevulde droge accu:

Als vuistregel geldt:

- Accuspanning $> 12,55 \text{ V}$: benodigde lading (Ah) = $0,3 \times$ accucapaciteit (Ah)
- Accuspanning $< 12,55 \text{ V}$: benodigde lading (Ah) = $1,0 \times$ accucapaciteit (Ah)
- Stel de gelijkrichter in op een stroom 1/10 van de capaciteit van de accu (10A voor het laden van een 100Ah accu):



- In het geval van een ongeregelde lader (snellader) betekent dit dat het laden na 10 uur gestopt dient te worden (10 uur x 10A = 100Ah).
- In het geval van een geregelde lader duurt het proces iets langer: tot een ladingstoestand van 70-80% verloopt het laden zeer efficiënt en wordt alle laadstroom door de accu opgenomen. Daarna wordt de stroom afgekapt en gaat het laden langzamer. Gun de accu daarna genoeg tijd om “doorgeladen” te worden.
- Het laden is voltooid wanneer de zuursterkte van $1,280 \text{ kg} \times \text{l}^{-1}$ (20 °C) bereikt wordt.

7 Storingen aan lood zwavelzuuraccu's

Ook bij loodzwavelzuur kunnen zich problemen voordoen, welke onderverdeeld kunnen worden in een storingen veroorzaakt door:

- Productiefouten
- Gebruik
- Misbruik

7.1 Productiefouten

Het merendeel van de productiefouten komt relatief snel na het in gebruik nemen van een accu naar voren daar deze direct een invloed hebben op de elektrische prestaties van de accu. De meest voorkomende productiefouten zijn:

- *Celsluiting*, de positieve en negatieve platen in een cel maken contact met elkaar door b.v. een beschadigde separatie.
- *Plak of spatlas (los contact)*, de verbinding tussen de cellen in de accu is onderbroken doordat de celverbinders geen contact met elkaar maken.
- *Inbouwfout*, in de accu is één cel verkeerd om ingebouwd waardoor deze van een andere cel de spanning “opheft”. Met 1 inbouwfout is de accuspanning nooit hoger dan 8,5V.
- *Lekke bak / deksel verbinding*, waardoor het zuur in 2 naast elkaar liggende cellen met elkaar kan “communiceren” en zodoende een sluiting ontstaat.

7.2 Gebruik

Een accu is een aan slijtage onderhevig product waardoor de prestaties in de loop van de tijd afnemen. Met elke laad – ontladcyclus wordt de structuur van met name de positief actieve massa minder hecht. Afhankelijk van de toepassing en de kenmerken van het voertuig waarin deze geplaatst is kan een startaccu 7 of meer jaren mee gaan. De belangrijkste storingen die door het gebruik van een accu ontstaan zijn:

- *Totale en plotselinge uitval van de accu door corrosie*: Om een accu volledig geladen te krijgen is een overspanning nodig die hoger is dan de nominale spanning (12 Volt) van de accu. Deze lichte overspanning zorgt ervoor dat de roosters van de positieve platen “meegeladen” worden tot looddioxide, het positief actief materiaal. Doordat de structuur van dit materiaal zwakker is dan de oorspronkelijke roosters zullen deze op een gegeven moment breken: de accu is “dood”.
- *Celsluiting veroorzaakt door massauitval*: Deeltjes positieve actieve massa die door cyclisch gebruik van de positieve platen afkomen kunnen zich vastzetten op de negatieve platen en tijdens laden tot een zeer wollige loodstructuur getransformeerd worden. Wanneer deze groeit en deze op een gegeven moment een positieve plaat raakt ontstaan een celsluiting.

7.3 Misbruik

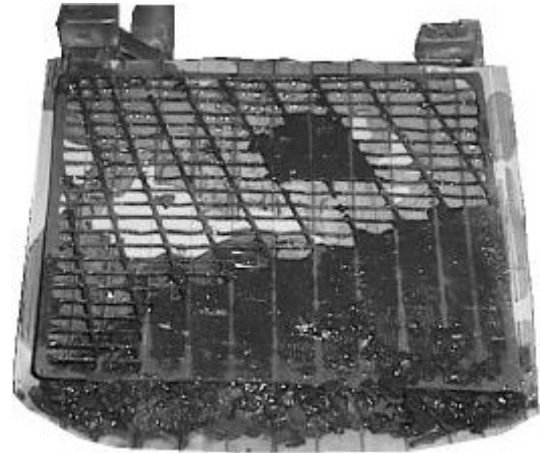
Een storing aan een accu veroorzaakt door misbruik uit zich meestal in het te vroeg uitvallen van deze accu, meestal binnen 1 à 2 jaar. Doordat een accu een slijtageproduct is, betekend dat dit proces ook versneld kan worden, net zoals een sportief rijgedrag funest is voor de banden van een auto. Niet alleen kan een accu tijdens het gebruik misbruikt worden, maar vooral ook wanneer deze nieuw nog op de plank staat.



