

# M3

14

*3 maandelijks periodiek  
voor geregistreerde  
wachtschepen*

**Landelijk Nautisch-Technische Commissie  
SCOUTING NEDERLAND**

Het blad M3 is een uitgave van de vereniging Scouting Nederland en verschijnt in theorie 4 keer per jaar.

Het blad is een persoonlijk initiatief van Henk Bos. De inhoud wordt verzorgd door de redactie bestaande uit:

Joep Brassier	Koekoeksbloem 6	1911 PG	Uitgeest	02513-14878
Henk Bos	Hasebroekstraat 7	1962 SV	Heemskerk	02510-30050

Het Adressen- en het Schepen- bestand staat op de computer van Henk Bos.

Het Typewerk komt uit handen van: Ge en Janneke Bos

Het drukken en verzenden wordt verzorgd door:

Landelijk Bureau Scouting Nederland Postbus 210 3830 AE Leusden

Adressen:

Landelijk waterconsul

M.C. Veldhoen Binnenwegje 1 4625 CV Bergen op Zoom 01640-55328

Landelijke Vereniging tot Behoud van het Zeilend bedrijfsvaartuig

Postbus 2004 1000 CA Amsterdam

De vereniging stelt zich ten doel het behoud van voormalige bedrijfsvaartuigen, waarmee oorspronkelijk op de Nederlandse wateren enig bedrijf is uitgeoefend en waarvan het karakter overwegend bewaard is gebleven.

Deze vereniging heeft twee interessante werkgroepen:

Werkgroep Tuigerij & Documentatie

Boudewijn de Haas Oosterstraat 7-9 2611 BT Delft

Deze werkgroep houdt zich voornamelijk bezig met het verzamelen, in de vorm van o.a. literatuuronderzoek - veldonderzoek - en gesprekken, van oude gegevens ten aanzien van bouw en toerusting van de voormalige zeilende bedrijfsvaartuigen van de binnenvaart. Zij tracht deze verzamelde kennis in de vorm van publicaties en advisering door te sluisen naar de verenigingsleden en andere geïnteresseerden.

Werkgroep Oude Motoren & Opduwers

Theo Hoogmoed Wolwevershaven postbus 206 3300 AE Dordrecht

Deze werkgroep houdt zich bezig met het inventariseren van oude scheepsmotoren en het verzamelen van oude instructieboekjes, om deze te kopiëren en te versturen naar diegenen die ze nodig hebben.

## VOORWOORD

20 december 1991

Tijdens de maandelijkse vergaderingen van de werkgroep Tuigerij en Documentatie van de Vereniging tot behoud van het Zeilend Bedrijfsvaartuig kwam het onderwerp accu's aan de orde. Tijdens het gesprek werd het duidelijk dat er publiekelijk weinig bekend is over dit onderwerp. Een goede reden om al het te vinden materiaal bij elkaar te zoeken en er enigsinds structuur in aan te brengen. Sommige zaken staan er dubbel in en andere zullen ontbreken. Excuus.. en stel ons op de hoogte! Het ligt in de bedoeling ook een katern te maken over dynamo's, regelaars en schakelingen aan boord. Heeft u iets bedacht of ergens gezien, laat het ons weten!

Vooraf aan boord gaat er veel fout met de accusystemen. Het komt voor dat de accu's binnen 2 jaar vervangen moet worden. Dat dit niet echt nodig is kunt U in het volgende verhaal lezen.

Het katern is bedoeld als informatie bron. Informatie die veelal slecht te vinden is vooral op het moment dat je het nodig hebt.

Veel personen hebben op gulle manier bijgedragen en een paar wil ik hier noemen:

- Erik Takes voor het delen van zijn ervaring met een NC accu systeem.
- Piet v.d. Zee voor het nalezen van het concept en zijn ervaring met een NC acc uit 1949!
- De heer Groenen, de accu-specialist in Leiden voor de informatie verkregen uit een levenslange ervaring met alle soorten accu's. Hier kunt u terecht voor de praktische oplossing van een e.v.t. probleem.
- Willem Houtkoper die rigoreus zijn archief opentrok en mij op een overweldigende manier van informatie voorzag.

Henk Bos.

Hasebroekstraat 7  
1962 SV Heemskerk  
02510-30050

### INHOUD

VOORWOORD . . . . .	3	Temperatuur . . . . .	26
LOODACCU en het boordnet . . . . .	5	Electroliet . . . . .	26
Startaccu . . . . .	5	Laden . . . . .	27
Diep te ontladen accu's . . . . .	6	Accuruimte . . . . .	29
Accu capaciteit . . . . .	7	ONDERHOUDSVOORSCHRIFT NIFE NC-ACCU	30
Laadcapaciteit . . . . .	8	Montage en demontage . . . . .	30
Spanningsregeling . . . . .	8	Opstelling. . . . .	31
De scheepsspanningsregelaar . . . . .	9	Ontlading. . . . .	32
Regelaar voor gel-accu's . . . . .	11	Lading. . . . .	32
Valeo dynamo . . . . .	11	Algemene aanwijzingen . . . . .	33
Conclusie . . . . .	11	Versnelde lading. . . . .	33
Opmerking . . . . .	11	Stootladingen . . . . .	33
LOODZWAVELZUUR-ACCU'S . . . . .	11	Resumé laden . . . . .	34
HET LADEN VAN ACCU'S . . . . .	17	Snel-druppellaadsysteem . . . . .	34
OVERZICHT KLEMSpanningen LOODACCU	18	Constant spanningsysteem . . . . .	34
HET 2e HANDS KOPEN VAN NC ACCU'S	20	Continue lading . . . . .	35
a. Laden . . . . .	22	HET ELECTROLIET . . . . .	35
b. Ontladen tijdens bedrijf, de generator blijft het verbruikte aanvullen . . . . .	22	Electroliet in de cellen . . . . .	35
c. Ontladen zonder bijladen . . . . .	22	Aanmaken van electroliet. . . . .	36
d. Starten van de motor . . . . .	23	Vernieuwing van electroliet. . . . .	37
OPMERKINGEN en AANVULLINGEN. . . . .	25	Opslaan van batterijen . . . . .	37
Constructie . . . . .	25	Verzending van batterijen. . . . .	37
Kosten . . . . .	26	Gereedschappen en reservedelen	38
Levensduur . . . . .	26	Algemene voorschriften . . . . .	38
		Ampère-uren meters . . . . .	38
		Algemeen . . . . .	39

ONDERHOUD EN TIPS . . . . .	39	BEGRIPPEN EN VERKLARINGEN . . . . .	69
Ventilatie openingen . . . . .	39	Accu . . . . .	69
Temperatuur . . . . .	39	Belasten van accu's . . . . .	69
TESTMETHODEN . . . . .	39	Bronspanning . . . . .	69
Testen op elektrisch verliezen . . . . .	39	Bufferlading . . . . .	69
Capaciteitsbepaling . . . . .	40	Bufferspanning . . . . .	69
RECONDITIONEREN van open cellen . . . . .	40	C5A . . . . .	69
Waarom reconditioneren . . . . .	40	C5Ah . . . . .	69
Frequentie van reconditioneren . . . . .	40	Capaciteit . . . . .	69
Reconditionerings procedure . . . . .	40	Capaciteitsverlaging door ont-	
Vernieuwen elektrolyet . . . . .	41	lading . . . . .	69
VENTILATIE VAN EEN BATTERIJRUIMTE . . . . .	41	Capaciteitsverlaging door ou-	
NOODSTROOMVOORZIENINGEN . . . . .	42	derdom . . . . .	69
LADERS . . . . .	49	Capaciteitsverlaging door tem-	
Definities . . . . .	49	peratuur . . . . .	70
Volgeladen . . . . .	49	Capaciteitsverlaging door ver-	
Overlading . . . . .	49	keerd zuur . . . . .	70
Bufferladen . . . . .	49	Constate-spanningladen . . . . .	70
Snelladen . . . . .	49	Constate-stroomladen . . . . .	70
BEHANDELEN VAN ACCU'S UIT DRAAGBARE . . . . .		Cyclus . . . . .	70
APPARATUUR . . . . .	52	Cycleerbedrijf . . . . .	70
Eigenschappen . . . . .	52	Druppelstroom . . . . .	70
Herkennen . . . . .	53	Egaliseerlading . . . . .	70
Gelspanningen . . . . .	53	Eindspanning . . . . .	70
Laden . . . . .	53	Elektrische energie . . . . .	70
Ontladen . . . . .	53	Elektrische lading . . . . .	71
Laders . . . . .	54	Elektrische stroom . . . . .	71
Capaciteit testen . . . . .	54	Elektrisch vermogen . . . . .	71
Diagnose . . . . .	54	Energiedichtheid . . . . .	71
Waarschuwing . . . . .	54	Gasdichte cel . . . . .	71
RECEPT VOOR HET SNEL CONTROLEREN VAN . . . . .		Gasspanning . . . . .	71
GASDICHTTE NIKKELCADMIUM-ACCU'S . . . . .	55	Inwendige weerstand . . . . .	71
NIKKEL-CADMIUM BATTERIJEN . . . . .		Koud starten . . . . .	72
EN KLEINE ACCU'S . . . . .	55	Koudstartstroom . . . . .	72
Constructie . . . . .	56	Laden . . . . .	72
Werking . . . . .	56	Laadspanning . . . . .	72
Zuurstofregeneratiecyclus . . . . .	56	Lekstroom . . . . .	72
Gebreken . . . . .	57	Levensduur . . . . .	72
Lekkage . . . . .	58	Min relais . . . . .	72
Te heet worden tijdens het ontla-		Opslag van accu's . . . . .	72
den . . . . .	58	Ompolen . . . . .	72
Te heet worden tijdens het laden . . . . .	58	Onderhoudsvrije cel . . . . .	72
Het voeren van een te hoge laad-		Ontladingsdiepte . . . . .	73
stroom . . . . .	58	Open cel . . . . .	73
Gasdiffusie . . . . .	59	Open klemspanning . . . . .	73
Ompolen . . . . .	59	Recombinatie-accu . . . . .	73
Losgeraakte verbindingen . . . . .	60	Rustspanning . . . . .	73
Het verhelpen van defecten . . . . .	60	Separator . . . . .	73
Geheugeneffect . . . . .	61	Soortelijke massa van het zuur . . . . .	73
Inwendige kortsluiting . . . . .	62	Snelladen . . . . .	74
Het formaat van de accu en de . . . . .		Stam- en toevoegcellen . . . . .	74
stroom . . . . .	65	Starved electrolyte . . . . .	74
Kortsluiting wegbranden . . . . .	65	Startaccu's . . . . .	74
Hoge inwendige weerstand . . . . .	66	Stationaire accu's . . . . .	74
Het bijvullen . . . . .	66	Sulfateren . . . . .	74
Niet zelfherstellend veiligheids-		Tegencellen . . . . .	74
ventiel . . . . .	67	Toelaatbare spanning . . . . .	75
Vervangingsschema van een nikkel-		Tractiebatterijen . . . . .	75
cadmiumaccu tijdens ontladen . . . . .	68	Vereffeningslading . . . . .	75
		Zelfontlading . . . . .	75

## LOODACCU en het boordnet

Het is al weer enige tijd geleden dat wij met varen zijn begonnen. De eerste accu die we kochten was er een voor het starten van onze motor. De interieurverlichting van de kajuit bestond uit 2 lampjes van 8W terwijl het vooronder met 1 lampje van 8W verlicht was. De WC was voorzien van een batterij gevoed exemplaar zodat er geen enkele reden was om meer dan 1 accu aan boord te hebben. De kinderen werden groter en bleven langer op en opa en oma maakten in het voor en najaar ook gebruik van het schip. Het vaarseizoen werd al gauw een half jaar zodat er behoefte ontstond aan meer energie voor de verlichting. Er werd een diodebrug aangeschaft, de spanningsregelaar werd een halve Volt hoger ingesteld en voor de motor werd er een nieuwe accu gekocht. De oude was nog niet op (pas 3 jaar oud) en alles ging prima, stroom genoeg. Om de 3 à 4 jaar werd er een nieuwe accu voor de motor gekocht terwijl de oude voor de verlichting werd gebruikt.

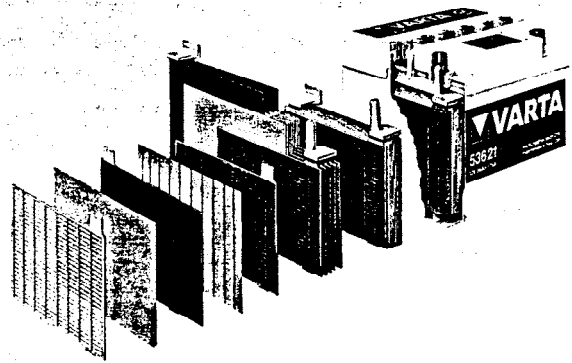
Tegenwoordig is de situatie iets anders geworden. Er is meer energie nodig nl. voor de opgevoerde verlichting (we willen kunnen tekenen), er is een TV aan boord verschenen, de radio is aangesloten op het boordnet - wie wil er niet eens een bandje draaien. De laatste 2 jaar is er een laptop computer aan boord die ook op het boordnet is aangesloten om al varende deze verhalen te kunnen schrijven. Intussen is ons schip een jaar lang permanent bewoond geweest terwijl de accu's met een laadautomaat op spanning werden gehouden.

Zo tijdens de vakantie al varende in Frankrijk (zomer 1991) ga je er eens over nadenken of de zaken wel goed geregeld zijn en het antwoord moet zijn: NEE, er deugt eigenlijk niets van de procedure, om steeds een nieuwe startaccu's te kopen.

### Startaccu

Een conventionele loodaccu is opgebouwd uit een serie positieve en negatieve platen in een verdunde zwavelzuur die als electroliet dienst doet. De platen

bestaan uit een frame met een rooster van een loodlegering. De positieve platen zijn gevuld met loodoxide terwijl de negatieve platen gevuld zijn met sponslood. Tijdens het ontladen zorgt een chemische reactie voor een stroom elektronen die door de platen worden opgevangen.



Constructie van een standaard startaccu

Tijdens het ontladen is het noodzakelijk dat het zuur bij de actieve massa kan komen om voor vrije elektronen te zorgen. Als de accu gedeeltelijk is ontladen moet het zuur dieper doordringen in de platen om nog ongebruikt materiaal te vinden. Dit heeft tijd nodig. We hebben allemaal wel eens geprobeerd om een motor te starten en gemerkt dat de startmotor steeds langzamer ging lopen. Door een poosje te stoppen en het starten nog eens te herhalen blijkt dat de accu intussen weer een beetje was bijgekomen. Tijdens de pauze kreeg het zuur de gelegenheid dieper door te dringen en weer bij de actieve loodmassa te komen en te zorgen voor wat energie.

Een startaccu bestaat uit een groot oppervlak en dunne platen. Door deze constructie zorgt het grote contactoppervlak van de actieve massa en het zuur dat de accu de hoge startstromen kan leveren.

Tijdens het laden en ontladen zorgen mechanische spanningen voor het verlossen gaan van het contact tussen de massa en het rooster. Hoe dieper de ontla-

ding hoe groter de spanningen. Er zal een gedeelte van de actieve massa losraken uit het rooster en naar beneden vallen zodat het vermogen van de accu afneemt.

De meeste startaccu's falen compleet na 30 à 40 diepe ontladingen.

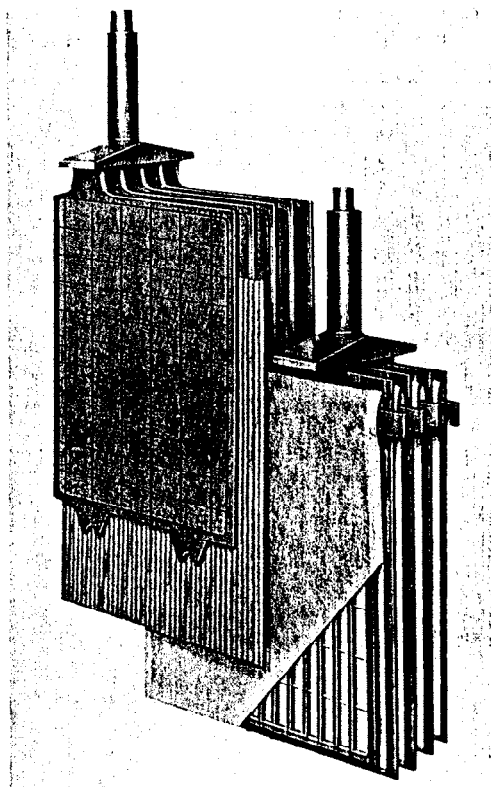
Door hun constructie zijn startaccu's dus niet geschikt om diep ontladen te worden en dus ook niet om als lichtaccu dienst te doen!

Elk schip, vanaf een kleine speedboot tot een groot binnenvaartschip dat periodiek een kleine stroom afneemt (voor b.v. een stereotoren of navigatieverlichting) voor langere tijd zonder dat er geladen wordt, moet zijn uitgerust met diep te ontladen accu's.

#### Diep te ontladen accu's

Er is een grote sortering van diep te ontladen tractie-accu's op de markt. Sommige zijn niet beter dan een goede autoaccu, anderen bieden een bijzondere kwaliteit. Over het algemeen krijg je waar je voor betaalt - de duurder accu's kunnen meer hebben en houden het langer vol dan de goedkopere. Hoeveel langer zal afhangen van de manier van varen en scheepsgebruik. Een weekendschipper is nooit ver verwijderd van een laadmogelijkheid en kan kiezen voor een goedkopere uitvoering. Voor de langere tochten of het lang verblijven in een dorp of stad zonder een walaansluiting of zonder het bijzetten van een generator, is het nodig om op de kwaliteit te letten. Zelf ben ik voor het laatste. Bij goed gebruik kan de levensduur oplopen tot 20 jaar.

De laatste jaren staan de accu's van het geltype (geen onderhoud) in de belangstelling en worden aangeprezen voor scheepsgebruik. Het type is reeds in 1938 bekend maar door de hedendaagse fabricatie mogelijkheden nu goed en reproduceerbaar te maken. Deze accu's zouden een zeer kleine zelfontlading hebben, dit in tegenstelling met de gewone accu's. Helaas is dit een fabel gebleken! Elke accu moet af en toe geladen moeten worden om de zelfontlading op te heffen.



Stationaire cel met positieve buisjesplaten en negatieve roosterplaten.

Gel-type accu's kunnen goed worden toegepast als goed onderhoud problemen geeft. Door de korte tijd (5 jaar) dat ze weer leverbaar zijn, is nog geen goede beoordeling mogelijk. Ondanks dat is het zo dat er stevig betaald moet worden voor het feit dat het electrolyet niveau niet gecontroleerd hoeft te worden. Momenteel is het zo dat gel-accu's de slechtste zijn die er bestaan. Starved-electrolyt is iets beter.

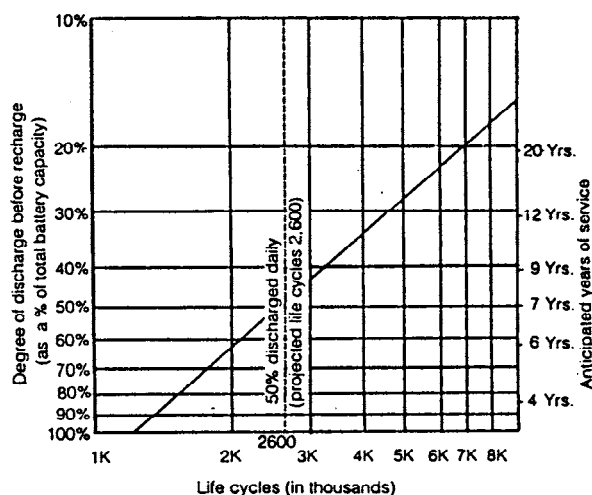
#### Accu capaciteit

Behalve het kiezen van welk type accu, moet er ook een capaciteit bepaald worden. De procedure is eenvoudig maar wel belangrijk voor een uitgebalanceerd systeem. Allereerst moet er een lijst opgesteld worden van alle gelijkstroomgebruikers. De bedoeling van de lijst is aan de weet te komen hoeveel energie er per dag gebruikt wordt. Dit doen we door de ampère's te vermenigvuldigen met het aantal uren:

	Ampère	Tijd	AH
radio	0,1-0,5	16	8
t.v. supertech	5	4	20
kajuit verl.	1,4	5	7
vooronder	1,4	2	3
ankerlicht	1	12	12
computer	2	8	16
			66 Ah

We weten nu de hoeveelheid energie die nodig is voor 1 dag. De volgende stap is het bepalen van de tijd die tussen de volledige ladingen zit. Stel dat we elke dag volledig kunnen laden dan vinden we de accu-capaciteit, door het verbruik te vermenigvuldigen met 1,7 (Varta). Dit levert een accu-capaciteit op van 112,2 Ah. Kunnen we slechts om de 2 dagen volledig laden dan hebben we accu met een dubbele capaciteit nodig. Het getal 1,7 is afhankelijk van type en merk accu. Een variatie tussen 1,6 en 2 komt voor!

We kunnen natuurlijk ook de minimum capaciteit nemen door de gevonden waarde met 0,85 te vermenigvuldigen. We krijgen dan  $0,85 \times 112 = 94,1$  Ah. Zelf de beste diep te ontladen tractie-batterijen lopen schade op bij volledige ontlading! Over het algemeen mag een accu niet verder ontladen worden dan 30% van zijn capaciteit of 10V klemspanning onder belasting.



Aantal laad/ontlaadcycli bij verschillende ontladingsdiepte

Er is een relatie tussen de levensduur en de diepte dat de accu ontladen wordt. Bij een tractieaccu en het gebruik van ontladen en laden van 100% tot 30% lading geeft een levensduur van ca. 5 jaar of 1800 keer laden. Een maximale ontlading van 100% tot 50% geeft een levensduur van 7 jaar of 2600 keer laden. Ontladen tot max. 50% van z'n capaciteit geeft dus een veel langere levensduur!

Aan de andere kant is het zo dat een accu tot 80% van zijn capaciteit gemakkelijk lading aanneemt. Daarna verloopt het chemische proces steeds langzamer en bij 90% zal de accu nog maar enkele ampères zonder schade kunnen verwerken. Het resultaat is dat accu's op zeilboten zelden volledig geladen zijn. Deze begrenzings zorgen er voor dat we in de praktijk bij normaal gebruik in het gebied zitten van 80% tot 30% lading. We kunnen daarom niet meer dan 80-30=50% van de accu-capaciteit effectief gebruiken.

#### Laadcapaciteit

Is de ladingstoestand van de accu langere tijd onder de 1.9 V/cel (onbelast) dan gaat de accu sulfateren met het gevolg dat de capaciteit blijvend afneemt. Vooral als er veel geld geïnvesteerd is in een grote tractiebatterij, is het logisch ook te investeren in de mogelijkheid deze regelmatig volledig te laden. Dit is helaas niet zo eenvoudig als het klinkt. Schepen liggen meestal stil met een walvoeding in buurt zodat gebruik gemaakt kan worden van een acculader. Soms zelfs van een lader met na-laadmogelijkheid (4 uur 2,3 V per cel met lage stroom). Tijdens de vaart zal de accu geladen moeten worden met de op de motor aanwezige dynamo. Sommige speedboten hebben een overcapaciteit om te laden terwijl de meeste schepen (zoals zeil- en toer-schepen) hun motoren maar beperkt gebruiken. Er is dan weinig tijd beschikbaar om de accu's te laden met het resultaat dat de accu's langzaam ten gronde gaan! Een bijkomend probleem is dat we 120% van de verbruikte energie weer in de accu's moeten stoppen. In ons voorbeeld is dit  $120 \times 66 = 79$  Ah.

Tijdens onze zwerftochten varen we gemiddeld 3 uur per dag. Dit houdt in dat we per uur ca 26 à 27 Ampère moeten laden om de accu weer op peil te krijgen. We hebben dus een dynamo nodig met een minimum capaciteit van ca. 30 Ampère. Geen enkele dynamo kan continue haar volledige capaciteit langere tijd afgeven, zonder kapot te gaan, zodat we een grotere moeten kiezen (die niet boven de 75% van zijn maximaal vermogen komt). Daar ook de startaccu geladen moet worden kiezen we voor een 60 A dynamo.

Er zijn veel bedrijven die een "high output" scheepsdynamo kunnen leveren met speciale warmte afvoerende huizen, grote koper-inhoud, hoog-vermogen diodes en zwaar uitgevoerde lagers. Deze vaak explosievrije (gasdichte) generatoren zijn in staat om zeer hoge stromen af te geven. Vaak zijn ze ook nog als "smal-frame" dynamo uitgevoerd zodat de inbouwmaten dezelfde zijn als normale dynamo's.

De bedrading tussen de dynamo, de regeling en de accu moet dan wel veranderd worden daar er in een koperdraad maximaal 5 A per mm<sup>2</sup> mag lopen. Voor 60 A moet de kabel tussen de accu en de dynamo dan  $60 : 5 = 12$  mm<sup>2</sup> zijn.

Een hoog vermogen dynamo betaalt constant terug in de vorm van een langere levensduur van de accu's en een kortere draaitijd van de motor terwijl er altijd over volle accu's beschikt kan worden.

### Spanningsregeling

Een regelaar is altijd nodig om ervoor te zorgen dat de dynamo een juiste spanning afgeeft. Een lege accu heeft een lage klemspanning en er is een groot verschil met de spanning van de dynamo. Het gevolg is dat er een grote stroom gaat lopen naar de accu. Bij het voller worden van de accu stijgt de klemspanning en het verschil met de dynamo wordt kleiner. Het gevolg is dat de stroom naar de accu kleiner wordt. Door een regelaar te gebruiken kunnen we de stroom naar de accu beïnvloeden. De dynamo (we hebben het over een wisselstroomdynamo) heeft een rotor. Door deze rotor laten we via koolborstels een gelijkstroom lopen. Het gevolg is

dat in de rotor een magnetisch veld ontstaat. Doordat de rotor via de snaarschijf ronddraait hebben we een ronddraaiend magnetisch veld. In de stator (het vaste deel van de dynamo) zitten 3 spoelen. Het draaiend magnetisch veld veroorzaakt in deze spoelen een elektrische spanning. Via diodes sluiten we deze spanning aan op de accu. Is de spoelspanning hoger dan de accu dan gaat er een stroom lopen. Door het magnetisch veld van de rotor sterker of zwakker te maken kunnen we de hoogte van de spanning in de spoelen beïnvloeden en indirect kunnen we ook de stroom regelen.

Ongelukkigerwijs is er geen lineaire verhouding tussen de accuspanning en de ladingstoestand van de accu. Zo ongeveer bij 60% lading begint de accuspanning sneller te stijgen dan de ladingstoestand. Het gevolg is dat de dynamo al teruggeregeld wordt terwijl de maximum veilige lading nog niet is bereikt. Dit verlengt de benodigde ladingstijd onnodig terwijl een korte laadtijd op schepen nu juist belangrijk is. Het is n.b. ook nog dit deel van het laadtraject wat we juist graag willen hebben, n.l. het gedeelte van 50 tot 100% lading. Wanneer de accu eenmaal 60% van zijn lading heeft bereikt is de enige manier om de rest er met dezelfde snelheid als in het onderste deel van het laadtraject er in te krijgen is het verhogen van de spanningsinstelling bij een conventionele regelaar. Het is n.l. zo: tot 80% van de lading kan de accu een vrij hoge laadstroom verdragen, daarna moet de laadstroom aanzienlijk afnemen om geen schade te veroorzaken. Deze onevenwichtigheid veroorzaakt een lage ladingstoestand om schade door overlading te voorkomen. Bij 80% ladingstoestand (2,4 V per cel) ligt n.l. de gasgrens. Bij een hoge stroom in dit gebied ontstaat er veel knalgas en kan een accu droog koken. Het gevaar van een ontploffing is dan reëel aanwezig (b.v. ontstoken door een vonkje van de dansende koolborstels in de dynamo). Probleem 2 is dat door het sterke gasen de actieve massa uit de platen gewerkt wordt en als sludge onder in de accubak terecht komt. Aan de ene kant neemt de capaciteit sterk af terwijl er aan de andere kant sluiting tussen de



platen mogelijk wordt.

Er moet een evenwicht gevonden worden tussen lading en spanning. E.e.a. hangt sterk af van het gebruik. Bij lange tochten op de motor (8 tot 12 uur varen) zal de regelaar lager moeten staan dan bij korte dagtochten van 2 à 3 uur. In de praktijk vind je regelaar-instellingen tussen 14.0 en 14.4 Volt. Boven de 14.4 Volt mag hij NOOIT komen (Knalgas ---> B O E M ! ! !)

### De scheepsspanningsregelaar

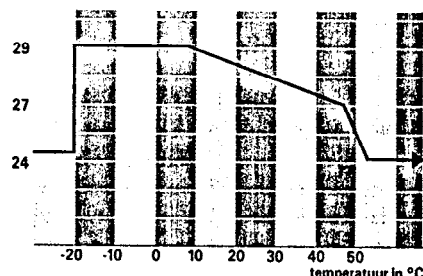
De meeste van de in schepen ingebouwde spanningsregelaars komen uit de autoindustrie. Daar worden de accu's tijdens het starten maar ca. 10% ontladen. Door de vele draaiuren kan met een relatief laag ingestelde regelaar worden volstaan (13.8 - 14.0 Volt). De ladings-toestand wordt dus in het veilige gebied gehouden en het gevolg is dat ook tijdens lange (vakantie-) ritten de accu heel blijft.

Voor speedboten zijn deze regelaars goed bruikbaar daar de omstandigheden vergelijkbaar zijn. Heel weinig auto-spanningsregelaars zijn instelbaar zodat ze onbruikbaar zijn aan boord. Sommige Delco Remy regelaars hebben 4 standen, n.l. "low, 2, 3 en high". Sommige Lucas/CAV regelaars hebben 3 aansluitingen n.l. "low, medium en high" terwijl sommige andere regelaars een instelschroefje hebben waarmee een instelbare weerstand wordt verdraaid. Deze zijn het meest geschikt.

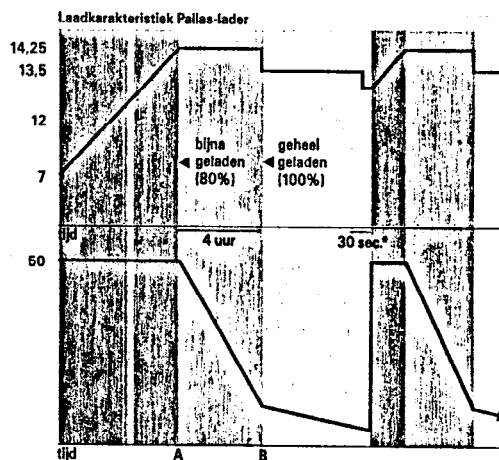
Erg belangrijk: Een regelaar kan alleen dan goed worden afgesteld als de accu volledig geladen is (controleren met een zuurweger!). Het afstellen alleen met een goede digitale voltmeter doen.

Veel beter dan een auto-spanningsregelaar is een speciale scheepsspanningsregelaar. Deze meet constant de accu-spanning totdat deze de waarde van 14.4 Volt heeft bereikt. Daarna gaat de geregelde spanning naar beneden naar een waarde van 13.8 Volt om overlading te voorkomen. De betere regelaars hebben ook nog een temperatuuraansluiting voor de accu zodat de regeling aangepast kan worden aan de accutemperatuur. De methode van regeling komt overeen

met de Victron acculaadsystemen. Dat deze methode van regeling gunstig is blijkt o.a. uit het feit dat in de binnenvaart de accu's worden geladen met een hulpset (generator) en een Victron Pallas acculader.



Spanningscurve van een 24 V accu voorzien van een temperatuursensor. Wanneer de accutemperatuur laag is wordt de accu-spanning automatisch verhoogd (vanaf 20° C). Wordt de accutemperatuur te hoog, dan neemt de laadspanning af. Bij een temperatuur hoger dan 45° C schakelt de spanning terug naar de veilige 24V (gelijkrichter-niveau)

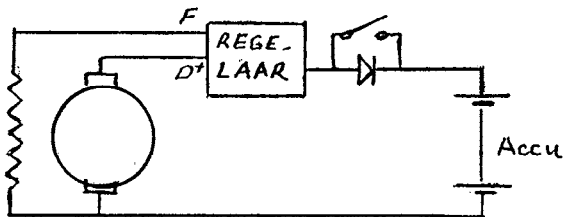


A=het terugregelmoment na het bereiken van 14.25 V. De accu is nu 80 % vol. Daarna wordt er 4 uur bij de zelfde spanning doorgeladen en is de accu 100 % vol. De spanning wordt teruggeregeld naar ca. 13.7 Volt.

Een alternatieve mogelijkheid is om een oud systeem van stal te halen en handmatig bij te gaan regelen. Vroeger werden dynamo's op binnenschepen handmatig geregeld door de veldspanning (eigenlijk de stroom door de veldwikkeling)

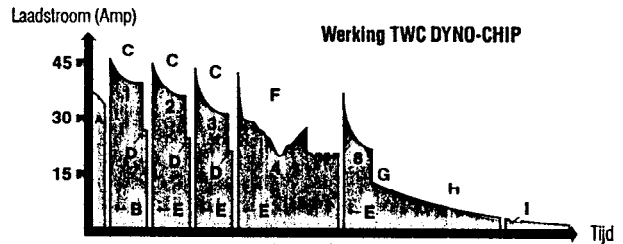
in te stellen met een zware instelbare weerstand.

De truc is nu om de veldwikkeling van meer stroom te voorzien door een instelbare weerstand te plaatsen om het contact heen van de spanningsregelaar. De instelbare weerstand wordt dan gebruikt om de output van de dynamo op een gewenst niveau in te stellen. Het nadeel is dat er gemakkelijk bedieningsfouten kunnen worden gemaakt en wel zo erg dat zowel de dynamo als de accu naar de knoppen gaan. Deze methode is dus zeer AF te raden.



Het is mogelijk om tussen de dynamo en de accu een 100 A diode te zetten met parallel een schakelaar. Stel de regelaar af op 14.4 V. Bij langdurig varen schakel je de diode in serie. De accu spanning wordt dan  $14.4 - 0.7 = 13.7$  V wat aardig goed is. Eigenlijk nog boven de gasgrens van 2.21 tot 2.24 V/cel maar het kan. Let er op dat de regelaar de spanning voor de diode moet zien en niet de accuspanning.

Een andere oplossing voor de regelaar Moverza b.v., divisie TWC Bemelux, Moerseweg 3, Hooge Zwaluwe, Postbus 65, 4926 ZH Lage Zwaluwe, Tel. 01684-4383/3152, levert een speciale spannings regelaar. Met deze regelaar is het mogelijk meer lading in kortere tijd in de accu te krijgen. Deze regelaar maakt gebruik van het feit dat de zuurgraad wat najlt op de ontlading. Zo verandert de zuurgraad niet merkbaar tijdens het starten van de motor. Loopt de motor dan heeft een conventionele regelaar voldoende tijd om de lading weer aan te vullen voor dat de kontraspanning is opgebouwd. Afhankelijk van de totaalafname en tijd kan bij diepontladen de zuurgraad sterk verminderen. Met de vaste relatief lage spanning van conventionele regelaars heeft de accu alle tijd om kontraspanning op te bouwen. Het praktische gevolg is dat de laadstroom stopt voor de accu volledig is geladen.



