

# Umrüstung von Leuchttönen der Nord- und Ostsee von Gas- auf Solarenergieversorgung und Einführung der LED-Technik

von Dipl.-Ing. Peter Schneider

## Einleitung

Im Rahmen der Aufgabenwahrnehmung hinsichtlich der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs betreibt die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes schwimmende Seezeichen entsprechend der internationalen Standards. So kommen zur Sicherung des Schiffsverkehrs an der deutschen Nord- und Ostseeküste ca. 1.000 große und mittlere Leuchttöne zum Einsatz.

Die in den vergangenen Jahrzehnten zur Nachtkennzeichnung der Leuchttöne eingesetzte Gastechnik hat ihre Ursprünge in der Entwicklung und Patentanmeldung einer gasbetriebenen Leuchttone von Julius Pintsch im Jahr 1877. Nachdem in den Anfängen der Gastechnik zunächst Ölgas und Blaugas als Brennstoff verwendet wurden, kommt seit den 1950er Jahren überwiegend Propangas zum Einsatz. Als Gasspeicher dient ein an Bord der Leuchttone befindliches Gasfass mit ca. 300 kg Gasvorrat, der – abhängig vom Hellzeitanteil der Kennung – einen durchgängigen Betrieb von max. 1,5 Jahren erlaubt. Die Gastechnik ist relativ teuer, wartungsintensiv und weist eine im Vergleich zu elektrischen Seezeichen verminderte Verfügbarkeit auf.



Abb. 1: Solar-Kompaktaufsatz auf einer Tonne des Typs LT 81



Abb. 2: Gasbrenner einer Gaslaterne

Dem Trend in der internationalen Seezeichentechnik folgend, wurde Anfang 1999 im Rahmen einer Arbeitsgruppe untersucht, inwieweit die Umstellung des Betriebes der großen Leuchttönen auf Solarenergie zweckmäßig ist. Die Arbeitsgruppe hat im April 2000 in ihrem Abschlussbericht dargestellt, dass die Umstellung auf Solar-Energieversorgung und die Einführung der LED-Technik wirtschaftlich ist. Weiterhin wurden im Auftrag dieser Arbeitsgruppe ca. 30 große Leuchttönen auf photovoltaische Energieversorgung umgerüstet. Ziel dieser Erprobungen war es, technisch sichere und wartungsfreie Systeme unter der Maßgabe zu entwickeln, den seezeichentechnischen Standard der Gas-Leuchttönen beizubehalten bzw. zu überbieten.

## LED-Technik

Nachdem in der WSV bereits in der Vergangenheit Tönen von Gas- auf Solarenergieversorgung unter Einsatz von Glühlampen-Lichttechnik (mit automatischer Lampen-Wechseleinheit) umgerüstet worden waren, brachte der Einsatz von LED-Technik in den Seelaternen im Hinblick auf die lichttechnischen Parameter, den Energieverbrauch und die Zuverlässigkeit innovative Impulse.

Die Abkürzung "LED" steht für "Licht Emittierende Diode", die auf Halbleiterbasis elektrische Energie direkt in Licht umwandelt. Dadurch werden im Gegensatz zu einer herkömmlichen Glühlampe Standzeiten von bis zu 100.000 Stunden und ein deutlich besserer Wirkungsgrad erzielt. LEDs werden bereits seit mehr als 30 Jahren als Signalleuchten, z. B. in der Unterhaltungselektronik oder in Messgeräten, eingesetzt. Aufgrund ihrer begrenzten Lichtstärke war der Einsatzbereich weitestgehend darauf beschränkt. Erst der in den vergangenen Jahren erzielte Entwicklungsschub im Hinblick auf die Lichtstärke eröffnete weitere Einsatzgebiete, z. B. im Kfz.-Bereich oder in der Beleuchtungstechnik.

Bei einer LED-Seelaterne sind, je nach eingesetztem LED-Typ, bis zu 80 einzelne LEDs auf dem Laternumfang direkt hinter einer umlaufenden Linse verteilt. Die LEDs werden über eine Stromregelung betrieben, die ihrerseits von einem Mikroprozessor angesteuert wird. So lassen sich sowohl die Kennungen als auch verschiedene Helligkeiten erzeugen. Die Aktivierung bzw. Deaktivierung des Lichtes erfolgt über einen integrierten Helligkeitssensor.