- **Sulfateren:** het sulfateren van een accu komt meestal voor bij nieuwe accu's die te lang op voorraad staan of accu's die slechts een paar keer per jaar gebruikt worden. Als gevolg van zelfontlading, een proces waarbij zonder dat de accu aangesloten staat (open circuit) de laadtoestand langzaam verminderd doordat de positief actieve massa (PAM) en de negatief actieve massa (NAM) reageren met het zwavelzuur. Alhoewel de ontwikkelingen de zelfontlading sterk gereduceerd hebben is dit proces eigen aan een lood zwavelzuuraccu en kan derhalve nooit vermeden worden. Bij het sulfateren hard het gevormde loodsulfaat zich uit en blokkeert, doordat het niet geleidend is, de platen zodat deze niet meer geladen kunnen worden.
- **Droge accu:** een droge, ongevuld geladen, accu kan relatief lang opgeslagen worden mits onder koele en droge omstandigheden. Doordat de NAM een wollige structuur is van zuiver lood betekent dit dat deze gevoelig is voor oxidatie, met name wanneer vocht aanwezig is, de katalysator voor het oxidatieproces. Het gevormde loodoxide reageert bij het vullen direct met zwavelzuur tot loodsulfaat. De accu wordt warm. Indien de accu niet (bij)geladen wordt kan deze sulfateren.
- **Natte accu:** de eerder genoemde zelfontlading van de accu is afhankelijk van de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de accu zichzelf ontladend en sulfateert. Een natte accu kan een zeer lange bewaartijd hebben mits deze koel, droog en goed geladen opgeslagen wordt en wordt bijgeladen indien dit nodig is.



Voorbeeld van corrosie door overlading; zowel c.q. het rooster als PAM vormen één massa.



Voorbeeld van uitslikken door overbelasting slechte lading: Het rooster is intact maar de PAM is uitgevallen

- **Uitslikken:** het uitslikken van een accu wordt veroorzaakt door een negatieve energiebalans van het accu – laadsysteem of door het veel te diep cycleren. De PAM wordt dermate zwaar belast dat door het herhaaldelijk zwellen (ontladen) en krimpen (laden) de structuur minder hecht wordt en de massa uitvalt. Doordat de positieve platen massa verliezen wordt de capaciteit van de accu steeds minder en zal de accu steeds meer moeite krijgen met het leveren van zijn startprestaties. Naast de aanwezigheid van veel te veel elektrische gebruikers op een voertuig in verhouding tot het accu – laadsysteem, is vaak een groot spanningsverlies over het laadsysteem, met als gevolg onvoldoende lading, oorzaak van uitslikken van een accu.
- **Overlading:** een lood zwavelzuuraccu heeft de langste levensduur wanneer deze goed geladen is. Overladen van een accu leidt echter tot problemen, vooral doordat het eerder vermelde corrosie proces van de roosters in de positieve platen sterk versneld wordt:
- **Waterverbruik en corrosie:** Laden met een te hoge laadspanning over langere tijd heeft een verhoogd waterverbruik tot gevolg. Waterverbruik is de ontleding van water (H_2O) tot knalgas, een mengsel van waterstof (H_2) en zuurstof (O_2). Naast een verhoogd explosiegevaar, wanneer bijvoorbeeld een vonk ontstaat in de buurt van de accu, wordt de zuursterkte steeds hoger doordat de totale hoeveelheid elektrolyt minder wordt. Bij een zuursterkte hoger dan 1,300 kg x l⁻¹ verloopt het corrosieproces zeer snel.
- **Thermal Runaway:** een thermal runaway is een proces waarbij door een te hoge laadspanning de temperatuur in de accu toe blijft nemen als gevolg van de warmteproductie door deze gasreactie. Waterontlading gaat sneller en sneller en kan zelf leiden tot het smelten van de NAM. Dat een dergelijk proces heeft plaatsgevonden wordt zichtbaar doordat bak en deksel niet meer recht maar "gegolfd" zijn.



