

Toepassing Airborne Lidar Bathymetrie in Nederland

18 juni 2003

Toepassing Airborne Lidar Bathymetrie in Nederland

W. Velthoven

18 juni 2003

Rapport AGI-GAP-2003-31

Voorwoord

Langs deze weg wil ik de Meetkundige Dienst bedanken voor het verzorgen van een stageplaats. Met name mijn stagebegeleider Niels Kinneging.

Ook wil ik Ronald van Oort en Regine Brügelmann bedanken voor hun inzet om mijn afstudeerstage te begeleiden.

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Probleemstelling | 11 |
| 1.1 | inleiding | 11 |
| 1.2 | Behoeften ALB13 | |
| 2 | Laserbathymetrie | 15 |
| 2.1 | Geschiedenis ALB | 15 |
| 2.2 | Algemene beschrijving werkingsprincipe ALB | 17 |
| 2.3 | Laserontwikkeling | 18 |
| 2.4 | Voortplanting | 24 |
| 2.5 | Eye safe Range | 28 |
| 2.6 | Oppervlakte berekening | 30 |
| 2.7 | Wrakdetectie | 32 |
| 2.8 | De IHO norm S44 | 34 |
| 2.9 | Hulpsystemen | 36 |
| 3 | Praktijk | 37 |
| 3.1 | Kalibratie | 37 |
| 3.2 | Correcties | 38 |
| 4 | Specificaties | 39 |
| 4.1 | Specificaties | 39 |
| 4.2 | Kosten | 40 |
| 5 | Metten | 41 |
| 5.1 | Secchi-schijf | 41 |
| 5.2 | Extinctiecoëfficiënt | 42 |
| 5.3 | Beam attenuation coëfficiënt | 44 |
| 5.4 | uitdoving | 45 |
| 5.4.1 | Absorptie (opnemen van licht) | 45 |
| 5.4.2 | Verstrooiing | 47 |
| 5.4.3 | Uitdoving | 48 |
| 6 | Toepasbaarheid ALB Nederland | 49 |
| 6.1 | Aanpak | 49 |
| 6.2 | Eigenschappen onderzoeksgebieden | 50 |
| 6.3 | Onderzoek | 58 |
| 7 | Conclusie | 69 |

Samenvatting

Airborne Laser Bathymetrie (ALB) is een systeem waarmee vanuit de lucht met een laser de bathymetrie van een watergebied in kaart wordt gebracht. De laser zendt twee pulsen uit, op 1064 nm (rood) en 562 nm (groen). De rode laser weerkaatst tegen het wateroppervlak en de groene laser tegen de bodem. Hieruit kan de waterdiepte bepaald worden. ALB kan gebruikt worden tot 70 meter diepte in helder water.

Wanneer laserlicht door de waterkolom zich voortplant zal het onderhevig zijn aan absorptie en verstrooiing door de aanwezige deeltjes de waterkolom. Het gevolg hiervan is dat de penetratiediepte van de laser afhankelijk is van de troebelheid in het water.

De troebelheid kan worden uitgedrukt in 3 parameters: doorzicht, extinctiecoëfficiënt en uitdovingcoëfficiënt. Deze parameters worden gemeten op verschillende locaties in Nederland. Aan de hand van de waarnemingen van de locaties kan de maximale penetratiediepte van het laserlicht van een bepaald gebied worden bepaald. Als de diepte groter is dan de penetratiediepte van het laserlicht is het gebied niet geschikt voor ALB.

Uit de waarnemingen blijkt dat het doorzicht het hoogst is in de maanden mei, juni en juli afhankelijk per gebied.

Het continentaal plat van de Noordzee is grotendeels niet geschikt voor ALB. Wel is duidelijk dat het doorzicht het hoogst is in de maanden mei en juni. De Doggersbank, een ondiepte in de Noordzee, is in de maanden mei en juni wel geschikt voor ALB.

De onderzochte binnenlandse wateren (Waddenzee, IJsselmeer, Markermeer, Randmeren, Westerschelde en Rivieren) is het doorzicht afhankelijk van de door(stroming) en algenbloei.

Op het Markermeer, IJsselmeer en Westerschelde is ALB niet tot nauwelijks toepasbaar. Op de Randmeren is het toepasbaar mede door de positieve maatregelen om het water helderder te krijgen.

Verder onderzoek naar de extinctie is nodig voor toepassingen op de rivieren.

De aanleiding tot dit onderzoek is de wens om opnieuw te kijken of ALB toepasbaar is op de Noordzee. Immers 10 jaar geleden is al een onderzoek uitgevoerd, het blazer project. (ref 3) Het blazer project kwam met de conclusie dat met de toen huidige technologie ALB niet toepasbaar is, behalve op de Doggersbank (ten noorden van het continentaal plat van Nederland). De Hydrografische Dienst verantwoordelijk voor de lodingen op de Noordzee zou opnieuw willen bekijken of ALB met de huidige technologie wel toepasbaar is. Ook Rijkswaterstaat, die veel lodingen uitvoert, is geïnteresseerd in de mogelijkheden van ALB.

In het onderzoek zal ook gekeken worden naar de toepassingsmogelijkheid van ALB op de binnenwateren.

Het onderzoek, toepassing van airborne lidar bathymetrie in Nederland, wordt in hoofdstuk 1 uiteengezet.

De technologie is, in vergelijking tot 10 jaar geleden, snel vooruit gegaan. In hoofdstuk 2 wordt dieper ingegaan op de laserwerking en voortplanting.

De punt dichtheid van de lodingen wordt bepaald door de hoogte van het vliegtuig. De minimale hoogte van het vliegtuig wordt bepaald door het American National Standards Institute. Omdat met laser wordt gewerkt mag maar een bepaalde energie op een oppervlakte vallen.

Om ALB toe te passen moet eerst gekalibreerd worden voordat men data in kan winnen. In hoofdstuk 3 wordt de kalibratie uiteengezet.

De verschillende ALB systemen die nu op de markt zijn worden in hoofdstuk 4 nader toegelicht.

De mogelijkheid om ALB toe te passen berust op de troebelheid in het water. Er zijn verschillende parameters om de troebelheid weer te geven. De meest gebruikte is de extinctiecoëfficiënt. In Hoofdstuk 5 worden de verschillende parameters die de totale extinctiecoëfficiënt bepalen uiteengezet.

In het onderzoek zijn van verschillende locaties de extinctie waarnemingen waargenomen. In hoofdstuk 6 worden de onderzochte gebieden onder de loep genomen op hun extinctie waarnemingen. Aan de hand van de diepte en extinctie van de locatie wordt bepaald of ALB toepasbaar is.

De eindconclusie met betrekking tot de ALB systemen wordt uiteengezet in hoofdstuk 7.

De illustraties die worden gebruikt zijn soms voorzien van Engelse tekst. In Bijlage 1 is de vertaling van deze woorden opgenomen.

1 Probleemstelling

Het bathymetrisch in kaart brengen van de watergebieden in Nederland gebeurt met behulp van single of multibeam echolood. Het in kaart brengen van diepten kan ook met airborne laser bathymetrie. Of het mogelijk is airborne lidar bathymetrie toe te passen is sterk afhankelijk van de troebelheid. Het onderzoek hiernaar wordt nader beschreven in paragraaf 1.1.

De behoeften om airborne lidar bathymetrie toe te passen in Nederland zijn afhankelijk van de verantwoordelijke instanties die de watergebieden beheren (paragraaf 1.2).

1.1 inleiding

Nederland bestaat voor een groot deel uit water (Zie figuur 1). Het IJsselmeer, de Waddenzee, Wester- en Oosterschelde en natuurlijk de Noordzee zijn grote wateroppervlaktes. De scheepvaart gebruikt deze wateren actief. Het in kaart brengen van bathymetrische gegevens gebeurt daarom regelmatig.

Figuur 1

Kaart van Nederland met daarop aangegeven de verschillende watergebieden



In de Westerschelde is nu begonnen met het verwijderen van talloze wrakken ter behoeve van de toegankelijkheid van Antwerpen. Daarbij wordt ook de haveningang vergroot. Op de Noordzee liggen talloze, niet ontdekte, wrakken die nog verwijderd moeten worden in verband met de veiligheid van de scheepvaart.

De Waddenzee is onderhevig aan sterke getijstromen waardoor de bodem dynamisch is.

Deze relatief grote gebieden worden gelood m.b.v single of multibeam echoloden. Het Nederlands continentaal plat wordt in kaart gebracht door de Hydrografische Dienst van de Koninklijke Marine tot 3 mijl uit de kust. De Binnenwateren inclusief Waddenzee zijn voor rekening van Rijkswaterstaat (RWS).

Tevens speurt de Hydrografische Dienst de Noordzee af met side scan sonar op de aanwezigheid van wrakken.