Abb. 3: Automatischer 6-fach Lampenwechsler



Abb. 4: LED's einer LED-Seelaterne

Eine moderne LED-Seelaterne stellt jedoch nicht nur die Lichttechnik zur Verfügung, sondern verfügt, je nach Modell, über einen Infrarot- und einen Funkempfänger. Der Infrarotempfänger reagiert im Nahbereich (2 – 5 m) auf die Infrarotfernbedienung.

Hierüber lassen sich die Kennung und die Lichtstärke einstellen (Seezeichenwerkstatt). Der Funkempfänger (433 MHz ISM-Band) empfängt die Signale der Funkfernbedienung, die es ermöglicht, vom Tonnenleger aus über eine Entfernung von ca. 100 m unterschiedliche Testfunktionen durchzuführen, wie z. B. den Abruf des Systemzustandes der Solarenergieversorgung.

Im Vergleich zu den bisherigen Gaslaternen bietet die LED-Technik in Seelaternen eine gleichmäßigere Lichtverteilung, eine höhere vertikale Streuung, die exakte Darstellung der Kennung und eine deutlich höhere Verfügbarkeit. Die Tragweiten der LED-Seelaternen sind im Vergleich zu Gaslaternen gleich oder besser zu realisieren.

### Der Solar-Kompaktaufsatz (SKA)

Aufgrund des geringeren Energiebedarfs der LED-Laternen konnten die Systemkomponenten Solargenerator und Speicherbatterie (Solarakku) erheblich verkleinert werden, so dass sich die Möglichkeit ergab, alle Anlagenanteile in einem kompakten, universellen Aufsatz für die Leuchttonne, dem sog. Solar-Kompaktaufsatz (SKA), zu integrieren. Der SKA wurde durch die Fachstelle für Verkehrstechniken (FVT Koblenz) entwickelt, die Praxistauglichkeit wurde durch mehrjährige Erprobungen auf Leuchttönen nachgewiesen. Die Gesamt-Standzeit beträgt bis zu 15 Jahre.

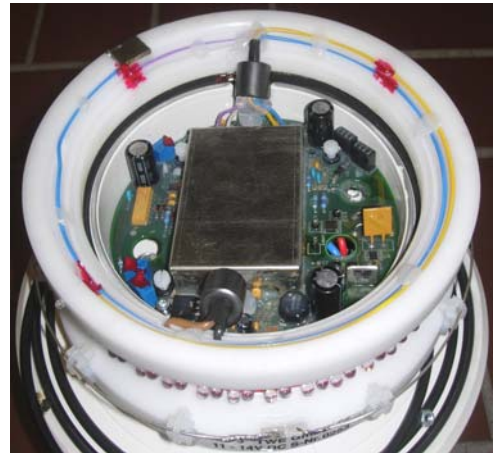


Abb. 5: Komplexes Innenleben einer modernen LED-Seelaterne



Abb. 6: LED-Seelaterne mit Infrarot- und Funk-Fernbedienung



Abb. 7: SKA

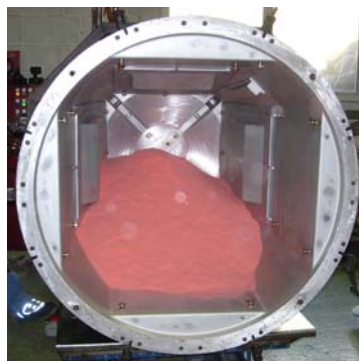
Gegenüber gasversorgten Leuchttönen sind somit, in Abhängigkeit vom Farbzustand und Verankerung der Tonne selbst, längere Unterhaltungs- und Wartungsintervalle möglich. Des Weiteren bietet der Solar-Kompaktaufsatz Vorteile im Handling bzw. bei der Wartung, wie z. B. schneller Tausch an Bord des Tonnenlegers und die Kontrolle der Systemparameter via Funk vom Tonnenleger aus.

### Technik des Solar-Kompaktaufsatzes

Der SKA ist als kompakte Einheit, in der alle für einen autarken Betrieb des Schiffsfahrtszeichens erforderlichen Systemkomponenten integriert sind, konzipiert. Es ist vorgesehen, diese kompakte Energieversorgungseinheit mit der dazugehörigen Seeleuchte über die Lebensdauer seiner Systemkomponenten hinweg, wartungsfrei zu betreiben. Es sind lediglich Kontrollmaßnahmen im Betrieb durch Funk-Ferndiagnose vom Schiff aus sowie in der Seezeichenwerkstatt bei turnusmäßigen Austausch der kompletten Leuchttonne vorgesehen.