8 Meest gestelde vragen

8.1 HOE WERKT EEN AKKU?

De loodakku is gebaseerd op de dubbel sulfaattheorie wat wil zeggen dat de reactieproducten bij ontlading van de akku voor zowel de positieve als de negatieve plaat loodsulfaat is. Wanneer een positieve en een negatieve plaat in zwavelzuur geplaatst- en de polen met elkaar verbonden worden gaat de reactie spontaan verlopen doordat er een stroom kan lopen.

8.2 WAAROM WORDT EEN AUTO GELEVERD MET EEN LOODAKKU EN GEEN NIKKELCADMIUM?

Er zijn een aantal redenen waarom een lood akku gebruikt wordt:

- Een loodakku is veel goedkoper dan een vergelijkbare nikkel cadmium akku. Een vergelijkbare nikkel-cadmiumakku kan makkelijk het 8 voudige kosten van een lood akku.
- Een nikkel-cadmiumakku heeft de langste levensduur in ontladen toestand en is niet bestand tegen overladen. Dit betekent dat een nikkel-cadmiumakku voor starttoepassing niet geschikt is de akku hiervoor geladen dient te zijn. Doordat de akku niet tegen overladen
- kan is een geavanceerd (=duur) laadstroom-reguleringsysteem noodzakelijk. Een loodakku is zeer goed bestand tegen overladen en heeft een lange levensduur.
- Een item dat tegenwoordig zeer belangrijk is is recycling. Een loodakku is relatief eenvoudig te verwerken tot opnieuw, voor akku's, te gebruiken lood.

8.3 WAAROM IS IN MIJN VRACHTWAGEN DE AKKU EERDER VERSLETEN DAN IN MIJN PERSONEN WAGEN?

Een startakku mag slechts voor een klein deel ontladen worden. In een personenauto zijn relatief weinig stroomverbruikers aanwezig en deze worden meestal alleen ingeschakeld als de motor loopt. De akku blijft in principe altijd geladen. In een vrachtwagen zijn veel meer stroomverbruikers aanwezig die ook gebruikt worden als de vrachtwagen niet loopt zoals een laadklep of de standverwarming, telefoon, koffiezetapparaat, magnetron, lampen, televisie e.d. in het internationale transport. Met name de laatste zijn noodzakelijk om het voor een chauffeur leefbaar te houden maar doen een aanslag op de akku's doordat deze zeer diep ontladen worden.

Hoever de akku's ontladen worden is relatief eenvoudig te bepalen: noteer van elke stroomverbruiker het vermogen (Watt) en deel deze waarde door 24 Volt. Dit geeft de opgenomen stroom. Vermenigvuldig dit met het aantal uren dat de verbruiker aan staat en tel de waardes bij elkaar op. Vergelijk dit getal met de capaciteit van de op de truck aanwezige akku's en de maximale stroom die de dynamo kan leveren. Het plaatsen van semi traktie akku's en een spanningsbegrenzer heeft een positieve invloed op de levensduur.

8.4 WAT GEBEURT ER MET MIJN KAPOTTE AKKU ALS IK DEZE INLEVER?

De versleten loodakku's worden verzameld en naar een verwerker gebracht. Een ingenieus hoogoven proces maakt het mogelijk dat de aanwezige verbindingen in de versleten akku's (lood, looddioxide) weer om te zetten zijn in zogenaamd secundair (gerecycleerd) lood dat vervolgens teruggekocht wordt. Wereldwijd wordt het aanbod secundair lood steeds groter wat betekent dat meer en meer akku's gerecycleerd worden. Naast de positieve invloed hiervan op het milieu heeft het ook een positieve invloed op de prijs van de akku; het aanbod van lood is stabiel en minder afhankelijk van de output van de mijnen (primaire lood).