De Hydrografische Dienst zoekt naar mogelijkheden om surveys sneller, maar wel volgens de International Hydrographic Organization (IHO) S44 norm te volbrengen.

Het Airborne Lidar Bathymetry (ALB) is een systeem waarmee met een pulslaser in een vliegtuig of helikopter over een gebied wordt gevlogen om bathymetrische data te verkrijgen. Dit gebeurt met een hoge frequentie van ongeveer 1000 Hz afhankelijk van het systeem.

Voor het gebruik van ALB zijn echter ook beperkingen. Het ALB maakt gebruik van lichtgolven voor het detecteren van de bodem. Aan de hand van de hoeveelheid licht, die het water en deeltjes in het water absorbeert, kan bepaald worden wat de penetratiediepte van het licht is. De sterkte van het laserlicht waarbij de bodem nog gedetecteerd kan worden komt overeen met 2-3 maal de Secchi-diepte. Over het algemeen zijn de Nederlandse wateren zeer troebel. Daarom wordt verwacht dat de troebelheid de grootste beperking voor ALB op de Nederlandse wateren zal betekenen. Anders gezegd de penetratie van het licht is sterk afhankelijk van de troebelheid.

In dit rapport worden de onderstaande criteria behandeld.

- 1 Een beschrijving geven van het ALB meetprincipe en de ontwikkelingen daarbij.
- 2 Is er behoefte voor het gebruik van ALB binnen Nederland? RWS, Koninklijke Marine, andere partijen?
- 3 Wat zijn de voornaamste problemen voor het gebruik van ALB Waddenzee, Noordzee,..... m.b.t lodingen? Te denken valt aan gebiedsgrootte, geulen, ondieptes,...
- 4 Is het mogelijk om met ALB wrakken te detecteren ter grote van 1 bij 1 meter volgens IHO norm groep 1?

1 Systemen

Door middel van internet onderzoek en een literatuur studie zal een overzicht gemaakt worden van de bekende systemen.

- Werkingsprincipe
- Hulpsystemen
- Leveranciers
- kosten

2 Behoeftte in Nederland

Door middel van interviews met betrokken instanties wordt de behoefte van ALB geïnventariseerd.

De instanties zijn:

- RWS (diverse diensten)
- Koninklijke Marine
- Andere partijen

3 Problemen rond toepasbaarheid

Uit gegevens over troebelheid, die bij RWS bekend zijn, zal de toepasbaarheid worden nagegaan. Dit zal afhankelijk zijn van het gebied en het jaargetijde.

4 Wrakdetectie

Voor de toepassingen van ALB bij wrakdetectie zullen de specificaties worden vergeleken worden met IHO-norm.

1.2 Behoeften ALB

De Hydrografische Dienst is zeer geïnteresseerd in het ALB systeem. Zij is verantwoordelijk voor de hydrografische opname van het continentaal plat van de Noordzee vanaf 3 mijl uit de kust. De Hydrografische Dienst beschikt over verschillende vaartuigen waaronder 2 uitgerust met echolood en side scan sonar. Er zijn tevens twee schepen in ontwikkeling die worden voorzien van geavanceerde apparatuur waaronder multibeam echolood en side scan sonar. Hiermee kunnen zij verschillende gebieden in de Noordzee frequent loden. Daaraan zal ALB een nuttige bijdragen kunnen leveren om snel meer data te genereren over de bathymetrie van de Noordzee. Vanwege het grote oppervlak van de Noordzee zou daarbij zeker een kostenbesparing op kunnen treden. Voor de Koninklijke Marine is het dus een nuttige zaak om te onderzoeken of ALB toepasbaar is in de Noordzee.

De watersystemen binnen Nederland vallen onder beheer van verschillende regionale directies van Rijkswaterstaat (totaal 10). Tevens zijn de vaargeulen en kuststrook tot 3 mijl uit de kust ook onder het beheer van RWS. Deze is verantwoordelijk voor beheer en onderhoud van deze vaarwegen en meren.

Gebieden zoals het IJsselmeer en het Markermeer zijn grote plassen en tevens vrij ondiep. Hierdoor maakt ALB een goede kans qua kosten. Immers met multibeam zal veel meer gevaren moeten worden om het gebied in kaart te brengen vanwege de geringe diepte. Daarom zijn de regionale diensten van Rijkswaterstaat geïnteresseerd in de toepassingmogelijkheden van ALB.

De volgende gebieden worden onder de loep genomen:

- Noordzee
- Waddenzee
- Westerschelde
- Rivieren (Rijn, Maas)
- Meren

2 Laserbathymetrie

De Geschiedenis van de laserbathymetrie dateert uit de jaren '60 van de vorige eeuw voor marine doeleinden (paragraaf 2.1). Pas in de jaren '70 volgde de ontwikkeling in de commerciële sector. Het werkingsprincipe (paragraaf 2.2) is afhankelijk van de laserontwikkeling (paragraaf 2.3). Licht volgt zijn weg via de atmosfeer en de waterkolom. Hierbij moet rekening gehouden worden met fouten in de voortplanting van het licht (paragraaf 2.4). Laserlicht kan een gevaarlijk instrument zijn. Voorschriften over laser zorgen dat het gebruik wordt beperkt voor bathymetrische doeleinden omdat maar een bepaalde energiehoeveelheid op een oppervlakte mag vallen (paragraaf 2.5). Aan de hand van de veiligheidsvoorschriften wordt bepaald hoe hoog je mag vliegen. De punt dichtheid van het meetgebied is hiervan afhankelijk, alsmede ook de resolutie (paragraaf 2.6). Aan de hand van de punt dichtheid is bepaald of we wrakken kunnen detecteren op de bodem (paragraaf 2.7). De nauwkeurigheid van de ALB systemen wordt vergeleken met de IHO-norm (paragraaf 2.8). Het ALB systeem heeft naast de laser apparatuur hulpsystemen nodig. De GPS en versnellingssensoren bepalen de plaats van een loding (paragraaf 2.9)

2.1 Geschiedenis ALB

In de jaren '60 van de vorige eeuw is een systeem ontwikkeld voor het opsporen van duikboten dat gebruik maakt van de pas ontwikkelde laser. In de jaren '70 volgde pas de bathymetrische toepassing voor het gebruik van lidar- toepassingen. De eerste generatie ALB systemen werd getest bij de US Navy. NASA (National Aeronautics and Space Administration) gaf hiertoe de eerste aanzet en testte succesvol hun systeem in Canada en Australië.

Figuur 2

Airborne lidar Bathymetrie toegepast in een vliegtuig (hawk eye).



In 1977 werd de tweede generatie van de NASA Airborne Oceanographic Lidar (AOL) voor hydrografie ontwikkeld. Hier maakte men gebruik van twee laser signalen voor water en bodem weerkaatsing. Andere systemen werden ontwikkeld in Canada, Australië en de Sovjet Unie.

In de jaren '80 zijn de eerste commerciële ALB systemen op de markt gekomen. Airborne Lidar Hydrografiy (ALH) is ontwikkeld in Canada,

genaamd Larsan-500. In Australië werd begonnen met de ontwikkeling van LADS (Laser Airborne Depth Sounder) door Vision Systems Ltd, in opdracht van de Royal Australian Navy (RAN). In 1988 begon de US Army Corps of Engineers (USACE) het SHOALS (Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey) programma. Dit resulteerde in de jaren '90 tot de volgende operationele systemen van de volgende bedrijven. In Australië het LADS systeem van RAN/BHP Industries, de Verenigde Staten SHOALS-1000 van USACE/Optech en in Zweden de Hawk eye II van Saab Instruments en Optech. Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende systemen.

Figuur 3

Airborne lidar bathymetrie toegepast in een helikopter (Hawk eye).



Tabel 1

Chronologische volgorde van bedrijven die ALB systemen ontwikkelen.