De werking:

Gedurende de laadcyclus wordt tussen de diverse fases de stroom gestopt en de spanning van de accu wordt onder stroom gemeten om meetfouten te voorkomen. Als de celspanning onder de ingestelde waarde komt gaat de TWC Dyno-chip automatisch de laadspanning verhogen. De accu wordt maximaal opgeladen met de volgende 9-fasen cyclus:

- A : Vijf minuten laden op lage spanning;
- B : laadstop en spanningsmeting;
- C : Twaalf minuten laden op hogere spanning indien celspanning onder de ingestelde waarde;
- D : 2 minuten reductie van de laadspanning voorafgaand aan
- E : laadstop, celmeting, en indien nodig, weer twaalf minuten laden met hogere laadspanning. Als er een hogere dan de ingestelde spanning wordt gemeten wordt overgeschakeld op lage spanning gedurende 1 uur.
- Na elke meetfase wordt een korte hoge stroomstoot afgegeven om de cel actief te houden.
- F : Verlengde lading (als laadstroom voor beperkte tijd lager is); stop tijdmeting; hervatting van de laadcyclus bij bereik van de normale conditie;
- G : Automatische laadstop (na 8 tot 12 minuten) of als de ingestelde waarde is bereikt; korte hoge "aktie" stroomstoot met lagere spanning;
- H : Verlenging lage spanning "aktie" fase; belangrijk na hoge ontladingen voor fase A; gasvorming wordt voorkomen door dit laadniveau gedurende 1 uur;
- I : celmeting; continuering fase H tenzij te lage accuspanning; dan wordt complete cyclus herhaald.

De prijs voor een 12 V regelaar is in 1988 f 460.- excl. BTW.

### Regelaar voor gel-accu's

De fa. Intervolt (20-6970736) levert een regelaar die speciaal gericht is op het laden van gel-accu's en deze is voor een 12 V accu ingesteld op 14,25 V. De fuctie is equalize. De prijs is in 1991 f 480.- voor de goedkoopste uitvoering.

### Valeo dynamo

De fa. ASA levert de Valeo dynamo in een standaard en een scheeps uitvoering. De basis is een Ducellier dynamo die voorzien is van een andere diode plaat en kan voorzien worden met een extra plaat voor de 2e spannings aansluiting. De regelaar is ingebouwd en dus niet te beïnvloeden. De scheeps uitvoering is gas- en waterdicht uitgevoerd. De prijs 1991 voor een standaard dynamo 14 V -70 A is f 477.55.

### Conclusie

Aan de hand van bovenstaande kunnen we het volgende als noodzakelijk stellen voor een uitgebalanceerd 12 of 24 Volt gelijkstroomsysteem:

1. Een set accu's van goede kwaliteit die diep ontladen mogen worden (tractiebatterijen)
2. Een hoog vermogen scheepsdynamo
3. Een drietraps scheepsdynamospaansregelaar of als slechtste keuze een regelbare autodynamoregelaar

### Opmerking

Bij de autosloper kost een 12 V - 60 A autodynamo in 1991 f 40.- en een 3 spoels spanningsregelaar f 15.-. Dit zijn acceptabele prijzen om mee te experimenteren. Het wachten is nu op een zelfbouw regelaar met een van bovenstaande karakteristieken.

### LOODZWAVELZUUR-ACCU'S

Accu's zijn belangrijke energiereservoirs. We kunnen deze accu's rangschikken in lood-accu's en nikkelcadmium-

accu's. Het volgende deel gaat over loodaccu's welke we als volgt onderverdelen:

- stationaire accu's
- startaccu's
- semi-tractiebatterijen
- tractiebatterijen

Binnen in de accu zijn platen en accu-vloeistof aanwezig. In de accu vindt er tijdens het laden en het ontladen een chemisch proces plaats. Gaat dit chemische proces zijn natuurlijke gang dan noemen we dit ontladen. We kunnen dit proces omdraaien door er van buiten af een hogere spanning op aan te leggen. We noemen dit laden. Bij een nieuwe accu gaat dit heel gemakkelijk, maar naar mate de accu ouder wordt gaat het laden steeds minder. Een aantal gevolgen van het natuurlijke proces zijn niet omkeerbaar, we noemen dit slijtage of veroudering. Belangrijke zaken die met bovenstaande te maken hebben, worden hieronder verder uitgewerkt.

Een loodzwavelzuur-accu heeft als positieve plaat loodoxyde (  $PbO_2$  ), als negatieve plaat lood (  $Pb$  ), als electroliet verdund zwavelzuur (  $H_2SO_4$  ) met een soortelijk gewicht van omstreeks 1,28 en een gemiddelde celspanning van 2 Volt.

Overzicht DIN-aanduidingen:

- GiV = Onderhoudsvrije gesloten accu met roosterplaten en in gel vastgelegd electroliet.
- Gro = Gesloten accu met positieve groot-oppervlakplaten.
- GroQ = Dezelfde accu, maar dan met de platen dwarsliggend.
- GroE = Stationaire accu met positieve groot-oppervlak platen, met kleine onderlinge plaatafstanden.  
Groot-oppervlakplaten worden ook wel Plantéplaten genoemd naar het productie procédé.
- GiS = Accu met positieve roosterplaten en meervoudige separator.
- PzS = Accu met positieve buisjesplaten voor voertuigen.
- OPzS = Stationaire accu met posi-

tieve buisjesplaten in kunststof bakken.

OGi = Stationaire accu met positieve roosterplaten.

In de DIN-aanduiding komen altijd getallen voor. Deze hebben de volgende betekenis: Het getal na de letters geeft het aantal Ah van de accu aan. Het getal voor de letters het aantal platen per cel en het getal voor de V de klemspanning van de accu. Een accu 12V4GroE60 is zodoende een 12 Volt Planté-accu van 60 Ah met 4 platen per cel.

In principe start de veroudering van loodzwavelzuuraccu's meteen bij het voor de eerste maal vullen met zuur.

De loodzwavelzuuraccu kan slecht tegen overladen en tegen ongeladen blijven. Het overladen doet de actieve massa door swelling uit de platen vallen (dit vormt de sludge onderin de cel), onderlading doet het verschijnsel "sulfateren" ontstaan.

Dat een loodzwavelzuuraccu is gesulfateerd is te zien aan: snel gassen tijdens het laden, hoge laadspanning, lage ontladspanning en weinig capaciteit. Heel lichte sulfatering is te verhelpen door langdurig overladen met een kwart van de 8-urige laadstroom. Denk hierbij aan het regelmatig bijvullen van het verloren gegane water. Een geheel gesulfateerde cel geeft direct na het inschakelen van de laadstroom 3 Volt. Een goede lader waarschuwt hiervoor. Bij sulfateren wordt er een harde grauwwitte laag gekristalliseerd loodsulfaat op de positieve en negatieve platen gevormd. Het gekristalliseerd loodsulfaat bezit geen geleidingsvermogen, zodat bij sterk sulfateren er geen stroomdoorgang kan zijn. Dit is de reden dat zwaar gesulfateerde platen niet meer zijn te redden door middel van een laadprocédé. De stroom die de actieve massa weer zou moeten omzetten in sponslood en loodsuperoxyde kan niet de gewenste plaatsen bereiken. Gedeeltelijk gesulfateerde platen zijn nog wel deels te restaureren. Daartoe moet eerst het zuur uit de cel worden gegoeten. Dan vult men de cel met zwavelzuur van een laag gehalte. Vervolgens gedu-

rende 5 dagen de cel laden met een laadstroom die een derde deel is van de normale laadstroom totdat de positieve platen weer hun normale donkerbruine kleur en de negatieve platen hun normale blauwachtig grijze kleur hebben gekregen. Uiteraard treedt binnen deze periode van 5 dagen het sterke gassen op, als alles goed is aan beide soorten platen tegelijk. De klemspanning zal dan ook weer de normale waarde van 2,65 Volt/cel hebben. Breng nu het zuur op de normale sterkte en neem een ontladproef om de capaciteit vast te stellen.

Als het bovenstaande niet helpt, valt er nog een paardemiddel toe te passen. Giet daartoe het zuur uit de cellen, vul deze met gedestilleerd water en laat ze 24 uur staan. Daarna legen en vullen met een 5%-oplossing van natronloog (s.g. 1,06). Hierna gedurende 6 uur laden met de normale stroomsterkte. Houd met een blauw lakmoespapiertje in de gaten wanneer het natronloog zuur wordt, dus het papiertje rood wordt. Leeggieten en opnieuw verse 5%-natronloog er indoen. Na weer 6 uur laden de cel legen en goed omspoelen met gedestilleerd water. Dan verdund zwavelzuur met een s.g. van 1,22 tot 1,23 er in en doorladen tot 2,65 V/cel. Breng dan het s.g. van het zuur op het goede peil, laad nog een half uur door om dit goed te mengen en doe een capaciteitstest.

Een loodzwavelzuuraccu is gevoelig voor rimpelstroom; vooral accu's met Plantéplaten (loden platen met door een oxydatieproces gevormd actief oppervlak) kunnen hier slecht tegen. Wisselstroomdynamo's en acculaders hebben een rimpelstroom!

Het ontladproces is: zwavelzuur opnemen door de platen om zacht loodsulfaat te krijgen. Dit proces heeft bij zware belastingen tot gevolg dat er een grotere dan verwachte spanningsdaling optreedt na enige tijd stroomonttrekken. Dit komt omdat de zwavelzuurtoevoer naar het binnenste van vooral de dikke platen van zware accu's niet snel genoeg verloopt. Dit zwavelzuurtoevoeren gebeurt door een diffusieproces.

Alle ontwikkeling van gassen tijdens het laden is stroomverspillen.

Het rendement van ladingaanname is 1,1 tot 1,2. (110 tot 120 %).

Als het laadproces wordt gestopt voordat het gassen begint of vrijwel meteen zodra het gassen begint, zal alle actieve massa van de platen niet volledig zijn geladen. Er bestaan door verschillen in zuurdiffusie in de actieve massa van elke plaat en tussen de platen onderling altijd verschillen in lading-aanname.

Het gassen begint bij de delen die wel al zijn volgeladen, maar andere delen kunnen daar nog niet aan toe zijn. De overblijvende hoeveelheden loodsulfaat kunnen rekristalliseren tot hardloodsulfaat en zijn dan na een tijdje slecht door lading om te zetten, wat een capaciteitsvermindering van de accu geeft die misschien na een langdurige behandeling met wisselende laadstromen valt te corrigeren. Een tweede nadeel van het slechts tot de gasgrens laden is dat door deze onderlinge ongelijkheid in lading aanname van de cellen vaak een vereveningslading nodig is. Dit vereveningsladen moet tot 2,65 V/cel. Vereveningsladen geeft door het zwellen van de actieve massa van de platen op zich weer een levensduurverkortening. Het boven beschreven effect treedt het sterkste op bij zware laadstromen. De platen van de accu zijn zodra het gassen begint niet tot in de kern doorgeladen. Dit heet het "schild-effect". De achtergrond hiervan is dat de diffusie van het zwavelzuur, maar nu de platen uit, niet snel genoeg verloopt. Dit is het omgekeerde effect als wat bij zware ontladstromen ontstaat, waarbij het zwavelzuur de platen in moet diffunderen.

Laden tot 2,25 V/cel geeft 88 % lading, 2,40 V/cel geeft 97 %.

Volgens Chloride is de beste laadspanning per cel 2,27 Volt. Bij lagere spanningen wordt volgens hen de snelheid van ladingaanname sterk beïnvloed. Volgens VDE 0510 12.2.4 moet de laadspanning 2,23 Volt per cel zijn, wat hiervan afwijkt.

Als vuistregel kan een loodzwavelzuuraccu onder de gasgrens met dezelfde stroom geladen worden als zijn capaci-

teit groot is, dus een 40 Ah-accu met 40 A. Dit gaat niet op voor de Plantécellen. Bij deze mag de laadstroom nooit boven 20 tot 22% van de capaciteit in Ah komen. Bij deze laadstromen is de lading niet optimaal daar bij hoge laadstromen eerder de gasgrens wordt bereikt. Voorbeeld:

I = 50 % van de capaciteit dan 50 % lading bij 2,4 V celspanning.

I = 30 % van de capaciteit dan 70 % lading bij 2,4 V celspanning.

I = 10 % van de capaciteit dan 95 % lading bij 2,4 V celspanning.

Bron: Varta

Een laadspanning die alleen is bedoeld voor het compenseren van de zelfontlading, moet liggen tussen 2,20 en 2,25 Volt per cel. Een laadspanning die bedoeld is om de cel volgeladen te houden, moet liggen tussen 2,25 en 2,35 Volt per cel, afhankelijk van de constructie van de accu. Bij deze laatste spanning worden de meeste accutypen echter al ver overladen.

Buisjesplaataccu's zijn zeer goed bestand tegen een cycleerbedrijf als b.v. voor tractiedoeleinden. Het onderbrengen van de actieve massa van de positieve plaat in geperforeerde kunststof buisjes verhindert het uitvallen van de actieve massa uit de positieve platen tijdens het laden en ontladen, het verouderingsverschijnsel waaraan alle loodzwavelzuuraccu's behalve de Plantécellen aan ten ondergaan. Door de ingewikkelde constructie zijn buisjesplaataccu's wel zeer duur. Het Duitse woord voor buisjesplaat is Panzerplatte. De buisjes zelf bestaan uit voorheen hardgummi, tegenwoordig kunststof, met fijne spleten, waarin de actieve massa is opgenomen. Een rooster houdt de buisjes op hun plaats. Aan dat rooster zijn ook loden staafjes gegoten, die centrish in de buisjes worden gestoken om de stroom toe- en af te voeren. Bij de modernste buisjesplaataccu's zijn de buisjes gemaakt van geperforeerde kunststof met een binnenliggende slang van geweven glaswol. Het zuur kan vrijelijk in en uittreden, de actieve massa kan er niet uitvallen. Buisjesplaataccu's hebben wel de hoogste inwendige weerstand van alle accutypen.

De s.g.-meting van het zuur is geen goede maatstaf voor de ladingsgraad. De meting kan door diverse oorzaken, o.a. temperatuur van het zuur, stratificatie, zuur verbruikt door sulfateren enz. tot 50% mis zijn.

De betrouwbaarheid van een accu neemt recht evenredig af met het aantal cellen.

Boven 45 graden wordt de levensduur van de negatieve plaat beperkt. Dit geeft grijze sludge onderin de cel. Normaal is de sludge bruinzwart en komt van de positieve plaat.

Afgezien van mechanische oorzaken zijn de oorzaken van het kapotgaan van de accu:

1. Sludging van de positieve plaat,
2. Kapotgaan van het positieve rooster,
3. Defecten in de negatieve massa,
4. Separatordefecten,
5. Combinaties van deze oorzaken.
6. Sluiting tussen de platen door de opgehoopte sludge onderin de cel.
7. Sulfateren van de platen door te lange tijd op te lage klemspanning te staan of door stratificatie van het zuur.
8. Inwendig kortsluiting door het kromtrekken van de platen.
9. Inwendig kortsluiting door lood-splinters in de separatoren of loden uitsteeksels aan de platen door fabricagefouten.

Sludging van de positieve plaat gebeurt in laad/ontlaad-toe-passingen vooral tegen het einde van de laadtijd en aan het begin van de ontlading. Sterk gasen tijdens overladen is bevorderend voor sludgevorming door het uit de plaat drukken van actief materiaal. Een grote sludgeruimte onder de platen in de cel werkt levensduurverlengend.

De negatieve plaat kan gesulfateerd zijn of het sponslood omgezet hebben in onomkeerbaar hardlood door sinteren. Hardloodsulfaat ontstaat uit het gewone herlaadbare loodsulfaat door veroudering, een rekristallisatieproces. De oorzaken:

1. Te lang ontladen gestaan,
2. Te hoge zuurconcentratie,
3. Herhaald onderladen,
4. Verhoogde zelfontlading,
5. Werken bij temperaturen boven 45 graden,
6. Normale gang van zaken tijdens normaal bedrijf.
7. Stratificatie van het zuur.

Bij een stationaire accu die lange tijd niet wordt belast en met een druppelstroompje op de bufferspanning wordt gehouden, treedt het verschijnsel op dat het zwavelzuur door het soortelijk gewichtsverschil met het water naar onderin de cel zakt, waardoor de zuurconcentratie hier hoger wordt. Dit effect treedt het sterkst op bij hoge accu's. Door de te hoge zuurconcentratie gaan de platen aan de onderkanten sulfateren. Het verschijnsel wordt "stratificatie" van het zuur genoemd en is te bestrijden door af en toe de accu te gebruiken of het accuzuur bij wijze van spreken om te roeren door de accu even te laten gassen met een iets hogere laadspanning.

Een gesulfateerde Plantécel is door voorzichtig laden en ontladen weer op zijn normale capaciteit te brengen. Wat men dan doet is eigenlijk het toepassen van hetzelfde procédé als waarmee de fabriek de actieve laag op de platen vormt. Dit heet het "formeren" van de accu. Vanwege de lange duur van dit proces zijn de Plantécellen zo duur.

Op den duur gaat de mate van zelfontlading van de cellen van een accu onderling verschillen. Om ook de slechtste cel nog geladen te houden, moet soms de druppellaadstroom met een factor 10 worden verhoogd. Het uitwisselen van de defecte cellen heeft weinig zin, want de nieuw geplaatste cellen worden dan op hun beurt continu overladen.

Bij accu's waarbij het zuur in een gel is opgenomen om als zogenaamd onderhoudsvrije accu te kunnen doorgaan, kunnen er zulke grote onderlinge verschillen in klemspanning onder lading bestaan dat deze niet in serie zijn te zetten. Als de ene accu net voldoende wordt geladen, wordt de ander al overladen. Bedenk dat een verschil van 0,05

V/cel al een enorm verschil maakt in het accugedrag.

Om fabricagetechnische redenen wordt er meestentijds antimoon aan het lood van de plaatrasters toegevoegd. Antimoon migreert echter uit het lood van de positieve plaat en vergiftigt de negatieve plaat. Hierdoor daalt de waterstofspanning aan de negatieve plaat, soms wel met 200 mV, waardoor eerder gassen en daardoor hoger waterverbruik en grotere zelfontlading plus een variërende laadspanning ontstaat. Bij het gassen aan het einde van de lading kan uit het antimoon het zeer giftige gas stibine (SbH<sub>3</sub>) ontstaan. De soort van legering van de negatieve plaat heeft geen invloed. Toch geeft VARTA op dat zonder antimoon in de positieve platen er 200 laad/ontlaadcyclussen mogelijk zijn en met antimoon veel meer, tot 1400 maal bij een antimoongehalte van 6%.

De normale zelfontlading kan tot 30% per maand oplopen.

Bedervende stoffen voor een loodzwavelzuuraccu zijn:

1. Chloor (b.v. uit leidingwater) in zeer kleine hoeveelheden,
2. Nitraten (b.v. ammoniak en salpeterzuur uit leidingwater),
3. Stikstofoxyden,
4. Azijnzuur,
5. IJzer (uit leidingwater),
6. Antimoon (uit het eigen lood),
7. Platina,
8. Koper (mogelijk uit leidingwater).

Bij accu's met PVC-separatoren is de vergiftiging door chloor uit de eigen separator gecompenseerd door de antimoon toevoeging, die echter zelf ook weer vergiftigt.

Het bijvulwater voor de accu mag niet meer bevatten dan 100 ppm aan anorganische zouten, en niet meer dan 10 ppm aan chloor, metalen, nitraten en organische materialen als azijnzuur e.d. In VDE 0510 4 staan de eisen waaraan het water en het zwavelzuur moeten voldoen.

Metalen in het electroliet hechten zich aan de negatieve plaat en verminderen

daardoor de capaciteit. Koper kleurt de negatieve plaat rood.

Een loodzwavelzuur-cel keert na het ontladen tot een dicht bij 0 Volt liggende klemspanning altijd weer terug naar de rustspanning van 1,85 Volt of iets lager. Daarom is aan de open klemspanning meten hoe leeg de accu is een volkomen onbruikbare methode.

Direct na het inschakelen van de ontladstroom is er een kortstondige spanningsdaling, tot max. 30 mV. Deze "spanningszak" is vooral bij zware ontladstromen waar te nemen. Direct bij het laden is er een snelle stijging van de spanning naar 2,05 tot 2,15 V. Beide verschijnselen hangen samen met de hoeveelheid zwavelzuur in het binnenste van de platen. Bij ontladen moet de hoeveelheid zwavelzuur worden aangevuld. Dit gebeurt door diffusie. Bij het laden wordt er zwavelzuur in de plaat gevormd, wat er door diffusie uit moet. Meer zuur = hogere spanning. Bij het constante-spanningsladen moet terdege rekening worden gehouden met dit verschijnsel.

Hoe hoger de zuurgraad van het electroliet is, des te lager is de inwendige weerstand van de cel of accu.

Bij het vullen met zuur van een drooggeladen accu, moet dit zuur zonder onderbreking in elke cel worden geschonken, anders treedt er sulfateren op. Drooggeladen accu's kunnen bij het electrolietvullen zeer heet worden. Neem dan gekoeld zuur om te vullen. Na het vullen de accu 2 uur laten staan om het zuur in de platen te laten trekken en dan naladen. Accu's met drooggeladen platen kunnen onbepaald worden bewaard.

Er zijn 2 soorten zuur: met een s.g. van 1,22 voor stationaire accu's (geeft het hoogste geleidingsvermogen, maar minder capaciteit). Voor transportabele accu's wordt 1.25 tot 1.28 toegepast (geeft de grootste capaciteit, maar doet sneller sulfateren).

Voor de levensduur van de loodzwavelzuuraccu is de zwavelzuurcorrosie van de loden rasters een groot probleem. Deze corrosie wordt bestreden met toe-

voegingen aan het lood zoals calcium, arseen en antimoon. Het nadeel van deze toevoegingen is weer dat deze op hun beurt de negatieve platen vergiftigen. Deze tegenstelling is nog groter bij onderhoudsvrije accu's. Om het gassen hiervan zo gering mogelijk te doen zijn om bij doorladen een zo'n laag mogelijke gasdruk te hebben, is er antimoon toegevoegd aan de negatieve plaat, maar dat verkort weer de levensduur. Dit is een van de redenen waarom onderhoudsvrije accu's de kortste levensduur van alle accu's hebben. In DIN 43534 wordt waarschijnlijk daarom bij de gebruiksdoelen niet genoemd het toepassen van deze soort accu's in bewakings- en besturingsinstallaties.

Ook bij de betere "starved electrolyte" onderhoudsvrije accu's is de hoogte van de laadspanning belangrijk. Het ontstaan van zuurstof begint bij een lagere laadspanning dan het ontstaan van waterstof. Het is zaak om o.a. door temperatuurcompensatie van de laadspanning, niet in het waterstofgebied te komen. Waterstof recombineert namelijk niet, waardoor er druk in de accu ontstaat. Zelfs als het veiligheidsventiel niet opent, verdwijnt de waterstof wel door diffusie uit de accu. Waterstofverlies geeft waterverlies, dus uitdrogen van de accu, waar toch al weinig electrolyte in zit. Een starved-electrolyte accu heeft geen vloeibaar electrolyte in de cellen en de separatoren zijn half droog. Bij toenemende accutemperatuur moet de laadspanning dalen, van 2,55 V/cel bij min 30 graden Celsius tot 2,1 V/cel bij plus 50 graden.

Grote accu's moeten worden geladen met een afnemende stroom bij toenemende lading, b.v. een 160 Ah-accu met:

40 A het eerste uur,  
30 A het tweede uur,  
25 A het derde t/m het vijfde uur,  
10 A het zesde uur,  
5 A het zevende uur.

Accu's die totaal leeg zijn geraakt moeten echter in het begin met een zeer klein stroompje tot leven worden gewekt.

Te hoge rimpelstroom op de laadstroom verhoogt de corrosie van de positieve plaat. Hoge rimpelstromen kunnen over een accu komen te staan aan het einde van de laadperiode, als door de lage laadstroom de lader niet meer wordt belast.

De vloeren, wanden en plafonds van betonnen ruimten moeten worden gecoat, want de vorstbeschermingsmiddelen en uithardingsversnellers in het beton bevatten ammoniumzouten, die ammoniakgas afgeven, wat ammoniumsulfaat in de accu's doet ontstaan. In DIN 57510 staan alle eisen waaraan accuruumten voor loodzwavelzuuraccu's moeten voldoen.

Rondom loodzwavelzuuraccu's, indien niet van het volledig gesloten type, hangen altijd zwavelzuur-aerosolen. Er zijn accufabrikaten met speciale doppen op de cellen, zoals AQUAGEN van Hoppecke, die enerzijds de ontstane waterstof en zuurstof recombineren en als water in de cel terugvoeren en anderzijds het ontstaan van zuurlevel verminderen, wat de ventilatiebehoefte met 75% doet afnemen. Wel is het zo dat de platinaspons in deze doppen bij sterk gassen van de accu gevaarlijk heet kan worden.

Het plotseling uitvallen, het "sterven" van een loodzwavelzuuraccu is berucht. Dit wordt veroorzaakt door cumulatieve zwavelzuurcorrosie. De gang van zaken is ongeveer als volgt:

In 1 cel stort een gecorrodeerd positief raster in elkaar.

De delen hiervan vallen onderin de cel. Geleidende delen veroorzaken kortsluiting tussen de platen, zodat deze cel al stuk is. De lader ziet een klemspanningsdaling en denkt dat hij volop moet gaan laden. De andere cellen, die ook al niet best meer zijn, kunnen deze heftige overlading niet meer hebben en sneuvelen ook.

Starter-accu's, altijd accu's met pas-taplaten (gesmeerde platen, ook roosterplaten genoemd) mogen volgens VDE 0108 niet voor stationair gebruik worden toegepast.

Recombinatie-accu's behoren eigenlijk een laadspanning te hebben die gecorri-



geerd is voor de temperatuur van de accu. Waar de gasgrens van een accu ligt is onder andere afhankelijk van zijn temperatuur. Een honderdste Volt heeft in deze regionen al een behoorlijke invloed op de druk in de gesloten accu. Ook de meest ideaal gasdichte recombinitie-accu verliest waterstofgas door diffusie, wat bij hogere drukken steeds meer wordt. De accu droogt hierdoor op den duur uit.

Men kan zeggen dat geen enkele loodzwezelzuuraccu zonder ernstige levensduurverkortening binnen 6 uur van leeg naar volgeladen kan worden gebracht. Dit maakt de loodzwezelzuuraccu ongeschikt voor noodstroomvoorzieningen die binnen een kortere tijd dan 6 uur weer bedrijfs gereed moeten zijn na volledig ontladen te zijn geweest.

#### HET LADEN VAN ACCU'S

Belangrijke aandachtspunten bij het laden van accu's:

1. Een accu mag alleen met gelijkstroom geladen worden. De pluspool van de accu moet op de plusaansluiting van het laadapparaat aangesloten zijn, en omgekeerd.
2. Tijdens het laden zal de celspanning stijgen. De spanningsstijging is afhankelijk van de toegepaste laadstroom en temperatuur. Overschrijdt men de 2,35 Volt per cel, of te wel 14,2 Volt bij een 12 Volts accu, dan zal er een gasmengsel ontstaan. Dit gasmengsel is zeer explosief.
3. Als gevolg van de stijgende spanning tijdens het laden zal de laadstroom geleidelijk afnemen. (Geldt niet voor alle laders. Laders met een hoge open klemspanning b.v.)
4. Ladinggebrek is voor loodaccu's schadelijk. Het vermogen van de lader dient aangepast te zijn aan de capaciteit van de accu en de beschikbare laadtijd. Vaak wordt de lader te klein gekozen, waardoor de accu niet volledig geladen wordt binnen de gewenste tijd. Wanneer men regelmatig een gedeeltelijk geladen accu gebruikt, gaan de loodplaten sulfateren. Blijvend capaciteitsverlies is dan het gevolg.
5. Overladen is schadelijk. Laadt men

met een te hoge stroomsterkte dan zal de spanning zeer snel de knalgasspanning overschrijden. Als gevolg hiervan zullen langzaam kleine gedeelten materiaal uit de accuplatten vallen. Ook wordt er te veel water (uit de accuvloeistof) gebruikt. Een te hoge stroomsterkte veroorzaakt veel slijtage. De laadtijd kan door een hoge stroomsterkte niet aanzienlijk en evenredig veel verkort worden.

6. Schakel de acculader uit, voordat de accu aangesloten of afgekoppeld wordt. Vonkvorming is dan uitgesloten.
7. De massakabel altijd als eerste losmaken en als laatste weer vastmaken.

#### OPMERKING:

Gemorst accuzuur is te neutraliseren met natronloog.

Het kan ook met caustic-soda maar het is beter dit eerst met water te laten reageren.

OVERZICHT KLEMSpanNINGEN LOODACCU

2.65	15,9	hoogst bereikbaar
2.40	14.4	bovenspanning snelladen
2.40	14.4	terugschakelen naar < 50% van de laadstroom bij WoWa lading na 5 uur uit
2.40	14.4	terugschakelen naar < 10% van de laadstroom bij Wu lading, niet uit
2.40	14.4	terugschakelen naar < 10% van de laadstroom bij Iu lading, niet uit
2.40	14.4	Calira LG727 (27A) laadautomaat schakelt uit
2.40	14.4	Victron Pallas laders schakelen naar druppellaadspanning
2.40	14.4	spanning moet terug naar 2.23 V
2.40	14.4	97% lading
2.375	14.25	Victron Pallas laders laadspanning boost
2.35	14.1	bijna vol
2.35	14.1	gasgrens
2.35	14.1	bovengrens druppel vol laden
2.35	14.1	trage lader moet afslaan
2.35	14.1	maximale laadspanning Chloride scheepsaccu
2.35	14.1	gasspanning Chloride scheepsaccu lading voortzetten met eindlaadstroom
2.33	13.98	onderspanning snelladen
2.30	13.8	snelle lader moet afslaan
2.30	13.8	onderste laadspanning Chloride scheepsaccu
2.27	13.62	goede laadspanning vlg Chloride
2.25	13.5	88% lading
2.25	13.5	ondergrens druppel vol laden
2.25	13.5	bovengrens druppel onderhouds laden
2.23	13.38	lader moet weer bij komen
2.23	13.38	goede laadspanning vlg VDE 0510
2.208	13.25	Victron Pallas laders laadspanning float
2.20	13.2	ondergrens druppel onderhouds laden
2.116	12.7	100 % geladen SG = 1.280 onbelast (Varta) Ri=laag
2.08	12.5	Calira LG727 (27A) laadautomaat gaat laden
2.08	12.5	Calira accubewakingsschakelaar schakelt verbruikers in
2.06	12.4	75 % ontladen SG = 1.225 onbelast (Varta) Ri=hoog
2.03	12.2	50 % ontladen SG = 1.120 onbelast (Varta) Ri=hoog
2.00	12.0	25 % ontladen SG = 1.155 onbelast (Varta) Ri=hoog
1.98	11.9	ontladen SG = 1.120 onbelast (Varta) Ri=hoog
1.90	11.4	begin sulfateren
1.80	10.8	leeg
1.80	10.8	Calira accubewakingsschakelaar schakelt verbruikers uit
1.60	9.6	accu vervangen bij starten en meten van deze spanning

## NIKKEL-CADMIUM-ACCU'S

### INLEIDING

Bij Nikkel-Cadmium accu's (NC accu) zit er nikkel in de positieve platen en cadmium in de negatieve met een loog als electroliet. Deze accu's zijn beter dan welke loodaccu dan ook en kunnen tegen ernstig misbruik. Een NC accu kan tegen volledige ontlading terwijl deze ook langere tijd ontladen kan zijn zonder hiervan schade te ondervinden. Hij kan zeer snel weer tot zijn oorspronkelijk vermogen geladen worden, in elk geval veel sneller dan een loodaccu. Ook al wordt hij door een startmotor met een grote stroom ontladen, er zal geen capaciteitsverlies ontstaan. De levensduur van de meeste NC accu's is circa 25 jaar. Chloride stelt: voor bufferbedrijf, in laad en ontladbedrijf korter (ca. 15 jaar).

Deze accu's zijn uitermate geschikt voor een diepe ontlading zoals optreedt bij de voeding van verlichting, navigatie instrumenten, verwarming, TV- en audio apparatuur enz.

De clou is alleen ze zijn ontstellend duur! De prijs ligt ongeveer acht keer zo hoog als de beste loodaccu's met het zelfde vermogen.

Bij de zelfde capaciteit zijn NC-accu's veel kleiner en lichter dan vergelijkbare loodaccu's. Een nadeel is het verhoudingsgewijs grotere verschil tussen laad en ontladspanning dan bij de loodaccu.

Nikkel-cadmium accu's zijn op termijn de beste investering.

### HET 2e HANDS KOPEN VAN NC ACCU'S

Er zijn weinig dingen waardoor de bootbezitter, de caravan-eigenaar of de kampeerautobestuurder meer wordt gekweld dan door de accu's die in deze eigendommen in gebruik zijn. De soort accu's die deze zorgen opleveren zijn de loodzwavelzuur-accu's. En werkelijk, wil men een loodzwavelzuur-accu een winterstallingsperiode in topconditie laten overleven, dan moet men welhaast het vasthoudende karakter van een heilige en de zeeën van tijd van een monnik hebben. Er is namelijk geen betere

manier om een loodzwavelzuur-accu te laten overleven dan door regelmatig gebruik. Als hiervan geen sprake meer is, moet er een vervangende vorm van gebruiken toegepast worden, dus eens per zoveel tijd ontladen en laden, en wie komt daar nu aan toe? Zodra echter de spanning van een cel door zelfontlading onder 1,9 volt komt, zet het sulfateren van de platen, zij het weinig, al in. Druppelladen, dus het tegengaan van de lekstroom door een klein laadstroompje, helpt wel, maar dan dreigt het gevaar van stratificatie van het zuur, het ontstaan van soortelijke massa-verschillen in het zuur. Door de dan hogere zuurgraad onderin de cellen treedt sulfatering van de onderzijde van de platen op. Het proces van sulfatering is niet omkeerbaar, eens gesulfateerd is altijd capaciteit verloren.

Vaak wordt de vraag gesteld of deze loodzwavelzuur-accu's niet te vervangen zijn door de geventileerde nikkelcadmium-accu's, waarvan iedereen wel weet dat deze aanzienlijk minder kwetsbaar zijn. Een echte accu-specialist zal op deze vraag een ontkennend antwoord geven. Heel andere accu systemen vragen heel andere laadsystemen, hebben andere maten, kortom vergeet het maar. Laten wij daarentegen de zaak als technneuten maar eens anders bekijken. Dat levert manieren op waar de specialist van griezelt, maar het kan wel een goed resultaat opleveren. Men moet het zo zien dat dit verhaal de achtergrond gegevens oplevert, waarmee een hobbyist zijn loodzwavelzuur-accu door een nikkelcadmium-accu kan vervangen. Een geventileerde accu is een nikkelcadmium-accu die een in de cel ontstane gasdruk al bij een geringe overdruk naar buiten uitblaast.