### Mechanischer Aufbau

Das Aufsatzgehäuse des SKA ist zweiteilig und besteht aus dem als Haube ausgebildeten Aufsatzoberteil und dem Batterieträger. Das Aufsatzoberteil als Träger aller äußeren Anbauteile des Solaraufsatzes wird im Rotationssinterverfahren hergestellt und besteht aus Polyethylen mit 12 mm Wandstärke. Der Batterieträger wird aus Polyethylenplatten gefertigt und dient einerseits als Bodenplatte für das Aufsatzoberteil, andererseits als Träger für alle im SKA eingebauten Teile (Akku, Solarladeregler, DC-Verteiler, etc).



**Abb. 8: Geöffnetes Rotationswerkzeug mit eingefülltem Kunststoffpulver zur Herstellung eines Gehäuseoberteils**



**Abb. 9: Geöffnetes SKA-Gehäuse**

## Elektrischer Aufbau

Ziel bei der Konzipierung und Dimensionierung der Photovoltaikanlage des SKA war es, eine große Zuverlässigkeit bei hoher Lebensdauer sowie einen hohen elektrischen Wirkungsgrad zu erzielen. Das System ist in seiner Dimensionierung so ausgelegt, dass zu jedem Zeitpunkt des Jahres ein Zeitraum von 20 Tagen ohne Energiegewinn durch den Solargenerator überbrückt werden kann, ohne dass die Funktion als Nachtschifffahrtszeichen eingeschränkt wird. Zum Zwecke einer erhöhten Betriebssicherheit wurde bewusst auf Steckverbindungen zwischen den Anlagenteilen verzichtet und der Installationsaufwand minimiert.

Die Solarmodule wandeln, basierend auf dem photovoltaischen Effekt, Lichtenergie in elektrische Energie um. Durch den gegenläufigen Energiefluss (Energiegewinn am Tag, Energieverbrauch bei Nacht, mehr Energiegewinn im Sommer als im Winter) ist eine Energiespeicherung erforderlich. Die Kontrolle des Energieflusses übernimmt ein Laderegler.

In die Mikroprozessor-gesteuerte LED-Seeleuchte sind das Leuchtmittel, der Kennungsgeber, der Infrarotempfänger zur Kennungsprogrammierung sowie der Funkempfänger zur Fernabfrage integriert. Der Solar-Laderegler sorgt für einen kontrollierten Energiefluss zwischen Solar-Generator und dem Verbraucher (Seeleuchte) über den Akkumulator.

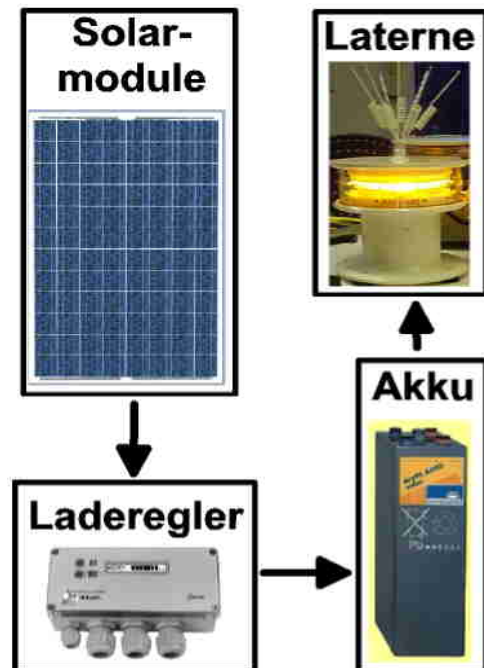


Abb. 10: Prinzipieller Energiefluss im SKA

## Solargenerator

Der Solargenerator des Solar-Kompaktaufsatzes besteht je aus 4 Solarmodulen à 30 Wp bei einer Spannung im Punkt der maximalen Leistung (UMPP) von 18 VDC. Die Solarmodule sind horizontal jeweils um 90° versetzt mit nahezu vertikalem Anstellwinkel positioniert.



Abb. 11: 30 W Solarmodul

### Solar-Akkumulator

Als Solar-Akkumulator werden Blei-Gel-Akkumulatoren in verschlossener Bauart, d. h. mit festgelegtem Elektrolyt, verwendet. Die Blei-Gel-Akkumulatoren sind aus je 6 Einzelzellen A600 solar à 2V mit 240 Ah in Reihenschaltung zusammengesetzt.