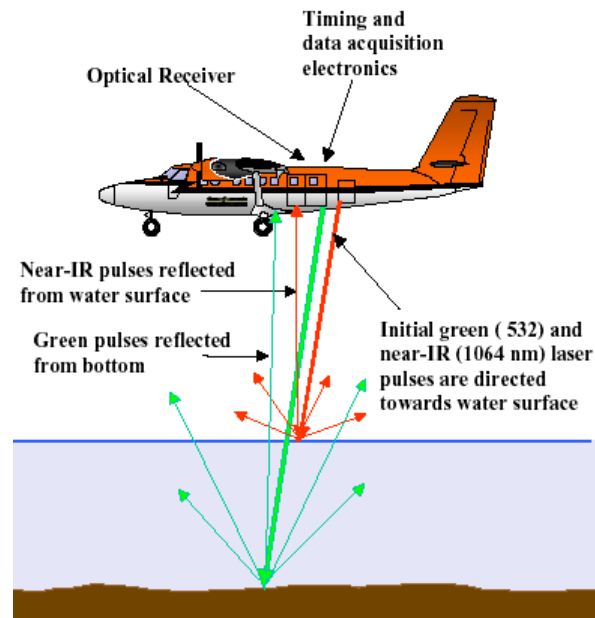
| Instrument | Land | bedrijf | markt |
|-------------|-----------|------------------------|-----------------|
| Larsan-500 | Canada | Optech, Terra Surveys | 1980 |
| Lads MK I | Australië | BHP/RAHNS | 1993 |
| SHOALS | U.S | Optech | 1994 |
| Hawk eye | Zweden | USACE/Optech | |
| LADS MKII | Australie | Tenix lads corporation | 1998 |
| Hawk eye II | Zweden | AHAB (Saab,Optech) | medio juni 2003 |
| SHOALS-1000 | U.S | Optech | 2003 |

2.2 Algemene beschrijving werkingsprincipe ALB

De SHOALS, Hawk eye en Lads maken gebruik van groen en IR licht. Het algemene werkingsprincipe van het systeem sluit nagenoeg bij alle systemen aan. Kleine uitzonderingen zoals verschillende zend- en ontvangstapparatuur daargelaten. De fundamentele basis van de systemen wordt hieronder toegelicht. (Zie figuur 4)

Figuur 4

Het werkingsprincipe berust op het meten van het tijdsverschil tussen de rode en de groene laser.



Het ALB systeem bestaat uit een laser, scanner en ontvanger. De scanner straalt laserpulsen uit in een bepaald patroon en ontvangt teruggekaatste licht om daar de diepte uit te bepalen. De laser genereert een golflengte van 1064 nm (IR) ook wel de rode bundel genoemd. Met behulp van een frequentie verdubbelaar ontstaat zichtbaar licht van 532 nm (groen). De rode laser dringt niet in het water door en zal teruggekaatst worden aan het wateroppervlak. De groene laser dringt in het water door en wordt teruggekaatst op de bodem. De ontvanger splitst het signaal in twee groene, twee IR en een Raman kanaal (645 nm) afkomstig van de Ramangolflengte. Deze golflengte ontstaat wanneer fotonen afkomstig van de laser op de watermoleculen vallen. De golflengte die ontstaat is afhankelijk van de spectraallijnen van het laserlicht en de rotatie snelheid van de watermoleculen. De signalen worden opgeslagen op een tape om later te verwerken. De twee groene signalen worden gebruikt om de diepte en hoogte te bepalen ten opzichte van het waterniveau. De IR en Ramakanalen worden gebruikt om de hoogte van het wateroppervlak te bepalen ten opzichte van het vliegtuig. De laatste IR bundel wordt gebruikt om real-time de hoogte ten opzichte van het wateroppervlak te meten. Het tijdsverschil tussen de rode en de groene laser levert, als we dit vermenigvuldigen met de lichtsnelheid en corrigeren voor de invalshoek, een diepte.

Het vliegtuig heeft GPS, versnellingssensoren en roll, pitch, yaw om de stand van het vliegtuig te bepalen. Tevens is een videosysteem aan boord om online het gebied te inspecteren. Bij verwerking van de data kunnen de videobeelden van pas komen om oneffenheden (spikes) in de data te interpreteren. Het vliegtuig kan op verschillende hoogtes vliegen waardoor er een meer of minder groot gebied wordt gemeten. Voor een normale toepassing kan 65 km² per uur gesurveyed worden met een vlieghoogte van 250 m en snelheid van 90 m/s

2.3 Laserontwikkeling

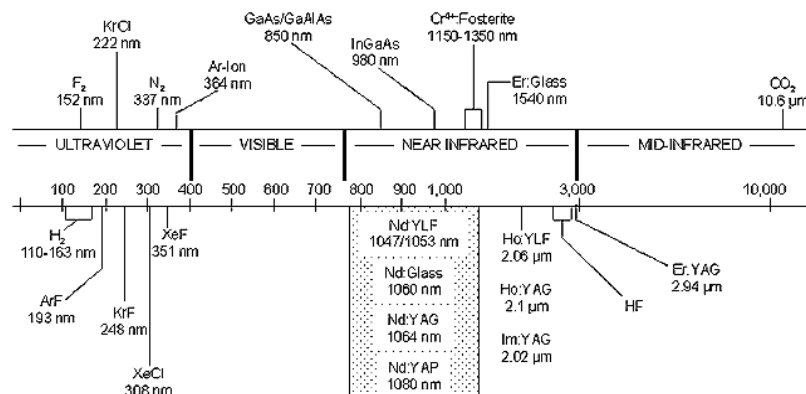
Er zijn verschillende soorten lasers types (A). Het werkingsprincipe is voor al deze types hetzelfde. Het laserlicht is monochromatisch, coherent en parallel (B). Laser bathymetrie maakt gebruik van de Nd;Yag laser (Nedimium gedoteerd Yttrium aluminium Garnet) (C). De elementen zorgen voor de specifieke golflengte van 1064 nm. Verschillende hulpinstrumenten zorgen ervoor dat de laser een hoge energie puls genereert waardoor de laser in aanmerking komt voor ALB (D)

A Golflengte

In figuur 5 is een klein gedeelte van het elektromagnetisch spectrum weergegeven. Hierin zien we de verschillende laserfrequenties. De Nd;Yag staaf genereert laserlicht met een golflengte van 1064 nm. Als we deze door een kristal laten gaan wordt de frequentie verdubbeld en zal laserlicht met een golflengte van 532 nm ontstaan.

Figuur 5

Het elektromagnetisch spectrum met de daarbij behorende laserfrequenties.

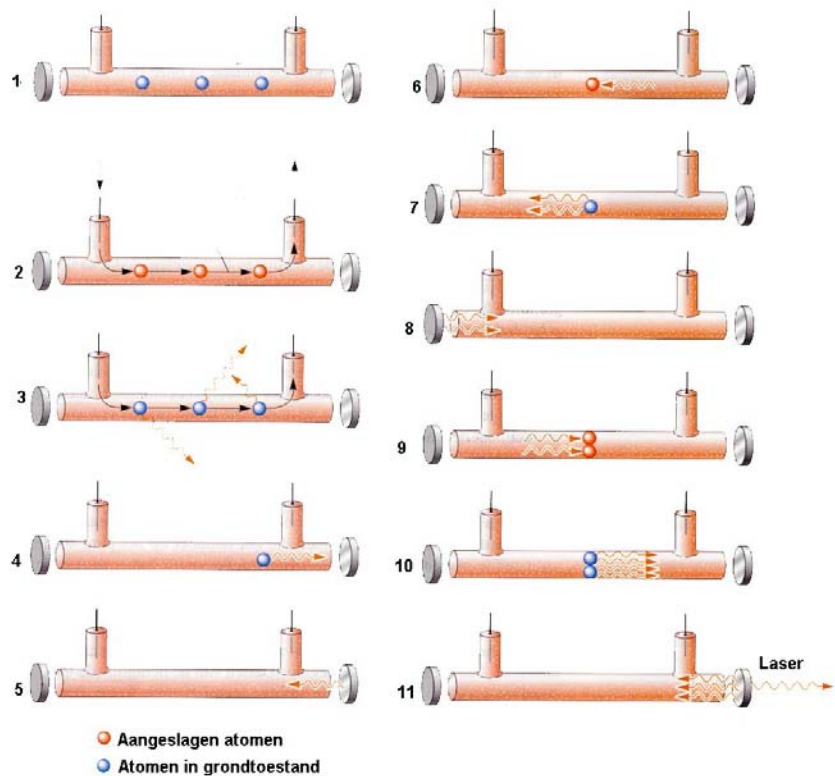


B Laserwerking

Laser staat voor: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Figuur 6

Basisprincipe voor het ontstaan van laserlicht



In figuur 6 is een buis gevuld met neon atomen (1) afgebeeld. Door middel van stroom door de buis te laten lopen worden atomen aangeslagen (2). Elektronen die zijn aangeslagen gaan naar orbitalen (schillen) met een hogere energie. Na enige tijd zal de meerderheid van de atomen in aangeslagen toestand verkeren (populatie-inversie). Deze aangeslagen elektronen vallen na enkele milliseconden terug naar lager gelegen orbitalen waarbij ze hun overtollige energie afgeven door een foton uit te zenden (3). Deze worden naar alle richtingen uitgezonden. Aan het einde van een buis bevindt zich een niet doorlaatbare spiegel. De meeste fotonen raken de spiegel niet. Op een gegeven moment ontstaat een foton dat bij toeval precies parallel aan de as van de buis beweegt, en wordt gereflecteerd door de spiegel (5). Op zijn weg terug komt hij andere aangeslagen elektronen in hogere orbitalen tegen, die op het punt staan terug te vallen om een foton uit te zenden. Het foton wat door de buis terug gaat stimuleert de aangeslagen atomen om mee te doen. (Gestimuleerde emissie). Het gestimuleerde atoomfoton gaat precies in de pas met het stimulerende foton (7). Dit proces gaat zo door. Dit houdt in dat het uitgezonden licht coherent is (in fase). Bovendien reist het foton exact in dezelfde richting als het langskomende foton. Dat zorgt ervoor dat de bundel parallel is. Een derde eigenschap van laserlicht is dat het monochromatisch is. Al het licht is van dezelfde frequentie. Dit komt omdat de fotonen in de

bundel alle resulteren van dezelfde elektronenovergang van een hoger gelegen orbitaal naar een lager.