Dat vervangen zal niet snel gebeuren door naar de winkel te stappen en even zo'n accu te kopen. Een nikkelcadmium-accu van 100 Ah kost nieuw ongeveer f2.500,--, het tienvoudige van een zelfde loodzwavelzuur-accu. Wij moeten het dus doen met de accu's die wij via de dump of de tweede-handshandel in onze handen krijgen. Of men zo'n accu

zonder bezwaar kan kopen hangt van twee factoren af; hoe handig zijn wij om het afwijkende accuformaat toch in te bouwen op de gewenste plek en hebben wij de spullen en de zin om de accu's tot leven te wekken.

De accu's zelf zijn, hoe vies zij er ook uit mogen zien, goed genoeg om voor deze niet-industriële doeleinden gebruikt te worden. Zij komen in allerlei vormen voor, als afgekeurde tractiebatterij, als vliegtuigstart-accu's en als ex-marine-accu's. Vaak zitten zij

in houten kratjes, maar ook in stalen kisten. Een goede raad, betaal niet teveel. Meestal zit de handelaar toch met die dingen in zijn maag, er zit weinig bruikbaar metaal aan en op het kaliloog in de accu hebben zij een kijkje. Een prijs van 50 cent per kg is genoeg, dan verdient de handelaar nog 40 cent op elke kg. Probeer niet een accu te vinden met de juiste klemspanning, de basis voor het succes is juist het samenstellen van een accu uit de goede cellen van een accu met een hogere klemspanning.

De eigenschappen van de loodzwavelzuur-accu en de nikkelcadmium-accu zijn:

Eigenschap	Loodzwavelzuur-accu	Nikkelcadmium-accu
Nominale klemspanning:	2 V (12 V)	1.2 V
Laagst mogelijke klemspanning zonder schade:	1.9 V (11.4 V)	0 V
Hoogste spanning bij doorladen:	2.7 V (16.2 V)	1.65 V
Spanning waarbij de gasontwikkeling start:	2.23 V (13.38 V)	1.47 V
Opslaan van accu's:	Altijd volgeladen	Alle ladingstoestanden en leeg toegestaan
Overladen:	Schadelijk	Geen gevolgen
Lekstroom:	30 % per maand bij nieuwe accu en 5 % per maand na gebruik	10 % per maand
Diepe ontlading:	Geeft sulfateren	Geen schade
Laadspanning te laag afgesteld:	Geeft sulfateren	Geen schade
Inwendige weerstand:	Laag	Lager
Gedrag inwendige weerstand tijdens ontladen:	Neemt toe met het afnemen van de lading	Blijft tot 10 % vrijwel gelijk
Kan bevriezen:	Ja	Neen

Wij spitsen dit verhaal toe op het vervangen van een 12 V loodzwavelzuur-accu door een nikkelcadmium-accu die op dezelfde plaats moet dienst doen, dus waarbij men geen verschil in werking mag waarnemen. Wie met andere spanningen werkt moet met een ander cellental rekenen, b.v. voor 24 V met het dubbele aantal.

Het spanningsgedrag van een nikkelcadmium-accu is een gans andere dan dat van de loodzwavelzuur-accu, zie tabel. Tegen het einde van de lading zit er een hoogst hinderlijke spanningsprong in de karakteristiek en komt de klemspanning op 1,65 V. Een nikkelcadmium-accu onder lading, waar tegelijkertijd gebruikers mee worden gevoed zoals dat

in auto's het geval is, levert bij 100% lading met 10 cellen een klemspanning van 16,5 V, wat veel teveel is. Omgekeerd zakt de klemspanning van een nikkelcadmium-accu vrijwel meteen bij het aanleggen van de belasting naar 1,25 V per cel, bij 10 cellen dus 12,5 V. Wij gaan de laadspanning dus begrenzen en wel op 14,5 V. Dat heeft als extra voordeel dat wij onder de gasgrens blijven. Het waterverbruik van de accu wordt dan alleen veroorzaakt door verdamping en is dan zeer gering.

Elke laadspanningsregelaar die voor een loodzwavelzuur-accu staat afgesteld op 13,8 à 14,2 V, is naar 14,5 V te brengen door aan de stelschroef van de bladveer van het trilcontact te draaien of een overeenkomstige handeling uit te voeren. De moderne transistorregelaars zijn niet instelbaar.

Vaak zijn deze er toe te brengen op een ongeveer 0,6 V hogere spanning af te regelen door een diode in de doorlaatrichting aan te sluiten tussen de regelaaraansluiting van de generator en de plusaansluiting van de spanningsregelaar. Zeiden wij niet dat wij met knutselaars onder elkaar waren? In ieder geval moet voordat besloten wordt op een nikkelcadmium-accu uit te gaan de zekerheid er zijn dat de laadspanning op deze waarde is in te stellen. De diode voert slechts de bekrachtigingsstroom van de generator. Een 3 A-type volstaat. Zie fig. 2 voor het juiste aansluiten.

Wat hebben wij nu verkregen zodra wij de nikkelcadmium-accu laten laden door de generator?

#### a. Laden

1. De accu wordt geladen tot 14,5 V. Deze spanning kan worden weerstaan door alle gebruikers die gemaakt zijn om op een loodzwavelzuur-accu van 12 V aangesloten te worden.
2. De accu wordt niet volgeladen. Hij bereikt ongeveer 88% van een volle lading. Dit is niet erg omdat:
  - 1e. het de accu niets uitmaakt;
  - 2e. wij onder de gasgrens blijven;
  - 3e. de vervangende nikkelcadmium-accu meestal een grotere capaciteit heeft dan de vorige accu.

De laadsnelheid van de accu wordt door dit niet vol laden wel lager. Van 0% af zit er bij een laadspanning per cel van 1,55 V na 5 uur 85% in de accu, bij 1,45 V 80%. De laadstroom hierbij is 0,2 C, dus bij 100 Ah 20 A. Ook schijnt het zo te zijn dat bij lagere laadspanningen dan 1,47 V uit het metaal van de houders van de actieve massa metaaldeeltjes loskomen die het loog verontreinigen. Dit effect wordt sterker naarmate de laadspanning lager ligt. Bij de allernieuwste accu's is hier tegen een coating aangebracht op het metaal van de houders. In deze toepassing hoeft men zich over dit effect geen zorgen te maken.

3. Het rendement van een nikkelcadmium-accu als deze bijna leeg is, is lager dan dat van de loodzwavelzuur-accu. Voor elke aan de accu onttrokken stroomhoeveelheid bij een accu die voor meer dan 40% leeg is, moet er 140% weer in de accu teruggebracht worden. Geen mens die overigens iets van dit nadeel merkt bij normaal bedrijf.

#### b. Ontladen tijdens bedrijf, de generator blijft het verbruikte aanvullen

Alle gebruikers werken op 14,5 V, wat toegelaten kan worden.

#### c. Ontladen zonder bijladen

1. Zodra het laden stopt, zakt de klemspanning van de accu vrij snel naar 12,5 V, een waarde die dicht ligt bij de spanning van de voorheen gebruikte loodzwavelzuur-accu. Tijdens het gebruik zakt de spanning heel langzaam totdat bij 10% ladingsgraad 11,8 V wordt bereikt. Dan zakt de spanning snel. De accu kan het niet schelen, maar wil men de motor nog starten dan moet men ophouden met stroom te gebruiken. Het effect dat men bij een loodzwavelzuur-accu ziet dat de stroomlevering afneemt tegen het einde van de ontleding en de startmotor merkbaar moeizamer rondraait, ontbreekt bij een nikkelcadmium-accu volledig. Bij deze blijft de inwendige weerstand gelijk van waarde over vrijwel het gehele ontlaadtraject.

#### d. Starten van de motor

1. Een nikkelcadmium-accu kan veel grotere stroomstoten leveren dan een loodzwavelzuur-accu, zeker als hij bijna leeg of koud is. Een 200 Ah loodzwavelzuur-accu kan b.v. gedurende 1 seconde 100 A leveren, een 80 Ah nikkelcadmium-accu 1080 A, een hoog-vermogen type zelfs 1170 A.
2. Over de spanningsdaling tijdens het starten valt weinig te zeggen. In wezen moet deze bij de nikkelcadmium-accu geringer zijn. In de praktijk blijken de spanningsvallen over de kabels, de aansluitingen enz. meer invloed te hebben dan het verschil in inwendige weerstand tussen beide soorten accu's. Absoluut zeker is dat als de twee accu's in gedeeltelijk ontladen staat verkeren, de nikkelcadmium-accu grotere stroomstoten levert.

Wat de levensduur van de geventileerde nikkelcadmium-accu aangaat, zelfs voor een gereconditioneerde accu geldt de spreuk van de oude accukenner: "Het baasje is eerder dood dan zijn accu!" Helaas vormen de accu's met gesinterde platen hierop een uitzondering, maar nog zijn deze vele malen beter dan een loodzwavelzuur-accu.

Dan komt het uitzoeken van een accu. Dat vergt een kleine beoordeling van het aanbod. Gegevens staan maar zelden vermeld op de soort accu's waar wij op uit zijn, dus moeten wij gokken. Het aantal cellen is te tellen, dat geeft maal 1,2 V de klemspanning. Dan de capaciteit. Alle rechthoekige cellen hoger dan 250 mm en met een doorsnede van 100 x 60 mm hebben voor ons doel zeker voldoende capaciteit. Dan het soort accu. Grofweg zijn er 3 soorten, accu's voor kortstondige hoge belastingen, accu's voor duurbelastingen en accu's met sinterplaten die eigenlijk ook voor startdoeleinden zijn gemaakt. Deze laatste vertonen over het algemeen meer defecten. De grootste kans om een sinterplaat-accu aan te treffen heeft men bij Amerikaanse, meestal luchtvaart-accu's, en leger-accu's met grote cijfers en Engelse teksten erop. Accu's speciaal voor kortstondige stroomstoten in niet-sinterplaat-uitvoering zijn

niet of zeer zelden in de dump te vinden, maar de soort voor de duurbelasting is ook geschikt voor ons doel, ook als start-accu. Bij de grotere tractiebatterijen is er kans dat het nikkelijzer-accu's betreft. Deze hebben een even goede levensduur als nikkelcadmium-accu's, alleen ligt de klemspanning iets hoger (1,37 V t.o.v. 1,29 V, volgeladen open klemspanning), zij zijn minder geschikt als startaccu en hebben een hogere lekstroom en meer inwendige weerstand. Gezien ook de gevoeligheid voor de hoeveelheid laadstroom moet men van nikkelijzer-accu's maar afzien.

Hebben wij een geschikte accu op de kop getikt, dan is het zaak hieruit 10 goede cellen bijeen te zoeken. We beginnen met de bovenkant schoon te vegen en te borstelen. Gebruik geen overvloed aan water dat via de ontluuchtingsgaatjes in de doppen de cellen in kan lopen. Een accu waarbij dat mogelijk is, is overigens wel erg oud. In modernere zitten overdrukventieltjes in de doppen. Denk om het wegsprengen van eventueel uit de cellen gestroomde kaliloog. Men kent de gevaren die aan deze agressieve stof zijn verbonden. Dan maken wij alle verbindingen tussen de cellen los. Probeer niet, en vooral niet bij cellen met een stalen huis, de cellen gezamenlijk uit de bak te trekken. Er kunnen werkelijk gevaarlijk grote kortsluitstromen gaan lopen als de cellen onderling contact maken.

Giet de cellen vervolgens een voor een leeg. Het electroliet, de kaliloog, kan gecarboniseerd zijn. Er is dan kaliumcarbonaat ontstaan door de koolzuur uit de in de cellen binnen tredende buitenlucht. Een carbonisatiegraad tot 25% is nog niet hinderlijk, maar daarboven krijgt de cel toch meer inwendige weerstand. Goed leeg laten lopen en weer vullen met vers electroliet. Dit is een kaliloogoplossing met een soortelijke massa van 1,18 tot 1,23. De juiste samenstelling verkrijgt men als men bij elke liter gedestilleerd water 200 gram kaliloogkristallen voegt, en wel beetje bij beetje, anders wordt de oplossing te heet. Giet nooit water op kaliloogkristallen, dat is vragen om ongelukken. Draag een veiligheidsbril! Laat nooit iemand anders de oplossing leve-

ren, het is altijd prompt verkeerd van soort of samenstelling. Het toevoegen van lithiumhydroxyde moet achterwege gelaten worden. Dat blijft bij electrolietwisseling voor ongeveer 75% in de platen zitten. Meer toevoegen verslechtert de prestaties van de accu. Vul de cellen tot het merk of tot net boven de platen.

Dan komt het laden, maar zomaar aansluiten is er niet bij. De beste laadstroom ligt tussen 0,2 en 0,4 C, dus bij een 40 Ah-accu tussen 8 en 16 A, bij een 100 Ah-accu tussen 20 en 40 A. Dat zal niet iedereen ter beschikking hebben, maar met een geringere stroom of met een auto-accu met in serie geschakeld een duplo-lamp kunnen wij ons aardig redden. Van de duplolamp zetten we de gloeidraden parallel. Plus aan plus en min aan min. Wij plaatsen de cellen nu in de kist of houder. Cel voor cel geven wij eerste behandeling. Eerst meten wij de open klemspanning. Is deze niet beneden 1,18 V, dan ontladen wij de cel tot dit wel het geval is. Dan leggen wij de laadstroom aan. Na onze electrolietverwisseling is het haast niet mogelijk, maar als de cel meteen door de laadstroom een klemspanning van boven 1,50 V krijgt, staat hij droog. Meet na 10 minuten laden de celspanning onder laadstroom. Elke cel met een spanning onder 1,20 V of boven 1,55 is defect. Verbind daarna de cellen met elkaar en laad de gehele accu door. Bereken aan de hand van de laadstroom wanneer er 140% lading is gegeven, b.v. bij een 100 Ah-accu, geladen met 10 A na 14 uur.

Meet na deze 14 uur onder laadstroom nauwkeurig alle celspanningen en schrijf deze op. Zij zullen ongeveer 1,65 V zijn. Ga door met laden tot er weer 4 uur zijn verstreken. Meet weer elke celspanning. Als een celspanning meer dan 0,04 V lager is dan bij de vorige meting, vervang dan deze cel, evenals elke cel die lager is dan 1,50 V. Men kan ook de temperatuur van elke cel controleren. Een cel die warmer wordt dan de anderen heeft een defect gasbarrière-membraan, een reden tot vervanging. De achtergrond achter de spanningsmeting na 4 uur doorladen is dat van warme cellen de klemspanning daalt.

Heeft men na cellen ruilen een goede accu verkregen, ontlad hem dan geheel via een forse stroomgebruiker om de capaciteit te controleren. De beste ontladtijd is 5 uur, dus 20 A bij een 100 Ah-accu. Let op celspanningen, vooral tegen het einde van de ontladtijd. Zodra een cel wordt omgepoold omdat hij leeg is, sluit hem kort en zet het ontladen voort. Noteer de tijdsverschillen die verlopen tussen het successievelijk ompolen van de cellen. Afwijkingen van meer dan 10% ontladtijd zijn een reden tot vervanging van de cel(len) die het eerst leeg is (zijn).

Is alles bevredigend verlopen, dan hebben wij een accu verkregen die hoogstens 1x per jaar een beetje gedestilleerd water vraagt en verder ongestoord zijn werk verricht. Wees niet bang hem af en toe goed leeg te trekken; men is zo gewend hier voorzichtig meer te zijn, maar dat is bij deze soort accu's geheel onnodig. Het is wel goed, al zal het lang duren voordat men iets van een levensduurverkorting merkt, om de laadstroom te begrenzen tot 0,4 C, dus 40 A bij een 100 Ah-accu.

Konden wij bij een sinterplaat-accu door teveel defecte cellen niet aan 10 goede cellen komen, dan zoeken wij er een uit die totaal geen klemspanning wil aannemen. Deze heeft dan door dendrietenvorming een inwendige sluiting. Wij kunnen proberen deze sluiting er uit te branden door een enorme stroomstoot door de defecte cel te jagen. Deze stroomstoot laten wij leveren door de goede cellen die wij als lader gebruiken, dus plus aan plus en min aan min. Denk om de handen, 1000 A loopt er zo! Zelfs een dikke steeksleutel wordt roodgloeiend! Als de klemspanning van de cel teruggekeerd is, is de behandeling geslaagd.

Ja, dit is dan het einde van een eigenaardig verhaal dat u niet snel elders zult aantreffen. De reden daarvan is dat men met bezig zijn op deze manier grote brokken kan maken, brandwonden door onderdelen verhit door hoge stromen en letsel door het kaliloog kan oplopen. Dit verhaal is alleen bestemd voor het beperkte publiek dat wij via

het M3 blad bereiken, de technici die in hun werk in voorkomende gevallen wel met grotere risico's rekening moeten houden. Denk bij het werken aan accu's wel aan het milieu. Probeer de defecte cellen op een verantwoorde manier weg te werken. De firma NIFE in Haarlem neemt gratis oude accu's aan, welke dan in een recycling-fabriek in waardevolle grondstoffen omgezet worden. Het oude kaliloog kan het beste op een stapel oude kranten in een vuilniszak gegoten worden. Zorg ervoor dat alle kaliloog door het papier wordt opgezogen. Of zet het in bussen. Zorg dat het afgevoerd wordt via het chemisch afval. Denk vooral aan de veiligheid van anderen!

#### OPMERKINGEN en AANVULLINGEN.

Een nikkelcadmium-accu heeft als positieve plaat een nikkelloog ( NiOOH ), als negatieve plaat cadmium ( Cd ), als electrolyet kaliloog ( KOH ) met een soortelijk gewicht van ongeveer 1,22, en een celspanning van 1,2 Volt.

Een voordeel van de lage klemspanning van de nikkelcadmiumcel is dat als er al eens een cel uitvalt de totale klemspanning van de batterij weinig zakt. Bij gebruik van een nikkelcadmiumaccu in een voertuig op de plaats van een loodzwavelzuuraccu hoeft bij het nemen van 1,5 maal het aantal loodzwavelzuurcellen voor het aantal nikkelcadmiumcellen geen enkele spanningsregelaar bijgesteld te worden.

#### Constructie

Bij nikkelcadmium-accu's bestaan vrijwel uitsluitend twee soorten platen. De meest gebruikte is de pocketplaat, waarbij de actieve massa is opgesloten tussen geperforeerde vernikkelde plaatdelen. De tweede plaatvorm is de gesinterde plaat. Hierbij is de actieve massa in een raamvormige plaat gebakken. Dit heeft voordelen in de vorm van een kleinere bouwwijze en grotere stroomlevering, maar is ook kwetsbaarder.

Overzicht van de DIN en IEC-normen voor nikkelcadmium-accu's:

DIN	IEC	Gebruiksdoel
NC	KPL	Met positieve pocketplaten voor treinverlichting e.d.
SP	KSH KSH..P	Met positieve sinterplaten voor zware stootbelastingen
FP	KSX KSX..P	Met positieve sinterfolieplaten voor zeer hoge belastingen
T/TP	KPM KPM..P	Met positieve pocketplaten volgens DIN 40771 Teil 1
TS/TSP	KPH KPH..P	Met positieve pocketplaten voor startbelasting volgens DIN 40771

Bij IEC betekent P pocketplaten en S sinterplaten.

- De letter L = lage ontlaadstromen
- De letter M = gemiddelde ontlaadstromen
- De letter H = hoge ontlaadstromen
- De letter X = zeer hoge ontlaadstromen

De cijfers daarachter geven het aantal Ah aan en de eventuele letter P een plastic accubak.



NIFE levert alleen doosjesplaataccu's, ook pocketplaataccu geheten. SAFT levert alle soorten nikkelcadmiumaccu's, ook sinterplaataccu's voor de luchtvaart. In tegenstelling tot wat wordt beweerd, zijn er niet veel pocketplaataccu's die blijven werken onder min 20 graden Celsius.

HOPPECKE levert een accu met platen waarbij de actieve massa wordt vastgehouden door een wirwar van nikkelvezels. Dit heeft als voordeel dat ten eerste geen grafiet nodig is in de actieve massa om voor voldoende geleidingsvermogen te zorgen, ten tweede is de laadfactor beter (120%) en de capaciteit bij extreem lage temperaturen hoger. Ook schijnt het leveren van stootstromen door de lagere inwendige weerstand beter te gaan.

De afwezigheid van grafiet zorgt ervoor dat geen carbonaatvervuiling door oxyderend grafiet kan optreden, waardoor minder vaak het electroliet behoeft te worden gewisseld. Naast de kosten die dit meebrengt, denk ook aan het niet beschikbaar zijn van de accubatterij op zo'n moment, is doordat het geleidingsvermogen van het electroliet niet achteruitgaat de werking op langere termijn beter. Overigens is eens in de 10 jaar electrolietwisselen wegens carbonaatvorming al extreem vaak.

Alle sinterplaat-accu's vertonen het geheugeneffect. Pocketplaataccu's hebben dit verschijnsel nooit.

### Kosten

Een nikkelcadmiumaccu is voor hetzelfde vermogen stukken lichter en kleiner dan de loodzwavelzuuraccu, maar kost ook veel meer. Voor herlaadtijden van minder dan 6 uur vanaf volledig ontladen is de nikkelcadmiumaccu welhaast de verplichte keus.

In gevallen dat zowel H-, M- of L-cellen de toepassing kunnen dekken, moet de prijs de doorslag geven.

### Levensduur

Bij lage temperaturen heeft een nikkelcadmiumaccu een geringere verkorting

van de levensduur dan een loodzwavelzuuraccu.

Ook het capaciteitsverlies is minder. Wel moeten door de minder snel verlopende chemische reacties de maximale laadstromen worden aangepast.

Bij sinterplaataccu's kan een rimpelstroom dendrietformaties laten ontstaan. Bij deze soort accu's is de dunne separator de zwakke plek, ook omdat dendrieten hier doorheen kunnen prikken en zo kortsluiting tussen de platen veroorzaken. Desondanks is de levensduur van sinterplaataccu's al vele malen langer dan van de loodzwavelzuuraccu.

### Temperatuur

Een nikkelcadmiumaccu kan gebruikt worden tot 70 graden electroliettemperatuur. Boven 45 graden is er kans op een levensduurverkorting, 100 graden is de absolute en eigenlijk onbruikbare bovengrens omdat het electroliet dan gaat koken. Zie ook de carbonaatvorming.

Bij een s.g. van 1,18 bevriest het electroliet bij - 20 graden, bij een s.g. van 1,25 bevriest het electroliet bij - 30 graden, bij een s.g. van 1,28 bevriest het electroliet bij - 40 graden. Het gevormde ijs is niet vast en doet de accu geen kwaad. Na ontdooien is de accu weer goed.

### Electroliet

Vraag bij het aanschaffen van een accu naar het toegepaste electroliettype. NIFE b.v. levert afhankelijk van de accubelasting 2 soorten electroliet.

Zwavelzuur vergiftigt al in kleine hoeveelheden een nikkelcadmium-accu. DIN 57510 10.9 geeft aanwijzingen voor het apart houden van alle gereedschap voor loodzwavelzuur-accu's en nikkelcadmium-accu's. Over de invloed van zwavelzuurlevel op nikkelcadmium-accu's geeft DIN 57510 6.1.4 en 5 aanwijzingen.

De electrolietdichtheid is niet echt kritisch en kan liggen tussen een s.g. van 1,18 en 1,23. DIN 40771 geeft op 1,19 kg/liter bij 20 graden Celsius.

In het electroliet van een nikkelcadmiumaccu kan kaliumcarbonaat ontstaan door verbinding van het kaliloog met kooldioxyde, b.v. uit de buitenlucht. Omdat echter de buitenlucht niet zomaar in de accu kan binnenkomen, is in de praktijk de grootste oorzaak van het ontstaan van kaliumcarbonaat in het electroliet het oxyderen van het grafiet in de actieve massa van de platen. Dit grafiet wordt aan de actieve massa toegevoegd om het geleidingsvermogen te verbeteren. De carbonaatvorming resulteert in een iets hogere inwendige weerstand van de accu. Spoelen en verversen van het electroliet, van eens in de 6 jaar tot misschien maar eens in de dertig jaar bij een licht belastte stationaire accu, herstelt de zaak. VDE 0510 geeft op dat bij het bereiken van 75 gram carbonaat per liter electroliet, het electroliet gewisseld en een laadbehandeling gegeven moet worden. De snelheid van vormen van het carbonaat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) wordt beïnvloed door de electroliettemperatuur. Hoe hoger de temperatuur, des te sneller is de carbonaatvorming.

Toch schijnt het dat de carbonaatvorming uit het grafiet langzamer gaat dan die uit gasvormig kooldioxyde als dit in aanraking komt met het electroliet. Het verdient daarom aanbeveling om door middel van speciale doppen zoveel mogelijk de buitenlucht uit de accu te houden.

Men schat dat een electrolietwisseling van een NiCad-accubatterij ongeveer 1/3 van de nieuwprijs van de accu kost. Daarnaast zijn er tijdens het electrolietwisselen problemen met de beschikbaarheid van de accu en defecten door de montage en demontage.

Verontreinigingen in het electroliet die de nikkelcadmiumaccu bederven zijn o.a. :

1. Zwavelzuur in uitermate kleine hoeveelheden.
2. Calcium (b.v. uit leidingwater) vermindert de capaciteit. Een gram Calcium per liter geeft al een merkbaar effect. Het is bedervend voor de cadmium-elektrode. De schade is met vers electroliet deels te herstellen.
3. Magnesium. De hoeveelheid magnesium in de cel mag niet meer zijn

dan 0,035% van het in de cel aanwezige nikkel. De werking is als calcium. Daarnaast geeft het ladingsverlies van de nikkelhydroxyde-elektrode en bederft ook de capaciteit hiervan.

4. Thallium. Is zeer schadelijk. Kan als thalliumhydroxyde met het kaliloog in de cel raken. Het vermindert de actieve oppervlakte van de cadmiumplaat. Een hoeveelheid van 0,01% geeft al een aanzienlijk effect.
5. Silicium. Een capaciteitsverlies van 20% door 0,4% silicium in het electroliet door aantasting van de nikkel-elektrode.
6. IJzer. Meestentijds komt er ijzer vrij uit de accu onderdelen zelf. IJzer verlaagt het zuurstofpotentiaal, zodat het binnenste van de nikkel-elektrode minder goed wordt geladen (geoxideerd) tijdens de lading. Beïnvloedt dus de ladingaanname.
7. Tin. Bevordert de zelfontlading van de negatieve plaat.
8. Nitraat. Verhoogt de zelfontlading van de cel.
9. Chloriden. Verwoestend voor de nikkel-elektrode.
10. Kaliumsulfaat. Bouwt naaldvormige uitsteeksels op de platen, waarop vrij actief materiaal neerslaat. Er kan zo door deze kunstmatige dendrieten zelfontlading of sluiting door de separator heen ontstaan.
11. Lithiumhydroxyde wordt toegevoegd om de levensduur van de cel te verlengen bij pocketplaataccu's. Sinterplaataccu's worden er niet beter van.

De eisen waaraan het electroliet moet voldoen staan in DIN 57510, Tabel 4.

#### Laden

Volgens DIN 43539 Tabel 4 en IEC 623 tabel 6 zijn de laadspanningen voor:

FP (KSX)	= 1,425 Volt
T, TP, TS, TSP en	
SP (KPM, KPH, KSH)	= 1,455 Volt
NC (KPL)	= 1,495 Volt

De open klemspanning van alle accu soorten is afhankelijk van vele factoren en de nikkelcadmiumaccu maakt daarop geen uitzondering. Voor een NIFE-accu in rust geldt: 1,34 V is vol geladen, 1,30 V is leeg. Na een zware lading neemt het uren om te dalen tot 1,40 V en dagen om verder te dalen tot 1,34 V. Een tot 1,00 V ontladen cel zal in 15 minuten herstellen tot 1,27 V en in een paar uur tot 1,30 V. Ook hier is het meten van de open klemspanning om de mate van lading vast te stellen volkomen zinloos.

Het laadrendement in het traject van 90 naar 100% is vrijwel 100%. Pas beneden de 40 tot 50% ontladen wordt het rendement slechter, totaal 140% bij het volle laadtraject van 0 tot 100%.

Een nikkelcadmiumaccu kan op alle manieren worden geladen, ontladen worden en ongeladen laten staan zonder schade. Wel schijnt het zo te zijn dat het altijd laden met een laadspanning van lager dan 1,45 V op den duur het electroliet verontreinigt met ijzerdeeltjes uit de accuconstructiedelen. Moderne accu's hebben hiertegen een coating op deze accudelen, maar men kan beter de laadspanning iets hoger kiezen.

Nikkelcadmiumaccu's hebben een geringere zelfontlading dan loodzwavelzuuraccu's.

Meest gebruikte laadmethode voor nikkelcadmiumaccu's is het constante-spanningsladen. DIN 57510 12.3.2 geeft op dat de laadspanning kan liggen tussen 1,40 en 1,65 Volt per cel. In wezen is het alleen de stijging van de electroliettemperatuur die de beperkende factor is voor het opnemen van hoge laadstromen.

Constante-stroomladen is het beste voor cycleerbedrijf. Wel moet na elke ontlading de accu weer totaal volgeladen worden. Het daarbij verbruiken van water is onvermijdelijk, zodat de tijdsduur van het laden scherp in de gaten gehouden moet worden om te voorkomen dat de accu droog komt te staan.

Het constante-spanningsladen van een zeer diep ontladen nikkelcadmium-accu

is zeer gevaarlijk bij lage laadspanning, b.v. 1,55 Volt of lager. De lage spanning met daarbij een hoge laadstroom is een slechte combinatie. Er kan een levensduurverkorting optreden bij de combinatie van diep ontladen plus hoge laadstroom van 70% t.o.v. constant-stroomladen. Een lage laadspanning bespaart wel op het aantal keren bijvullen van water, maar de prijs in keren laden/ontladen kan te hoog zijn. Tenminste 1,70 V/cel bij L-cellen (cellen speciaal voor lichte belastingen) wordt aanbevolen als de cellen tot lager dan 0,8 V/cel zijn ontladen. Het eventuele waterbijvulprobleem moet worden opgelost door:

1. Grotere batterijen
2. Cellen met een grotere electrolietreserve
3. Vaker water bijvullen
4. Bijvullen vergemakkelijken door een centraal bijvulstelsel.

Starterbatterijen worden over het algemeen met een iets hogere spanning van 1,50 tot 1,55 V/cel geladen.

Laden tot 1,47 V/cel geeft 88% lading, 1,50 tot 1,55 V/cel geeft 97% lading.

NIFE geeft op dat voor hun accu's geen vereveningsladingen nodig zijn.

De SH-accu van SAFT heeft een geringer verschil tussen de laad- en ontladingspanning. Het traject ligt tussen 1,2 en 1,42 V.

Een voordeel van doorgaan met ontladen tot een lage cel-eindspanning is dat de verkregen capaciteit minder wordt beïnvloed door temperatuur, staat van het electroliet en de grootte van de laad-eindspanning. Een spanning van 1,10 V is een redelijk compromis, lager is beter, vooral bij hoge ontladstromen.

Een nikkelcadmiumaccu heeft volgeladen en meteen gebruikt een 35 mV per cel hogere klemspanning dan na een paar weken druppelladen. Men moet hiermee rekening houden bij het bepalen van het aantal cellen van de batterij als voorafgegaan door langdurig druppelladen er zware ontladingen worden gevraagd.

Het verschil in inwendige weerstand tussen een volgeladen accu en een lege is een factor 6. De inwendige weerstand verdubbelt tussen 0 en - 18 graden.

Bij zware laadstromen ontstaat er bij een lege accu al gas. Max. laadstroom 0,4 C5A voor H-cellen en 0,3 C5A voor L- en M-cellen (30 A bij 100 Ah). Beste lading voor een lege nikkelcadmiumaccu is 0,4 C5A gedurende 2,5 uur, gevolgd door 0,2 C5A gedurende 2,5 uur.

Een lage laadstroom:

- a. geeft een te laag laadrendement,
- b. kan de ontlad karakteristiek beïnvloeden,
- c. de positieve elektrode wordt niet voldoende doorgeladen om zware ontlad stroomstoten te kunnen geven. Daarom de laadstroom nooit lager maken dan 0,1 C5A voor H-cellen en 0,05 C5A voor L- en M-cellen.
- d. kan electrolietverontreiniging veroorzaken.

De laders die met een vaste laadtijd werken, geven ondiep ontladen cellen een overlading. Laden tot de gasgrens, 1,47 V per cel, geeft 85% van de capaciteit.

Bij het laden met een constante spanning van een accu parallel aan de belasting is het vaak onmogelijk om de laadspanning het gewenste niveau te geven. De belasting kan hier meestal niet tegen. Vaak is de remedie het toepassen van schakelcellen, of ook wel spanningsvaldiodes. Schakelcellen zijn cellen met twee platen in loog, die door de optredende polarisatie een tegenspanning opwekken gelijk aan de spanning van een accucel. Als het werkelijk onmogelijk is om een acceptabele laadspanning te vinden, dan moet de accubatterij oversized worden. Lees voor constante-spanningladen blz 7.3.7. van de NIFE Batterij Technical Manual.

Bij druppelladen op 1,40 tot 1,47 Volt zakt de klemspanning onder belasting in 4 tot 8 weken met 38 mV per cel zodra de cel wordt belast. Met de capaciteitsbepaling moet hiermee rekening worden gehouden. Het geeft eenzelfde effect alsof er tot een hogere celeïndspanning wordt ontladen, dus capaci-

teitsverlaging. DIN 57510 12.3.3. geeft als druppellaadspanning 1,38 tot 1,40 Volt per cel, enigszins vreemd.

Het gassen van elke accu begint scheidkundig gezien al bij een te lage klemspanning van de cel, omdat de ladingsverdeling over de platen nooit 100% goed is.

Ondiepe ontladingen worden met een laadrendement van 98 tot 99% weer aangevuld, omdat een ondiepe ontlading slechts een oppervlakte-effect van de platen is.

Bij overladen ontstaat bij iedere Ah (bij 25 graden): 0,23 liter O<sub>2</sub> en 0,46 liter H<sub>2</sub>. Het waterverbruik is:  $Q = Ah/3$  waarin  $Q =$  milliliters ofwel grammen water.

In het gebied van 1,40 tot 1,55 Volt tweederde hiervan, want een deel van de laadstroom compenseert voor de zelfontlading van de elektroden.

Continu onderladen geeft een andere kristallisatie in het actieve materiaal van de nikkel-elektrode. De capaciteit van de accu loopt dan terug, want de nikkel-elektrode is hiervoor bepalend. De capaciteit om stroomstoten te leveren blijft echter vrijwel onaangetast. Overladen is beter dan onderladen (als tenminste het waterverbruik in de gaten wordt gehouden).

Bij pocketplaataccu's heeft enorm laden en ontladen, zelfs redelijk lang verkeer om laden, geen invloed op de levensduur, tenzij de electroliettemperatuur op te hoge waarden komt. Rimpelstroom kan onbeperkt worden toegevoerd. Er zijn zelfs theorieën dat rimpelstroom goed is voor de juiste kristallisatie van het cadmium.

#### Accuruimte

Voor de ventilatie en de opstelling van de accu's maakt VDE 0510 geen verschil tussen loodzwavelzuuraccu's en nikkelcadmium accu's.

Volgens VDE 0510 zijn er geen speciale vloeren, tegels of coatings nodig in accuruimten met nikkelcadmiumaccu's.