Abb. 12: Einzelzelle



Abb. 13: Zusammengesetzte Einzelzellen im Batterieträger

### Solarladeregler

Aufgabe des Mikroprozessor-gesteuerten Solar-Ladereglers ist es, als Bindeglied zwischen dem Solargenerator und dem Akku diesen entsprechend seiner speicherspezifischen Kenndaten (Strom, Spannung) auf optimalen Ladezustand zu bringen. Dies bedeutet, dass im Bereich der Lade-phase des Akkus die Ladeschlussspannung nicht überschritten wird, wobei der Ladestrom in seiner Größe so bemessen wird, dass eine Ladung des Akkus erreicht werden kann. Im Bereich der Entlade-phase wird über den Regler die Entladung des Akkus überwacht.



Abb. 14: Laderegler

### DC-Verteiler

Im DC-Verteiler erfolgt die elektrische Zusammenschaltung der Systemkomponenten der Energieversorgungsanlage des SKA. Weiterhin sind ein Überspannungsableiter für den Solargenerator sowie ein zweipoliger Leitungsschutzschalter als Trennmöglichkeit für den Speicherakkumulator integriert.



Abb. 15: DC-Verteiler



## Durchführung der Maßnahme

Die küstenweite Umrüstung von Gas- auf Solarenergie und die Einführung der LED-Technik wird als sog. "EfA-Maßnahme" bis Mitte 2007 durch das WSA Emden in Zusammenarbeit mit der Fachstelle für Verkehrstechniken durchgeführt. "EfA" bedeutet "Einer für Alle", d. h. das WSA Emden übernimmt diese Aufgabe für alle weiteren Küsten-WSÄ. Dazu hat das Dezernat VT der WSDn Nord und Nordwest mit dem WSA Emden eine Zielvereinbarung abgeschlossen. Neben der Beschaffung von ca. 1.000 SKA sind mit dieser Aufgabe weiterführende Tätigkeiten verbunden, wie z. B.

- Abstimmung der Durchführung mit den beteiligten Wasser- und Schifffahrtsämtern
- Erfassung der exakten Stückzahlen
- Erstellung eines Systembetreuungskonzeptes
- Durchführung von Schulungen für das Personal der Seezeichenwerkstätten
- Regelung der Ersatzteilversorgung
- Erstellung eines einheitlichen Beschriftungskonzeptes für Tonnen mit SKA
- Abwicklung von Gewährleistungsfällen inkl. Stör- und Ausfallstatistik
- Vorgaben zum Aufbau und zur Ausrüstung der Seezeichenwerkstätten
- Weitere Nutzung des SKA: AIS auf Schifffahrtszeichen, Zusammenarbeit mit FVT und Dezernat VT

Mit dem Start der Umrüstungsmaßnahme begann eine neue Ära im Schifffahrtszeichenwesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. Die Solar- und LED-Technik löst die über Jahrzehnte betriebene Gastechnik ab und erlaubt erhebliche Einsparungen sowohl bei den Sach- als auch bei den Personalkosten.

Am 15.12.2000 legte das WSA Emden den Entwurf-HU in Höhe von 6,7 Mio. € vor, der am 14.03.2001 genehmigt wurde. Es folgten intensive Beratungen und Abstimmungen mit der Fachstelle für Verkehrstechniken (FVT) über die Durchführung der Maßnahme. Man entschied sich für die Aufteilung der Beschaffung in mehrere Ausschreibungen. Bei den LED-Seelaternen wurde eine Typenvereinheitlichung angestrebt, um das Handling (Programmiergeräte, Funkfernabfrage etc.) und die Ersatzteilbevorratung möglichst einfach zu gestalten. Es folgte die Abfrage der Stückzahlen der umzurüstenden Tonnen bei den beteiligten Küsten-WSÄ:

- |                   |                     |                 |
|-------------------|---------------------|-----------------|
| – WSA Emden       | – WSA Wilhelmshaven | – WSA Bremen    |
| – WSA Bremerhaven | – WSA Cuxhaven      | – WSA Hamburg   |
| – WSA Tönning     | – WSA Lübeck        | – WSA Stralsund |



Seitens der WSÄ wurden insgesamt 959 umzurüstende Tonnen gemeldet (373 grüne, 380 rote, 95 gelbe und 111 weiße).