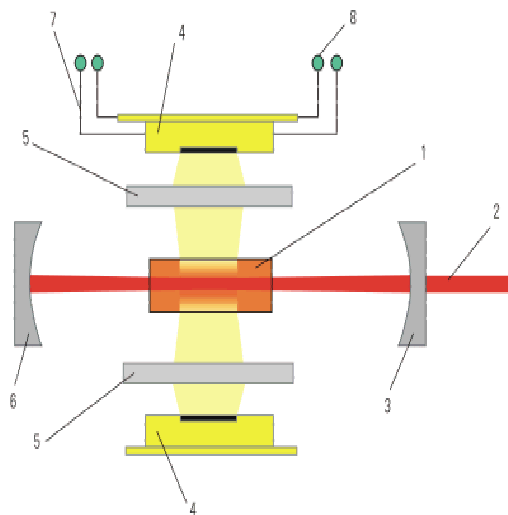
Aan het eind van de buis bevindt zich een tweede halfdoorlaatbare spiegel. De meerderheid van de fotonen zullen terug de laser in gaan om andere atomen aan te slaan en een deel zal de laser verlaten als parallel, coherent en monochromatisch licht.

Dit principe geldt niet alleen voor gaslasers. Ook voor vaste stoflasers geldt dat zij een foton kunnen uitzenden als het atoom terugvalt naar lagere orbitalen

In figuur 7 is een schematische weergave getekend van de Nd;Yag laser. De stroombron (7) voedt het diode area (4), dit systeem wordt later besproken, waarvoor er licht ontstaat. Dit licht gaat door en collimator (5) waar het gefocust wordt op de Nd;Yag staaf (1). Door de niet doorlaatbare spiegel (6) en half doorlaatbare spiegel (3) worden fotonen opgewekt. Het systeem wordt gekoeld door middel van water (8)

Figuur 7

Werkingsprincipe van een Nd;Yag laser

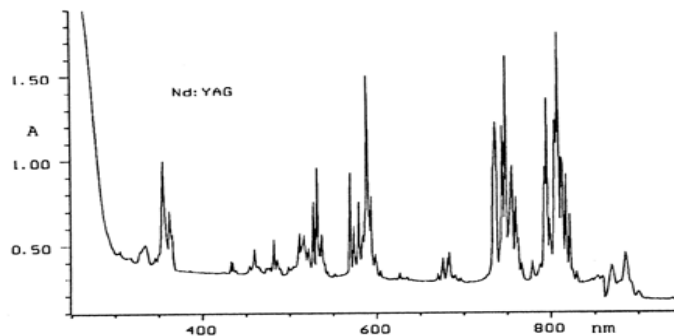


C Nd;Yag laser

De elektronen van de Nd;Yag-staaf gaan naar een hogere schil als zij licht absorberen van 730-760 nm en 790-820 nm (zie het absorptie spectrum van figuur 8). Wanneer de elektronen weer terugvallen wordt er een infrarood licht geproduceerd van 1064 nm.

Figuur 8

Absorptie spectrum Nd;Yag laser



Voor lasertoepassingen moet een lichtbron worden gezocht die tussen deze golflengtes zit om zo'n hoog mogelijk rendement uit de laser te halen.

Er zijn drie toepassingen voor lichtbronnen die voor de Nd;Yag laser worden gebruikt::

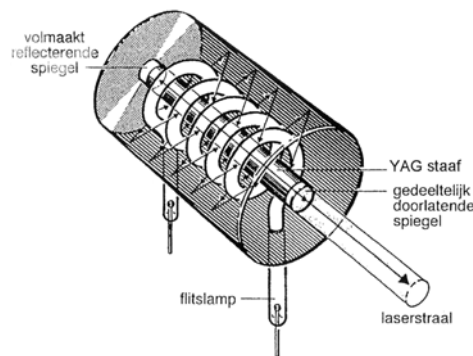
- I Flash lamp
- II Continue Wave Xenon of Krypton lamp
- III Diode lamp

I Flash lamp

De lamp bevindt zich als een spiraal rondom de Nd;Yag staaf (Zie figuur 9). Het uitgezonden witte licht bevat onder andere het hele zichtbare spectrum.

Figuur 9

Werkingsprincipe flash lamp



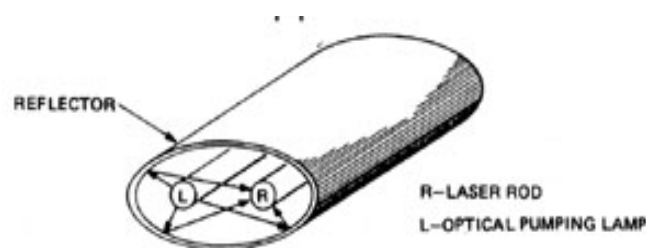
Alleen de genoemde golflengtes worden geabsorbeerd door de Nd;Yag staaf (Zie figuur 8). Doordat de lamp flitst zal er een gepulseerde laserbundel ontstaan. Het nadeel van een flashlamp is dat de levensduur, afhankelijk van de pulssterkte en de puls frequentie ter vergelijking met andere systemen van korte duur is.

II Continue Wave Xenon of Krypton booglamp

Een tweede optie is het gebruik van CW, (continuous wave) Xenon of Krypton booglamp. Deze zenden licht uit wat geabsorbeerd wordt door de Nd;Yag-staaf. Een of meerdere lampen bevinden zich in de laser (Zie figuur 10).

Figuur 10

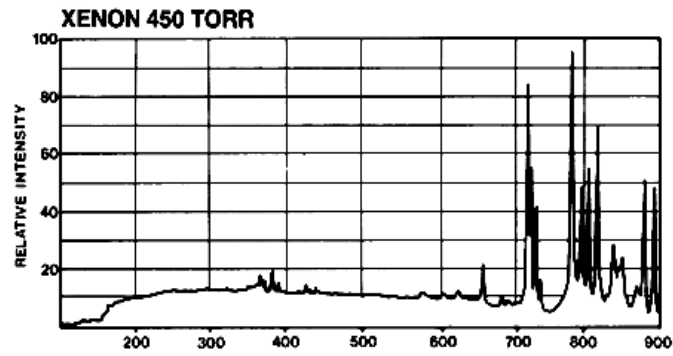
Continue Wave Xenon of Krypton arc lamp. Door de vorm van het omhulsel wordt alles gereflecteerd richting de Nd;Yag staaf



De vorm van het omhulsel zorgt ervoor dat de lichtstralen na weerkaatsing op de Nd:Yag staaf komen. Figuur 11 geeft het emissie spectrum van een xenon lamp weer. Het emissie spectrum komt overeen met het absorptiespectrum van de Nd:Yag staaf.

Figuur 11

Het emissie spectrum van de Xenon lamp komt overeen met het absorptiespectrum van de Nd:Yag staaf



Er is vele malen minder energie nodig om hetzelfde vermogen als een flashlamp te bereiken omdat de Xenon booglamp maar een bepaald emissiespectrum uitzendt.. Het systeem wordt watergekoeld waardoor de lampen continu aan kunnen staan.

III Diode lamp

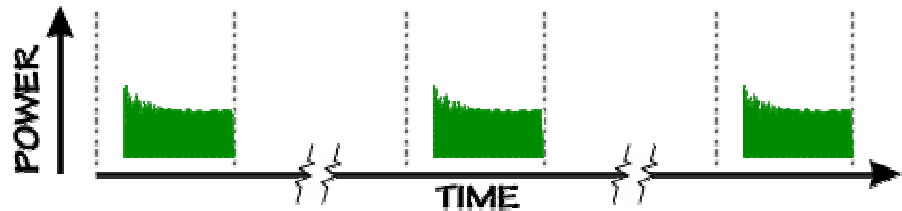
De nieuwste ontwikkeling maakt gebruik van een halfgeleider diode array. Hierbij zijn een rij van diodes gericht op de Nd:Yag staaf. Deze toepassing wordt nu gebruikt bij de laserbathymetrie. Het grote voordeel is dat de laser veel langer mee gaat, minder gevoelig is en sneller warmte kan afstaan.