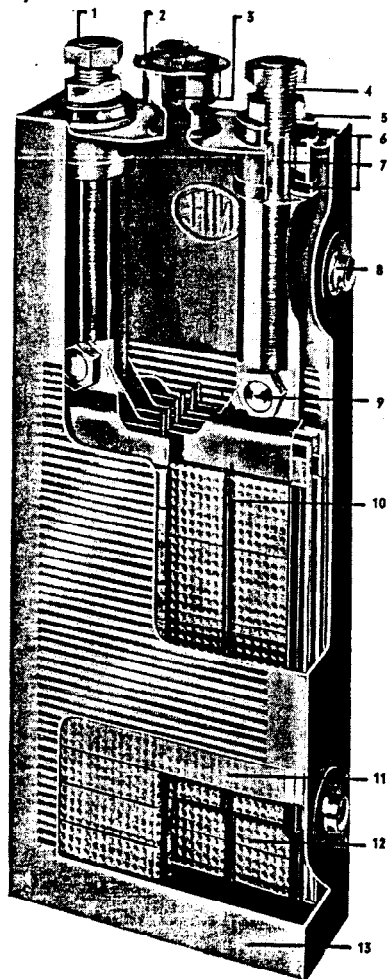
## ONDERHOUDSVOORSCHRIFT NIFE NC-ACCU

Daar velen hun NC-accu's verkrijgen uit de dump wordt hier onder een gedeelte van een onderhoudsvoorschrift weergegeven van NIFE NC-accu'. Hier en daar is de tekst aangepast en zijn er wat opmerkingen aan toe gevoegd.

### Montage en demontage

In standaard uitvoering werden grote N.C. batterijen in houten kisten geleverd en kleine in eenvoudige houten kisten. Grote stationaire batterijen zijn op verzoek leverbaar met houten vloerstellen.

De kleine batterijen met plastic celhuizen kunnen ook zonder troggen worden geleverd; de cellen zijn in dat geval samengelijmd op een plastic basisplaat. De stalen cellen zijn d.m.v. plastic of ebonieten isolatoren in de kisten opgehangen,



Celtype in stalen huis  
o.a. serie: KA, MD en HI.

- 1 poolboutmoer
- 2 klepdeksel
- 3 ventielkegel
- 4 poolbout
- 5 sluitring
- 6 drukringen
- 7 rubber pakkingring
- 8 ophangnok
- 9 verbindingsbout
- 10 isolatiestaafje
- 11 positieve doosjesplaat
- 12 negatieve doosjesplaat
- 13 celhuis

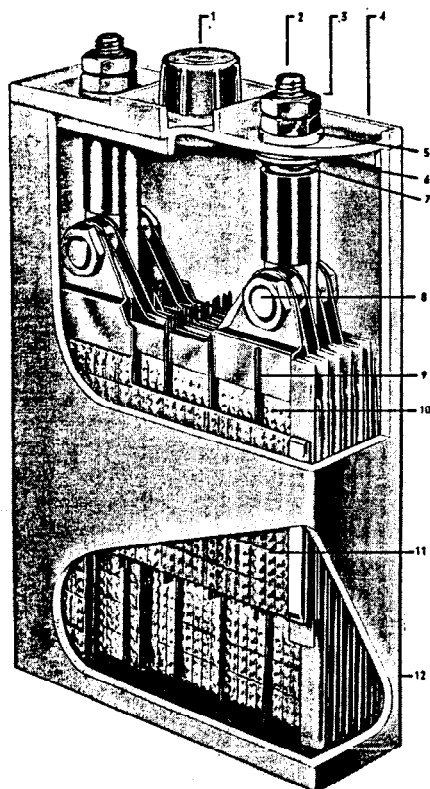
Indien men één of meer stalen cellen uit de kist wil verwijderen, moeten eerst de doorverbindingen losgenomen worden, anders krijg je verwoestende sluitingen tussen de stalen huizen. De zijschotten behoeven slechts aan één zijkant te worden losgeschroefd. Vervolgens kunnen de cellen één voor één uit de kisten genomen worden.

Wenst men de batterij daarna weer te monteren, dan worden eerst de isolatoren in de gaten van de niet verwijderde zijschotten geplaatst. De kist zet men nu in een schuine stand. Men plaatst vervolgens de overige isolatoren om de ophangnokken van de cellen. De cellen worden daarna één voor één in de kist gemonteerd, waarna de weggenomen zijschotten weer kunnen worden aangebracht en vastgeschroefd. Daarna worden de verbindingen weer op de cellen geschroefd, waarbij er voor gezorgd moet worden dat de + pool van de éne cel met de - pool van de aangrenzende cel wordt verbonden en indien de kist van zijaan-sluitingen is voorzien (alleen nog in oude accu's), dient men er bovendien op te letten, dat de + en - eindpoolbouten inderdaad op het + contact, respectievelijk het - contact worden aangesloten.

De omhulsels van de stalen cellen zijn geleidend verbonden met de + pool. De cellen mogen elkaar dus nimmer raken, tenzij de verbindingen tussen de cellen eerst zijn verwijderd. De omhulsels mogen ook niet door middel van een geleidend voorwerp met elkaar verbonden

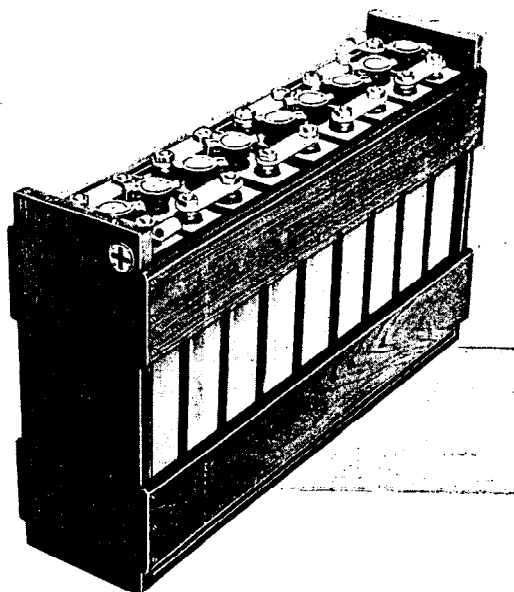
worden. Vooral bij de montage en demontage dient er dus speciaal op gelet worden, dat er geen moeren, verbindingen of andere metalen voorwerpen óp of tussen de cellen terecht komen. Indien celhuizen van plastic worden toegepast, kunnen ze cellen zonder bezwaar tegen elkaar aan worden geplaatst.

Plastic celhuizen moeten niet worden ingevet. Wél voorziet men de poolbouten, ringen en moeten van een oliefilm vóór hermontage.



Celtype met polystyreen huis  
o.a. serie: KAP, MDP EN HIP.

- 1 schroefdop
- 2 poolbout
- 3 poolboutmoer
- 4 celdeksel
- 5 stalen sluitring
- 6 rubber pakking
- 7 stalen pakkingschotel
- 8 verbindingbout
- 9 isolatiestaafje
- 10 positieve doosjesplaat
- 11 negatieve doosjesplaat
- 12 celhuis



#### Opstelling.

De batterij moet opgesteld worden in een behoorlijk geventileerde ruimte. Nimmer in de nabijheid van loodbatterijen of in ruimten waar zich dampen van chloor, zwavelzuur, zoutzuur, salpeterzuur of van andere zuren ontwikkelen.

De gassen, die zich in NC accu's ontwikkelen, zijn niet corrosief, zodat de batterijen in de nabijheid van machines en instrumenten kunnen worden opgesteld zonder gevaar voor oxydatie. Evenals bij loodaccu's wordt er wel knalgas gevormd!

Noot: Bij heftig laden kunnen de gassen iets van het loog meenemen en als afbijtmiddel gaan werken. Normale verf kan hier niet tegen.

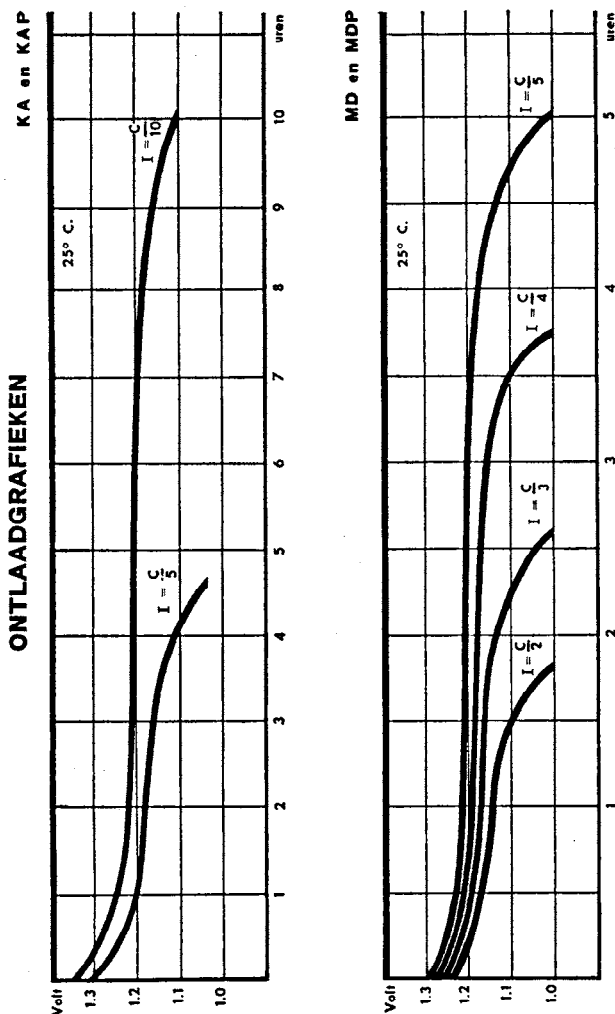
Men behoeft de batterij voor temperaturen boven 45° C. en stelle deze dus niet op in stookplaatsen of vlak bij ketels, radiatoren enz.

Een lage temperatuur heeft geen schadelijke invloed op de batterij. De elektrolyt bevriest eerst bij -30° C. De capaciteit neemt bij lage temperaturen echter af maar veel minder dan bij lood-accu's. Men mag nimmer een onbeschermde vuur in de nabijheid van de cellen brengen, daar bij lading knalgas wordt gevormd, dat bij een bepaalde concentratie explosief is.

### Ontlading.

De nominale capaciteit van de cellen type KA en KAP geldt bij een 10-urige continue ontlading, bij een eindspanning van 1,1 Volt en bij een temperatuur van 25° C. De nominale capaciteit van de cellen type MD en MDP geldt bij een 5-urige continue ontlading, bij een eindspanning van 1,0 Volt en bij een temperatuur van 25° C. De nominale capaciteit van de cellen type HI en HIP geldt bij een 2-urige continue ontlading, bij een eindspanning van 1,0 Volt en bij een temperatuur van 25° C. Ook dit geldt tevens voor een 5-urige ontlading tot 1,1 Volt.

(De nominale capaciteit van sinterplaatcellen geldt bij een 5-urige continue ontlading, bij een eindspanning van 1,1 Volt en bij een temperatuur van 25° C.)



De grafieken geven de spanningskrommen aan bij diverse ontladingen.

Onder bepaalde omstandigheden, zoals bij ontlading met rustperiodes, ontlading tot lagere eindspanning, ontlading met geringe stroom en ontlading bij hogere temperaturen, zal de capaciteit, die aan de cel kan worden ontnomen, hoger zijn dan de nominale capaciteit. Indien meer dan de nominale capaciteit aan de cel werd ontnomen, dient bij de daarop volgende lading ook meer dan het aantal Ah. voor een normale lading te worden toegevoegd. (Zie hiervoor verder onder "lading".)

Zodra de spanning snel daalt, moet de ontlading worden stopgezet. Ontlaad de batterij bij voorkeur niet beneden de op de grafiek aangegeven eindspanningen. Opmerking: Kan best, maar de meeste apparatuur stopt dan.

Gedurende de ontlading wordt de spanning van de batterij zo nu en dan gecontroleerd om cellen met een afwijkend gedrag te vinden.

Van een cel, die een gevolg van kortsluiting of door een andere oorzaak van de overige cellen belangrijk in spanning verschilt, moeten de verbindingen worden losgenomen.

Spanningsmetingen hebben alleen nut wanneer de cel tegelijkertijd stroom levert, daar anders niet kan worden vastgesteld in welke mate de ontlading is gevorderd. Zelfs een ontladen cel heeft de normale rustspanning.

De batterij is tegen grote overbelasting bestand, indien er voor gezorgd wordt, dat de temperatuur in de cellen niet boven de 45° C. stijgt.

### Lading.

Na een volledige ontlading dient de batterij gedurende 7 uur met de normale stroom te worden geladen

Indien er zekerheid bestaat, dat bij de voorafgaande ontlading niet meer dan de nominale capaciteit aan de batterij werd ontnomen, is deze lading voldoende. Zoals echter onder "ontlading" werd opgemerkt, kan aan de batterij onder bepaalde omstandigheden meer dan de nominale capaciteit worden ontnomen.

Daar het echter veelal niet mogelijk is de mate van ontlading nauwkeurig vast te stellen en een zekere overlading de N.C. batterij niet schaadt, wordt dan zekerheidshalve ca. 8 uur met normale stroom geladen, hetgeen dus ook voor diepe ontladingen voldoende is. Constant overladen echter, heeft het nadeel van onnodige ontleding van water. De lading mag ook met kleinere stroom geschieden, waarbij zij dan overeenkomstig langer moet duren, zodat de batterij het juiste aantal Ah. ontvangt. Opmerking: Bovenstaande laadmethode is ouderwets. Gewoon het laden beëindigen ergens tussen 1.47 V en 1.55 V. de gasgrens ligt bij 1.47 V per cel.

#### Algemene aanwijzingen

Kort na het begin van de lading moeten alle cellen een spanning van 1,35 à 1,45 Volt hebben. Deze spanning zal langzaam stijgen tot 1,65 à 1,75 Volt (afhankelijk van het type cel) en daarna praktisch constant blijven tot het einde van de lading (zie de laadkrommen).

Zo nu en dan moet worden gecontroleerd of de celverbindingen niet warm worden. Mocht dit het geval zijn, hetgeen wijst op slecht contact, dan moeten deze verbindingen vastgeschroefd en zo nodig eerst schoon gemaakt worden.

De kleine N.C. cellen zijn voorzien van plastic schroefventielen met gummiringen om de ventilatie-openingen. De grotere cellen in stalen huis zijn uitgerust met ventilerende kleppen, de plastic cellen (p-types) met een plastic schroefventiel. De cellen dienen steeds, ook tijdens de lading gesloten te blijven, waarbij deze sluiting voldoende ventilatie waarborgt. Van tijd tot tijd moet echter worden gecontroleerd of de kleine ventilatieopeningen onder de gummiringen niet verstopt zijn.

Mocht vloeistof ontwijken door het schroefventiel, bij lading met hoge stroom (versnelde lading of stootlading), of bij cellen waarvan de vloeistofstand te hoog is, dan de schroefventielen iets los draaien, waardoor het gas gemakkelijker kan ontsnappen. Controleer de vloeistofstand en zuigt

zo nodig wat electroliet af.

Indien de gasontwikkeling gedurende het laatste gedeelte van de lading te hevig wordt en dit gepaard gaat met uitspatten van electroliet, dan de laadstroom verminderen en overeenkomstig langer laden.

Indien van de batterij niet bekend is of zij geladen, geheel dan wel gedeeltelijk ontladen is, wordt met normale stroom geladen tot de maximum spanning van 1,65 à 1,75 Volt per cel bereikt is, waarna de lading nog ca. 2 uur wordt voortgezet (zie de laadkrommen). Eens per 10 ladingen de tractie batterijen een overlading geven. Tijdens de lading er voor zorgen dat de bovenkant van de cellen droog blijft. Uitgespatte vloeistof zo nodig met een vulpipet afzuigen.

#### Versnelde lading.

Wenst men de batterij in de kortst mogelijke tijd te laden, dan kan versnelde lading worden toegepast, n.l. tweemaal de normale stroom gedurende 2 1/2 uur, gevolgd door de normale stroom gedurende eveneens 2 1/2 uur (zie de laadkrommen op 16 en 17). Mocht tijdens de eerste periode het gas te hevig worden en uitspatten van electroliet optreden, dan moet de stroom reeds eerder verminderd worden. Daarbij moet de laatste periode overeenkomstig langer duren, zodat in totaal het juiste aantal Ah. ingeladen wordt (1,5 C).

#### Stootladingen

Indien men een NIFE batterij in zeer korte tijd voor een belangrijk gedeelte wil bijladen, dan kunnen stootladingen met hoge stroom worden toegepast. In de onderstaande tabel stelt n het veelvoud van de normale stroom voor, t het aantal minuten van de lading en p het percentage van de nominale capaciteit dan de batterij herwint.

half ontladen batterij		
n	t	p
5 x normaal	15 min.	70%
4 x normaal	30 min.	80%
3 x normaal	60 min.	90%
2 x normaal	120 min.	100%



geheel ontladen batterij

n	t	p
5 x normaal	30 min.	50%
4 x normaal	50 min.	60%
3 x normaal	75 min.	70%
2 x normaal	150 min.	85%

Voor een half ontladen batterij wordt de laadduur bij de twee hoogste stromen bepaald door het gassen van de cellen. Wordt het gassen nl. te hevig, dan moet de stootlading worden stopgezet. Voor alle andere gevallen wordt de laadduur bepaald door de temperatuur, die nimmer boven 45° C mag stijgen. De stootlading moet dan eveneens onmiddellijk worden stopgezet. In beide gevallen mag met kleinere stroom verder geladen worden, mits het gassen niet te hevig is en de temperatuur niet boven 45° C stijgt. Zolang het gas voldoende gelegenheid heeft door de ventilatie-openingen van de ventielen te ontwijken, is het niet zozeer het gassen, dat de lading met hoge stromen beperkt, als wel het daarmee gepaard gaande uitspatten van electroliet.

Resumé Laden

Om een normaal ontladen accu geheel te herladen moet 1,4 x die aan de accu onttrokken capaciteit worden toegevoegd wanneer de laadstroom C Ah/5 is, en 1.5 x de aan de accu onttrokken capaciteit wanneer de laadstroom c Ah/10 is.

Accu capaciteit in Ah

N.B. C Ah/5 = -----  
5

De minimale laadstroom is afhankelijk van de beschikbare laadtijd (zie onderstaande tabel):

Laad/ontlaad bedrijf accu geheel ontladen.

Gemiddelde laadstroom	accu wordt herladen in	instelling laadauto-maat
C Ah/5	7 uur	1,55 V/cel
C Ah/10	15 uur	

Snel-druppellaadsysteem

De snellaadstroom is afhankelijk van de beschikbare of maximaal toegestane tijd waar binnen de accu herladen moet zijn. De druppellaadstroom welke na de snellading aan de accu toegevoerd moet worden om de accu in optimale ladingstoestand te houden moet 0,5 à 1 mA per Ah. zijn.

Constant spanningssysteem

In onderstaande tabel vindt U de relatie tussen de gekozen celspanning en de noodzaak van doorladen, tevens is het te verwachten waterverbruik aangegeven.

Bufferspanning V / cel	geen regelmatige ontlading	regelmatige ontlading	
	watervbruik	watervbruik	
1.40 - 1.42	1 x per jaar	nihil	na elke ontlading regelmatig
1.42 - 1.44	nee	laag	ontlading controleren
1.44 - 1.47	nee	regelmatig	1 x per jaar controleren

## Continue lading

De N.C. batterij is eveneens geschikt voor continue lading en kan op ieder aanbevolen type gelijkrichter worden aangesloten. De batterij wordt dan onder constante spanning geladen. Deze spanning en het vermogen van de gelijkrichter zijn afhankelijk van verschillende factoren, zoals het celtype, aantal cellen van de batterij, capaciteit en belasting. Spanning en vermogen van de gelijkrichter moeten daarom voor ieder geval afzonderlijk worden vastgesteld. Bij continue lading bedraagt de spanning per cel meestal 1.4 à 1.45 Volt.

N.B. Voor sinterplaat cellen geldt: 1,36 à 1,38 Volt.

## HET ELECTROLIET

### electroliet in de cellen

De electroliet bestaat uit een oplossing van kaliumhydroxyde (kaliloog) in gedestilleerd water, waaraan bovendien een weinig lithiumhydroxyde is toegevoegd. Dit mengsel wordt B-electroliet genoemd. De electroliet van batterijen, die continu worden geladen, zoals b.v. starterbatterijen, bevat geen lithiumhydroxyde. Deze oplossing wordt A-electroliet genoemd. Aan de B-electroliet, die door ons wordt geleverd, is het lithiumhydroxyde reeds toegevoegd. Het soortelijk gewicht van de electroliet in NIFE cellen moet minimum 1,17 en maximum 1,19 bedragen (sinterplaatcellen: 1,24 - 1,26), waarbij de vloeistof, afhankelijk van het celtype, 10 à 55 mm boven de platen moet staan. De juiste hoogte is aangegeven in het bij de accu behorende boekje.

Op plastic cellen wordt het vereiste niveau door merkstrepen aangeduid. In ieder geval moet de vloeistof de platen altijd bedekken. Te hoog bijvullen brengt het nadeel met zich mede dat de vloeistof tijdens de laatste periode van de lading, vooral bij lading met hoge stroom, uit de cellen zal spatten. Daar de electroliet van NIFE cellen niet zoals het zuur in loodbatterijen

aan de reacties deelneemt, verandert het soortelijk gewicht slechts weinig en wel alleen door de ontleding van water tijdens de lading, en door de verdamping van water. Het soortelijk gewicht van de vloeistof zal dus stijgen en de vloeistofspiegel dalen. Het zal duidelijk zijn dat meestal met gedestilleerd water moet worden bijgevuld. Slechts in bijzondere gevallen zal het nodig zijn met electroliet bij te vullen, bv. indien veel vloeistof uit de cel vermorst werd. In het laatste geval moet met electroliet met een soortelijk gewicht van 1,19 worden bijgevuld, vooropgesteld dat de vloeistof in de cel het juiste soortelijk gewicht van 1,17 à 1,19 heeft. Het kan voorkomen dat het soortelijk gewicht van de vloeistof in de cel te laag is. In dit geval moet worden bijgevuld met electroliet met een soortelijk gewicht van 1,21 of nog hoger om tot het juiste soortelijk gewicht te komen. Sinterplaatcellen 1,28 of hoger.

Is het soortelijk gewicht te hoog dan moet natuurlijk met gedestilleerd water worden bijgevuld. Mocht bij het bereiken van de juiste vloeistofstand van 10 à 55 mm boven de platen het soortelijk gewicht nog steeds te hoog zijn, dan moet eerst electroliet worden afgezogen en deze afgezogen hoeveelheid vervangen worden door gedestilleerd water.

Men zorge er dus voor dat onder alle omstandigheden de vloeistof altijd de juiste stand boven de platen heeft, althans de platen altijd blijft bedekken.

Het is dus nodig de stand en het soortelijk gewicht van de vloeistof regelmatig te controleren, Hierbij dient nog te worden opgemerkt, dat na bijvulling het gedestilleerde water of de electroliet zich niet direct geheel met de electroliet in de cel vermengt, zodat men dus na de bijvulling en bij controle van het soortelijk gewicht een te laag of te hoog soortelijk gewicht kan meten. Deze controle van het soortelijk gewicht, na bijvulling met gedestilleerd water of electroliet van een hoger soortelijk gewicht dan dat van de in de cel aanwezige electroliet, moet dan ook geschieden nadat de batterij weer is geladen. Dit omdat de bijvulvloeistof zich pas goed met de in de cel aanwezige electroliet zal vermengen

tijdens de lading. Voor het bijvullen met gedestilleerd water gebruike men een plastic schenkan en een plastic trechter.

Voor het controleren van de vloeistofstand in stalen cellen gebruikt men een glazen steekheveltje, dat in de celopening wordt gestoken tot het op de platen stuit. Daarna wordt het steekheveltje met de duim afgesloten en uit de celopening genomen. De vloeistofkolom in het steekheveltje geeft nu de hoogte van de vloeistof boven de platen aan. Voor het meten van het soortelijk gewicht gebruikt men een vulpipet (fig. 5), waarin een areometer aangebracht is. Men zuigt zoveel electroliet uit de cel op totdat de areometer drijft en men leest het soortelijk gewicht af. Indien een groot aantal cellen moet worden bijgevuld, bedient men zich het eenvoudigst van het NIFE automatisch bijvulapparaat.

De cellen moeten niet onnodig geopend blijven staan, daar hierdoor koolzuur uit de lucht gemakkelijker in contact kan komen met de electroliet, hetgeen nadelig is (Carbonisatie).

#### Aanmaken van electroliet.

De vaste electroliet wordt geleverd in vlokform. Na weging van de vlokken wordt de gehele inhoud in een vat van zuiver ijzer gebracht. Het ijzeren vat moet volkomen schoon zijn en niet gegalvaniseerd, verkoperd of vertind. Een geëmailleerd ijzeren vat mag gebruikt worden. Indien geen ijzeren vat beschikbaar is, kan men ook gebruik maken van een vat van zuiver aardewerk, glas of polyethyleen.

Het is van het grootste belang dat vaten, areometers en andere gereedschappen, die bij loodbatterijen dienst doen, niet voor de bereiding van kaliumhydroxyde-oplossing worden gebruikt, daar zuur schadelijk voor NIFE cellen is.

Vervolgens neemt men het dubbele gewicht (tweemaal het nettogewicht aan vaste electroliet) gedestilleerd water en giet deze hoeveelheid ineens over de vlokken uit, waarbij men er voor moet zorgen dat de vloeistof niet op handen, gezicht of kleren spat.

Opdat alle vlokken in het water oplos-

sen, roert men de vloeistof regelmatig om met een ijzeren lepel, totdat zich geen vlokken of klonten meer op de bodem van het vat bevinden. Indien de vlokken na langdurig roeren in het geheel niet meer oplossen, heeft men te weinig water gebruikt en moet meer gedestilleerd water worden toegevoegd. Men laat nu de vloeistof afkoelen en verwijdert vuil en bovendrijvend schuim. Hierna wordt het soortelijk gewicht gecontroleerd en zoveel gedestilleerd water toegevoegd tot het gewenste soortelijk gewicht bereikt is. Hierbij dient men echter voorzichtig te werk te gaan, opdat de vloeistof niet te licht wordt.

Bij bereiding van electroliet op de boven aangegeven manier, dus 2 liter gedestilleerd water op 1 kg vaste electroliet, verkrijgt men 2,35 liter oplossing met een soortelijk gewicht van ongeveer 1,24. Bij verder toevoegen van 0,85 liter gedestilleerd water verkrijgt men 3,20 liter oplossing met een soortelijk gewicht van 1,19 en bij nog eens toevoegen van 0,52 liter gedestilleerd water ca. 3,72 liter oplossing met een soortelijk gewicht van 1,17. Deze getallen gelden bij benadering voor B-electroliet. Voor A-electroliet zijn de getallen iets anders.

Indien cellen met electroliet moeten worden bijgevuld, moet het soortelijk gewicht dus minimum 1,17 en maximum 1,19 zijn. Bij vernieuwing van de vloeistof moet electroliet met een soortelijk gewicht van 1,17 à 1,19 gebruikt worden. Bevond zich in de cellen B 20 electroliet, dan hervullen met B 5; door A vervangen.

Daar de electroliet een bijtende vloeistof is, drage men ter bescherming van ogen en handen bij aanmaken van de oplossing of bijvullen van de cellen bij voorkeur bril en rubber handschoenen. Om aantasting van de huid door electroliet tegen te gaan, gebruike men ter neutralisatie een 3% boorzuoroplossing. Een dergelijke oplossing dient daarom steeds bij de hand te worden gehouden op die plaatsen waar met electroliet gewerkt wordt.

Opmerking: Het is ook mogelijk aangeemaakt elektroliet te kopen!

### Vernieuwing van electroliet.

In het algemeen moet de electroliet in NIFE cellen pas na jaren vernieuwd worden. De tijd, gedurende welke de electroliet in de cellen gebruikt kan worden, is echter zeer afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden van de batterij en indien men de electroliet in de cellen langer dan 3 jaar zou willen gebruiken, moet een monster, genomen uit de verschillende cellen van de batterij, voor onderzoek aan ons opgezonden worden. Het batterij-nummer en celtype, die op de batterij zijn gestempeld, dienen daarbij vermeld te worden. Zo mogelijk geve men bovendien op, wanneer de cellen het laatst van nieuw electroliet werden voorzien. Onze garantievoorwaarden blijven slechts geldig, indien electroliet gebruikt wordt, die door ons werd geleverd of goedgekeurd. Deze electroliet wordt door ons geleverd in vaste vorm, of in oplossingen gereed voor gebruik.

Alvorens men de cellen van nieuwe electroliet voorziet, wordt de batterij met de normale ontladstroom ontladen tot de celspanning juist even beneden 0,8 Volt gedaald is.

Daarna neemt men 2 of 3 cellen tegelijk uit de batterij en verwijdert hieruit de oude electroliet. Dan laat men de cellen op de opening naar beneden gekeerd gedurende 1/4 uur uitlekken (niet langer, daar de elektroden niet te lange tijd aan de inwerking van de lucht blootgesteld mogen worden).

Nu worden de cellen met nieuw electroliet van het vereiste soortelijk gewicht gevuld, die men vooraf heeft klaar gemaakt, zoals hiervoor aangegeven. Daarbij moet ervoor gezorgd worden, dat de juiste vloeistofstand weer wordt bereikt.

Nadat de electroliet in alle cellen vernieuwd is, worden de cellen weer gemonteerd, zoals op blz. 9 is beschreven, waarna de batterij gedurende 14 uur geladen wordt met de normale stroomsterkte (dus 2,8 C).

Na de lading wordt het soortelijk gewicht van de electroliet nogmaals gecontroleerd en zonodig gecorrigeerd tot de voorgeschreven waarde van maximum 1,19 en minimum 1,17.

Sinterplaat types: 1,26, resp. 1,24.

### Opslaan van batterijen

De cellen moeten tot op de voorgeschreven hoogte worden gevuld met electroliet. Men ontladst daarna tot op 0,6 à 0,8 Volt. Sluit daarna de celopeningen goed af met houten proppen.

Bij cellen voorzien van gummiringen om de ventilatieopeningen, of bij cellen met massieve schroefstoppen is het voldoende de schroefdoppen goed aan te draaien.

Het geheel wordt nu uit de troggen genomen, waarna cellen, isolatoren, verbindingen en houtwerk goed schoongemaakt en alle ongeverfde delen goed ingevet worden met olie. Daarna plaatst men de cellen weer in de troggen. Deze behandeling is natuurlijk niet nodig voor nieuw geleverde batterijen. Indien plastic celhuizen worden geleverd, mogen deze niet worden ingevet.

De cellen moeten niet worden opgesteld in ruimten, die aan grote temperatuurverandering onderhevig zijn. Voorts ook niet in ruimten waar een hoge temperatuur, bv. boven 45° C kan voorkomen. Eenmaal per 2 jaar worden de cellen, nadat de houten proppen of massieve schroefdoppen zijn verwijderd, wederom geheel geladen en daarna weer ontladen. Men controleert dan tevens de stand en het soortelijk gewicht van de electroliet. Zo nodig wordt bijgevuld met gedestilleerd water of electroliet tot de juiste hoogte en soortelijk gewicht bereikt is. Bij cellen die in opslag zijn, doet het er natuurlijk weinig toe of de vloeistofstand hoger is dan de juiste stand voor batterijen, die in bedrijf zijn. De vloeistof moet de platen altijd bedekken.

Indien de cellen langer dan 3 jaar opgeslagen zijn geweest, moet de electroliet eerst vernieuwd worden, zoals omschreven, alvorens men de batterij weer in gebruik neemt. Indien men de batterijen na opslag weer in bedrijf neemt, moeten zij eerst dubbel geladen worden (dus 2,8 C).

### Verzending van batterijen.

Cellen die getransporteerd moeten worden, dienen bij voorkeur met electroliet gevuld te zijn. De stalen ventielkleppen worden dan geopend en de cel-

openingen goed gesloten met de houten proppen, die niet eerder dan 24 uur na de lading ingezet mogen worden. Cellen met schroefstoppen kunnen eveneens met electroliet gevuld verzonden worden. Cellen voorzien van schroefstoppen met gummiringen om de ventilatieopeningen, kunnen desnoods eveneens gevuld verzonden worden. Men moet echt de nodige voorzorgen nemen, daar de gummiringen, vooral na lang gebruik, niet absoluut vloeistofdicht afsluiten.

Indien het noodzakelijk is de cellen ongevuld te verzenden, moeten zij geheel ontladen zijn en hermetisch worden afgesloten, zoals boven aangegeven. Na aankomst op de plaats van bestemming moeten de cellen zo spoedig mogelijk met electroliet gevuld en gedurende 14 uur met normale stroom geladen worden.

#### Gereedschappen en reservedelen

De gereedschapskist moet onderstaande gereedschappen en reservedelen bevatten:

- 1 pipet compleet
- 1 areometer
- 1 à 5 ebonieten ophangisolatoren (voor stalen cellen)
- 5 of 10 poolboutmoeren
- 1 à 3 doorverbindingen
- 1 à 2 kabelschoenen
- 1 pijpsleutel

Daar voor alle celtypen niet altijd dezelfde gereedschappen en onderdelen gebruikt kunnen worden, vermeldt men zekerheidshalve bij nabestelling ook het celtype.

#### Algemene voorschriften

De batterij moet worden opgesteld in een geventileerde ruimte.

De batterij moet niet worden opgesteld in stookplaatsen of in ruimten waar zich chloor-, zwavelzuur-, zoutzuur- of andere zuurdampen ontwikkelen kunnen. De batterij ondervindt geen schade van lage temperaturen.

De cellen ontwikkelen geen schadelijke gassen, zodat zij zonder bezwaar in de nabijheid van machines en instrumenten opgesteld kunnen worden.

Men houde de batterij goed schoon.

Vet allen ongeverfde delen in met zuurvrije vaseline.

Plastic celhuizen niet invetten, metalen delen oliën.

Men controleert zo nu en dan, of alle moeren van de celverbindingen goed vastzitten, zodat geen lossen contacten ontstaan.

Men zorgte ervoor, dat alle kabels goed geïsoleerd zijn en geen metalen delen raken.

Bij cellen met conische celverbindingen controleert men van tijd tot tijd, of deze celverbindingen niet warm worden. Indien dit het geval is, moet de verbinding schoon gemaakt worden en zo nodig gerepareerd of vervangen worden. Geen open vuur, brandende sigaren e.d. in de nabijheid van batterijen, die onder lading staan of waarvan de lading enige uren geleden beëindigd werd!

Gebruik bij het inspecteren van het inwendige van de cel nimmer een brandende lucifer!

De electroliet is een bijtende vloeistof. Men houde daarom altijd een 3% boorzuuroplossing bij de hand ter neutralisatie van de electroliet, die eventueel op huid of op kleren gespat is.

#### Ampère-uren meters

Het is vaak wenselijk - en in bepaalde gevallen zelfs noodzakelijk - om in één oogopslag de ladings/ontladingstoestand van een batterij te weten.

Op een AH-meter kan men direct aflezen hoeveel Amp.-uren de batterij ter beschikking heeft.