8.5 IS EEN LOODAKKU NIET SLECHT VOOR HET MILIEU?

Nee: niet zolang een loodakku niet opengebarsten is of gedumpt wordt in het milieu en ingeleverd wordt bij de aanschaf van een nieuwe akku. De akku's worden verzameld en gerecycleerd tot nieuw (secundair) lood dat weer in het productieproces te gebruiken is. Een bijkomend voordeel hiervan is dat minder looderts uit de milieu belastende mijnbouw noodzakelijk is. In Nederland worden bijna 99% van alle akku's door de gebruikers bij de inzamelpunten ter verwerking aangeboden.



8.6 HOE KAN HET DAT BEPAALDE TYPES AKKU'S VERSCHILLENDE CAPACITEITEN LEVEREN EN TOCH DEZELFDE AFMETINGEN HEBBEN?

De capaciteit van een loodakku wordt bepaald door de aanwezige hoeveelheid actieve massa in de akku. Hoe meer actieve massa, hoe hoger de prestaties. Dit is te bereiken door of dikkere platen met meer massa te gebruiken, of het aantal platen te vergroten. De 55559 heeft een capaciteit van 55Ah. Dit wordt bereikt met 5 positieve en 5 negatieve platen per cel. De 56219 moet 62Ah capaciteit leveren (en een hogere koudstartstroom) met dezelfde buitenafmetingen. Deze hogere capaciteit wordt bereikt door een extra positieve plaat toe te voegen (6 positieve en 6 negatieve platen).

8.7 WAAROM HEEFT EEN PERSONENWAGEN EEN 12 VOLT EN EEN VRACHTWAGEN EEN 24 VOLT SYSTEEM?

Het antwoord op deze vraag is het vermogen dat door de akku's geleverd kan worden voor het starten van de vrachtwagen. Een vrachtwagen heeft een veel zwaardere motor dan een personenwagen en derhalve ook een veel zwaardere startmotor. Heeft de startmotor een vermogen van 13kW dan betekent dit dat als het systeem 12 Volt is dat de akku $13000 / 12 = 1080A$ zou moeten leveren. Dit is niet alleen voor de akku een zeer hoge stroom maar ook voor de bekabeling. In een 24 Volt systeem is de stroom de helft: $13000 / 24 = 540A$. Dit betekent dat met een eenvoudigere c.q. goedkopere bekabeling volstaan kan worden.

8.8 HOE MOET IK EEN AKKU BEWAREN ALS IK DEZE EEN TIJD LANG NIET GEBRUIK?

Over het opslaan van een akku doen zeer veel **fabeltjes** de ronde, bijvoorbeeld:

- ontlad de akku langzaam met een lampje en laad deze vervolgens weer op voor opslag,
- ontlad de akku en gooi deze leeg, vul hem vervolgens met gedestilleerd water,
- laad de akku en gooi deze leeg, vul hem vervolgens met gedestilleerd water,
- houd de akku altijd aan de lader. DOE DIT DUS NIET!

Een akku ontladen met een lampje totdat deze het niet meer doen betekent dat de akku volkomen leeg is, dit is zeer slecht voor de akku. Ontladen en vullen met water is in feite de akku dwingen tot sulfateren. Laden en vullen met water is feitelijk onmogelijk omdat als de akku gekiept wordt, iets wat zeer slecht is voor het milieu, 50% van het zuur achterblijft in de platen en de separatie. Een akku constant aan een ongeregelde lader houden leidt tot overmatige corrosie van de positieve platen.

De juiste procedure voor opslag is:

- koppel de akku los van het systeem (eerst de min-pool) zodat lekstromen de akku niet kunnen ontladen,
- vul het elektrolyet indien noodzakelijk tot aan de streep aan met gedestilleerd water, nooit met zuur,
- zet de akku aan de lader en laat deze zolang laden totdat voor tenminste 2 uur de spanning en het soortelijk gewicht van het elektrolyet niet meer verandert (s.g. 1,28),
- maak het deksel en de polen goed schoon zodat er geen lekstromen kunnen lopen over het deksel die de akku ontladen,
- zet de akku koel en droog weg,
- controleer elke 3 maanden het soortelijk gewicht van het elektrolyet. Is deze 1,22 of lager, laad de akku dan bij.

Indien deze regels in acht genomen worden kan de akku vele jaren meegaan.