D Energie

De energie die de laser uitstraalt kan verschillende vormen qua tijd en vermogen hebben afhankelijk wat voor medium is gebruikt voor de stroom toevoer. In figuur 12 is geen gebruik gemaakt van een diode array maar van een lamp. Duidelijk is zichtbaar dat de lamp aan en uit gaat waardoor de energie fluctueert.

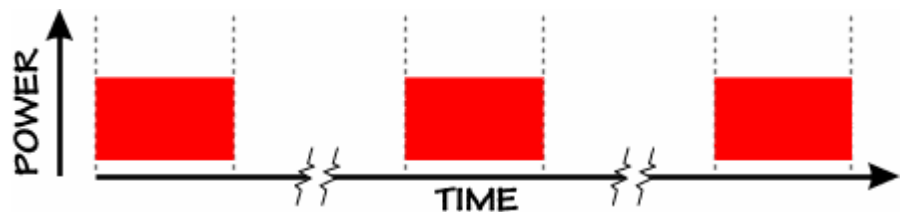
Figuur 12

Energie uitstoot bij een pulserende lamp



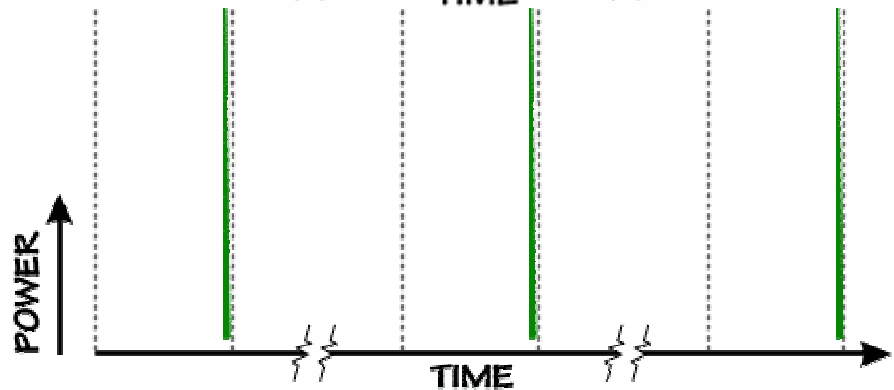
Figuur 13

Energie uitstoot bij een diode array



Figuur 14

Energie uitstoot bij een diode array gebruik makend van een Q-switch



In figuur 13 is een gebruik gemaakt van een gepulseerde diode array Om te zorgen voor een korte puls zoals is weergegeven in figuur 13 zal er een korte hoge energiebundel ontstaan geschikt voor laser bathymetrie

Door middel van een Q-switch zal er tijdelijk geen lichtbundel de laser verlaten maar binnen de Nd:Yag staaf blijven. Hierdoor zullen er meer fotonen bij opening van de Q-switch de laser verlaten.

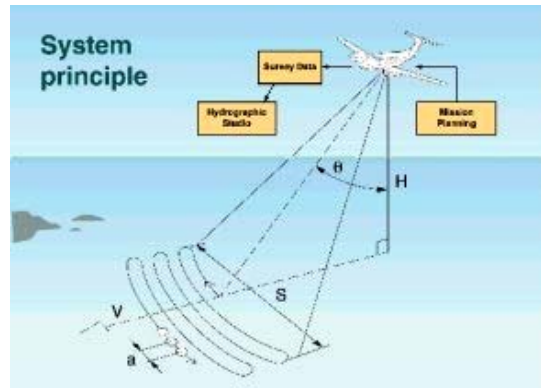
Electro-Optic Q-switched lasers kunnen pulsen genereren van 5 tot 50 ns met een frequentie van 1 tot 1000 Hz. De pulsduur van lasers die bij ALB worden gebruikt ligt bij $6-7 \cdot 10^{-9}$ s wat neerkomt op een weglengte van ongeveer 1,5 meter.

2.4 Voortplanting

De hoek waarmee de groene laser het wateroppervlak raakt bedraagt voor alle systemen 20 graden (Zie figuur 15). Bij een hoek van 20 graden zullen er minder fouten ontstaan in de voortplanting van het licht door het water. Wanneer laserlicht onder een andere hoek het wateroppervlak belicht zal de reflectie groter zijn en daardoor minder energie in het water doordringen.

Figuur 15

De hoek θ die de laser maakt met het wateroppervlak is altijd rond de 20 graden



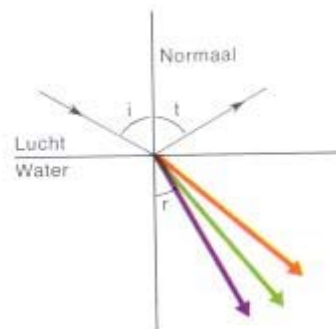
Het groene licht raakt het wateroppervlak en zal voor 10 procent gereflecteerd en voor 90 procent doorgelaten worden. Reflectie en refractie wordt scattering genoemd ook wel verstrooiing. Het licht wordt gebroken en gereflecteerd als het van medium verandert

Licht plant zich in lucht voort met een snelheid van $3 \cdot 10^8$ m/s. Maar wanneer licht van medium verandert zal het gebroken en gereflecteerd worden (Wet van Snellius).

Dit betekent dat, wanneer licht gebroken wordt het licht een andere snelheid krijgt die afhankelijk is van de golflengte. Dit wordt de brekingsindex genoemd. De brekingsindex is groter naarmate de golflengte kleiner is. Hierdoor wordt violet licht het sterkst afgebogen en oranje licht het minst. (Zie figuur 16)

Figuur 16

Breking van licht van lucht naar water



Met formule 1 kan de hoek van uitval worden bepaald.

$$n_{ir} = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{C_1}{C_2} \quad \text{waarbij } n_i > n_r \quad \text{Formule 1}$$

Waarin n_{ir} = Brekingsindex
 θ_i = Hoek van inval van de lichtstraal in medium i
 θ_r = Hoek van uitval van de lichtstraal in medium r
 C_1 = snelheid licht in medium 1
 C_2 = snelheid licht in medium 2

Voor de laser onder een hoek van 20 graden wordt dit:

$$\theta_r = \text{boog} \sin\left(\frac{\sin 20^\circ}{1,33}\right) = 15^\circ$$

Reflectie, het weerkaatsen van de lichtbundel, gebeurt onder dezelfde hoek waardoor de hoek van inval de hoek van uitval is volgens formule 2

$$\theta_i = \theta_t \quad \text{Formule 2}$$

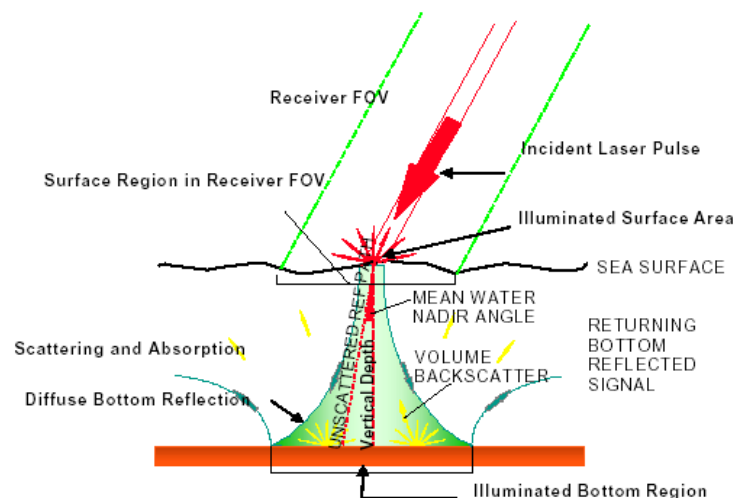
Waarin: θ_i = Hoek van inval van de lichtstraal
 θ_t = Hoek van terugkaatsing van de lichtstraal

Dus 10% wordt gereflecteerd onder een hoek van 20 graden en 90% wordt gebroken en doorgelaten in de waterkolom onder een hoek van 15 graden (mean water nadir angle, Zie figuur 17). Vervolgens zal het licht zich uitspreiden en opgenomen worden door de aanwezige deeltjes in het water. Hierdoor zal de footprint, afhankelijk van de waterdiepte, de halve waterdiepte zijn. Globaal genomen spreidt de bundel zich uit met een hoek van 28 graden. (Zie figuur 17)

Slechts een deel van het licht zal de bodem bereiken en weer terugkaatsen. Dit is afhankelijk van de absorptie van licht door de deeltjes in het water.