Ter voorkoming van te diepe ontladingen is de AH-meter eveneens bijzonder geschikt.

N.B. Het instrument houdt automatisch rekening met de AH-rendementsfactor tijdens het inladen.

Een AH-meter kan bovendien nog gebruikt worden voor nevenfuncties, b.v. alarmering en/of automatische uitschakeling van de laadgelijkrichter zodra de batterij volledig geladen is.

Vooraf ook op elektrische transportmiddelen - locomotieven, vorkheftrucks, trekkers, etc. - is een AH-meter een nuttig, zo niet onmisbaar instrument o.m. ter verlenging van de levensduur van de batterij.

## Algemeen

Vul Uw Nikkel-Cadmium accu uitsluitend bij met GEDESTILLEERD WATER.

Het electroliet van een Nikkel-Cadmium accu is een LOOG. Vermijd de aanwezigheid van ZWAVELZUUR in de omgeving van de accu.

### BIJVULLEN MET ZWAVELZUUR VERWOEST UW ACCU!

Houdt Uw accu schoon en droog. U voorkomt hierdoor ernstige kruipstromen en corrosie.

Kom niet met open vuur bij de accu en gebruik alleen geïsoleerd gereedschap. Eén vonk kan voldoende zijn om het aanwezige knalgas te laten exploderen. Zorg voor een goede natuurlijke ventilatie.

Loog is een bijtende stof. Voorkom contact met de huid. Indien dit toch gebeurt, dan afwassen met veel water. Voor transport dienen de vulopeningen afgedicht te worden door rubber transport doppen.

## ONDERHOUD EN TIPS

Accu droog en schoon houden. Electroliet niveau op peil houden met gedestilleerd water.

### Ventilatie openingen

Het is aan te bevelen de ventilatie openingen van alle geventileerde cellen af en toe te controleren op verstopping door potas-carbonaat. Als er sporen aangetroffen worden dan kan dit verwijderd worden door het ventiel te wassen in warm water (120-150 gr farenheit). Schoongemaakt en gedroogd kan het ventiel weer gemonteerd worden.

### Temperatuur

Temperaturen boven 45°C en onder -20°C moeten zoveel mogelijk vermeden worden daar deze de capaciteit van de accu nadelig beïnvloeden.

### Noot:

De ervaring met Chloride cellen is dat de belangrijkste oorzaak voor verlies van capaciteit is ongelijke ontlading (o.a. door lekstromen) van de cellen. Dit is door reconditioneren te herstellen (ca. 1 keer per jaar). Goed doorladen is ook belangrijk omdat hiermee een ongelijke ladingstoestand wordt teniet gedaan. De laadinrichting moet een voldoende hoge klemspanning hebben (ca. 32 V voor 20 cellen). Een mogelijkheid om met lagere spanning te laden is het gebruik van 18 à 19 cellen voor een 24 V batterij waardoor de laadspanning 29 à 30.5 V wordt. Voor 19 à 20 cellen moet de laadauto-maat hoger worden ingesteld dan bij loodaccu's.

## TESTMETHODEN

### Testen op elektrisch verliezen

Bron: General Electric en geldt voor stalen bakken.

Geventileerde cellen zijn zo gemonteerd dat alle cellen geïsoleerd zijn van elkaar. Af en toe komt het voor dat er haarscheuren optreden in de celwanden zodat electroliet kan weglekken naar de metalen behuizing. In dit geval zal er een lekstroom gaan lopen.

De enige goede methode om dit te constateren is tijdens de druppellading van 1 Ma per Ah. Een lekkage zal een negatief gevolg hebben op de ladings-toestand van de cel.

De lekstroom kan worden gemeten door de stroom te meten tussen de negatieve pool en de celwand en de positieve pool en de celwand met een ampèremeter. Als er nogal veel stroom wordt gemeten dan wil het nog wel eens helpen de cel goed schoon te maken. Herhaal daarna de meting. Als na het schoonmaken een hogere stroom gemeten wordt dan 1 Ma dan is de celwand gescheurd en kan er electroliet uittreden. Een defecte cel kan ook gevonden worden door de celspanning te meten ten opzichte van de behuizing. Een cel met een gescheurde celwand zal vervangen moeten worden.

### Capaciteitsbepaling

Hiervoor dienen de geventileerde accu's in 2 uur tijd ontladen te worden tot een spanning van 1 volt. De belastingsweerstand hiervoor is afhankelijk van het vermogen van de accu. Een 10 Ah accu moet dan met een stroom van 5 ampère ontladen worden. Noteer van elke accu de tijd. Elke accu die sneller leeg is dan 84 minuten moet gereconditioneerd worden. Soms moet dit enkele keren herhaald worden. Is de ontladings-tijd na 3 keer minder dan 84 minuten dan de accu maar vervangen.

### RECONDITIONEREN van open cellen

#### Waarom reconditioneren

De capaciteit van nikkelcadmium-accu's neemt nauwelijks af met het ouder worden. Het is mogelijk dat er een tijdelijke vermindering van de capaciteit optreedt tijdens het gebruik. Het verminderen van de capaciteit duidt op een onbelans tussen de cellen. Dit kan ontstaan door temperatuursverschillen, laadinefficiëntie, zelfontlading enz. De reconditionering is bedoeld de oorspronkelijke capaciteit te herstellen en vroegtijdige beschadiging of falen te voorkomen.

#### Frequentie van reconditioneren

Het aantal bedrijfsuren is de eerste criteria voor de interval tussen het reconditioneren. Het hangt verder af van:

- \* Accu temperatuur
- \* Laadstroom
- \* De mate van overlading
- \* Dalen van de capaciteit
- \* Ontlaadstroom
- \* Verbruik aan water in het electroliet
- \* Schoonhouden van de accu

Door het aantal variabelen is de herhalingsfrequentie moeilijk te voorspellen. In de luchtvaart hoeft het electroliet pas gecontroleerd te worden na 50 vlieguren. Blijken de condities nor-

maal te zijn dan kan dit verlengd worden naar 100 uur. De juiste interval kan experimenteel bepaald worden. Voor speciale toepassingen is het beter met een vertegenwoordiger van de acculeverancier te overleggen.

### Reconditionerings procedure

- 1 Ontlaad de accu met een stroom die overeenkomt met een 1 uurs ontlading. Stop met ontladen van de cellen waarvan de spanning onder de 0.5 Volt komt. De cel losmaken en het ontladen herstellen door het gebruik van schakelstrips of draden met klemmen aan elke kant. De ontladingsprocedure kan 16 tot 24 uur duren. Dus neem er de tijd voor!
- 2 Verwijder de schakelstrips en geef de accu's een 24 uurs lading met een stroom zoals in de onderstaande tabel is aangegeven. Na 5 minuten laden de spanning meten van elke cel. Mocht de celspanning groter zijn dan 1.50 Volt dan gedestilleerd water toevoegen. De behoefte aan water is circa 1 cc per Ampère-uur. Dus een 40 Ah cel zal ca. 40 cc. water nodig hebben.

Capaciteit in	(AH)				
13.5	25	40	45	57	
Reconditioneringsstroom ( A)	1.1	2.2	3.2	3.4	4.3

- 3 Meet na 10 minuten laden de celspanning opnieuw. Vervang alle cellen waarvan de spanning onder de 1.20 Volt of boven de 1.55 Volt ligt.
- 4 Na 20 uur laden meet dan de celspanning op en noteer dit. Mocht het nodig zijn dan het electroliet niveau aanvullen met gedestilleerd water tot ca 3 a 6 mm boven de platen. Haal onder geen enkele voorwaarde electroliet uit de cel.
- 5 Meet en noteer de celspanning na 24 uur lading en vergelijk de waardes met die van de 20 uur. Is de celspanning meer dan 0.04 Volt lager dan de 20 uurs notatie of is de celspanning lager dan 1.50 Volt dan de cel vervangen.  
Na het uitschakelen van de laadstroom de temperatuur meten. Is de electroliet-temperatuur meer dan 15

graden Celcius boven de omgevings-temperatuur dan moet ook de cel vervangen worden.

#### Vernieuwen elektrolyet.

Voor batterijen in bufferbedrijf ± 10 jaar. Voor batterijen in gecycleerd bedrijf eerder. Raadpleeg hiervoor de documentatie van de leverancier. Batterijen die niet door de test zijn gekomen kunnen wel eens opknappen door het elektrolyet te verwijderen, te spoelen met gedestilleerd water en van nieuw elektrolyet te voorzien. Daarna volledig doorladen en evt. opnieuw testen.

#### VENTILATIE VAN EEN BATTERIJRUIMTE:

In VDE 0510 staat het juiste voorschrift.

- a. De batterijruimte moet continu worden geventileerd. Daartoe moet in een der wanden een laag bij de grond gelegen luchtinlaatopening worden aangebracht met een dagmaat van 510 x 510 mm. In deze opening wordt een van buiten af verwisselbaar stoffilter aangebracht van een naar omstandigheden te bepalen type. Dit stoffilter is zodanig ingericht dat door gedeeltelijke afdekking de luchtsnelheid door het filter aangepast kan worden aan het maximale filterrendement. Aan de entreezijde is dit filter voorzien van een rooster met jaloezieën.
- b. De "afgewerkte" lucht wordt door een opening in of vlak onder het plafond door een ventilator afgezogen.
- c. De capaciteit van het ventilatiesysteem moet berekend zijn op een luchtverplaatsing van 6 m<sup>3</sup> per uur en per m<sup>2</sup> vloeroppervlak met een minimum van 500 m<sup>3</sup> per uur.
- d. De ventilator en het gehele ventilatiesysteem moet zuurvast zijn uitgevoerd; de ventilatormotor moet geheel gesloten zijn.
- e. De schakelaar (eventueel motorbeveiligingsschakelaar) moet buiten de batterijruimte zijn aangebracht, tezamen met een controle-inrichting (bv. een signaal-

lampje) op het ingeschakeld zijn van de ventilator.

- f. De ventilator moet geaard zijn.
- g. De bekabeling wordt uitgevoerd in VMVK.

Aangezien de gehele ventilatie van accu-ruimten door de ontwikkelingen in de accubouw min of meer discutabel is en de normen hier en daar ongelijk zijn, is het bovenstaande nog een bruikbaar voorschrift.

Aanrakingsgevaar boven 65 V. Zie VDE 0510 9.5. Laders moeten galvanisch gescheiden zijn van het net (VDE 0510 9.6).

Buisjesplaataccu's zijn door hun prijs bij steeds minder fabrikanten verkrijgbaar, want de meeste klanten kopen wegens het prijsverschil accu's met roosterplaten waar de actieve massa is ingesmeerd. Van deze soort accu's is de levensduur inmiddels verbeterd, zodat ook voor tractiedoeleinden een redelijke gebruikstijd mogelijk is. De buisjesplaat-accu's, eertijds eigenlijk voor tractiedoeleinden ontworpen, verdrijven door hun lange levensduur op hun beurt de nog duurdere Planté-cellen.

Hoe groter de cel, hoe kleiner de inwendige weerstand, maar vooral bij loodzwavelzuuraccu's neemt de inwendige weerstand van de accu toe met het aantal cellen door de weerstand in de verbindingen tussen de cellen. Het vermogen om stootstromen te leveren loopt daardoor terug met het aantal cellen.

Het kiezen van een grotere nikkelcadmiumaccu dan nodig is geeft levensduurverlenging. Dit gaat niet op voor de loodzwavelzuuraccu.

Voor bedrijfsdoeleinden is het kiezen van andere accu-soorten dan nikkelcadmium of loodzwavelzuur (b.v. zilver/zink) onnodig.

Loodaccu met gesmeerde platen, op zich al geen beste keus, een bufferspanning geven van 2,20 - 2,25 Volt per cel. Elke 2 tot 3 jaar is een egaliseerlading nodig. Een egaliseerlading doet echter actieve massa uit de platen val-



len en werkt daardoor in principe levensduur verkortend.

Bij dure accu's geeft het registreren van het s.g. van het electroliet een inzicht in de mate van sulfateren. Wel moet elke meting voor de registratie steeds onder dezelfde condities van lading en temperatuur geschieden om waarde te hebben.

De kans op storing bij een accu neemt recht evenredig toe met het aantal cellen.

Ter bescherming tegen fouten bij elke grotere accu een plaatje aanbrengen met daarop accusoort, capaciteit, laadstroom en laadkarakteristiek.

Nooit accubijvulwater ter plaatse bewaren.

Denk behalve aan uit het beton ontsnappende bedervende chemicaliën ook aan bedervende stoffen uit drogende verven. Zie VDE 0510 8.

Het grootste deel van het verschil in spanning tussen laden en ontladen wordt veroorzaakt door polarisatie- spanningen. Polarisation is altijd tegengesteld gericht aan de oorzaak van zijn ontstaan. Het wegvallen van de polarisation veroorzaakt een tegenstroom die net zolang duurt tot alle gassen die bij de polarisation zijn ontstaan weer gebonden zijn. Dit verschijnsel heet deperditie. De hoogte van de polarisationsspanningen hangt enigermate af van de grootte van de laadstroom.

Merkwaardigerwijs wordt er in alle voorschriften weinig de nadruk gelegd op de vernietigende werking van een kortsluiting bij accu's. Door de lage inwendige weerstand gaan er stromen lopen die evenzeer voor schade en letsel kunnen zorgen als sluitingen in netvoedingen. Duidelijk merken van stroomrails, isoleren hiervan al is het maar met een dikke laag epoxyverf, het beschermen van accu's tegen erop vallende metalen voorwerpen doet veel schade en ellende voorkomen. Denk ondanks de vaak lage spanningen hier niet te licht over! Overigens kunnen bij kortsluitingen ook verbindingen in en buiten de cellen wegbranden.

Inrichten van batterijruimten volgens VDE 0510 8.

Bij geen enkele accu ooit afgetapte spanningen gebruiken. Zelfs een klein signaallampje gebruikt al meer dan de druppellaadstroom. Aldus raakt een deel van de batterij ontladen ten opzichte van de rest van de cellen.

Het gebruiken van momentsleutels bij de montage van de doorverbindingen bij accubatterijen is broodnodig. De klem van veel accudefecten wordt bij het aanschroeven van doorverbindingen en poolschoenen al gelegd.

Het gebruik van een eigen waterontharder moet sterk worden ontraden. Ten eerste haalt deze nooit alle ionen, o.a. die van de metalen, uit het water. Ten tweede wordt zo'n ontharder nooit op tijd geregenereerd.

#### NOODSTROOMVOORZIENINGEN

Een noodstroomvoorziening dient om aangesloten apparatuur te laten werken ook als de normale voedende spanning is weggefallen. Deze voedende spanning kan alle waarden van gelijkspanning of wisselspanning hebben, waaraan de noodstroomvoorziening zich moet aanpassen. Een statische noodstroomvoorziening is uit de volgende onderdelen opgebouwd:

- \* De gelijkrichter, die als taak heeft de aangesloten apparatuur te voeden en tegelijk de accu bij te laden als deze is leeg geraakt door gebruik, ofwel de bufferspanning te leveren zolang als de accu volgeladen is.
- \* de accubatterij, die de stroombron is als de normale voedende spanning is weggefallen.
- \* de omvormer, die uit de accuspanning indien gewenst de enkelfase of driefase wisselspanning maakt.
- \* de bypass tussen het net en de uitgangszijde van de omvormer indien gewenst en mogelijk.

De gelijkrichter heeft tot taak de omvormer te voeden en de accubatterij te laden. Meestal past men geregelde gelijkrichters toe, waarbij de uitgangsspanning met een tolerantie van + en - 1% constant wordt gehouden bij belas-

tingsvariaties van 0 tot 100% en netspanningsvariaties van + en - 10%. Bij het wegvallen van de netspanning wordt de omvormer, indien aanwezig, vanuit de accubatterij gevoed en levert dan de nodige vervangende netspanning; gelijkstroomgebruikers worden direct uit de accubatterij gevoed. Er zijn ook systemen waarbij de omvormer altijd de aangesloten apparatuur voedt om netvervuiling hieruit weg te houden.

Na terugkeer van de netspanning schakelt de gelijkrichter automatisch weer in, waarbij de spanning bij de beste systemen geleidelijk wordt opgeregeld zodat plotselinge belastingsstoten worden voorkomen. Tevens wordt bij sommige systemen automatisch op een hogere spanning overgegaan om de accubatterij sneller weer volgeladen te krijgen. Bij het bereiken van de juiste klemspanning van de accubatterij wordt dan weer teruggeschakeld naar de bufferspanning. Bij systemen die deze voorziening niet hebben, moet rekening worden gehouden met langere herlaadtijden van de accubatterij na een gebruik, terwijl ook de behandeling van de accu laadtechnisch gezien niet optimaal is. De beste laadkarakteristiek is de IU-karakteristiek. Omdat de gelijkrichter met thyristoren werkt, kan deze zelf een bron van netvervuiling zijn. Let bij de aanschaf op de maatregelen hiertegen.

De accubatterij levert de benodigde energie, al of niet aan een omvormer, als de netspanning is weggefallen. De batterij moet aan de volgende eisen voldoen:

voldoende capaciteit hebben om gedurende de gewenste overbruggingstijd de aangesloten gebruikers te voeden,

- \* lange levensduur hebben,
- \* weinig onderhoud vragen,
- \* de laagste prijs hebben ten opzichte van het gebruiksdoel,
- \* aangepast zijn aan het gebruiksdoel,
- \* aangepast zijn aan de gewenste herlaadtijd.

De omvormer vormt de gelijkspanning om in een wisselspanning die tenminste de kwaliteit van de netspanning moet hebben, voor bepaalde doeleinden zelfs met minder netvervuiling.

De bypassschakeling schakelt de gebruikers automatisch over op voeding uit het net zodra de daartoe van tevoren vastgestelde waarden zijn bereikt.

Er zijn twee soorten in aanmerking komende accutypen, de loodzwavelzuuraccu en de nikkelcadmium-accu. In een goed bedrijf moeten de relatief dure nikkelcadmium-accu's alleen worden toegepast daar waar kortstondige zware stroomstoten zijn te leveren en daar waar herlaadtijden van minder dan 6 uur worden gevraagd.

Voor het kiezen van de juiste noodstroomvoorziening is het noodzakelijk om allereerst vast te stellen of een noodstroomvoorziening wel echt nodig is. Statistisch valt de stroomvoorziening over 2,5 jaar totaal 1 uur en 50 minuten uit met eens in de 7 jaar een storing van meer dan 30 minuten (cijfers PZEM). Men dient deze cijfers echter met voorzichtigheid te bekijken. Op een goed bedrijf is om veiligheidsredenen het gebruik van nulspanningsschakelaars verplicht. Dat wil zeggen dat na zelfs een kortstondige spanningsstoring de schakelaars bewust gereset moeten worden door een elektromonteur die beoordeelen kan of dit zonder gevaar kan geschieden, omdat deze schakelaars niet zelfherstellend zijn. Men moet er rekening mee houden dat deze elektromonteur wel eens via een consignatiedienst opgeroepen moet worden. Een tijd van 2 uur stroomonderbreking is dan niet denkbeeldig.

Is het antwoord echter bevestigend, dan dient men alle beïnvloedende factoren te kennen en hun mate van invloed te weten of vast te stellen. De factoren die de keuze van de noodstroomvoorziening beïnvloeden zijn:

- a. De overbruggingstijd gedurende welke de aangesloten apparatuur moet blijven werken bij het wegvallen van de hoofdvoeding,
- b. Tot hoever moet de noodstroomvoorziening zich uitstrekken, dus welke apparatuur moet er in ieder geval gevoed worden.
- c. Het opgenomen vermogen van de in nood te voeden apparatuur.
- d. Is het gebruik van een omvormer te vermijden door het direct voeden met

gelijkstroom i.p.v. eerst omzetten van de accuspanning in wisselspanning en dan weer gelijkrichten binnen in de aangesloten apparatuur.

- e. Binnen hoeveel tijd dient de noodvoeding aanwezig te zijn.
- f. Is het stroomverdeelnet gescheiden in delen die wel en geen noodstroom moeten ontvangen door automatisch werkende schakelaars? Of is er voorzien in een apart noodstroomverdeelnet?
- g. Is naar de normen NEN 3134 en 1010 hoofdstukken 35 en 36, rubriek 563 lid 1 gekeken?
- h. Zullen er continuegebruikers op de noodstroomvoorziening worden aangesloten?
- i. Is de noodstroomvoorziening ook bedoeld om de stroomvorm te verbeteren of piekspanningen uit te filteren?
- j. Is bij de keuze van de toe te passen omvormer rekening gehouden met het kunnen laten doorslaan van de zekeringen die de gebruikers beschermen?
- k. Zijn er andere noodstroomvoorzieningsmogelijkheden in overweging genomen als dieselgeneratoren, persluchturbines enz.?
- l. Is er een rendementsverbetering te vinden bij de noodstroomgebruikers?
- m. Moet de uitgangsspanning van de noodstroomvoorziening gestabiliseerd zijn?
- n. Is er bij constant uit de omvormer (engels: inverter, Duits: Wechselrichter) te voeden apparatuur ter verhoging van de betrouwbaarheid toch een bij omvormerstoringen in te schakelen bypass naar het net nodig?
- o. Binnen hoeveel tijd moet de noodstroomvoorziening weer bedrijfsge-reed zijn na een ontlading?

Ad a: De overbruggingstijd, de tijd dat er noodstroom geleverd moet kunnen worden, bepaalt natuurlijk in verregaande mate de grootte en de soort van de noodstroomvoorziening. Aangezien de kosten bijna kwadratisch stijgen met de grootte van de noodstroomvoorziening, vooral als er statische omvormers, vooral als er 3-fase statische omvormers worden toegepast, is het zaak om de grootte van de overbruggingstijd kritisch te be-zien.

Bedenk dat iedere toekomstige gebruiker de neiging heeft om de zaken zo zwart mogelijk voor te stellen.

Ad b: Omdat ook het aantal aangesloten gebruikers op de noodstroom installatie bepaalt hoe groot deze zal zijn, moet men hier zeer kritisch op zijn. Vaak worden uit een overbodige voorzichtigheid zaken voor de noodstroomvoorziening aangemeld die bij een nadere beschouwing hier best buiten kunnen. Omgekeerd kan het door psychologische oorzaken nodig zijn zaken van noodstroom te voorzien waarvoor een echt technische reden ontbreekt.

Ad c: Het is zaak het opgenomen vermogen van de op noodstroom aan te sluiten apparatuur kritisch te bezien. Het is te gek om b.v. signaallampjes te laten branden op een omvormer-gevoede installatie. De prijs van de omvormer stijgt enorm met de grootte ervan. Het worden op deze manier dure signaallampjes.

Ad d: Vaak ziet men dat er van de gelijkspanning van de nood- accu moeizaam en duur wisselstroom wordt gemaakt door een omvormer, terwijl in de aangesloten apparatuur deze wisselspanning weer wordt gelijkgericht en gestabiliseerd. Zoek zoveel mogelijk naar manieren van direct voeden met gelijkstroom, maar onderschat niet de moeilijkheden met de spanningsvallen in de voedingtoevoeren. Spreid desnoods de opstelling van de accu's, wat echter alleen kan bij onderhoudsvrije loodzwavelzuuraccu's, niet de beste oplossing, of met nikkel-cadmium-accu's, omdat met deze twee accutypen er geen ventilatieproblemen zijn.

Ad e: Onderbrekingsvrije noodstroomvoorzieningen zijn altijd duurder dan voorzieningen die met een korte onderbreking overschakelen op het leveren van noodstroom. Verlichting kan b.v. best even onderbroken worden, maar er zijn b.v. ook computers die door hun grote afvlakcondensatoren een behoorlijk lange stroomonderbreking kunnen verwerken. Het is de moeite waard om dit na te kijken.

Ad f: Vaak sluit men teveel apparatuur aan op de noodstroominstallatie omdat

alles vanuit 1 net wordt gevoed en het teveel moeite is om aparte noodstroomtoevoeren aan te leggen. De noodstroomvoorziening wordt hierdoor veel groter dan nodig is, wat een dure zaak kan zijn.

Ad g: Volg alle NEN-normen.

Ad h: Het is wijs om het aantal continu-gebruikers die op de noodstroomvoorziening moeten worden aangesloten tot het uiterste te beperken. Te leveren stroom uit b.v. een omvormer is dure stroom.

Ad i: Vaak wordt een noodstroomvoorziening meer gekozen voor het verbeteren van de stroomvorm en het weghouden van netvervuiling uit daarvoor gevoelige apparatuur dan voor het functioneren van deze apparatuur in noodgevallen. Het is van belang om na te gaan of de te kiezen noodstroomvoorziening ook deze neventaak moet vervullen, want het heeft grote consequenties voor de prijs.

Ad j: Bij een noodstroomvoorziening waarop continu-gebruikers zijn aangesloten, is het zekeren van deze gebruikers altijd een moeilijk punt. De omvormer moet namelijk in staat zijn om in noodgevallen de stroom te kunnen leveren om de zekeringen te kunnen laten doorslaan, wat kortstondig een 5 tot 8- maal hogere stroom vraagt dan de maximaal door de omvormer te leveren stroom. Het is van belang het zekeren zo fijn mogelijk onder te verdelen, want des te lager ligt de te leveren kortsluitstroom in noodgevallen. Als hier niet op wordt gelet, is de vroegtijdige dood van de dure omvormer al ingeprogrammeerd. Let er echter op dat iedere zekering een weerstand is. Vooral zekeringen die al bijeen kleine stroom doorslaan hebben een hoge weerstand. Eigenlijk zijn zekeringen in een laagspanningsinstallatie zeer vervelend.

Ad k: Aangezien grote accu-installaties zeer duur zijn, verdient het aanbeveling om ook te kijken naar andere vormen van noodstroomleverantie in de vorm van roterende apparatuur. Bedenk dat er oplossingen zijn als persluchtturbines

met borstelloze scheepsgenerator, waarbij gebruik wordt gemaakt van de gigantische energie-inhoud van het bedrijfsperslucht netwerk. Ook de aloude dieselmotor moet niet worden vergeten. Misschien is voor apparatuur van en voor andere doeleinden ook al een voorziening voor noodstroom in de buurt, waar de eigen noodstroomvoorziening van afgetapt kan worden.

Ad l: Tot het uiterste moet worden gezocht naar een zo gering mogelijke stroomopname door de op de noodstroomvoorziening aangesloten apparatuur. Vaak zijn er met eenvoudige middelen en gezond verstand enorme besparingen te bereiken op de aanschafkosten van de noodstroomvoorziening. Ga niet meteen akkoord met elke opgaaf van opgenomen stroom, maar bekijk kritisch waarom deze opgaaf die grootte heeft. Bedenk dat van veel apparatuur de stroomvoorziening in delen is te scheiden. Van een procescomputer behoeft bij een door een stroomstoring stilstaande fabriek alleen maar het geheugendeel bij te blijven. Alle andere functies kunnen afgeschakeld worden. Zo zijn er nog veel meer voorbeelden te bedenken.

Ad m: Ook het aanschaffen van een omvormer met gestabiliseerde uitgang om er vervolgens apparatuur op aan te sluiten met een ingebouwde stabilisator is geld verspillen.

Ad n: Apparatuur die constant uit een noodstroomvoorziening wordt gevoed uit het oogpunt van weghouden van netvervuiling uit deze apparatuur, kan om de kwetsbaarheid bij omvormerstoringen te verminderen in zo'n geval direct op het net worden aangesloten door een automatisch werkende schakelaar, de z.g. bypass. Het heeft nadelen, maar men kan altijd nog beter slechter werkende apparatuur hebben dan niet-werkende apparatuur.

Ad o: De tijd waarbinnen de noodstroom weer beschikbaar moet zijn na een gebruik om de volgende situatie het hoofd te kunnen bieden, bepaalt verregaand de grootte van de lader en het soort accu. Moet de hersteltijd korter dan 6 uur zijn, dan kan een loodzwavelzuur-accu eigenlijk al niet meer worden gebruikt.

Daarnaast bij het uitzoeken van een noodstroominstallatie ook kijken naar:

1. Spanningstoleranties,
2. Frekwentietoleranties,
3. Vervormingsfactor van de uitgangsspanning,
4. Symmetrie van de fasespanningen bij een 3-fase uitgang.
5. Het vermogen van de eventueel toe te passen omvormer om aan gebruikers die de sinusvorm van de uitgangsspanning aantasten toch een sinusvorm te blijven leveren.
6. Bij gebruik van een omvormer het rendement.

Sinds kort bestaat het IEC-voorschrift IEC 146/4 "Method of specifying the performance and test requirements of UPS systems".

UPS betekent Uninterruptable Power System, wat is: Ononderbreekbare Stroom Voorziening, dus noodstroomvoorziening.

Er bestaat een algemeen regeltje dat zegt dat accu's worden toegepast in noodstroominstallaties tussen 20 Ah en 150 kVA. Daarboven worden roterende machines toegepast, b.v. dieselgeneratoren, daaronder gasdichte loodzwavelzuur- of nikkelcadmium-accu's. Onder "accu's" wordt dan verstaan de buisjesplaataccu, de Plantéaccu's, de rasterplaataccu's en alle typen niet gasdichte nikkelcadmium-accu's. Een ander verhaal over grote noodstroomsystemen zegt dat boven een backup-tijd (de stroomlevertijd van de noodstroomvoorziening) van 10 tot 30 minuten er roterende omvormers moeten worden toegepast.

Redundantie is het spreiden van het risico van uitvallen door het toepassen van meerdere componenten.

Het hoogst haalbare rendement van statische omvormers is 90%. Bij deellast is het rendement vaak erg slecht, tussen 25% en 75%.

Vooraf bij kortsluitvaste omvormers is vaak het kunnen leveren van een juiste sinusvorm van de uitgangsspanning niet best.

Vooraf bij het leveren van lichte belastingen is het handhaven van de sinusvorm van de uitgangsspanning een moeilijke zaak.

Kortsluitvaste omvormers hebben vaak moeite met de eis tot het laten doorslaan van de zekeringen van de aangesloten gebruikers als dit nodig is wegens defecten in deze aangesloten apparatuur.

Dit is een belangrijke eis om te vervullen, want de meeste omvormerdefecten worden veroorzaakt door sluitingen in de aangesloten apparatuur. Bij een installatie met een bypass naar het net kan deze bypass automatisch worden ingeschakeld om in tijden van overbelasting de gewenste hogere stroom te leveren.

Bij het leveren van een gelijkstroom direct uit de nood-accu is het grote verschil tussen de klemspanning onder lading en de klemspanning zonder lading een groot nadeel, vooral bij nikkelcadmium-accu's. Allereerst moet worden vastgesteld binnen welke spanningsgrenzen de aangesloten apparatuur kan werken. Dan moeten de middelen worden vastgesteld waarmee de klemspanningsveranderingen van de accu binnen de gewenste grenzen kunnen worden gehouden. Dit kan zijn:

- a. laadspanning te laag houden, voor loodzwavelzuuraccu's een slechte methode, voor nikkelcadmiumaccu's mogelijk, ondanks dat misschien af en toe een vereveningslading moet worden gegeven.
- b. het toepassen van spanningsvaldioden.
- c. de tegencellenteknik.
- d. de stam- en toevoegcellentechniek.

Ad a: Tussen de klemspanning van een accu in ontladen toestand en gedurende de snellading bestaat een groot verschil. Wordt b.v. een loodbatterij bij netuitval tot 1,8 V/cel ontladen en bij de terugkeer van de netspanning versneld opgeladen met 2,4 V/cel, dan bestaan er spanningsverschillen van + 20% en - 10% t.o.v. de nominale celspanning van 2,0 V/cel. De gebruiker die parallel op de accu is aangesloten, ondervindt dezelfde spanningsverschillen. Veel gebruikers stellen echter hogere

eisen aan het constant zijn van de voedingsspanning, zodat er maatregelen getroffen moeten worden om de klemspanning voor de gebruiker binnen de gevraagde toleranties te houden. Het middel van laaghouden van de laadspanning is er een van, maar zeker niet de beste. Ten eerste is de hersteltijd van de accu nadat hij is leeggetrokken hierdoor lang, zodat bij een eventueel binnen korte tijd weer optredende storing de accu niet genoeg energie-inhoud heeft, ten tweede verkorten lage laadspanningen de levensduur van de accu, ten derde worden er laadspanningsverschillen geïntroduceerd tussen de cellen van de accu onderling die niet goed meer vereffend worden en als laatste wordt de accu maar voor een deel van zijn mogelijke capaciteit opgeladen. Mocht men toch naar het middel van lage laadspanningen grijpen, dan is de nikkelcadmium-accu nog de beste keus gezien uit het oogpunt van levensduur. Het toepassen van een nageschakelde gelijkspanningsstabilisator is natuurlijk mogelijk. Dit brengt echter 2 nadelen mee. Ten eerste vraagt een stabilisator een fors hogere ingangsspanning dan zijn uitgangsspanning zal zijn, wat een duurdere accu met meer cellen noodzakelijk maakt, ten tweede zijn er niet veel stabilisatoren te koop die rechtstreeks op gelijkspanning zijn aan te sluiten. Daarbij heeft ook een stabilisator geen rendement van 100 %.

Ad b: Het toepassen van spanningsvaldiodes met daaraan parallel een middel om deze elektrisch te overbruggen, hetzij een halfgeleider, hetzij een relaiscontact, is een van de beste middelen. Tijdens het laden ontvangt de gebruiker zijn voeding via een of meerdere diodes, die door hun drempelspanning de ongewenste verhoging van de klemspanning van de accu tijdens het laden wegwerken. Tijdens bufferladen of ontladen worden deze diodes overbrugd, waardoor zij geen spanningsval meer veroorzaken en de volle accuspanning ter beschikking staat.

Ad c: De tegencellenteknik begint min of meer achterhaald te raken. Tegencellen zijn een soort accucellen met slechts enkele platen, die tegengesteld zijn geschakeld aan de accubatterij. De

ontlaadstroom doorloopt deze tegencellen, die daardoor een tegenspanning gaan opwekken die tegengesteld is gericht aan de accuspanning. In wezen is de werking gelijk aan die van de halfgeleiderdioden en worden ook zij overbrugd tijdens ontladen. Aangezien de tegencellen hetzelfde onderhoud vragen als de eigenlijke accu, lijkt de toepassing heden ten dage niet erg zinvol meer.

Ad d: Vooral voor de hogere accuklemspanningen als 110 V en 220 V wordt de stam- en toevoegcellentechniek nog gebruikt. Deze techniek komt erop neer dat de accubatterij wordt verdeeld in cellen waar continu de gebruiker op parallel geschakeld staat, de stamcellen, en een rest van cellen, de toevoegcellen, die pas op de gebruiker wordt geschakeld zodra de accu de noodstroom moet leveren. Beide groepen cellen worden door aparte laders op peil gehouden, waarbij de lader van de toevoegcellen lichter van uitvoering kan zijn omdat deze nooit naast de laadstroom de voeding van de gebruikers hoeft te leveren. De verdeling van de accubatterij in stam- en toevoegcellen gebeurt meestal in een verhouding van 10 : 1. De omschakeling van normaal op noodbedrijf gebeurt stootvrij door het toepassen van een diode, die wel in staat moet zijn om kortstondig de belastingstroom te verdragen. Na de terugkeer van de netspanning worden beide accudelen weer apart opgeladen. De stamcellen en de toevoegcellen zijn volkomen gelijk aan elkaar.