Die Ausschreibungsunterlagen für die erste Ausschreibung entstanden im April 2003 unter Mitwirkung der FVT. Als Entwurf-AU dienten gemäß VV-WSV-21 07 § 8 (4) die Ausschreibungsunterlagen inkl. ergänzender Unterlagen. Die Genehmigung seitens der WSDn Nord und Nordwest erfolgte am 24.09.2003.

Über diese erste Ausschreibung wurden zunächst 100 SKA und der Großteil der Laternen (820 Stück) beschafft. Die Ausschreibung wurde gemäß VOL europaweit im offenen Verfahren mit folgenden Losen durchgeführt:

- Los 1:** Montage und Komplettierung der Solarkompaktaufsätze
- Los 2:** LED-Laternen mit Zubehör
- Los 3:** Photovoltaische Energieversorgung (Akkus, Solarmodule, Laderegler etc.)
- Los 4:** Baugruppenträger (SKA-Gehäuse) aus rotationsgeformtem Polyethylen

Eckdaten Ausschreibung 1: Beschaffung von 100 Stück SKA und 820 LED-Seelaternen

- Vorbereitung: April 2003
- Vorabinformation: 16.04.2003
- Veröffentlichung: 17.10.2003
- Angebotsöffnung: 17.12.2003
- Vergabe: Januar bis Mai 2004
- Auslieferung: Abschluss Ende November 2004
- Gesamtsumme: 1,4 Mio. €

Die Vergabe der Lose 1, 3, und 4 erfolgte im Januar 2004. Bei der Vergabe von Los 2 (LED-Seelaternen) wurde von einer Firma Widerspruch beim Bundeskartellamt gegen die Vergabeentscheidung des WSA Emden eingelegt. Dieser wurde jedoch am 29.04.2004 zurückgewiesen, so dass der Auftrag über Los 2 erst am 06.05.2004 vergeben werden konnte.

## Farbgebung der Solar-Kompaktaufsätze

Die Gehäuse der ersten 100 SKA wurden farbig ausgeführt. Eine einheitliche graue Ausführung der Gehäuse bietet jedoch viele logistische Vorteile im Bereich des Tonnenlegeteinsatzes, der Ersatzteilbevorratung etc. Um die Akzeptanz der Schifffahrt hinsichtlich grauer Gehäuse zu testen, führte das WSA Emden einen entsprechenden Versuch durch. Dazu wurden 5 Tonnen mit grauen SKA ausgestattet und in der Ems von Emden bis Borkum ausgelegt.



Abb. 16: SKA mit rotem Gehäuse

Die Beurteilung erfolgte durch die Nautiker des Amtes, die Schifffahrt, die Lotsen etc. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die Nautik graue Gehäuse beim SKA akzeptiert. Daher verfügten die WSDn Nord und Nordwest für alle weiteren Beschaffungen die Verwendung grauer Gehäuse.



Abb. 17: SKA mit grauem Gehäuse

## Weitere Beschaffungen

Es folgten die Ausschreibungen 2 und 3 nach ähnlichem Schema wie Ausschreibung 1 mit folgenden Eckdaten:

### Ausschreibung 2: Beschaffung von 350 Stück SKA

- Vorbereitung: Juni 2004
- Vorinformation: 05.08.2004
- Veröffentlichung: 25.10.2004
- Angebotsöffnung: 09.12.2004
- Vergabe: Januar 2005
- Auslieferung: Abschluss Ende Oktober 2005
- Gesamtsumme: 1,45 Mio. €

### Ausschreibung 3: Beschaffung von 203 Stück SKA

- Vorbereitung                    Januar 2006
- Veröffentlichung:            24.04.2006
- Angebotsöffnung:            22.06.2006
- Vergabe:                        Juli 2006
- Auslieferung:                 Abschluss Ende November 2006
- Gesamtsumme:                940.000,00 €

### **Sonderfall Ostsee – die Schnellkupplung**

Die sog. "Schnellkupplung" stellt eine Sonderlösung für die schnelle Montage/Demontage des SKA dar und ist zwischen Radarreflektor und Solarkompaktaufsatz untergebracht. Hintergrund der Entwicklung war die Notwendigkeit, im Bereich des WSA Stralsund auch kleinere Seezeichenfahrzeuge mit geringen Krantraglasten (ab ca. 300 kg) in den Betrieb und die Unterhaltung der SKA einzubeziehen, da große Seezeichenfahrzeuge, die Tonnen an Deck nehmen können, nicht immer zur Verfügung stehen (Flottenstruktur, Kosteneinsparung). Bei Eisgefahr sollten die Aufsätze in kürzester Zeit geborgen werden können, um Totalverluste zu vermeiden. Aus Gründen der Arbeitssicherheit wurde gleichzeitig angestrebt, den Aufsatz wechseln zu können, ohne auf die Tonne überzusteigen. Die Schnellkupplung erfüllt vorgenannte Anforderungen.