Figuur 17

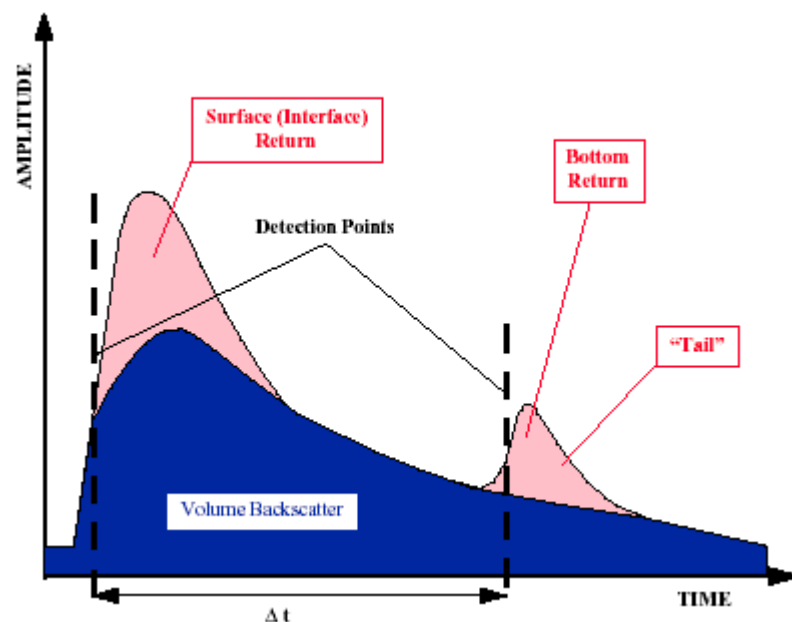
Lichtvoortplanting van een laserstraal onder een hoek van 20 graden ten opzichte van het wateroppervlak. Door verstrooiing en absorptie van de aanwezige stoffen in het water zal het licht zich uitspreiden.



Vervolgens zal het licht bij de ontvanger aankomen en worden omgezet in een elektronisch signaal.

De curve, zie figuur 18, laat zien dat de IR bundel (Surface Return) als eerste aankomt. Enige tijd later zal de reflectie van de bodem te zien zijn (Bottom Return). De hoeveelheid backscatter hangt af van verschillende elementen. Weerinvoeden, zoals mist en regen zorgen voor backscatter. De zon zorgt ook voor storingen in het signaal. Immers deze zendt ook licht uit.. Ook hoge golven zorgen voor meer backscatter.

Figuur 18
Detectie oppervlakte en bodem terugkaatsing



Door aanwezige stoffen en elementen kan het licht compleet worden opgenomen waardoor er geen signaal terug komt. De diepte wordt bepaald met formule 3 en is afhankelijk van de hoek van inval op het wateroppervlak. Omdat volgens figuur 17 de 'unscattered depth patch' bekend is kan de 'vertical depth' bepaald worden met formule 3.

$$D = \frac{c * t * \cos \theta}{2 * n} \quad \text{Formule 3}$$

Waarin c = lichtsnelheid ($m \cdot s^{-1}$)
 t = tijd (s)
 n = brekingsindex (1,33)

Stel $t = 15 \text{ ns}$

Dan volgt: volgens formule 3

$$D = \frac{3 \cdot 10^8 * 15 \cdot 10^{-9} * \cos 15}{2 * 1,33} = 1,66 \text{ m}$$

Als we formule 1 en 3 combineren dan volgt: de algemene vergelijking voor het bepalen van de diepte die wordt gegeven in formule 4

$$D = \frac{t}{2} * \frac{c}{n} * (\cos(\arcsin(\sin \frac{\theta}{n}))) \quad \text{Formule 4}$$

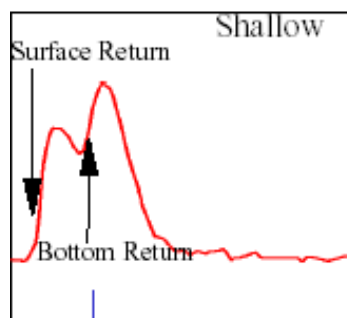
Waarin θ = hoek tussen het groene licht en nadir van het vliegtuig.

Aan figuur 18 is te zien dat bij een bepaalde delta t de diepte te bepalen is. De plaatjes in de praktijk zien er heel anders uit, afhankelijk van de diepte en ruis.

In figuur 19 wordt een oppervlakte en bodemterugkaatsing weergegeven.

Figuur 19

Detectie van de oppervlakte en de bodem bij een geringe diepte



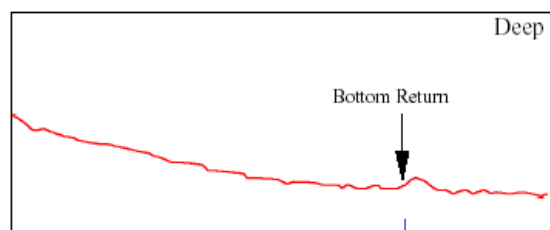
Duidelijk is te zien dat de signalen elkaar overlappen. Mede door het ondiepe water, zal de oppervlakte terugkaatsing en bodem weerkaatsing vlak na elkaar volgen. Ook is de staart steil, wat aanduidt dat de spreiding van het groene licht klein is, en er relatief veel signaal gedetecteerd wordt. Ook is het signaal afhankelijk van de lengte van de puls. Hoe langer de puls des te meer zullen de signalen in elkaar over lopen.

Een omgekeerd verhaal wordt het bij dieper water.

De oppervlakteterugkaatsing blijft van dezelfde grootte. Deze is wel afhankelijk van de vlieghoogte. Maar de bodemweerkaatsing is klein, en is naarmate het dieper wordt steeds moeilijker te onderscheiden van de ruis (Zie figuur 20). Daardoor is de staart vrij zwak en loopt geleidelijk over in de ruis.

Figuur 20

Detectie van de bodem bij een diepte van 50 meter



2.5 Eye safe Range

Lasers kenmerken zich door een bundel elektromagnetische straling van kleine doorsnede met een hoge vermogensdichtheid; deze straling bestaat uit een (of meer) zeer specifieke golflengten en is ruimtelijk coherent.

Door deze hoge vermogensdichtheid kunnen de ogen en/of huid worden beschadigd. Daarom heeft het ANSI (American National Standards Institute) een norm samengesteld. Hierin worden de lasers verdeeld in 4 klassen.

Klasse 1-lasers:

Lasers die niet voldoende vermogen hebben om schade te veroorzaken, ook al zouden ze oneindig lang (in het algemeen langer dan 10^4 seconden = ± 3 uur) in het oog schijnen: deze zijn ongevaarlijk.

klasse 2-lasers:

Lasers die de schadelijke energie niet binnen 0,25 seconden kunnen leveren zijn op zich ook niet gevaarlijk. Binnen 0,25 seconden kan en zal de mens zijn ogen sluiten als er fel licht invalt.

De straling van de zon is hiermee vergelijkbaar; deze is pas gevaarlijk als bewust de reflex om het oog te sluiten wordt onderdrukt.

Lasers uit deze klasse vallen uiteraard allemaal binnen het zichtbare gebied.

klasse 3-lasers:

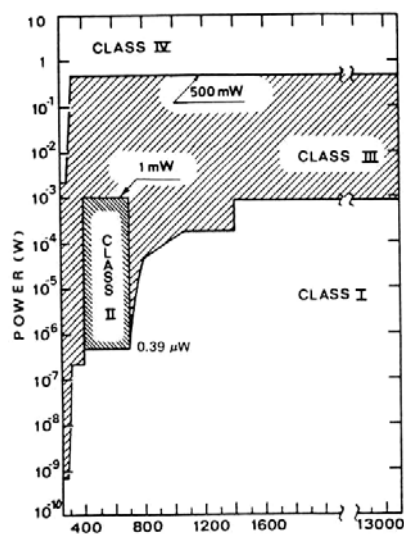
In het algemeen gaat het om lasers in het zichtbare gebied met een vermogen tussen 1 en 5 milliwatt.

klasse 4-lasers:

Lasers die ook bij een diffuse reflectie schade kunnen veroorzaken worden 'klasse-4-lasers' genoemd. De grens van het vermogen om zo'n diffuse reflectie te kunnen veroorzaken zou bij continue lasers in het zichtbare gebied op 0,5 W liggen.

Figuur 21

Indeling klasse naar vermogen en golflengte



Voor pulslasers geldt een andere norm volgens het ANSI. De pulslaser komt al gauw in aanmerking voor klasse 3b of 4, waardoor volgens de norm de laseroutput tussen 0,3 en 0,125 Joule voor klasse 3 zit.

De maximale energie voor een oppervlak wordt gesteld op 5 mJ/m². Voor Airborne Lidar Bathymetrie houdt dit in dat 5,0 mJ per vierkante meter het wateroppervlak mag belichten.