Rekenvoorbeeld: stel dat een noodaccubatterij voor 220 V uit 110 cellen bestaat. Deze batterij wordt verdeeld in 100 stamcellen en 10 toevoegcellen. Tijdens normaal bedrijf ziet de gebruiker de bufferspanning van de 100 stamcellen, is  $100 \times 2,23 \text{ V} = 223 \text{ V}$ . Op het moment van belasten worden de 10 toevoegcellen bijgeschakeld. De gebruiker ziet dan een klemspanning van  $110 \times 2 \text{ V} = 220 \text{ V}$ . Het is zelfs mogelijk om de accubatterij in drieën te verdelen in 85% stamcellen, 10% toevoegcellen en nog eens 5% aparte toevoegcellen die niet meedoen tijdens het versneld volladen van een leeggeraakte accubatterij met 2,4 V/cel of bij een nikkelcadmium-accu met 1,65 V/cel. De daarvoor gevoe-

lige gebruiker wordt onder deze omstandigheden gespaard voor de hoge klemspanning en ziet alleen de  $95 \times 2,4 \text{ V} = 228 \text{ V}$ . De situaties die voor kunnen komen zijn dus:

- A. Snelladen:  
spanning over de stamcellen  $95 \times 2,4 \text{ V} = 228 \text{ V}$  naar de gebruiker de 10 en 5 toevoegcellen worden apart opgeladen
- B. Bufferladen:  
spanning over de 95 stamcellen plus 5 toevoegcellen tijdens bufferladen  $= (95 + 5) \times 2,23 \text{ V} = 223 \text{ V}$  naar de gebruiker
- C. Noodstroom leveren:  
de klemspanning zakt onder belasting zonder laden tot circa  $2 \text{ V/cel}$ . De spanning wordt  $(95 + 5 + 10) \times 2 \text{ V} = 110 \times 2 = \text{circa } 220 \text{ V}$   
Eenzelfde som is te maken met nikkelcadmiumaccu's met de spanningen van 1,65, 1,47 en  $1,2 \text{ V/cel}$ .

Het bepalen uit hoeveel cellen een accubatterij voor een noodstroominstallatie moet bestaan is geen gemakkelijke zaak. Op de navolgende vragen moet het antwoord dan al bekend zijn:

1. de gewenste overbruggingstijd,
2. de gewenste duur van het herladen,
3. welke beperkingen zijn er door soort en opstelling van de accubatterij,
4. staan er gebruikers parallel op de batterij en wat is hun spanningstolerantie,
5. is er een aparte batterijruimte beschikbaar,
6. zijn er eisen te vervullen op het gebied van de rimpel op de laadstroom,
7. de maximale laadspanning,
8. tot hoe laag de spanning bij ontladen mag dalen, voordat men toe is aan het bepalen van het aantal cellen van de batterij en de capaciteit hiervan. Laten wij eerst echter vertellen dat het kiezen van de juiste accu voor een deel altijd gis- en raadwerk zal blijven. In ieder geval volgen uit de bovenstaande eisen de gegevens: de benodigde nominale klemspanning, de hoogste spanning tijdens laden, de spanning tot waar

wordt ontladen, de grootte van de ontladestroom gedurende welke tijd. De grootte van een batterij berekenen voor een wisselende belasting is specialistenwerk, waarbij o.a. de methode van Hoxie kan worden gebruikt voor het bepalen van de capaciteit.

Voor de eenvoudiger gevallen stellen wij vast wat het aantal cellen moet zijn, uitgaande van de nominale klemspanning van  $2,0 \text{ V}$  voor de loodzwavelzuuraccu en  $1,2 \text{ V}$  voor de nikkelcadmiumaccu. Voor  $24 \text{ VDC}$ -bedrijf komt het aantal cellen uit op resp. 12 en 20 stuks. De minimumspanning voor de gebruikers mag volgens de gegevens niet lager dalen dan met 15%, wat een minimumspanning oplevert van  $20,4 \text{ V}$ . De einde-ontlaadspanning per cel wordt dan resp.  $20,4 : 12 = 1,7 \text{ V/cel}$  of  $20,4 : 20 = 1,02 \text{ V/cel}$ . Uit de te leveren stroom maal de tijd weten wij het aantal benodigde ampère-uren. Wij zoeken nu in de tabellen van de leveranciers naar de accu die tot de gewenste ontladspanning per cel de gezochte capaciteit heeft. Uit het aantal cellen maal de laadspanning vloeit de klemspanning onder lading voort. Deze zal b.v. bij de loodzwavelzuuraccu zijn  $2,4 \text{ V} \times 12 = 28,8 \text{ V}$ . Bij de nikkelcadmiumaccu wordt deze  $1,50 \times 20 = 30 \text{ V}$ . De gebruikers moeten dit kunnen weerstaan. Zo niet, dan kan men bij nikkelcadmiumaccu's nog een cel minder kiezen. Hierdoor komt wel de einde-ontlaadspanning per cel hoger te liggen, waardoor men weer een grotere accu moet kiezen om aan de gewenste capaciteit te komen. Dit heet het "oversizen" van een batterij. De spanningen worden dan:

nominale klemspanning  $19 \times 1,2 = 22,8 \text{ V}$

einde ontladspanning blijft  $20,8 \text{ V}$   
 $= 20,8 : 19 = 1,09 \text{ V/cel}$

spanning onder lading  $19 \times 1,5 = 28,5 \text{ V}$

Aangezien men bij een nikkelcadmiumaccu met minder gevolgen voor de levensduur de hoogte van de laadspanning kan aanpassen, is in het laatste cijfer nog enige verbetering te brengen. Bedenk echter dat dit en allerlei andere niet genoemde factoren invloed hebben op de

capaciteit die uiteindelijk uit de accu komt en die daardoor bepaald niet meer overeenstemt met de opgegeven capaciteit.

Aangezien er geen algemene regel bestaat voor het precies uitrekenen van het aantal cellen voor elke applicatie, is het uitrekenen van een batterij voor extreme toepassingen en wisselende belastingen specialistenwerk, dat aan de leverancier moet worden overgelaten en die er ook verantwoordelijk voor moet worden gesteld.

## LADERS

Een lader dient om een accubatterij te vullen met stroom, opdat hiervan op een later tijdstip een nuttig gebruik kan worden gemaakt. Laders zijn er voor allerlei doeleinden, zoals voor het volladen van tractiebatterijen, van de accubatterijen van noodstroomsystemen tot aan de generatoren die de lading van de accu's in rijdende voertuigen geladen houden. Aan een en dezelfde voorwaarde moeten alle ladertypen voldoen, en dat is dat zij precies de behoeften op het gebied van spanning en stroom van de aangesloten accu vervullen. Daarnaast komt vaak nog de stroomvoorziening van parallel op de accu aangesloten apparatuur, zoals is beschreven bij de noodstroomsystemen.

Definities:

- Volgeladen: Een accu is volgeladen als de chemische omzetting is afgesloten. Bij loodzwavelzuuraccu's verandert de dichtheid van het zuur niet meer en de klemspanning onder lading wordt niet meer hoger. Bij nikkelcadmiumaccu's is de chemische omzetting dan ook voltooid en stijgt de klemspanning ook niet meer. De dichtheid van het kaliloog wordt niet beïnvloed.

-Overlading: Doorgaan met laden met een te hoge stroom na het passeren van de gasgrens of doorgaan met laden na het voltooiën van de chemische omzetting.

-Bufferladen: Het bufferladen gebeurt door een kleine laadstroom, die de zelfontlading van de accu compenseert en zodoende de accu gereed houdt voor

het leveren van de gewenste stromen. De laadspanning moet voor nikkelcadmium-accu's tussen 1,38 V/cel en 1,40 V/cel liggen. Bij loodzwavelzuuraccu's moet de laadspanning liggen tussen 2,20 en 2,25 V/cel. De juiste laadspanning is o.a. een compromis tussen het voorkomen van stratificatie van het zuur en te hoog waterverbruik door gasontwikkeling.

- Snelladen = Kan meerdere begrippen omvatten, maar het is het meest gebruikelijk om deze term te gebruiken voor het versneld volladen van accu's door het toepassen van een boven de gasgrens liggende laadspanning. Zodra het gas inzet, wordt deze laadspanning verlaagd van b.v. 2,40 V/cel tot 2,23 V/cel bij loodzwavelzuur-accu's en van 1,55 V/cel tot 1,40 V/cel bij nikkelcadmium-accu's.

Definities worden gegeven in VDE 0510, laadkarakteristieken in DIN 41772 en 41773.

De lader moet zo groot worden gekozen dat binnen de mogelijkheden van de aangesloten accu deze op de tijd dat er een stroomlevering wordt gevraagd hiervoor volledig gereed is. Let hiervoor sterk op de gewenste snellaadspanning, die over het algemeen tussen 2,33 en 2,40 V/cel ligt. De snellaadspanning mag niet hoger worden gekozen dan de accufabrikant aangeeft. Lager kiezen dan is geoorloofd geeft een grote en onnodige verlenging van de herlaadtijd. Daarnaast moet op het volgende worden gelet:

a. Welke netspanning en stroom is vorhanden. Is deze enkelfase of driefase? De grens om over te gaan van enkelfase op driefase-voeding ligt bij ongeveer 1,8 kW.

b. Aarding in orde, apart gezeekerde voeding mogelijk?

c. Laadstroomkabels naar de accu goed berekend en alle maatregelen genomen om de spanningsvallen zo klein mogelijk te houden?

d. Vallende spanningsafwijkingen onder belasting binnen de toleranties?

e. Is de lader buiten de eventuele accu-ruimte te houden?

f. Valt de rimpel op de spanning of stroom binnen de grenzen? Vooral lood-



zwavelzuuraccu's hebben een hekel aan rimpelstroom. Daarnaast moet men scherp op de rimpelspanning, dus het wisselstroomaandeel, van de laadstroom letten in het geval dat er accu's parallel zijn geplaatst om aan de gewenste capaciteit te komen. Bij het parallel laden van accu's verdeelt het wisselstroomaandeel van de laadstroom zich in omgekeerde verhouding van de inwendige weerstand over de accu's. Een volgeladen accu wordt door de lader gezien als een accu met een hoge inwendige weerstand. Dat heeft tot gevolg dat de bijna volgeladen cellen van de batterij, die daardoor nog maar een kleine gelijkstroom opnemen, met een bijna zuivere wisselstroom worden belast (DIN 41773). Uiteraard een slechte zaak. Het resulteert in een temperatuursverhoging van het electroliet. Erger is dat de wisselstroomcomponent bij Plantécellen, maar ook wel bij andere accutypen, een speciale vorm van corrosie van de platen veroorzaakt. Bij Plantéplaten in de vorm van putten of plekken, bij andere accutypen in de vorm van holten in de doorvoeringen van de aansluitingen. Dit laatste heet ook wel "poolcorrosie".

Overigens moet behalve alwegens de problemen met de wisselstroomrimpels het parallel zetten van accu's nog om een andere reden zoveel mogelijk worden vermeden. Bij een defecte cel in de ene accu, wordt de andere accu tot dezelfde klemspanning ontladen, wat deze doet sulfateren. Daarbij komt dat de geleverde (laad)stroom uit de goede accu naar de slechte accu toe zo groot is, want deze wordt nergens door begrensd, dat het misschien geringe defect in de accucel met de lage spanning in principe wordt verergerd.

Een tweede reden is dat de lader, die geconfronteerd wordt met een lage klemspanning, een grote laadstroom gaat leveren. De reeds volgeladen cellen van de accu met de defecte cel worden hierdoor sterk overladen en staan binnen korte tijd droog. Omdat de goede accu wel een potentiaal wil aannemen, gaat hierdoor vrijwel niets van de laadstroom en blijft deze op een klemspanning die zo laag is dat sulfateren optreedt. Als de eerst defect geraakte accu droog staat, wordt ook de goede

accu meegesleept naar een klemspanning van nul, wat fataal is.

Het rekensommetje dat twee kleinere accu's parallel goedkoper zijn dan een enkele grote, gaat in de praktijk niet op. Daarbij komt dat van grote accu's minder celstoringen zijn te verwachten.

g. Moet er op slechte of agressieve omstandigheden op de opstellingsplaats worden gerekend?

h. Zijn er bewakingsmiddelen gewenst?

i. Is er sprake van een hogere omgevingstemperatuur?

j. Komt de installatie op een slecht bereikbare plaats te staan? Kan de zaak door luiken of deuren wel de gewenste plaats bereiken en zijn daarvoor transportmiddelen?

k. Zitten de aansluitingen op de juiste plaats en kan de kasthoogte ter plaatse wel gebruikt worden?

l. Is de koelluchttoevoer wel verzekerd?

De benodigde koelluchttoevoer kan worden berekend met:

$$Q = \frac{P_v \times 860}{I_t \times C_p}$$

waarin

$P_v$  = de elektrische verliezen in kW  
 $I_t$  = de temperatuursverhoging van de toegevoerde koellucht  
 $C_p$  = 0,3 kcal/m<sup>3</sup> per graad Celsius (spec. warmte van lucht)

Bij zeer hoge laadstromen ontstaat er bij een lege accu en daardoor lage klemspanning onder lading al gasontwikkeling hier en daar op de platen. Alle gasontwikkeling is energie verspillen. Elke toegevoerde ampère-uur die uitsluitend wordt gebruikt voor het ontladen van water, zet 0,336 gram water per cel om in knalgas. Het is mogelijk om zo'n zware laadstroom toe te voeren dat het electroliet uit de cel stroomt, het beruchte "overkoken" van de accu's. Dit overstromen ontstaat omdat het peil van het electroliet omhoog wordt gedreven door het volume van de gasbellen in het electroliet.

Laden van accu's kan gebeuren volgens allerlei grafieken, waarin spanning en stroom gekenmerkt zijn met de letters I

en U en de accu ingaande ampère-uren met W. De I betekent "constante stroom", de U "constante spanning". Bij een genormaliseerde IU-karakteristiek betekent de I een constante stroom in het eerste deel van de lading tot de gasgrens, de U de constante bufferspanning voor het volhouden van de accu. Er wordt door de lader dus eerst een constante stroom en dan een constante spanning geleverd. De overgang tussen beide gebieden kan geschieden door een tijdschakeling of door spanningsdetectie. Een relatief hoge laadstroom kan in het gebied onder de gasgrens geen kwaad. Het voordeel van deze laadmethode is dat er redelijk snel weer een bruikbare lading in de accu zit. Goedkopere laders werken vaak volgens de W- of WOW-karakteristiek. De grootte van de laadstroom wordt bij deze laders bepaald door de hoogte van de klemspanning van de accu onder lading, wat gemakkelijker is. De laadstroom neemt gestadig af met het stijgen van de klemspanning.

De "0" in WOW betekent "omschakelen".

Omdat het volladen van een accu met een lader met W-karakteristiek tamelijk lang duurt, heeft men WOW-laders, die beginnen met een W-karakteristiek met hogere stroom, maar die na een vastgestelde tijd, door met de hand om te schakelen of bij een klemspanning van 2,4 V/cel overgaan op een W-karakteristiek met een lagere laadstroom. Allerlei combinaties van W-, U- en I-karakteristieken voor laders zijn mogelijk. De keus wordt bepaald door het gebruiksdoel en de prijs.

Voorbeelden van laadkarakteristieken en laadmanieren volgens DIN 41772:

I = Constante-stroom grafiek

U = Constante-spanningsgrafiek

W = Afvallende stroomgrafiek bij stijgende klemspanning

a = Automatisch uitschakelen aan het einde van de lading

0 = Automatisch omschakelen binnen de laadtijd naar een andere karakteristiek ofwel grafiek

IU = Constante stroom/spanningsgrafiek

WOWa = Twee op elkaar volgende afvallende grafieken met automatische omschakeling en automatische uitschakeling aan het eind van de lading

(I) = Gestabiliseerde constante-stroom grafiek

(U) = Gestabiliseerde constante-spanningsgrafiek

S = Stijgende grafiek

Voor diverse accutypen gebruikelijke laadmethoden:

Soort accu	Laadgrafiek bij langere laadtijd	Gem. laadtijd	korte laadtijd
Loodzwavelzuur starterbatterij	W, I, IU	W, I	
Nikkelcadmiumaccu	W, Wa, WO	Iu	
Loodzwavelzuorroosterplaat-, buisjesplaat- of stationaire buisjesplaat-accu's	IU	Wa, IUW	WOWa, IUIa
Planthé-accu's	IU, Wa, IUW	WOWa, IUIa	
Gasdichte loodzwavelzuur accu's	Voorschrift van de fabrikant	Voorschrift van de fabrikant	Voorschrift van de fabrikant

Constate spanningsladen van in serie geschakelde ongelijk leeg zijnde cellen kan verkeerd aflopen. De nog volle cellen krijgen een te hoge spanning te verwerken, want de lader kijkt alleen naar de totaalspanning.

Tractiebatterijen moeten vaak in een vaste tijd, b.v. 's nachts, hun volle lading herkrijgen. De hiervoor gebruikte W-laders zijn zelden gestabiliseerd voor netspanningsafwijkingen. Het gevolg is dat de laadtijd hierdoor beïnvloed kan zijn.

Tractiebatterijen zijn de enige soort loodzwavelzuuraccu's die om 100% doorgeladen te worden kortdurend tot een klemspanning van 2.65 V/cel worden opgeladen.

Toelaatbare waarden voor de laadstroom na het bereiken van de gasspanning bij diverse accusoorten:

Soort accu	Imax in A per 100AH	Imax in A per 100AH	Imax in A per 100AH	Imax in A per 100AH
Roosterplaat en buisjesplaat accu's	1	2a	2b	3
Accu's voor voertuigen	5	8	4	2
Stationaire Planthé accu	10	14	7	3
Stationaire buisjesplaat accu's	8.5	12	6	3
Starterbatterijen	5	7	3.5	2
Laadmethoden:	1	2a	2b	3

Laadmethode 1 = Laden met constante stroom en afschakelen als de accu vol is (Ia-karakteristiek)

Laadmethode 2 = Laden met afvallende stroom en afschakelen als de accu vol is (Wa-karakteristiek)

2a : met een toelaatbare stroom bij 2,4 V/cel

2b : met een toelaatbare afsluitende laadstroom bij 2,65 V/cel

Laadmethode 3 = Toelaatbare laadstroom zonder afschakelen tot een laadduur van 3 dagen

#### BEHANDELEN VAN ACCU'S UIT DRAAGBARE APPARATUUR.

##### 1. Eigenschappen

Een loodzwavelzuur-accu is geschikt voor lichte laad- en ontlaad-stromen. Daarbij blijft de klemspanning tussen redelijke waarden. Een groot nadeel is het sulfateren. Het bederf is in een loodzwavelzuur-accu ingebouwd. Zodra de accu leeg begint te raken, zet dit proces in, waardoor de capaciteit van de accu verloren gaat. Daarom direct na elk gebruik onmiddellijk laden. Accu's die in opslag staan altijd aan-

gesloten laten op de lader. Door de lekstroom is de accu anders binnen 3 maanden leeg.

Loodzwavelzuur-accu's hebben de langste levensduur als er steeds een druppellaadstroompje van micro-amperes doorheen loopt met de bijbehorende klemspanning van 2,23 Volt per cel.

Een nikkelcadmium-accu vindt zware laad- en ontlaadstromen heerlijk. In toepassingen waar geringe stroompjes moeten worden geleverd is hij niet op

zijn plaats. Laden met zware stromen is in principe ideaal, maar zodra hiermee het punt wordt bereikt dat de accu vol is, wordt de gasdruk in de accu te hoog en wordt deze opgeblazen.

Laden met een constante stroom is een goed alternatief. De klemspanningen bij diverse omstandigheden variëren meer dan bij loodzwavelzuur-accu's, wat een nadeel kan zijn. Opslaan in welke ladingstoestand dan ook geeft geen levensduurverkortening. Wel kan het voorkomen dat lang opgeslagen accu's tot leven moeten komen door een paar maal laden en fors ontladen. De lekstroom is gering.

## 2. Herkennen

De toegepaste accu's kunnen loodzwavelzuur-accu's of nikkelcadmium-accu's zijn.

Bij loodzwavelzuur-accu's is de klemspanning van een enkele cel gemiddeld 2 Volt. De totale klemspanning van deze accusoort is steeds een veelvoud van 2, b.v. 6 V, 12 V enz.

Bij nikkelcadmium-accu's is de klemspanning van een enkele cel gemiddeld 1,2 Volt. De totale klemspanning van deze accusoort is steeds een veelvoud van 1,2, dus b.v. 3,6 V, 4,8 V, 7,2 V enz.

## 3. Celspanningen

\* Bij een loodzwavelzuur-accu:  
Gemiddeld: 2 Volt per cel.

Leeg: 1,8 V/cel (spanning meten met een lichte belasting)

Gasgrens, tevens de druppellaadspanning: 2,23 V/cel.

Vol: 2,30 tot 2,35 V/cel.  
Ongelimiteerd doorladen (is slecht): 2,7 V/cel.

Sulfateren: begint ernstig bij 1,9 V/cel en lager.

Ompolen: is fataal.

\* Bij een nikkelcadmium-accu:  
Gemiddeld: 1,2 Volt per cel.

Leeg: 0,0 V/cel (praktische waarde 0,8 V/cel) Gasgrens: 1,47 V/cel.

Vol: 1,65 V/cel (indien bereikt met 0,1 C-laden geen schade, bij zwaardere laadstromen kans op opblazen.

Ompolen: is zonder schade te herstellen door langdurige lading.

## 4. Laden

Het laden kan het beste gebeuren met de meegeleverde lader. Is deze niet aanwezig, dan is een instelbare gelijkrichter ook goed.

\* Voor een loodzwavelzuur-accu:

- a. de spanningsbegrenzing instellen op: aantal cellen x 2,30 Volt.
- b. de stroombegrenzing instellen op 20% van de capaciteit, dus b.v. bij 4 Ah op 800 mA.

De accu is vol als er geen laadstroom meer loopt.

\* Voor een nikkelcadmium-accu:

- a. de spanningsbegrenzing instellen op niet lager dan 1,5 x de klemspanning van de accu.
- b. de stroombegrenzing instellen op 10% van de capaciteit (0,1C - laden), dus b.v. bij een 2 Ah-accu op 200 mA.

De accu is vol na 16 uur laden. De laadstroom neemt daarbij niet af, maar dat hoeft ook niet. Het laden mag nog maandenlang worden voortgezet.

## 5. Ontladen

\* een loodzwavelzuur-accu ontladen met matige stromen tot 50% van de capaciteit (b.v. bij 12 Ah 6A). Stoppen bij minimaal 1,8 V/cel onder belasting gemeten. Onmiddellijk weer opladen.

\* de nikkelcadmium-accu. Ontladen kan met enorme stromen binnen seconden tot 0 Volt. De celtemperatuur is de enige beperking. Deze moet in de kern van de cel niet boven 60 graden Celsius komen.

## 6. Laders

Het is altijd van belang om de meegeleverde laders te controleren.

\* Lader voor loodzwavelzuur-accu's:

- a. slaat deze wel af bij 2,30 tot 2,35 V/cel.
- b. levert deze wel een druppellaadstroompje met een klemspanning van precies 2,23 V/cel ofwel hervat de lader de lading bij 2,23 V/cel tot weer 2,30 of 2,35 V/cel is bereikt.
- c. klopt de laadstroom (maximaal 40% van de capaciteit).

\* Lader voor nikkelcadmium-accu's:

- a. levert deze wel minimaal de laadstroom van 10% van de capaciteit. Cellen die hun warmte goed kwijt kunnen en daardoor in de eindfase een lagere gasdruk ontwikkelen, mogen met een hogere stroom worden geladen. Binnen zekere grenzen is meer altijd beter en geeft een kortere laadduur.
- b. druppellaadstromen zijn funest voor de accu.

Door de grote variatie van de klemspanning moet er gelet worden op eventuele aangesloten gebruikers. Dit kan het nodig maken dat de lader moet afslaan bij 1,55 V/cel.

## 7. Capaciteit testen

Dit kan alleen door het meten van de geleverde stroom gedurende een tijdsduur. Ontlaad daarbij de loodzwavelzuur-accu met een stroom ter grootte van ongeveer 40% van zijn capaciteit

(bij 6 Ah dus ongeveer 2,4 A), de nikkelcadmium-accu in een uur met een stroom gelijk aan de capaciteit. Bij een goede accu liggen de gevonden capaciteiten bij deze stromen al iets lager dan de aangegeven capaciteit.

## 8. Diagnose

Een loodzwavelzuur-accu is defect als:

- a. de capaciteit niet wordt gehaald
- b. een spanningsdaling optreedt ter grootte van een celspanning of meer direct na het loskoppelen van de lader.
- c. de klemspanning instort bij belasting of steeds te laag is.
- d. deze elektrisch volkomen open ligt.

Een nikkelcadmium-accu is defect als:

- a. de klemspanning te laag is en blijft.
- b. de klemspanning onmiddellijk nadat de lader is aangesloten sterk stijgt. Bij belasting daalt de klemspanning dan evenveel. Een of meerdere cellen zijn dan uitgedroogd; vaak is een witte aanslag te zien.
- c. de capaciteit niet wordt gehaald. Komt weinig voor en is vaak te herstellen met zware laad- en ontlaadstromen. In het gebied onder de gasgrens (aantal cellen x 1,47 Volt) kan er zonder schade zwaar geladen worden. De celtemperatuur is hier de beperking.
- d. deze elektrisch volkomen open ligt.

## 9. Waarschuwing

\* Bovenstaande aanwijzingen gelden alleen voor de gasdichte accu's.

RECEPT VOOR HET SNEL CONTROLEREN VAN  
GASDICHTHE NIKKELCADMIUM-ACCU'S.

1. Laad de cel met een klein stroompje, b.v. 10 mA. Per cel moet een spanning worden verkregen van 1,28 V tot 1,47 V. Welke spanning er verschijnt, hangt af van de ladings-toestand.

Verschijnt er geen laadspanning, dan zijn er 2 mogelijkheden:

a.de cel heeft een inwendige kortsluiting door een dendriet.

b.de cel is verkeerd om geladen, omgepoold, geweest.

De fout a is te herstellen door de dendriet weg te branden met een zware stroom. De ontlaadstroom van de afvlak-elco's van b.v. een Delta-voeding levert deze als de Delta op 30 V wordt gezet en dan met de cel wordt verbonden. Herhaal dit zonedig een aantal malen. Herstelt de cel niet, dan is deze defect, maar het kan nog zijn dat fout b aanwezig is.

De fout b herstelt zichzelf als de laadstroom wordt toegevoerd. Bij ernstig omgepoolde cellen kan het wel een kwartier duren voordat de klemspanning terugkeert, zeker als met een niet al te grote stroom wordt geladen.

2. Zet een zware laadstroom, b.v. 3 A op de cel. De polarisatie plus de spanningsval over de inwendige weerstand zorgen voor een klemspanning tussen 1,75 en 1,85 V, bij kleine accu's tot 1,92 V. Is deze klemspanning hoger, dan is de cel uitgedroogd. De watercomponent van het electroliet is verloren gegaan door gaslek, meestal langs de dekselrand. Vaak zijn deze cellen ook te herkennen aan de witte kaliumcarbonaat-aanslag, maar niet alle cellen die dit vertonen zijn defect door uitdroging. Gedeeltelijk uitgedroogde cellen vertonen wel vaak neiging tot dendriet-sluiting. Uitgedroogde cellen zijn defect.

3. Laad nu de cel door met 0,1C, dus bij een 500 mAh-accu met 50 mA, gedu-

rende een uur of 24, zodat men er zeker van is dat de cel volkomen vol is. Met de laadstroom van 0,1 C kan nooit schade worden aangericht, maar deze herstelt ook niet het eventuele "geheugen-effect". Cellen die hiervan worden verdacht moet men gedurende een halve tot hele minuut laden met een zware stroom en dan ontladen over een zware belasting. Doe dit drie maal. Enkele cellen kunnen worden kortgesloten. De zware laadstroom is te kort van duur om bij al volgeladen cellen een te hoge gasdruk te laten ontstaan. Lang doorladen met deze stroom als de cel reeds vol is veroorzaakt afblazen van het ventiel. Dit is voor een enkel keertje niet erg, maar goed is het niet.

4. Ontlaad in omstreeks een uur de cel om de capaciteit vast te stellen. Stop bij een klem-spanning van 0,6 V. De tijd maal de stroom gedeeld door 80 maal 100 geeft ongeveer de capaciteit ( $C=t \cdot i \cdot 100$ )/80). Deze moet niet te ver van de originele capaciteit afliggen. Bij samenstellingen van meerdere cellen moet steeds gemeten worden over elke cel welke cel het eerste leeg is. Deze cel bepaalt het tijdstip van stoppen, dus de capaciteit van de samenstelling.

NIKKEL-CADMIUM BATTERIJEN  
EN KLEINE ACCU'S

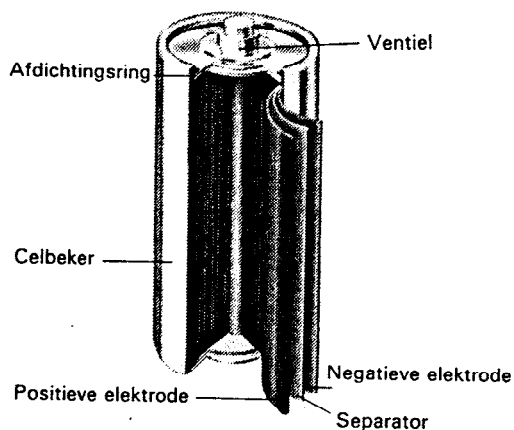
Ofschoon nikkel-cadmiumaccu's door fabrikanten en accukenners aangeprezen worden als een van de beste accusystemen die er heden ten dage te koop zijn, zijn er toch nog heel wat gebruikers die minder gelukkig zijn met deze accu's. De oorzaak hiervan ligt in de manier van gebruiken van deze accu's. Van huis uit zijn het inderdaad voortreffelijke dingen, vaak nog beter dan de fabrikant aangeeft, en dat komt niet veel voor. Hoe komt het dan dat de ene gebruiker deze accu zo goed vindt en dat de andere gebruiker er geen goed woord voor over heeft? Uiteraard beoordeelt men dan de accu's naar het aantal keren dat zij storingen veroorzaken en in sommige toepassingen kunnen dat er inderdaad veel

zijn. Men merkt in gevallen van storing altijd maar 2 fouten op: of de accu heeft zijn capaciteit verloren of de accu is volkomen dood. Aan deze twee waarneembare fouten liggen echter vele oorzaken ten grondslag, zoals:

- a. elektrolytverlies
- b. geheugenverlies
- c. inwendige kortsluitingen
- d. veroudering
- e. losgeraakte verbindingen

We hopen echter dat het navolgende verhaal de gekwelde gebruiker ondanks deze lijst van storingsoorzaken enig soelaas zal bieden en we beginnen daarom eerst met het beschrijven van de werking van dit type accu.

Een nikkel-cadmiumaccu bestaat uit een huisje, meestal cilindrisch van vorm, van roestvast staal, afgesloten met een van het huisje geïsoleerd aangebracht deksel dat tevens het huisje gasdicht afsluit. Het huisje fungeert als minpool, het deksel als pluspool. Meestal is er krimpous om de accu getrokken om kortsluitingen tussen de accu's onderling te voorkomen.



### Constructie

In dit type accu is de negatieve plaat van cadmium, fijn verdeeld opgenomen in een lap roestvrij staalgaas. Als de accu wordt ontladen wordt dit materiaal omgezet van de metallische toestand naar die van een onoplosbaar loog. De positieve plaat is van nikkel, maar dit is bij geen enkele ladingstoestand als metallisch nikkel aanwezig. Als de accu wordt ontladen wordt dit materiaal omgezet van de ene

nikkeloog in de andere, die allebei onoplosbaar zijn. Als de accu wordt geladen, worden beide reacties omgekeerd en wordt er weer metallisch cadmium gevormd. Aan dit omkeerbare proces is een elektrische spanning verbonden van 1,25 V tussen de positieve en de negatieve plaat.

Deze platen zijn samen met een separator (een matje van nylonvilt, om de platen van elkaar gescheiden te houden) tot een rol gewikkeld en in het huisjes geschoven. Het nylonvilt is gedrenkt in kaliloog, dat als elektrolyet fungeert.

### Werking

Als het laden wordt voortgezet nadat al het daarvoor in aanmerking komende materiaal in de platen is omgezet, dan zorgen de fabrikanten ervoor dat de nikkelanode het eerst is uitgeput. De zuurstofionen, afkomstig uit het cadmiumloog van de negatieve plaat, arriveren bij de nikkelanode, maar vinden geen materiaal meer om te oxyderen. De ionen vormen dan zuurstofmoleculen. Deze moleculen voegen zich samen tot gas onder druk in de vrije ruimte in de accu en gaan, door de gehele accu heen, weer in oplossing in het elektrolyt. Ze bereiken de zuurstofmoleculen ook weer de cadmiumplaat en oxyderen deze.

### Zuurstofregeneratiecyclus

Op deze manier wordt de laadstroom door de accu omgezet in transport van zuurstof, die als negatieve ionen in de ene richting en als neutrale moleculen in de andere richting stroomt. Het energieoverschot dat hierbij ontstaat wordt als warmte afgevoerd. Er is een lineair verband tussen de druk van het zuurstofgas en de snelheid waarmee de zuurstofmoleculen weer in de kaliloog terugkeren. Hoe meer er terug moeten keren binnen en bepaalde tijdseenheid, des te hogere druk is hiervoor nodig. Dit is de reden dat, zodra de nikkelanode is uitgeput, de laadstroom begrensd moet worden tot een waarde waarbij de accu in geen geval zuurstof gaat afblazen door zijn

veiligheidsventiel. De gehele cyclus die ontstaat na het uitputten van de nikkelanode heet

"zuurstofregeneratiecyclus".

Hij is buiten de accu op te merken door een vrij plotselinge stijging van de klemspanning van 1,25 V naar  $\pm 1,35$  V en het warm worden van de accu. Zolang de nikkelanode niet uitgeput is, wordt alle elektrische energie in chemische energie omgezet; de enige warmteontwikkeling die ontstaat is te wijten aan de verliezen over de inwendige weerstand volgens  $I^2R$ .

Eerder genoemd verhaal houdt dus in, en dat is door vele proeven bewezen, dat zolang de zuurstofregeneratiecyclus nog niet is begonnen, men de accu kan laden met een stroom waarbij de temperatuurstijging van de accu door het energieverlies over de inwendige weerstand nog binnen redelijke grenzen ligt, b.v. een dusdanige laadstroom dat de accutemperatuur niet boven  $45^\circ$  C komt.

Het blijkt dat een dergelijke laadstroom vele malen groter is dan de aanbevolen laadstroom die door de fabrikanten opgegeven wordt. De opgave van de fabrikanten is immers gebaseerd op het binnen de perken houden van de druk in de accu tijdens de zuurstofregeneratiecyclus onder alle omstandigheden. In de praktijk blijkt dan ook dat een laadstroom van 3 A voor een penlight-cell (formaat AA, 500 mAh, normale laadstroom 50 mA) nauwelijks enige temperatuurverhoging veroorzaakt. Zodra de zuurstofregeneratiecyclus bereikt wordt en men is er niet snel genoeg bij om deze zware laadstroom (60x de normale waarde) uit te schakelen, dan zijn de poppen aan het dansen en wordt de zuurstofdruk in de accu zo hoog dat hij gaat afblazen door zijn veiligheidsventiel.