8.9 WAT IS HET VERSCHIL TUSSEN EEN STARTAKKU EN EEN RECREATIE AKKU?

Behalve dat een recreatie akku er vaak anders uitziet zoals de ROBUSTAK serie recreatie akku's van CENTURION zijn ook de gebruikte materialen anders. Omdat vooral de capaciteit van belang is in tegenstelling tot een startakku, heeft een recreatieakku de inbouw van een semi traktie akku waardoor deze beter bestand is tegen diep ontladen (max 50%). Indien mogelijk zijn deze akku's als een heavy duty type uitgevoerd.



8.10 WAT VOOR ONDERHOUD HEEFT EEN AKKU NODIG?

Doordat de akku's steeds minder water verbruiken is ook de hoeveelheid onderhoud steeds minder geworden. Desalniettemin is kan een beetje onderhoud het leven van de akku sterk verlengen:

- Controleer de hoeveelheid elektrolyt in de akku. Is deze onder de op de bak aangegeven MIN streep, of onder de in het vulgat aanwezige indicator, vul de akku dan bij met gedestilleerd water,
- Controleer het soortelijk gewicht van het elektrolyt met een zuurweger; is het soortelijk gewicht lager dan 1,22, laad de akku dan bij tot 1,28, verwijder de "bloemkolen" van de polen en reinig de klemmen aan de binnenzijde,
- Houd het deksel van de akku schoon en droog

8.11 WAAROM KRIJG IK OP MIJN VRACHTWAGEN MET LAADKLEP PROBLEMEN MET DE STARTAKKU'S?

De problemen kunnen twee oorzaken hebben:

- de carrosserie is geleverd met alleen startakku's die ook de stroom moeten leveren aan de laadklep bij een uitgeschakelde motor,
- de carrosserie is geleverd met een aparte set semi traktie akku's maar er is geen diodeblok of scheidingsrelais aanwezig of deze is niet juist aangesloten.

Startakku's zijn, zoals de naam al zegt, speciaal ontwikkeld om een voertuig te starten. Ze zijn echter niet geschikt voor diep ontladen. Indien van een laadklep gebruik gemaakt wordt bij stilstaande motor en daarnaast ook nog tussen veel korte ritjes, dan kan de dynamo de van de akku afgenomen stroom niet meer bijladen: de akku gaat steeds dieper cyderen en gaat kapot. Een remedie hiervoor is het plaatsen van een set semi traktie akku's speciaal voor de laadklep, in combinatie met een diodeblok c.q. scheidingsrelais. De semi traktie akku's zijn wel bestand tegen diep ontladen en het diodeblok, mits op alle punten correct aangesloten, zorgt er voor dat altijd eerst de startakku's geladen worden en als deze vol zijn, de laadklepakku's. Daarnaast zorgt het diodeblok ervoor dat er nooit stroom van de startakku's naar de laadklepakku's kan gaan lopen waardoor de startakku's leeg raken. Het starten van de wagen blijft de primaire taak.

8.12 WAT IS EEN ZUURWEGER?

Een zuurweger is een apparaatje waarmee het soortelijk gewicht van het elektrolyt vastgesteld kan worden. Het elektrolyt is een verdunde oplossing van zwavelzuur in water. Van een volledig geladen akku is het soortelijk gewicht (dichtheid) van het 1,28 kg/l. Wanneer de akku ontladen wordt, worden sulfationen uit het elektrolyt onttrokken waardoor de dichtheid afneemt tot 1,12 kg/l. De akku is leeg. De zuurweger is een buis met een ballonnetje waarmee het elektrolyt opgezogen kan worden. In de buis zit een drijver met een schaalverdeling van 1,08 (bovenaan) tot 1,30 (onderaan). In een geladen akku is, doordat de dichtheid van het zuur hoog is, het drijfvermogen ook hoog. Op de vloeistofspiegel ligt het streepje 1,28. Bij een ontladen akku is het drijfvermogen veel lager en geeft de drijver de actuele waarde weer. TIP: wacht na het laden van een akku ongeveer 2 uur voordat het zuur gewogen wordt. Het bij het laden vrijkomende gas is dan uit het elektrolyt verdwenen. De meting wordt hierdoor nauwkeuriger.