Het belichtte oppervlak is afhankelijk van:

- de divergentie van de bundel (γ)
- de hoogte van het vliegtuig boven het wateroppervlak (H)
- de hoeveelheid energie (E)

$$\frac{\gamma^2}{E} = \frac{4}{\pi * H^2 * ANSI} \quad \text{Formule 5}$$

als voorbeeld nemen we voor

$$\begin{aligned} \gamma &= 13 \text{ mrad} \\ E &= 80 \text{ mJ} \end{aligned}$$

Hieruit volgt:

$$H = \sqrt{\frac{0,08 * 4}{0,013^2 * \pi * 0,005}} = 347 \text{ m}$$

De minimale hoogte met een bundelhoek van 13 mrad en een energie van 80 mJ bedraagt 347 m.

De ALB systemen hebben voor hun lasers verschillende bundelhoeken en energiewaarden. Daardoor is de eye safe range voor elk systeem verschillend.

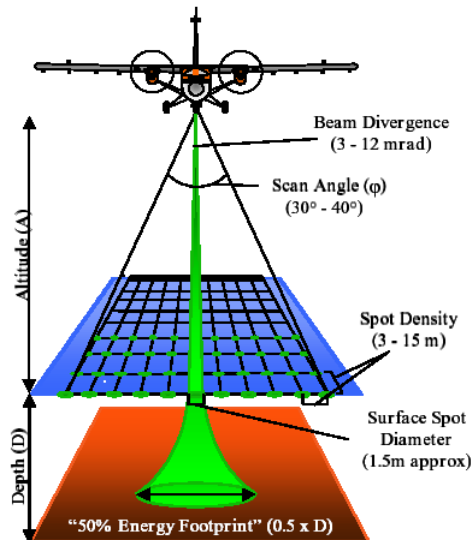
De divergentie verschilt van 3 tot 15 mrad.

2.6 Oppervlakte berekening

De bepaling van de breedte van het gescande wateroppervlak (swath), hangt af van de hoogte van het vliegtuig en van de bundelhoek. (zie figuur 22)

Figuur 22

Geometrie van de lichtbundels. De divergentie van de laser ligt tussen de 3 en 12 mrad. De groene laser maakt een hoek van tussen de 20 en 40 graden. De swath is afhankelijk van de hoogte en de scanhoek.



De swath kan bepaald worden volgens formule 6.

$$B = 2 * H * \tan \theta$$

Formule 6

Waarin B = swath

H= hoogte boven wateroppervlak

θ = nadir hoek

Voor een hoogte van 142 m en een nadir hoek van 20 graden wordt de swath volgens formule 6:

$$B = 2 * 142 * \tan 20^\circ = 252,60 \text{ m}$$

Voor de meeste systemen wordt een bundelhoek aangehouden tussen de 30 en 40 graden .

De punt dichtheid hangt af van de manier waarop wordt gescand door de spiegel.

Er zijn twee manieren om een gebied te scannen.

A arcs (circels)

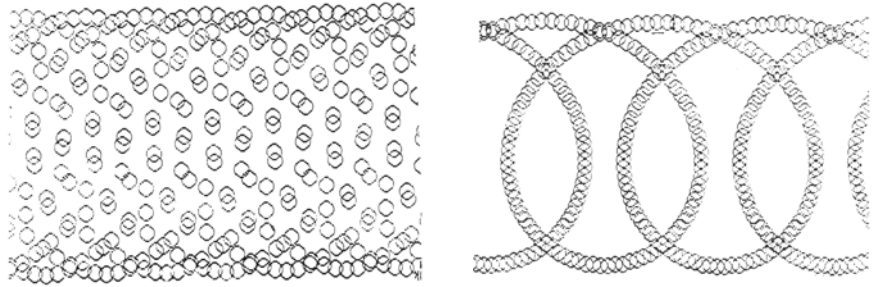
B rectilinear (rechthoekig)

A Arcs

De spiegel kan onder een hoek van 20 graden met de nadir een rondje draaien of de spiegel maakt een half rondje.

Figuur 23

Linker figuur wordt gevlogen door de spiegel 180 te laten draaien, vooruit kijkend. Rechter figuur wordt de spiegel continu gedraaid in een hele circe.



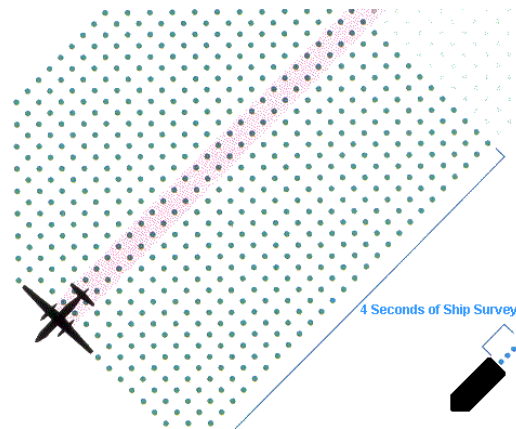
In figuur 23 linker plaatje maakt de laser een footprint door 180 graden te draaien om zijn horizontale as met 20 graden vooruitkijkend. In figuur 23 rechter plaatje draait de spiegel rond onder een hoek van 20 graden waardoor een ellipsoïdische vorm ontstaat. Helaas is de punt dichtheid variabel en dus moeilijk te gebruiken bij wrakdetectie.

B Rectilinear

Bij deze mode is de dichtheid van de punten overal gelijk. (Zie figuur 24) Door de rechthoekige scan wordt in deze mode detectie van wrakken makkelijker.

Figuur 24

De mode rectilinear zorgt voor een constante punt dichtheid die afhankelijk is van de hoogte, snelheid, puls frequentie.



Om nu de oppervlakte te bepalen dient de snelheid van het vliegtuig bekend te zijn. Deze kan variëren van 40 tot 350 km per uur waardoor een gebied van 8 tot 60 km² per uur in kaart gebracht kan worden. De snelheid, hoogte en nadirhoek van het vliegtuig bepalen de punt dichtheid van het gebied wat in kaart gebracht dient te worden. Elk systeem levert een standaard grid met de bijbehorende snelheid en hoogte.

Het grid wordt berekend met formule 7

$$G = \sqrt{\frac{2 * S * H * \tan \theta}{f}}$$

Formule 7

Waarin

G = grid (m bij m)

S = snelheid vliegtuig in m.s⁻¹

H = Hoogte vliegtuig boven wateroppervlak in m

θ = Maximale nadir hoek in graden

f = Frequentie van de laser s⁻¹

Stel: $S = 97,2 \text{ m.s}^{-1}$
 $H = 347 \text{ m}$
 $\theta = 20 \text{ graden}$
 $f = 1000 \text{ Hz}$

Met behulp van formule 7 wordt dit: een grid van 5x5 meter.

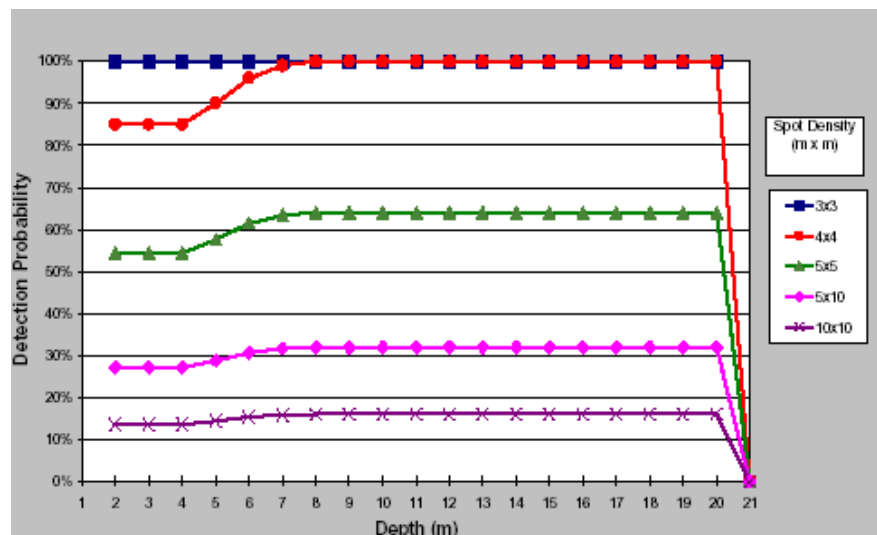
$$G = \sqrt{\frac{2 * 97,2 * 347 * \tan 20}{1000}} = 5x5 \text{ meter}$$

2.7 Wrakdetectie

Lidar heeft een lage resolutie en een hoge punt dichtheid. De resolutie, de afstand waarop twee punten gescheiden kunnen worden waargenomen, hangt af van de swatch en dus de diepte. Aangezien de bundelbreedte zich verdubbelt met de halve water diepte zullen de bundels elkaar overlappen, afhankelijk van de diepte. Er worden standaard punt dichtheden gevlogen (spot density). In figuur 25 worden de verschillende parameters weergegeven m.b.t de dichtheid en kans op detectie van een voorwerp met een omvang van 2*2 vierkante meter. In de grafiek is af te lezen dat de kans om een voorwerp aan te tonen toeneemt wanneer de punt dichtheid groter wordt. Ook geldt voor alle punt dichtheden behalve de blauwe dat eerst de kans kleiner is bij een geringe diepte. En vanaf 4 meter diepte weer groter wordt. Dit heeft te maken met het verspreiden van het signaal in de waterkolom. Bij een diepte groter dan 20 m neemt de kans snel af objecten te detecteren tot 0%.