Op het moment dat de zuurstofregeneratiecyclus begint zit er al zeker 95% van de lading in de accu; het zou voor de hand liggen bij de plotselinge klemspanningsstijging de lader af te schakelen. Deze klemspanningsstijging van 0,1 V is echter te laag om betrouwbaar te kunnen gebruiken.

Ook andere effecten kunnen met deze waarde de klemspanning beïnvloeden en de meest kwalijke daarvan is juist de klemspanningsdaling bij stijgende ac-

cute temperatuur. Desalniettemin is het, ook uit andere hoofde, zaak de door de fabrikanten opgegeven laadstroom van 0,1 x de capaciteit in mAh kritisch te bezien. Inderdaad kan daarmee de accu nooit kwaad gedaan worden, onder welke omstandigheden en welke ladingstoestand dan ook, maar of deze laadstroom onder alle omstandigheden de beste is, valt te betwijfelen. Dat sneller laden buiten de zuurstofregeneratiecyclus mogelijk is, bewijzen de fabrikanten zelf met de verhalen over toepassingen van de accu's achterin de catalogussen. In de SAFT-catalogus staat b.v. in het hoofdstuk 6 bij "laden" dat een penlight-cell van 500 mAh als hij volledig ontladen is gedurende 3 minuten met 5 A geladen mag worden, waarna de helft van de lading (250 mAh) al in de accu zit. Toch een teken dat hiermee geen schade aangericht wordt. We kunnen het nog sterker vertellen: het is zelfs erg goed voor de accu.

### Gebreken

Nu gaan wij eens aandacht besteden aan de gebreken die wij bij deze accu's kunnen aantreffen. De storing die wij bij een defecte accu zien optreden, kunnen wij een naam geven, n.l. "functieverlies", de accu doet gewoon niet meer wat hij moet doen. Achter dit woord "functieverlies" zit echter een scala van storingsmogelijkheden en bij veel daarvan hebben wij het zelf in de hand of deze zullen optreden of niet. Bovendien zijn een aantal storingen niet blijvend, zij zijn op een bepaalde manier te verhelpen, de accu is te "reconditioneren"

Allereerst zullen wij echter de blijvende defecten uit het rijtje storingsoorzaken behandelen, n.l.:

- a. elektrolyetverlies
- b. veroudering
- c. losgeraakte verbindingen

Het elektrolyetverlies kan ontstaan door:

1. lekkage
2. te heet worden tijdens het ontladen
3. te heet worden tijdens het laden, ondanks het feit dat de zuurstofre-



- 4. generatiecyclus nog niet is bereikt
- 5. te hoge stroom door de accu tijdens de zuurstofregeneratiecyclus
- 6. gasdiffusie
- 7. ompolen

#### Lekkage

De eerste oorzaak, lekkage is duidelijk. Als het kaliloog uit de accu is verdwenen door een lekkende pakking tussen deksel en huisje of door een lekkend veiligheidsventiel, kan de accu niet meer functioneren. De kaliloog kruipt capillair naar buiten. Spontaan vloeistof verliezen kan nooit, zelfs niet tijdens afblazen van de accu met het veiligheidsventiel naar beneden gericht, want alle vloeistof is in de separator opgenomen. Accu's met elektrolytverlies zijn te herkennen aan de witte kristallen die neergeslagen zijn op de kop van de accu. Het is het gevolg van een fabriekfout; de pakkingring tussen deksel en huisje is niet goed aangebracht of het veiligheidsventiel deugt niet. De accu is reddeloos verloren.

#### Te heet worden tijdens het ontladen

Bij oorzaak 2, het te heet worden tijdens het ontladen, is de watercomponent van het elektrolyt als stoom afgeblazen door het veiligheidsventiel. Een dergelijke hitte kan zich ontwikkelen door kortsluitstromen, vooral bij serieschakelingen van meer van deze accu's. B.v. een volledig met een dik stuk koperdraad kortgesloten 7-Ah accu levert 20 à 25 A, terwijl de maximale toegestane continu-ontlaadstroom 35 A is. Het dubbele of driedubbele hiervan doet binnen de tijd dat de accu's leeg raken geen kwaad, natuurlijk ook afhankelijk van het feit in hoeverre de accu's hun warmte kwijt kunnen raken, maar bij serieschakelingen van meer dan 5 accu's moeten wij toch gaan uitkijken. Men zal altijd zien dat in zo'n serieschakeling altijd maar 1 of 2 accu's tot afblazen komen, die hadden zeker net een paar milli-Ohm meer inwendige weerstand dan de andere. Door het afblazen van stoom, wat met grote druk

gebeurt, blaast vaak de bodem van de accu bol, het elektrolyt droogt uit en de krimpkous rond de accu gaat aan flarden. Toch hoeft een dergelijke accu niet defect te zijn, zolang er nog maar een beetje water in het elektrolyt zit blijft hij werken, alleen heeft hij een hogere inwendige weerstand gekregen.

#### Te heet worden tijdens het laden

Bij oorzaak 3 gebeurt hetzelfde als bij oorzaak 2, maar dan door een te grote laadstroom; door de grote warmte-ontwikkeling over de inwendige weerstand wordt er stoom afgeblazen. We zullen maar aannemen dat dit een beroepselektronicus niet overkomt.

#### Het voeren van een te hoge laadstroom

Oorzaak 4, Het voeren van een te hoge laadstroom door de accu terwijl deze zich in de zuurstofregeneratiecyclus bevindt, dus al vol geladen is, komt vaker voor, want de stromen die het afblazen van zuurstofgas tot gevolg hebben zijn veel kleiner dan de stromen die nodig zijn om tijdens het laden stoom af te blazen. Als dus door het laden met te hoge stroom tijdens de zuurstofregeneratiecyclus zuurstof wordt afgeblazen, vermindert ook hierdoor de hoeveelheid water in het elektrolyt. Toch schaadt een keertje afblazen de accu niet, pas na een keer of drie merkt men een paar nadelige effecten zoals meer inwendige weerstand en een wat lagere capaciteit. Het zuurstof afblazen gebeurt het snelst tijdens het laden van koude accu's, bij lage temperatuur moet men dus uitkijken.

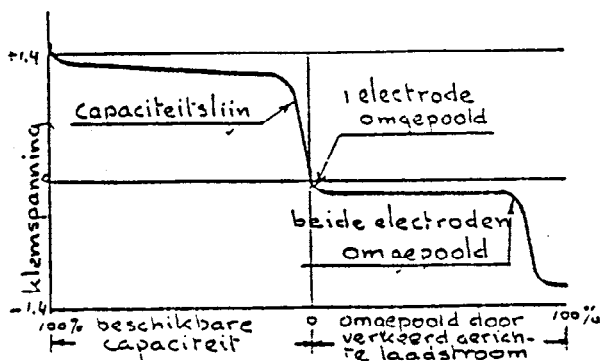
Overigens bepaalt de mate waarin de accu zijn warmte kwijt kan hoeveel stroom er kan lopen tijdens de zuurstofregeneratiecyclus. Bij een dik ingepakte accu is het niet raadzaam boven de door de fabrikant aanbevolen laadstroom te gaan tijdens deze cyclus, bij een goed gekoelde accu kan men rustig tot het vijfvoudige gaan zonder dat er iets gebeurt.

## Gasdiffusie

Bij oorzaak 5 is er ook sprake van dat de watercomponent uit het elektrolyt is verdwenen. In een gasdichte accu is altijd gasdruk aanwezig. Als hij warmer is dan zijn omgeving heerst er binnen de accu een hogere waterdampdruk dan daarbuiten. Altijd is er zuurstof onder druk aanwezig. Deze druk is het hoogst tijdens de zuurstofregeneratiecyclus. Soms is er zelfs waterstofgas onder druk aanwezig. Het mag als bekend beschouwd worden dat er geen pakking is die volledig afdicht. Het gevolg is dat er altijd waterdamp, zuurstof en soms waterstofmolecuul na molecuul langs de dekselpakking of door het veiligheidsventiel ontsnapt, bij de ene accu sneller dan bij de andere. Dit verschijnsel heet "gasdiffusie" en na een jaar of tien merken we de gevolgen van het uitdrogende elektrolyt, de accu is "verouderd".

## Ompolen

Oorzaak 6, het ompolen van de accu, kan het gevolg zijn van een aansluitfout, maar komt vaker voor bij accu's die deel uitmaken van een serieschakeling van accu's. Als in zo'n serieschakeling één accu eerder leeg is dan de andere, dan loopt de ontlaadstroom van de andere accu's in de verkeerde richting door de te vroeg ontladen accu. Het gevolg is dat er waterstofgas gaat ontstaan aan de nikkelanode. De fabrikanten brengen een beetje cadmiumhydroxyde aan in de nikkelanode als bescherming tegen ompolen, maar als ook dit omgevormd is begint de vorming van waterstofgas.



## Electric Nickel Cadmium Handbook:

"De grootte van de negatieve klemspanning van de omgepoolde accu hangt af van het feit tot hoever de ontlading doorgezet wordt. De spanning ligt meestal tussen 0 en -0.4 V, afhankelijk van welke elektrode omgepoold is. Doorgaan met de omgekeerde lading zal ook het ompolen van de andere elektrodes veroorzaken en de spanning zal verder dalen tot ongeveer -1,4 V. Elke elektrode die omgepoold is begint gas te ontwikkelen. Aan de nikkelanode ontstaat waterstofgas en aan de cadmiumelektrode ontstaat zuurstof. In een gasdichte accu zal gewoonlijk de nikkelelektrode het eerst omgepoold worden! Daarom zal er waterstof ontstaan als de klemspanning tussen 0 en -0.4 V ligt. Er vindt slechts een beperkte en langzame recombinitie van het waterstof met de zuurstof plaats. Daarom zullen er bij veelvuldig en langdurig ompolen van de accu steeds hogere waterstofdrukken ontstaan door het cumulatieve effect. Er zal uiteindelijk gas afblazen plaats vinden. Dit is de reden dat men de toepassingen moet vermijden waarbij regelmatig de accu wordt omgepoold. Dit zal leiden tot gas afblazen dat, als het vaak en uitgebreid gebeurt, eventueel de werking van de accu zal verslechteren".

Het is duidelijk, een keertje ompolen of verkeerd om laden, zelfs als de accu daarbij waterstof afblaast, doet geen kwaad. De ontstane waterstof blijft lang als gas in de accu aanwezig, het recombineert slecht met de zuurstofmoleculen. Nu gaat recombineren van moleculen sneller bij hogere temperaturen en drukken. Wanneer hadden wij ook al weer een hoge zuurstofdruk in de accu? Juist, tijdens de zuurstofregeneratiecyclus, vooral als wij met een hogere stroom laden dan 0,1 x de capaciteit. Willen wij de ontstane waterstof weer wegwerken, dan moeten wij even fors doorladen, terwijl wij daarbij de accutemperatuur in de gaten houden.

Voor "veroudering" zijn eigenlijk maar twee oorzaken verantwoordelijk, de al beschreven gasdiffusie waardoor het elektrolyt uitdroogt en als tweede het uiteenvallen van de separator. Deze

separator bestaat uit een reep nylonvilt en hij bevindt zich tussen de platen. Hij is doordrenkt met elektrolyt en fungeert tevens als afstandhouder om de positieve en de negatieve plaat uit elkaar te houden. Het is helaas zo dat het nylonvilt niet het eeuwige leven heeft, vooral temperaturen boven 60° C en veel zuurstof in de omgeving bespoedigen het uiteenvallen van de separator, wat uiteindelijk sluiting tussen de platen zal betekenen. Zoals bekend, komen de condities van hoge temperaturen en veel zuurstof voor tijdens de zuurstofregeneratiecyclus.

Nu moet men al erg fors doorladen om een accutempertuur van meer dan 60° C te halen, maar het is toch een aanwijzing dat, wil men lang plezier hebben van de accu, men niet al te vaak en ook niet al te lang stroom door de accu moet jagen als hij al volgeladen is. Overigens hoeft men bij normaal gebruik de eerste tien jaar niet te vrezen voor het uiteenvallen van de separator.

#### Losgeraakte verbindingen

De laatste blijvende storingsoorzaak betreft de losgeraakte verbindingen. Met deze losgeraakte verbindingen bedoelen we niet de eventuele externe verbindingen tussen de accu's onderling, maar de stripjes die inwendig in de accu de verbinding vormen tussen enerzijds de negatieve plaat en het huisje en anderzijds de positieve plaat met het afsluitdeksel. Sporadisch komt het voor dat de fabrikant de zaak niet goed gepuntlast heeft, maar in vrijwel alle gevallen is de accugebruiker zelf de schuldige.

Een serieschakeling van accu's is namelijk in staat een dergelijke formidabele kortsluitstroom te leveren dat deze stroom inwendig de aansluitstripjes van de platen doorsmelt.

Het klinkt ongelooflijk, maar 10 stuks 500 mAh-accu's (de penlight-cellen) leveren een kortsluitstroom van zeker 80 A. Zijn deze accu's d.m.v. externe stripjes doorverbonden, dan is de fabrikant wel zo wijs geweest deze zo

dun te maken dat deze het eerst doorsmelten. Bovendien begrenst de totaalweerstand van de externe doorverbindingstripjes de kortsluitstroom. Zitten de accu's echter kop/staart in een houder gemonteerd, dan is deze begrenzende factor weggefallen en zijn bovengenoemde waarden mogelijk. Boven 50 A is er al schade mogelijk, bij het ene fabrikaat vlugger dan bij het andere. Men kan de schade vaststellen door het feit dat de accu volkomen open ligt en geen laadstroom meer aanneemt. Het is dus zaak vooral bij serieschakelingen van accu's geen kortsluiting te veroorzaken.

#### Het verhelpen van defecten

Nu wij alle blijvende defecten van nikkel-cadmiumaccu's behandeld hebben, komen wij toe aan de defecten die te verhelpen zijn, al is het soms niet voor 100%. Nikkel-cadmiumaccu's hebben het psychologische nadeel dat zij uiterlijk sterk lijken op de normale kool/zink-batterijen, de alom bekende niet oplaadbare zaklantaarn- en radio-batterijen. Men is gewend deze zeer voorzichtig te behandelen en er zuinig stroom aan te onttrekken. Onwillekeurig behandelt men de nikkel-cadmiumaccu's ook zo en dat is nu net verkeerd, een nikkel-cadmiumaccu is op zijn best als hij hard moet werken. Al die toepassingen waarbij hij onderworpen is aan een constante druppellading, sporadisch gebruik, het leveren van kleine stroompjes en het weer laden voordat hij helemaal leeg is, zijn eigenlijk toepassingen die ongeschikt zijn voor deze soort accu's. Dat deze toch voor zulke toepassingen gebruikt worden, ligt daaraan dat er geen vergelijkbaar accusysteem qua prijs en prestatie te koop is en men de nadelen dan maar op de koop toe neemt.

Vaak kan echter de gebruiker, zeker na het onderstaande gelezen te hebben, met enig nadenken verbetering in het leven van zijn accu's brengen met als beloning een verveelvoudiging van het aantal bedrijfsjaren en geen ergernis meer over storingen aan de dure accu's. De meeste storingen aan nikkel-cadmiumaccu's worden veroorzaakt door

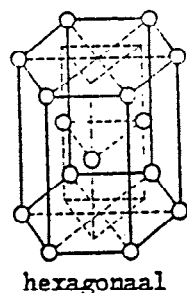
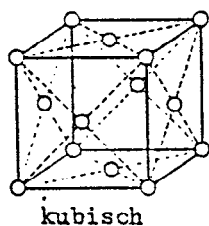
niet-permanente storingsen, dit zijn de storingsen die bij een bepaalde behandeling van de accu weer verdwijnen.

We beweren niet te veel als we zeggen dat zeker 60% van de weggeworpen accu's ten onrechte in het vuilnis is verdwenen. Zij zijn daarin verdwenen omdat zij een van de volgende 4 fouten vertoonden:

- a. schijnbaar capaciteitsverlies
- b. geheugen-effect
- c. hoog-ohmige kortsluiting en/of hoge inwendige lekstroom
- d. laag-ohmige kortsluiting

We zullen ervan afzien bovengenoemde storingsmogelijkheden punt voor punt af te werken, aangezien aan alle vier dezelfde oorzaak ten grondslag ligt, n.l. de manier van neerslaan van het metallisch cadmium.

We wisten al dat de negatieve plaat uit cadmium bestaat, opgenomen in een lap roestvrij-staalgaas. Nu is dat cadmium tijdens de fabricage als een laag metaalpoeder tussen de mazen van het gaas geplet, zodanig dat er een glad oppervlak verkregen werd. Tijdens het ontladen wordt dit metallisch cadmium omgezet in cadmium-hydroxyde, tijdens het laden vormt het cadmium-hydroxyde weer metallisch cadmium. Nu zal een beroeps-chemicus van de navolgende uitleg misschien gruwen, maar wij geloven toch dat wij er aardig mee in de buurt zitten. Het feit ligt er namelijk dat metallisch cadmium 2 verschillende kristalstructuren kent, n.l. de kubische en de hexagonale kristalstructuur.



Voor de werking van de accu is de kubische kristalstructuur beter, dit cadmium is chemisch iets actiever, het biedt meer te oxyderen oppervlakte aan en slaat gladder neer. Het probleem is echter dat het cadmium van nature liever neerslaat in de hexagonale kristalvorm. De tegenkracht om dit te verhinderen wordt gevormd door het elektrisch veld tussen de platen. Nu is dit elektrisch veld tussen de platen nooit homogeen. Uit de aard van de constructie van de accu volgt dat de afstand tussen de platen op de ene plek kleiner is dan op de andere plek. Hoe kleiner de afstand tussen de platen, hoe groter de veldsterkte. Als een geheel ontladen accu weer geladen wordt, dan wordt het metallisch cadmium het eerst teruggewonnen uit de cadmium-hydroxyde op de plaatsen met de hoogste veldsterkte, populair gesproken begint het laadproces altijd op dezelfde plaats op de platen. Gedurende het laadproces worden de plekken metallisch cadmium steeds groter tot alle cadmium-hydroxyde is omgezet en de accu volgeladen is. Het aldus gevormde cadmium heeft onder invloed van het elektrisch veld de gewenste kubische kristalstructuur gekregen.

#### Geheugenefect

Stel nu dat we nooit en te nimmer de accu geheel ontladen, maar b.v. maar tot 25%, wat in nauwkeurig beheerste laad/ontlaadsystemen is voorgekomen. Het gevolg is dat door de verschillende afstanden tussen de platen zoals boven omschreven altijd hetzelfde cadmium aan de reactie deelneemt en de andere 75% ongebruikt blijft. Ogen-schijnlijk blijft die 75% onberoerd en in de vorm aanwezig waarin ze gebracht was tijdens de eerste volle lading, maar dat is helaas niet het geval. Het mechanisme dat veroorzaakt dat het in rust gebleven cadmium geheel of gedeeltelijk de hexagonale kristalstructuur aanneemt is niet voor 100% bekend, maar is waarschijnlijk een combinatie van het neerslaan van in het electrolyet in oplossing gegane cadmiumionen op de negatieve plaat en van spontane overgang door het cadmium van de ene kristallisatievorm in de ande-

re, vooral bij hogere (opslag) temperaturen.

Nu we de kennis omtrent de verschillende kristallisatiestructuren van het cadmium bezitten, hebben wij meteen de oorzaak te pakken van 3 bekende storingen van nikkel-cadmiumaccu's. De eerste is het "geheugen-effect"; een nikkel-cadmiumaccu die nooit meer dan tot een bepaalde diepte ontladen wordt, kan ook niet meer de volle omlading leveren als daar een keer om gevraagd wordt.

In de apparatuur die gevoelig is voor de hoogte van de geleverde klemspanning is het geheugen-effect natuurlijk een hoogst hinderlijke eigenschap en een reden om de accu's te vervangen. De nieuw geplaatste accu's zullen na een tijdje hetzelfde patroon volgen en een nieuwe bron van misnoegen over de nikkel-cadmiumaccu is ontstaan.

Het aanwezig zijn van het cadmium in de hexagonale kristalvorm geeft nog meer problemen, b.v. accu's die in noodsystemen onder een constante druppellading staan, laten het afweten zodra ze in actie moeten komen, accu's die zeer lang opgeslagen zijn geweest, moeten eerst 3x geladen en ontladen worden voordat ze redelijk functioneren, wat weer twijfel oproept over hun betrouwbaarheid en er ontstaan inwendige kortsluitingen. Over al deze fouten kunnen we kort zijn, de schuld ligt bij de gebruiker. Nikkel-cadmiumaccu's moeten voordat zij weer geladen worden geheel ontladen zijn, dan kan er geen geheugen-effect optreden, en nikkel-cadmiumaccu's zijn in principe ongeschikt om te dienen als noodaccu onder druppellading. Wil men ze in deze toepassing succesvol gebruiken, dan moet men ze regelmatig ontladen en weer laden. Het gevoel van onbetrouwbaarheid dat men krijgt als men splinternieuwe accu's al min of meer tot leven moet brengen is volkomen ten onrechte, de accu zal bij een juiste behandeling zeker 10 jaar meegaan.

### Inwendige kortsluiting

Wat de inwendige kortsluitingen betreft, ook deze ontstaan alleen in te voorzichtig gebruikte accu's. De inwendige kortsluitingen kunnen wij in 2 soorten verdelen, hoog-ohmige en laag-ohmige kortsluitingen. Een hoog-ohmige kortsluiting is van buiten slechts via een omweg te constateren.

Deze soorten sluitingen worden veroorzaakt door aangroei's op de negatieve plaat van ruw neergeslagen hexagonaal gekristalliseerd cadmium die door de separator heenprikken en sluiting maken met de positieve plaat. Een hoog-ohmige kortsluiting treedt pas op tijdens het laden, zeker als dit laden met een te kleine stroom gebeurt. Begint men een lege accu met deze fout te laden, dan lijkt alles normaal te gaan. Hij krijgt de normale laadspanning van 1,25 V + de spanningsval over de inwendige weerstand. Wat men echter niet ziet, is dat op een moment tijdens het laadproces een aangroei zo groot geworden is dat hij contact maakt met de positieve plaat en zo de laadstroom kortsluit.

De accu wordt daardoor niet verder meer geladen, de laadstroom gaat door het aangroei. Een attente accugebruiker kan het opmerken door het feit dat de accu de zuurstofgeneratiecyclus niet bereikt, hij wordt niet warm en krijgt niet de bijbehorende klemspanning van 1,33 - 1,35 V. Koppelt men de lader los dan werkt de accu normaal, alleen is hij veel te vroeg leeg, de capaciteit is schijnbaar verminderd.

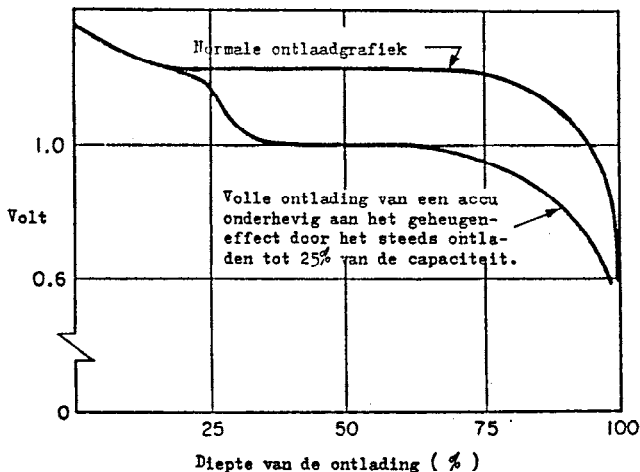
Hoe kan het nu dat de accu na het laden normaal werkt en dat men niets van de kortsluiting merkt?

Dit komt doordat zodra de lader losgekoppeld wordt de ontladestroom van de accu, die nu niet meer tegengewerkt wordt door de klemspanning van de lader, door het aangroei gaat lopen. Deze kortsluitstroom is groot genoeg om in één tel het aangroei weg te smelten.

De laag-ohmige sluiting ontstaat doordat een aangroei de separator doorboort en kortsluiting maakt als de accu ongeladen is, b.v. als door langdurige opslag de lading door de lekstroom is weggelopen. Nu is er geen

energie meer in de accu om het aangroei weg te smelten en de stroom van de lader is er niet toe in staat. De accu is volkomen dood en reageert als een stuk koperdraad.

Men moet er op rekenen dat een geladen nikkel-cadmiumaccu ongeveer in 3 maanden tijd zijn lading kwijtraakt door de inwendige lekstroom. Overweegt U om accu's aan te schaffen voor uw flitsfotografie, rekenmachine of andere apparatuur die maar af en toe gebruikt wordt, doe het niet! Het brengt alleen maar ergernis mee, men is er nooit zeker van hoeveel lading er nog in de accu's zit. De moderne alkaline-batterijen geven meer voldoening in zo'n toepassing. Ook bij apparaten die na gebruik in een houder worden gehangen waardoor de accu's automatisch weer worden opgeladen, zal men weinig plezier aan de accu's beleven. Laat het apparaat maar uit de houder tot de werking duidelijk minder wordt en hang hem dan pas in de houder. Controleer of de laadstroom dan tenminste 0,1 C is (dus 0,1 van de accucapaciteit in Ah of mAh) zodat de accu's in de normale laadtijd van 14 uur weer vol zijn.



Het volgende stuk van het verhaal wordt met een zekere schroom geschreven. De oorzaak is, dat als we alles uit de doeken doen er kans is op persoonlijk letsel. Als men een accu zonder veiligheidsventiel (komt niet veel voor) gaat behandelen op de onderstaand beschreven wijze, dan bestaat er een kans op explosies als men de te hanteren stromen toepast op een accu terwijl deze vol geladen is. Bij de

andere handelingen bestaat er kans op dat men met elektrolyt in aanraking komt. Dit elektrolyt is kaliloog (KOH), een scheikundige stof die brandwonden veroorzaakt, ogen kan beschadigen en gaten in kleding schroeit.



Laten we echter aannemen dat we met verstandige mensen te doen hebben die zich weten te beschermen tegen ongevallen, dan kunnen we ook de allerlaatste kunstjes openbaren. Deze kunstjes behelzen het weer tot een nuttig leven brengen van accu's die de niet-blijvende storingen vertonen van het lijstje in het eerste gedeelte, n.l. de accu's met schijnbare capaciteitsverlies, met het geheugen-effect en met inwendige sluitingen. U weet al dat zeker 60% van de weggegooiden accu's een van deze kwalen heeft. Het verhelpen van deze kwalen heet het "reconditioneren". Ook accu's die splinternieuw zijn, trakteren we op zo'n behandeling. Het gereedschap dat ervoor nodig is, is een stroombron die continu 3 à 5 A kan leveren, een stroombron die stroomstoten van  $\pm 50$  A kan afgeven en een stroombron (lader) die de continue laadstroom van 0,1 C kan geven.

Voor een elektrotechnicus moet het niet moeilijk zijn dit te improviseren, met een auto-accu komt men al heel ver. De stroom van 3 à 5 A maken we met behulp van een gloeidraad van een duplolamp in serie met de te behandelen accu, de stroomstoten van 50 A doen we met als begrenziingsweerstand

een stuk koperdraad (denk erom, wordt heet!) en het laden b.v. met een klein 12 V gloeilampje in serie of met een originele lader.

Maak niet de fout bij het toedienen van de zware stroomstoten het stuk koperdraad te vergeten, de stroom die dan gaat lopen, smelt inwendig de verbindingen naar de platen in de nikkel-cadmiumaccu door. Een lastrafo is eigenlijk beter, gewoon instellen op 50 A en met een vermogensdiode in serie (let op de polariteit, het pijltje - tek. - moet de accu inwijzen als de positieve pool aangetikt wordt) heeft men de juiste stroomstoten. Bovendien hebben we een voltmeter nodig met een meetbereik van 0 tot 2 of van 0 tot 3 Volt, het reconditioneren doen we namelijk met 1 accu tegelijk.

We beginnen met de normale laadstroom op de onwillige accu aan te sluiten met de voltmeter eraan parallel. Sluit de voltmeter wel direct op de accuklemmen aan, anders meet men ongewenste spanningsvallen mee. Nu zijn er drie mogelijkheden, de klemspanning stijgt langzaam naar 1,25 V + de spanningsval over de inwendige weerstand, totaal  $\pm 1,4$  V, of de accu vertoont een klemspanning van vele volts die sterk meearieert met het variëren van de laadstroom. Overigens is geduld hier een schone zaak, bij een accu die verkeerd om geladen is geweest, kan het wel een kwartier duren eer de klemspanning terugkeert.

In het eerste geval, waarin de klemspanning nul volt blijft, beginnen we met het toedienen van stroomstoten van 3 à 5 A. Komt nu de klemspanning wel op dan laden we een tijdje fors door met deze stroom en sluiten de accu om de paar minuten even kort met een dik stuk koperdraad. Dit kortsluiten moet in korte impulsen van minder dan 0,3 seconde een aantal malen met tussenpozen na elkaar gebeuren. Ophouden als de klemspanning in onbelaste toestand onder 0,8 V komt, de klemspanning tijdens het kortsluiten doet niets ter zake, en de behandeling nog een paar keer herhalen zodra de forse laadstroom weer lading in de accu gebracht heeft. Houd de accutemperatuur in de gaten, de buitenwand van de accu moet niet boven 45° C komen, dan is hij binnen in de kern tegen de 60° C, de

absolute bovengrens waarboven schade op langere termijn is te verwachten. Laad de accu nog even door met de zware stroom, maar kijk uit met deze zware stroom niet de zuurstofregeneratiecyclus binnen te gaan, de druk en de temperatuur lopen dan te hoog op. Bedenk dat een 500 mAh-accu (penlight-cell) met een laadstroom van 3 A in 10 à 15 minuten vol geladen is. Wel is het mooi als de laadstroom tijdens een reconditioneringsbeurt gedurende de zuurstofregeneratiecyclus hoger ligt dan normaal. Hoe hoog en waarom zullen we nog vertellen.

Waarom moet dit allemaal nu op deze manier, zelfs bij nieuwe accu's? De theorie achter deze ruwe behandeling is dat de zware laadstromen door de spanningsval over de aangroeiels van hexagonaal-gekrystalliseerd cadmium een elektrisch veld over zo'n aangroeiels veroorzaken waarvan de spanning hoger is dan het enkele tientallen millivolts grote valentie-spanningsverschil tussen de beide cadmiumsoorten. De zware ontlaadstromen grijpen de aangroeiels op een andere manier aan. Om deze sneller dan het kubisch-gekrystalliseerde cadmium tijdens het ontladen om te zetten in cadmium-hydroxyde moet er een sterker elektrisch veld om deze aangroeiels heersen dan er bij de negatieve plaat heerst waarop ze wortelen. Dit is te doen door een dusdanig zware ontlaadstroom door de accu te jagen dat de stroom door de aangroeiels groter is dan in het omringende elektrolyt door het verschil in soortelijke weerstand van beide materialen. Bij de dan weer volgende zware laadstroom wordt het aldus gevormde cadmium-hydroxyde weer teruggevormd tot metallisch cadmium met de gewenste kubische kristalstructuur.

Nu is de methode dus bekend waarmee zeker 60% van de weggeworpen accu's is te redden. Het reconditioneren van zulke accu's wordt voltooid met zuurstof.

Alle ruw neergeslagen cadmium en alle losse cadmiumdeeltjes in de accu moeten naar de negatieve plaat teruggevoerd en daar glad neergeslagen worden. Dit gebeurt door dit cadmium te oxyderen en door middel van laadstroom

naar de negatieve plaat terug te drijven. Het oxyderen gaat het best in een zuurstofrijke atmosfeer en die heerst er in de accu tijdens de zuurstofregeneratiecyclus. De reconditionering wordt dus voltooid door een flinke zuurstofdruk in de accu op te wekken door fors doorladen.

#### Doorlaadstroom

Nu moeten we, zoals bekend, hiermee uitkijken. De druk en de temperatuur in de accu lopen dan al gauw te hoog op. Hoe hoog hangt af van het feit hoe goed de accu zijn warmte kwijt kan. Accu's van 500 mAh die vrij op de werkbank liggen, blazen nog niet af als er tijdens de zuurstofregeneratiecyclus 3 A door de accu loopt. Bij eenzelfde volledig ingekapselde accu moet 0,1 C (dus 50 mA) niet overschreden worden. In dat geval moeten wij het in de tijdsduur zoeken en b.v. 20 uur doorladen met deze stroom. Houd in ieder geval de accu-temperatuur goed in de gaten, maar bedenk ook dat een keertje afblazen de accu niet deert, tenzij deze voorzien is van een niet-zelfherstellend ventiel. Pas na een keer of drie heftig afblazen kan men een verhoging van de inwendige weerstand vaststellen, maar de volle capaciteit blijft aanwezig, die is kenmerkend meer gebonden aan de actieve plaatoppervlakte dan aan de hoeveelheid en de samenstelling van het electroliet.

#### Het formaat van de accu en de stroom

Het zal opvallen dat in het gehele reconditioneringsverhaal niet gesproken wordt over het formaat van de accu. Het namelijk zo dat voor alle formaten dezelfde stromen gebruikt kunnen worden, behalve natuurlijk de continue laadstroom van 0,1 C. Dat is wel logisch ook, het verschil tussen een grote en een kleine accu is alleen dat de rol, gevormd door platen en separator, bij een grote accu breder en dikker is, maar voor de rest is er geen verschil. De gebruikte materialen zijn gelijk en de afstand tussen de platen is gelijk. Het is bovendien wijs bij

grote accu's met naar verhouding kleinere stromen te werken dan bij kleine accu's, omdat bij grote accu's de kern van de rol platen slecht zijn warmte kwijt kan. Brengt een laadstroom van 3 A (6 C) een penlightcell van 500 mAh nog niet tot afblazen, een stroom van 7 A (1 C) bij een 7 Ah-accu doet dat wel. Niet dat de accu daar direct schade van ondervindt, maar men kan het beter vermijden.

#### Kortsluiting wegbranden

Bij de accu's die een klemspanning van 0 Volt hebben met aangesloten lader zijn er ook die weigeren enige klemspanning aan te nemen. Deze accu's zijn en blijven inwendig volkomen kortgesloten. Bij deze accu's is een laag-ohmige sluiting ontstaan die niet door de laadstroom is weg te branden. Het is duidelijk dat hier drastischer maatregelen getroffen moeten worden. Deze maatregelen bestaan uit het toedienen van een laadstroomstoot van  $\pm 50$  A, b.v. met een lastrafo met vermogensdiode in serie of met de auto-accu met een stuk koperdraad van een meter in serie (vergeet dat niet!). Geef steeds 1 puls en meet dan of de klemspanning is terug gekeerd, wat vrijwel altijd het geval is. Is de klemspanning terug gekeerd, geef de accu dan daarna de reconditioneringsbehandeling.

Wil de klemspanning zelfs bij deze krachtdadige behandeling niet terug keren (komt zelden voor) dan moeten wij nederig erkennen machteloos te staan. Nog zwaardere stroomstoten worden te gevaarlijk, er ontstaat stoomdruk door de warmteontwikkeling over de inwendige weerstand.