8.13 HOE KAN IK MIJN LEGE AKKU HET BESTE LADEN?

Een "natte" akku kan in principe met elke akkulader geladen worden. Er dient echter met drie punten rekening gehouden te worden:

- stem de lader op de te laden akku's af. Neem een lader waarvan de maximale stroom nooit meer is dan 1/10 van de capaciteit. Nemen we als voorbeeld een CENTURION Robustak 57005, dit is een 70Ah akku. De maximale laadstroom is dan 7A,
- Gun de akku de tijd om volledig te laden. De meeste "goedkope" laders hebben een zogenaamde W-karakteristiek wat betekent dat de stroom afneemt als de spanning stijgt. Uitgaande van de hierboven genoemde 57005, als deze 50% ontladen is dient er 35 Ah bijgeladen te worden. Met een constante laadstroom van 7A zou dit 5 uur in beslag nemen. Dit is echter niet zo! Bepaal de laadtijd experimenteel door geregeld het soortelijk gewicht van het zuur te meten.
- De "natte" akku's hebben een centrale gasafvoer of stoppen met een ontluchting. Gedurende het laden hoeven de stoppen niet verwijderd te worden.



PAS OP: BIJ HET LADEN WORDT HET ZEER EXPLOSIEVE KNALGAS GEVORMD. SLUIT ALTIJD EERST DE KLEMMEN AAN DE AKKU AAN EN DOE DAN PAS DE STEKKER IN HET STOPCONTACT. VENTILEER DE RUIMTE GOED. ROOK NIET EN GEEN OPEN VUUR. TREK NA HET LADEN DE STEKKER UIT HET STOPCONTACT EN LAAT DE AKKU 2 UUR STAAN. VERWIJDER DAN DE KLEMMEN VAN DE LADER.

8.14 ZIJNER GEVAREN ALS IK MET DE AKKU BEZIG BEN?

Een akku is zeker niet gevaarlijk als volgens een aantal regels en zorgvuldig gehandeld wordt:

- Een akku bevat lood en zwavelzuur. Lood is slecht voor de gezondheid. Was, na het werken met een akku, altijd goed de handen.
- Zwavelzuur is een bijtend product. Indien dit op de handen terecht komt gaat dit prikkelen. Spoel de handen grondig af met water. Kijk zeer goed uit met katoenen kleding: een druppel zwavelzuur op katoen heeft direct een gat tot gevolg, al wordt deze pas na de eerste keer wassen zichtbaar.
- Verwijder bij het demonteren van de akku altijd eerst de klem aan de negatieve pool. Deze is gekoppeld aan het chassis. Als eerst de positieve klem losgedraaid wordt en de sleutel raakt het metaal van het chassis dan is een kortsluiting het resultaat.
- Sluit van een akkulader eerst de klemmen aan op de akku en steek dan pas de stekker in het stopcontact om vonkvorming te voorkomen,
- Bij het laden wordt het zeer explosieve knalgas gevormd:
 - niet roken en geen open vuur,
 - alleen laden in een goed geventileerde ruimte,
 - trek na het laden eerst de stekker uit het stopcontact, laat de akku 2 uur staan voordat de klemmen verwijderd worden, de gassen kunnen weg. De akku is weer klaar voor gebruik.

8.15 WAAROM IS DE 5 URIGE CAPACITEIT VAN EEN SEMI TRAKTIE AKKU MINDER DAN DE 20 URIGE CAPACITEIT?

Deze vraag kan het beste beantwoord worden aan de hand van een voorbeeld: Stel, een auto heeft een benzinetank met een inhoud van 60 liter. Bij 50 km/h is het verbruik 1:20. De auto kan $60 \times 20 = 1200$ km rijden op een tank. Rijd de auto echter 150 km/h met een verbruik van 1:10, dan is de actieradius nog maar 600 km.

Hetzelfde geldt voor een akku: De grootste semi traktie akku van CENTURION, de 96803, heeft een 20-urige capaciteit van 230 Ah en een 5 urige capaciteit van 180 Ah. Nemen we nu de 96803 als benzinetank en we rijden met een snelheid van 36A, dan kunnen we 5 uur rijden en is onze actieradius 180Ah. Met een snelheid van 11,5 A rijden we 20 uur en is de actieradius 230 Ah. Net als bij de auto is dit het gevolg van een toename van de weerstand, maar dan van de reactie tussen de akkuplatten en zwavelzuur. Bij zeer hoge stromen zoals startstromen wordt dit zeer goed duidelijk. Zo kan bijvoorbeeld een 54459 (44Ah) geen 12 minuten starten bij -18°C ($0,2$ uur \times $210\text{A} = 42\text{Ah}$) maar ongeveer 3 minuten (10,5Ah).