Abb. 19: Platte mit Dorn und Kugelkopf



Abb. 18: Montage des SKA mittels Schnellkupplung

## Funktionsweise der Schnellkupplung

Auf dem Radarreflektor der Tonne ist eine Platte mit einem Dorn montiert, der durch Knotenbleche gestützt wird, siehe Abb. 19. Am oberen Ende des Dorns befindet sich eine Art Kugelkopf. Um den Kugelkopf greift der im SKA eingebaute obere Teil der Schnellkupplung. Dieser besteht im Wesentlichen aus einer zweiseitigen Klaue, s. Abb. 20.



Abb. 20: Geöffnete Klauen der Schnellkupplung

Beim Anheben des SKA mit einem Kran, öffnet sich die Klaue, beim Ablassen rutscht der SKA über den Dorn und rastet automatisch ein (Schließen der Klaue).

Nach erfolgreichem Test von zunächst 11 Prototypen der Schnellkupplung sollen durch die 4. Ausschreibung, die voraussichtlich Ende 2006 veröffentlicht wird, ca. 270 SKA mit Schnellkupplung beschafft werden.

## Tonnen mit weißem Licht (Kardinal- und Ansteuerungstonnen)

Bis jetzt wurden ausschließlich Lateraltonnen mit den Farben rot, grün und gelb umgerüstet. Die Lichtstärke der eingesetzten LED-Seelaternen beträgt ca. 40 Candela. Kardinal- und Ansteuerungstonnen werden mit weißem Licht und höherer Lichtstärke (ca. 200 Candela) betrieben. Da diese Lichtstärke zu Beginn der Maßnahme mit LED-Technik noch nicht zu realisieren war, wurde die Umrüstung dieser Tonnen an das Ende der Maßnahme gestellt. Aufgrund eines weiteren Entwicklungsschubes, gerade im Bereich der weißen LEDs, ist es mittlerweile möglich, mit der gleichen elektrischen Energie deutlich höhere Lichtstärken zu erzeugen. Zur Umrüstung der Tonnen mit weißem Licht legte die FVT im Januar 2006 ein Konzept vor, wonach auch Kardinal- und Ansteuerungstonnen mit Solar-Kompaktaufsätzen und LED-Seelaternen (mit etwas erhöhter elektrischer Leistung) betrieben werden können. Die Umrüstung der Kardinal- und Ansteuerungstonnen ist Bestandteil der 4. Ausschreibung Ende 2006. Es handelt sich um eine Stückzahl von ca. 120 SKA.

Nach Durchführung zuvor genannter Arbeiten ist die küstenweit einheitliche Umrüstung der großen Leuchttönen abgeschlossen.



## Technische Daten SKA

### Allgemein

Temperaturbereich:	- 25°C bis + 40°C
Abmessungen:	Durchmesser: 1.000 mm, Höhe: 1.320 mm
Gewicht:	240 kg

### Batterie

Batterietyp:	Ortsfester verschlossener (VRLA) Bleiakkumulator, 6 Zellen mit GEL-Elektrolyt, Dryfit-Technologie, wartungsfrei
Brauchbarkeitsdauer:	≥ 15 Jahre
Nennspannung:	12 V (6 Zellen à 2 V)
Nennkapazität:	240 Ah (100-stündig)

### Solarversorgung

Solarmodul:	4 x 30 Wp, je 36 Einzelzellen
Solarladeregler:	SLR2020 BV21, Fa. Uhlmann Solarelectronic GmbH
DC-Verteiler:	DP 1010 SBS, Fa. Uhlmann Solarelectronic GmbH

### Seelaterne

Seelaternentyp:	MB3, Trade Wind Energy GmbH
Versorgungsspannung:	11 V bis 18 V / max. 3,6 W
Nennlichtstärken:	rot: 40 cd    grün: 40 cd    gelb: 30 cd