Men zal zich afvragen of een accu eigenlijk wel betrouwbaar is als hij gereconditioneerd is volgens bovenstaande methodes. Het antwoord is, dat als hij niet meer in een toepassing gebruikt wordt waarin hij de kwaal opliep (eigenlijk geldt dat ook voor niet gereconditioneerde accu's), hij jaren en jaren voortreffelijk zal werken.

Slechter is de verwachting voor de accu's die zodra de lader is aangesloten een klemspanning van vele volts verto-



nen. Als de klemspanning van de accu gelijk is aan die van de lader en er gaat totaal geen stroom in, dan ligt de accu inwendig open door gesmolten verbindingen naar de platen, wat alleen door het voeren van een te grote stroom veroorzaakt kan zijn. Zo'n accu is reddeloos verloren.

#### Hoge inwendige weerstand

Gaat er wel laadstroom in bij een klemspanning die tot vele volts kan oplopen, dan heeft de accu een hoge inwendige weerstand doordat het elektrolyt uitgedroogd is, of omdat de kaliloog uit de accu is verdwenen. En ja, daar staan we dan officieel machteloos. Onofficieel echter niet, maar daar zijn de bekende gevaren van het kaliloog aan verbonden, men is dus gewaarschuwd. De kunst is dus of gedestilleerd water of kaliloog in de accu te brengen. Gedestilleerd water vullen we bij als de accu geen uiterlijke tekenen (witte neerslag) van kaliloogverlies vertoont. Kaliloog bijvullen is ergens nutteloos werk, dat verdwijnt net zo goed weer langs dezelfde weg uit de accu als waarlangs het voorgaande kaliloog is verdwenen. Maar als dat een proces van jaren is geweest en het betreft een dure accu dan loont het misschien de moeite. Men kan tenslotte meer dan 1 keer bijvullen.

#### Het bijvullen gaat als volgt:

In een koude en enkele dagen met rust gelaten accu boren we een gaatje van  $\pm 1$  mm. Als de accu's niet kop/staart gebruikt worden, kan men dit bij cilindrische accu's het beste midden in de bodem boren. Worden de accu's wel kop/staart gebruikt dan geeft het tinsoldeer waarmee het gat dicht gesoldeerd wordt later een slecht contact, boor het gaatje dan op een andere plek. Van tevoren de boorplaats vertinnen maakt het later dicht solderen gemakkelijker. De vloeistof spuiten we in de accu met een injectiespuit. Een gaatje midden in de bodem heeft het voordeel dat de naald van de injectiespuit midden in het open hart van de

rol, gevormd door platen en separator, gestoken kan worden. Let er wel op dat de accu geheel ontladen was, anders staat in de kortste keren de naald roodgloeiend als we een positieve plaat raken.

De hoeveelheden water of kaliloogoplossing zijn niet kritisch, het varieert van  $1\frac{1}{2}$  cm<sup>3</sup> bij een 500 mAh-accu tot  $\pm 8$  cm<sup>3</sup> bij een 7 Ah-accu. Het is echter wel zo dat de gasdrukken in de accu hoger worden naarmate er meer elektrolyt in de accu zit. De beste methode is om de accu op de zware laadstroom aan te sluiten met parallel geschakelde voltmeter en niet meer vloeistof in te spuiten dan nodig is om de normale klemspanning te doen terugkeren. Het toetreden van buitenlucht in de accu moet zo kort mogelijk duren. Het kooldioxyde uit de lucht vormt onoplosbare carbonaten in de accu, waardoor de inwendige weerstand hoger wordt. Als men kaliloog inspuit moet de kaliloogoplossing 25 à 35% zijn met een s.g. van  $\pm 1,3$ . De zuiverheidsgraad moet hoog zijn, want het schijnt dat nitraatsporen (welk nitraat is onbekend) onmiddellijk de elektroden bederven. Nogmaals, wees voorzichtig!!

Na het vullen solderen we het gaatje dicht. Let er wel op de soldeerplaats regelmatig te controleren. Het tinsoldeer wordt door de kaliloog aangetast, de reden waarom de op deze wijze behandelde accu's geen industriële betrouwbaarheid meer hebben na deze behandeling. Wel kunnen we weer voortreffelijk werken nadat ze een reconditioneringsbehandeling hebben gekregen.

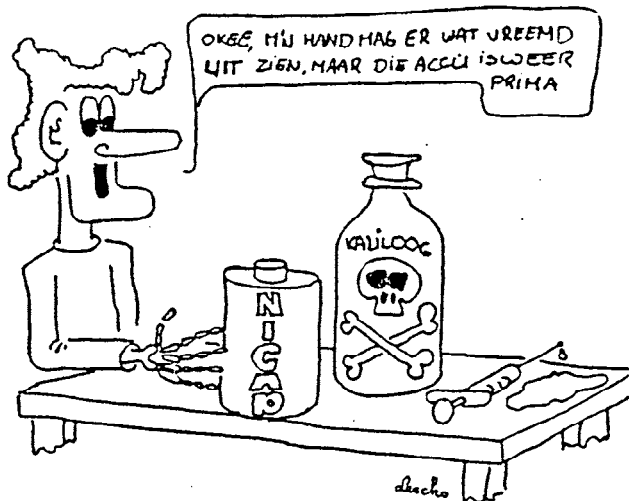
Accu's die ondanks al onze inspanningen een capaciteit herkrijgen van 50% of minder zullen rap nog meer van hun capaciteit verliezen en waardeloos worden. Het mechanisme dat hier achter zit is onbekend. Het verschijnsel wordt ook vermeld in het meer gemenoemde General Electric boek, maar een reden wordt niet gegeven.

### Niet zelfherstellend veiligheidsventiel

Toch zijn er uitgedroogde accu's waarbij het niet de moeite waard is deze te redden door het inspuiten van water. Dat zijn de accu's die niet voorzien zijn van een zelfherstellend veiligheidsventiel. Zo'n niet-zelfherstellend ventiel bestaat meestal uit een metaal of kunststoffen membraan waarboven een prikker is gemonteerd. Als het membraan al te zeer gaat bolven door een te hoge druk in de accu, dan prikt de prikker een niet meer te herstellen gat in het membraan. Door de open verbinding met de buitenlucht droogt de accu dan uit. In het licht van het feit dat een nikkel-cadmiumaccu gerust een paar keer kan afblazen zonder hiervan schade te ondervinden, ook volgens opgave van de fabrikanten, doet een dergelijke constructie merkwaardig aan, vooral door de frappant lage drukken waarbij zo'n ventiel al opent. Een klein ongelukje is daardoor al voldoende om de accu onbruikbaar te maken. Het is daarom raadzaam bij deze soort accu's nooit en te nimmer de fabrieks-specificaties te overschrijden. Zo'n accu met openliggend ventiel is te herkennen aan de reutelende geluiden die via het ventiel hoorbaar zijn als er een zware stroom door de accu gejaagd wordt. Die geluiden zijn wel normaal, maar niet dat zij buiten de accu hoorbaar zijn.

Overigens moet men niet te snel besluiten kaliloog i.p.v. gedestilleerd water in te spuiten. Het is zo dat een accu die kaliloog verliest langs zijn pakkingranden, wat te zien is aan de witte neerslag, langs dezelfde weg eerder zijn watercomponent uit het elektrolyt kwijtgeraakt is. Zelfs aan een dikke witte neerslag ligt maar weinig kaliloogverlies ten grondslag. Het naar buiten getreden kaliloog reageert namelijk met het koolzuur uit de lucht en de gevormde carbonaatkristallen hebben een tienmaal groter volume dan kaliloogkristallen. Zodoende lijkt de lekkage al gauw heel erg, maar na afschrobben onder de kraan en bijvullen met gedestilleerd water zal blijken dat de accu weer goed werkt. Dat klopt ook wel want de geleidbaarheid

van een kaliloogoplossing blijft vrijwel gelijk tussen 1,24 en 1,30 kg/liter. Bij oplossingen met een soortelijk gewicht beneden 1,24 begint men grotere klemspanningsdalingen bij zware belastingen waar te nemen. Bij oplossingen met een s.g. boven 1,30 is weliswaar de aan de accu te ontnemen capaciteit zo'n 10% groter en de inwendige weerstand iets kleiner, maar de nadelen zijn aanzienlijk, zoals hogere gasdrukken tijdens de zuurstofregeratiecyclus, kortere levensduur van accu's met sinter-elektroden door vergrote zwelling van de nikkel-elektrode tijdens het laden en versterkte oxydatie van de nylon separator.



Theoretisch klopt er van het gehele bijvulverhaal niets. Zoals in eerder beschreven is, is de bestendigheid tegen overladen van de gasdichte nikkel-cadmiumaccu te danken aan de laadreserve in de vorm van een grotere oppervlakte van de negatieve cadmium-elektrode dan die van de positieve nikkel-elektrode. Dit verschil in oppervlakte verhindert dat de cadmium-elektrode ooit volgeladen raakt, waarbij waterstofgas zou ontstaan. Verdwijnt echter door een gaslek zuurstof uit de kringloop in de accu, dan wordt de cadmium-elektrode steeds meer doorgeladen naarmate er zuurstof uit de accu verdwijnt. Hierdoor vermindert de negatieve laadreserve. Zodra deze verbruikt is, kan de accu niet meer als een gesloten gasdichte accu werken omdat de zuurstofregeratiecyclus

onmogelijk geworden is.

Zodra men de gasgrens passeert (1,47 V) ontstaan er dan zowel zuurstof als waterstof. De zuurstof wordt niet meer verteerd door de cadmium-elektrode en voor het gevormde waterstof is ook geen weg terug. Het gevolg is dat er enorm hoge drukken in de accu ontstaan.

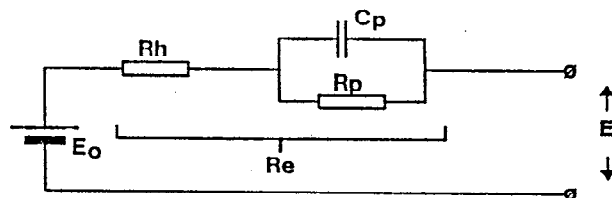
Tijdens het ontladen van de accu recombineert de zuurstof wel weer, maar het waterstof blijft onder de zelfde druk aanwezig.

Bij de volgende lading komt daar weer waterstof bij. Kortom men zal de accu regelmatig horen afblazen.

Men kan de accu's herkennen aan hun onder alle omstandigheden 0,1 V hogere klemspanning, veroorzaakt door het waterstofpotentiaal.

Het doet pijn zulke accu's weg te gooien. Op de een of andere manier vertonen zij een enorme capaciteit. Gelukkig is bij het merendeel van de bij te vullen accu's de negatieve laad-reserve niet of niet geheel

verdwenen, misschien wel omdat het water als watermoleculen i.p.v. ontleed als zuurstofgas vertrokken is en levert het bijvullen genoeg prima accu's op om het eens te proberen.



Vervangingsschema van een nikkel-cadmiumaccu tijdens ontladen.

Bedenk nogmaals, storingen liggen zelden aan de accu en vrijwel altijd aan de manier van gebruiken.

Zo, opgelucht dat ook het laatste geheim uit de doeken gedaan is, herhalen we even kort de storingsorzaken:

Zichtbare storing	De reden van de storing	Remedie	Altijd doen
Te weinig capaciteit	Geheugen-effect Hoog-ohmige sluiting Veroudering	Reconditioneren Reconditioneren  Misschien water bijvullen	Anders gebruiken Anders gebruiken  Reconditioneren
Hoge inwendige weerstand	Water kwijt Kaliloog kwijt	Bijvullen Bijvullen	Reconditioneren Reconditioneren
Volkomen dood	Laag-ohmige sluiting Inwendig open	Stroomstoot 50 A  Geen	Reconditioneren  Weggoeien

## BEGRIPPEN EN VERKLARINGEN

### Accu

Electrochemische cel waaraan stroom onttrokken kan worden die door laden weer aangevuld kan worden.

### Accubatterij

Een samenstel van meerdere in serie geschakelde cellen ter verkrijging van een hogere bedrijfsspanning.

### Belasten van accu's

Stationaire accu's die slechts als "stand-in" werken, bijvoorbeeld in een ziekenhuis, worden op peil gehouden door middel van het druppelladen. Alleen in noodgevallen wordt er een beroep op de accu's gedaan. In dit geval wordt de accu dus slechts nu en dan gebruikt. De accu zal dan van ouderdom en het laden slijten en niet door het gebruik van de accu.

loodzwavelzuur-accu' onder druppellading halen de hoogst bereikbare levensduur omdat door de continue laadspanning een paar bedervende chemische effecten als bv. antimoonmigratie wordt tegengehouden.

### Blok batterij

Een accu die bestaat uit een bak waarin meerdere cellen zijn opgenomen.

### Bronspanning

Dit is de kracht die op de elektrische ladingen wordt uitgeoefend, ook wel elektromotorische kracht (EMK) geheten. Hoe groter de kracht op de elektrische ladingen, hoe sneller de elektronen zich verplaatsen, hoe groter de stroom is. Het symbool van de bronspanning is "U", uitgedrukt in volt, afgekort V.

### Bufferlading

De laadstroom die in de accu vloeit als de lader de bufferspanning afgeeft. Deze stroom heeft meestal de waarde die precies de grootte van de inwendige lekstroom van de accu compenseert.

### Bufferspanning

De spanning waarmee de accu volgeladen wordt gehouden. Deze spanning ligt omstreeks de gasspanning ofwel de gasgrens.

### C5A

De stroom die een accu in 5 uur ontladst. Deze uitdrukking wordt altijd gebruikt om een capaciteits-onafhankelijke uitdrukking voor de laad- en ontladstromen te krijgen.

B.v. 0,4 C5A is bij een 40 C5Ah accu (die dus bij een ontladtijd van 5 uur een capaciteit heeft van 40 Ah)  $0,4 \times 40 = 16$  A.

Bij een 250 Ah-accu zou dit  $0,4 \times 250 = 100$  A zijn.

### C5Ah

De capaciteit van de accu in Ah die verkregen wordt bij een 5-urige ontlading. Het cijfer geeft het aantal ontladuren aan.

### Capaciteit

Het aantal AmpereUren die in een bepaalde tijdseenheid aan de accu is te ontnemen. Wordt gemeten in amperes per uur (Ah). De grootte van de capaciteit wordt beïnvloed door de accutemperatuur, de manier van stroom onttrekken, de eindspanning tot hoe diep de accu wordt ontladen en bij loodzwavelzuur-accu's door de dichtheid van het electroliet.

Als we deze eenheden met elkaar vermenigvuldigen krijgen we de eenheid van capaciteit, de "C", uitgedrukt in Ampere-uren, afgekort Ah. 1 Ah komt overeen met 3600 Coulomb.

### Capaciteitsverlaging door ontlading

Wanneer je een onbepaalde tijd een stroom van een accu af wilt nemen lukt dat niet. Afhankelijk van de grootte van de stroomsterkte, kan een accu een bepaalde tijd voort. Is de stroom hoog, dan zal de accu eerder "leeg" zijn dan staat aangegeven. De capaciteit is dan kleiner.

Voor startaccu's is het internationaal gebruikelijk de capaciteit bij een 20-urige ontlading aan te geven.

Bij tractieaccu's geeft men de capaciteit aan bij 5-urige ontlading en bij stationaire accu's bij 10-urige ontlading.

### Capaciteitsverlaging door ouderdom

Een accu zal door ouderdom langzaam verslechteren. De loodplaten worden aangetast, de actieve massa val uit de platen, de roosters verbrossen enz.

Bij de bepaling van de accucapaciteit zal hiermee rekening gehouden moeten worden. Een reserve van bijvoorbeeld 25 % is daarom op zijn plaats.

Capaciteitsverlaging door temperatuur  
Zoals bij alle chemische processen, is de temperatuur ook hier van belang. De capaciteit van de accu gaat sterk achteruit als de temperatuur onder de 0° C komt.

Capaciteitsverlaging door verkeerd zuur

Voor startaccu's is de soortelijke massa in geladen toestand 1280 (1240 in de tropen). Bij tractiebatterijen is de soortelijke massa 1260 en voor stationaire accu's ongeveer 1200 tot 1240.

Verlaging van de soortelijke massa heeft een negatieve invloed op de capaciteit. Ongeveer 3% per 10 punten kg/m<sup>3</sup>. De hoogste geleiding van het zuur ligt bij 1220.

Cel

Kleinste eenheid waaruit accubatterijen worden gevormd. Bestaat uit een vloeistofdichte houder, waarin positieve en negatieve platen plus separatoren zijn opgenomen, die onder het electrolyet staan.

Constance-spanningladen

De laadmethode waarbij de laadspanning op een vaste waarde wordt gehouden. Aan het begin van de lading loopt er door het dan grote klemspanningsverschil tussen lader en batterij een hoge laadstroom, die afneemt naarmate de klemspanning van de batterij toeneemt door het laden. Uiteraard is een begrenzing aangebracht om de maximale laadstroom onder de voor de desbetreffende accu te hoge waarde te houden.

Constance-stroomladen

Bij deze methode van laden wordt de laadstroom van het begin tot het einde van de lading constant gehouden zonder op de klemspanning van de accu te letten. Uiteraard wordt met deze laadstroom gestopt als de maximale gewenste klemspanning is bereikt.

Cyclus

Een cyclus is 1 ontlading tezamen met 1 lading.

Cycleerbedrijf

Het gebruiken van een accu in een toepassing waarbij deze afwisselend vrijwel geheel geleegd en weer opgeladen wordt, zoals bij tractiedoeleinden voorkomt.

Druppelstroom

Zie bufferlading.

Egaliseerlading

Een lading die eens in de zoveel tijd de capaciteit en de klemspanningen van de cellen van een meercellige accubatterij gelijktrekt. In de loop van vele ladingen kunnen er door allerlei oorzaken onderlinge verschillen in de cellen van een accu op gaan treden, die eens in de 3 maanden tot eens in vele jaren verwijderd moeten worden door een lading tot de hoogst bereikbare spanning onder lading, bij lood-zwavelzuuraccu's tot 2,65 V/cel, bij nikkelcadmiumaccu's tot 1,65 V/cel. Onderlinge verschillen in de cellen ontstaan vooral bij laadsystemen die werken met betrekkelijk lage laadspanningen. Bij loodzwavelzuuraccu's werken egaliseerladingen levensduurverkortend.

Eindspanning

De klemspanning onder belasting waar de ontlading wordt gestopt. Hoe lager de eindspanning, hoe meer capaciteit er aan de accu wordt onttrokken. De eindspanning waarbij zal worden gestopt wordt enerzijds bepaald door overwegingen van levensduur van de accu, anderzijds door de laagste spanning waarbij de aangesloten apparatuur nog blijft werken.

Elektrische energie

Het leveren van een elektrische arbeid noemt men elektrische energie. Stroom, spanning en tijd zijn de factoren die hier een rol spelen. Vergroot men een van deze factoren dan wordt de elektrische energie ook groter.

Energie = stroom x spanning x tijd

= ampère x volt x uren

Het symbool voor energie is "E", uitgedrukt in joule (= wattseconde). Meestal wordt de watt-uur (Wh = 3600 joule) of kilowatt-uur (kWh = 1000 Wh).

Als men de capaciteit Ah van de accu vermenigvuldigt met de spanning V krijgt men de hoeveelheid energie die de accu in watt-uren kan leveren.

Voorbeeld:

Accu spanning = 12 V

capaciteit = 100 Ah

Levert gedurende 20 uren 5 A.

=> Elektrische energie =  $5 * 12 * 20 = 1200$  Watt-uren = 1.2 kWh.

### Elektrische lading

Atomen bestaan uit een kern en een elektronenwolk. Bij een neutraal atoom is de elektrische lading van de kern gelijk aan die van de elektronenwolk. De kern heeft een positieve lading, de elektronenwolk een negatieve. Een elektronenwolk bestaat uit een aantal elektronen. Positieve en negatieve lading trekken elkaar aan. Gelijkpollige ladingen stoten elkaar af. De eenheid van elektrische lading is Coulomb.

### Elektrische stroom

Een materiaal bestaat uit vele atomen bij elkaar. De elektronen kunnen zich van de ene kern naar de andere verplaatsen. Als alle elektronen vrij door elkaar bewegen spreken we over een neutraal geladen materiaal. Wanneer de elektronen zich echter in een bepaalde richting bewegen, spreken we over een elektrische stroom.

Materialen waarin de elektronen zich gemakkelijk verplaatsen noemen we elektrische geleiders.

We kunnen de elektronen in de geleiders dwingen zich te verplaatsen door er een elektrische bron op aan te sluiten, een accu bijvoorbeeld. Aan de ene kant van de geleider komen dan relatief meer elektronen dan aan de andere kant. Aangezien de natuur altijd streeft naar een evenwicht, zullen de elektronen die aan de ene kant "te veel" zijn zich verplaatsen naar de andere kant van de geleider waar er relatief "te weinig" zijn.

Hoe meer elektronen zich verplaatsen, hoe meer lading per seconde zich verplaatst, hoe groter de elektrische stroom.

De elektrische stroom wordt aangegeven met het symbool "I". De eenheid van de elektrische stroom is de ampère, afgekort A. Bij een stroom van 1 A is er sprake van een ladingverplaatsing van 1 Coulomb per seconde.

De elektronen verplaatsen zich van de - pool naar de + pool. We spreken echter over een stroomrichting van de + pool naar de - pool, door een onjuiste keuze in de 18e eeuw.

### Elektrisch vermogen

Dit is de energie die per tijdseenheid geleverd kan worden. De factor tijd is dan uitgedrukt in 1 seconde. Het symbool voor vermogen is "P". De eenheid is watt (Wsec = joule per seconde) of kilowatt-uur (kWh = 1000 Watt-uur).

$P = I \times U = \text{stroom} \times \text{spanning}$

= Ampère x Volt = Watt

### Energiedichtheid

De hoeveelheid lading die een accu kan opnemen in verhouding tot zijn gewicht. Wordt opgegeven in Wh/kg.

### Gasdichte cel

Een cel die bij alle gebruiksomstandigheden en in alle standen gas- en electrolietdicht is.

### Gasspanning

De laadspanning waarbij het electroliet door de laadstroom begint te ontleden. Heet ook wel gasgrens. Bij deze spanning begint het verbruiken van het water uit het electroliet.

### Inwendige weerstand

De elektrische weerstand is de som van alle belemmeringen, onder andere bepaald door de lengte, de diameter en de geleidbaarheid van de geleiders. Het symbool voor de weerstand is "R", uitgedrukt in ohm  $\Omega$ .

In de accu is de geleidbaarheid van de accuvloeistof bepalend voor de stroom. Inwendige weerstand geeft men aan met  $R_i$ , uitwendige weerstand met  $R_u$ . Bij zeer hoge stromen gaat de spanningsval over de celverbindingen mee tellen.

De wet van Ohm geeft het verband tussen stroom, spanning en weerstand:

$$I = \frac{U}{R_i + R_u}$$

$$\text{stroom} = \frac{\text{bronspanning}}{\text{Inw.} + \text{uitw. weerstand}}$$

#### Koud starten

Startaccu's kunnen het slechtst tegen een "koude start". Hierdoor wordt de accu zeer ongunstig beïnvloed. Een ongunstige invloeden zijn:

1. De koude olie in de motor is dik. Dit geeft extra wrijving. Aan de startmotor moet extra energie geleverd worden. Er wordt dan een hogere startstroom van de accu gevraagd.
2. Het beschikbare vermogen van de accu is door de lage temperatuur sterk verminderd.
3. De ladingsopname/afgifte is door de lage temperatuur niet optimaal. De accu kan niet de volle 100 % afgeven.

#### Koudstartstroom

De startprestatie van een startaccu wordt aangegeven met de term koudstartstroom. De koudstartstroom staat op de accu aangegeven. Staat het er niet op dan kan de koudstartstroom worden opgevraagd bij de leverancier. De koudstartstroom is afhankelijk van de inwendige weerstand. De inwendige weerstand wordt bepaald door de constructie van de accu.

De koudstartstroom kan bij lage temperaturen worden afgegeven zonder dat de klemspanning te ver daalt. Volgens de DIN-norm moet de klemspanning van een 12 V accu na 30 seconden bij een temperatuur van -18° C nog minimaal 9 volt bedragen.

#### Laden

Het "vullen" van de accu met stroom. De laadstroom moet aan veel eisen voldoen, o.a. van de juiste grootte en duur zijn en bij de juiste laadspanning eindigen of overgaan in druppel-lading.

#### Laadspanning

De spanning die de cel onder lading aanneemt. Is afhankelijk van de ladingstoestand van de accu. Laadspanningen worden vaak opgegeven als de spanning voor 1 cel. Men moet deze spanning vermenigvuldigen met het aantal cellen om de laadspanning voor de gehele accu te weten.

#### Lekstroom

De stroom die inwendig in de accu van de positieve naar de negatieve plaat loopt door allerlei chemische en mechanische onvolkomenheden.

#### Levensduur

De levensduur van een accu kan worden uitgedrukt in jaren en in aantal cyclussen. De levensduur van een buffer-batterij, die maar zelden geheel wordt ontladen, wordt opgegeven in jaren. De levensduur van een tractiebatterij wordt opgegeven in aantal cyclussen.

#### Min relais

Dit relais schakelt de gebruiker uit indien de spanning beneden een vooraf ingestelde waarde komt. Zeer handig om te voorkomen dat een koelkast, of een ander vergeten gebruiker, de accu-batterij beschadigt.

#### Opslag van accu's

Voor de opslag moet de accu zeer goed geladen zijn. De accu moet 100 % vol zijn. Tevens moet de accu droog en koel opgeslagen worden. Op deze manier loopt de accu minder snel leeg.

#### Ompolen

Het omkeren van de polariteit van een cel in een batterij van meerdere cellen. Dit wordt veroorzaakt doordat deze cel een geringere capaciteit heeft dan de overige. Tijdens het ontladen is deze cel te snel leeg en wordt daarna omgepoold door de ontlaadstroom van de andere cellen die door de cel loopt.

#### Onderhoudsvrije cel

Een cel die gedurende zijn levensduur geen water bijvullen nodig heeft.

### Ontladingsdiepte

Opgave van hoeveel capaciteit van de accu, meestal in een cycleerbedrijf, wordt gebruikt. Wordt opgegeven in procenten.

### Open cel

Een open cel is niet gasdicht en niet electrolietdicht afgesloten.

### Open klemspanning

Dit is de spanning die de cel in rust aanneemt. Bij loodzwavelzuuraccu's wordt hiervoor met 2 Volt per cel gerekend, bij nikkelcadmium-accu's met 1,2 Volt per cel. De open klemspanning wordt door vele factoren met tienden van Volts beïnvloed, vandaar de aangenomen rekenwaarde.

### Recombinatie-accu

Dit type loodzwavelzuur-accu is volkomen gesloten en kan bij laden boven de gasgrens geen gas naar buiten afblazen, behoudens in noodgevallen als de gasdruk in de accu gevaarlijk hoog is opgelopen. Het wegwerken van de normale gasdruk gebeurt door een chemisch proces dat recombinatiecyclus wordt genoemd. Het gevormde waterstofgas wordt hierdoor weer omgezet in water, waardoor onder normale omstandigheden de vorming van druk in de accu wordt

beperkt. Bij deze soort accu's is het vaak een belemmering dat hun eisen voor de laadcondities boven de gasgrens strenger zijn dan bij andere loodzwavelzuuraccu's. Eigenlijk is compensatie van de laadspanning voor de accutemperatuur nodig. Ook brengt het toepassen van deze gasdichte accu's minder voordelen dan men vaak denkt, want VDE 0510 stelt deze accu's gelijk aan de andere accutypen wat de accuruimten, de opstellingsmogelijkheden en de ventilatie betreft. Bovendien is de toepassing van deze soort accu's als noodstroom-accu discutabel. DIN 43534 laat doorschemeren dat dit accutype niet mag worden gebruikt, want deze wordt niet genoemd in de lijst van accu's voor bewakings- en besturingsinstallaties.

### Rustspanning

De bronspanning van een accu in rust kan men meten door het spanningsverschil tussen de twee klemmen te meten. Men spreekt ook wel van klemspanning of potentiaalverschil. Afhankelijk van de ladingstoestand van de accu kan men een hogere (lading) cq een lagere (ontlading) spanning meten. De rustspanning is afhankelijk van de ladingstoestand.

Tabel rustspanning Varta accu (onbelast)

Lading	Celspanning	12 V Accu	Zuur dichtheid
0	1.98	11.90	1.120
25	2.00	12.00	1.155
50	2.03	12.20	1.120
75	2.06	12.40	1.225
100	2.116	12.70	1.280

### Separator

Electroliet-doorlatende scheider tussen positieve en negatieve platen. Kan uit allerlei isolerende en electroliet-bestendige materialen bestaan.

### Soortelijke massa van het zuur

De concentratie van het zwavelzuur in de accuvloeistof bepaalt de werking van de accu. De bronspanning is afhan-

kelijk van deze concentratie. Daarom kan men beter het zuur bij de accuhandel kopen dan het zelf aan te maken. De concentratie wordt aangegeven met de soortelijke massa in  $\text{kg/m}^3$ . De soortelijke massa van een startaccu in geladen toestand bedraagt  $1280 \text{ kg/m}^3$ . Bij het gebruiken van de accu, wordt de concentratie van het zuur verlaagd. Hierdoor gaat de soortelijke massa



naar beneden. De soortelijke massa van het zuur geeft de ladingstoestand van de accu aan.  $1280 \text{ kg/m}^3$  is volgens de moderne eenheden. Het spraakgebruik heeft het nog steeds over  $1,280 \text{ kg}$  per liter.

#### Snelladen

Laden met een hoge stroom, meestal de maximale laadstroom die een ongeladen of deels geladen accu mag opnemen. Deze stroom zal aan het einde van het laadtraject verwoestend werken op de kwaliteit en levensduur van de accu.

#### Stam- en toevoegcellen

De tegencellenteknik om de accuspanningsvariaties binnen zekere grenzen te houden is bruikbaar tussen de grenzen van  $120 \text{ kW}$  bij  $24 \text{ VDC}$  tot  $720 \text{ kW}$  bij  $60 \text{ VDC}$ . Daarboven wordt de stam- en toevoegcellentechniek gebruikt. Deze techniek wordt voor gebruikers die weinig spanningvariaties kunnen verwerken bij  $110$  en  $220 \text{ VDC}$  al vanaf  $5 \text{ kW}$  gebruikt. De accubatterij wordt daartoe in twee delen gescheiden die op aparte laders staan. De gebruikers zijn aangesloten op de stamcellen. Op het moment dat de lader uitvalt, worden de toevoegcellen in serie met de stamcellen geschakeld, waardoor de gebruiker slechts een kleine spanningsverandering ziet. De tegencellenteknik en de stam- en toevoegcellentechniek compenseren het nadeel van het direct voeden uit de accubatterij dat de spanning kan variëren van  $2,4 \text{ V/cel}$  onder lading tot  $1,8 \text{ V/cel}$  in ontladen toestand bij stroomafname, een variatie van  $-10\%$  tot  $+20\%$  t.o.v. de nominale  $2 \text{ Volt}$  klemspanning van de loodaccu. Deze spanningsvariatie ligt bij nikkelcadmium-accu's nog ongunstiger met  $1,55 \text{ V/cel}$  onder lading en  $1 \text{ V/cel}$  ontladen, wat  $+30\%$  en  $-17\%$  betekent t.o.v. de  $1,2 \text{ Volt}$  nominale klemspanning.

#### Starved electrolyte

Term, gebruikt bij recombinate-accu's om aan te duiden dat de electroliet is opgenomen in de meestal van absorberende materialen gemaakte separatoren. Deze zijn dan halfdroog, waardoor er nooit electroliet uit de accu kan lopen. Het tekort (starved) aan electro-

liet is ook een voorwaarde voor het optreden van het recombinateverschijnsel. Accu's die volgens het starved-electrolyt principe werken, verdringen al de veel slechtere gelaccu's.

#### Startaccu's

Worden gedurende een zeer kort moment zeer intensief gebruikt. Bij het starten wordt een zeer grote stroom gedurende enkele seconden van de accu gevraagd. De accu is meestal  $85\%$  à  $100\%$  vol. De accu zal slijten door het uitvallen van de actieve massa door de heftige plaatbewegingen.

#### Stationaire accu's

Worden gebruikt voor zeer kleine stromen gedurende langere tijd. De accu zal dus niet zo snel "leeg" zijn. Deze accu zal slijten door corrosie door het eigen zuur.

#### Sulfateren

Het ontstaan van hardloodsulfaat op de platen van een loodzwavelzuur-accu. Dit sulfaat is niet meer te verwijderen, waardoor capaciteitsvermindering optreedt. Sulfateren van de platen begint al onder een accucelklemspanning van  $1,9 \text{ Volt}$ .

#### Tegencellen

Voorheen cellen, in serie geschakeld tussen gebruiker en accubatterij en bevattende twee platen in een electroliet, die bij het doorlopen worden door de ontladstroom tegengesteld gepolariseerd werden aan de klemspanning van de stroomleverende cellen en zodoende een tegenspanning leverden. Tegenwoordig wordt hiervoor gebruik gemaakt van de drempelspanning van siliciumdioden, die in doorlaatrichting worden geschakeld tussen gebruiker en accubatterij. Tegencellen worden bij gelijkstroom-gebruikers die direct op de accu zijn aangesloten gebruikt om de klemspanning onder lading niet zonder meer naar de gebruikers te brengen. Op het moment dat de lader uitvalt, worden de tegencellen overbrugd omdat de klemspanning van de accu dan daalt.

### Toelaatbare spanning

Wanneer we stroom uit een accu halen neemt de spanning van de accu af. Voor bepaalde installaties gelden er minimale spanningen waarbij de installatie nog werkt. Is de spanning lager dan deze minimale spanning dan zal de installatie niet werken. Iedere installatie heeft zijn eigen specifieke minimale toelaatbare spanning. Voor startaccu's geldt een minimale van ongeveer 10,5 Volt. Is de spanning van de accu lager, dan zal de startaccu niet meer in staat zijn via de startmotor de motor te starten. zie fig 3 en 4.

### Tractiebatterijen

Worden gebruikt in elektrische voertuigen, bijvoorbeeld heftrucks. Hierbij wordt overdag zeer veel van de accu geëist. De accu wordt dan grotendeels ontladen. 's Nachts worden ze weer opgeladen. Deze accu's worden zeer intensief gebruikt. Deze accu's slijten door het regelmatige gebruik.

### Vereffeningslading

Zie egaliseerlading.

### Zelfontlading

Wanneer een accu niet aangesloten staat op een elektrisch circuit of niet gebruikt wordt, zal de accu langzaam leeglopen. Dit verschijnsel wordt zelfontlading genoemd. Voor nieuwe accu's is dat enkele tienden van procenten per dag. Een accu is in theorie pas na  $\frac{1}{2}$  jaar of een jaar leeg, de praktijk is slechter, vooral bij onderhoudsvrije accu's.

De zelfontlading is afhankelijk van de temperatuur. Daalt de temperatuur  $10^\circ$  dan zal de zelfontlading gehalveerd worden.





telefoon 033-960911

Landelijk Bureau Scouting Nederland/Larikslaan 5/Princenhof/3833 AM Leusden