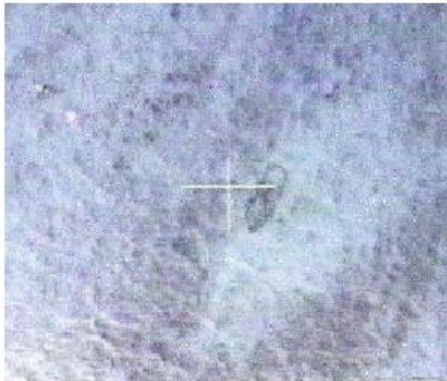
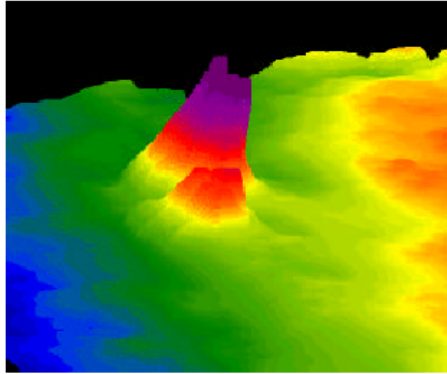
Figuur 25

Kans op detectie van een wrak met een grootte van 2 bij 2 meter bij verschillende punt dichtheden



Een voorbeeld van een wrak is in figuur 26 weergegeven. Het gebied is 9 meter diep en het hoogste punt bevindt zich 6,2 meter onder de waterlijn. Het grootste gedeelte van het wrak bevindt zich onder het zand waardoor het gemiddeld 1 meter boven de bodem bevindt. De onderste figuur laat het wrak zien dat is opgenomen met een video camera.

.....
Figuur 26
Detectie van een wrak met behulp van laser bathymetrie (bovenste pfiguur) en video (onderste figuur)



2.8 De IHO norm S44

Voor ieder gebied dat gesurveyed wordt, is een verschillend meetnauwkeurigheid van toepassing. De gebieden zijn in 4 klassen opgedeeld, namelijk special en Order 1 t/m order 3.

In tabel 2 worden schematisch de bijbehorende nauwkeurigheden gemeld met betrekking tot de orders. Rijkswaterstaat en de Hydrografische dienst meten volgens de special order.

Tabel 2

Nauwkeurigheid bij verschillende orders volgens de IHO norm

| Order | Special | Order 1 | Order 2 | Order 3 |
|---|--|---|--|----------------------|
| Examples of typical Areas | Harbours, critical channels | Harbours, harbour approach channels, coastal areas with depth up to 100 m | Areas not described in special and order 1, or Areas up to 200 m water depth | offshore areas, rest |
| Horizontal Accuracy (95 % confidence level) | 2m | 5 m + 5% of depth | 20 m + 5 % of depth | 150 m + 5% of depth |
| Depth Accuracy for reduced depth (95% confidence level) * | a= 0.25 b = 0.0075 | a = 0.5 m b = 0.013 | a = 1.0 m b = 0.023 | Same as order 2 |
| 100% bottom Search | Compulsory | Required in selected areas | May be required in selected areas | Not applicable |
| System detection Capability | Cubic feature > 1m | Cubic features > 2 m in depth up to 40 m; 10% of depth beyond 40 m | Same as Order 1 | Not applicable |
| Maximum line spacing | Not applicable, as 100 % search compulsory | 3 x average depth or 25 m, whichever is greater | 3-4 x average depth or 200 m, whichever is greater | 4 x average depth |

* Voor de berekening van een fout in de diepte wordt gebruik gemaakt formule van 8:

$$n = \pm \sqrt{(a^2 + (b * d)^2)} \quad \text{Formule 8}$$

Waarin

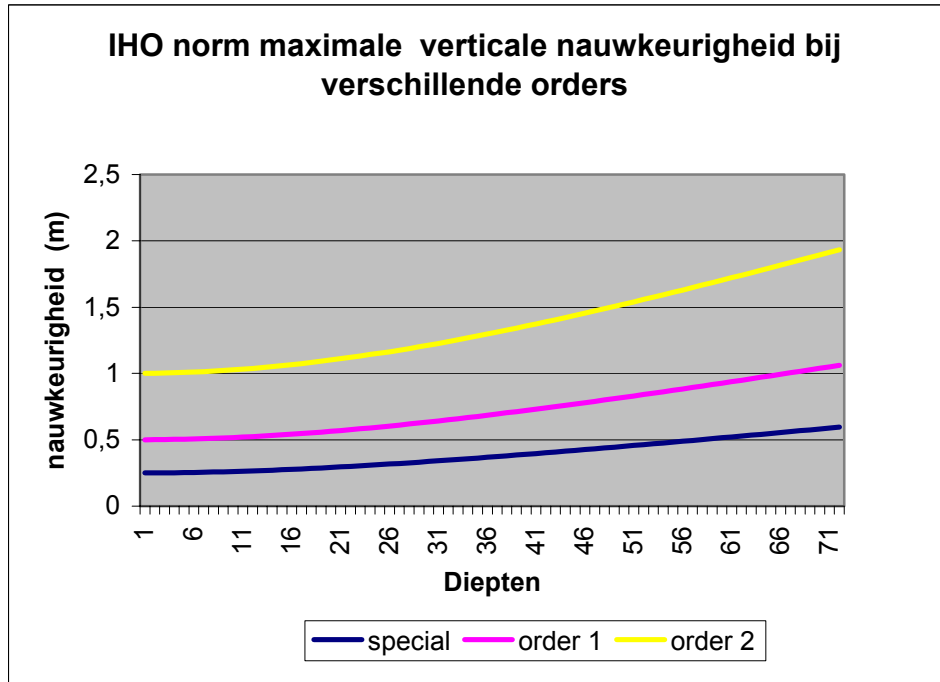
- n = Nauwkeurigheid diepte (95%)
- a = Constante diepte fout (som van alle fouten)
- b*d = De som van alle diepte fouten
- b = factor
- d = diepte

Met behulp van formule 8 is de horizontale en verticale nauwkeurigheid berekend bij verschillende orders. Voor ALB toepassingen is alleen special en order 1 van belang. De detectiegrens van de ALB systemen wordt gegeven tot een maximum van 70 m, afhankelijk van het aandeel sediment in het water.

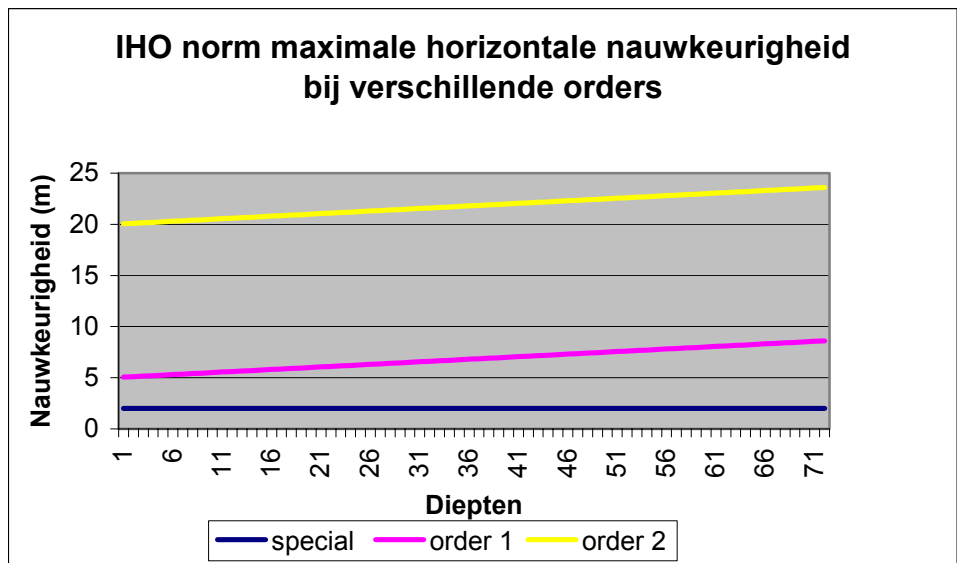
De nauwkeurigheid van een ALB ligt in het gebied van order 1, alhoewel de nieuwe nog uit te brengen systemen (Hawk eye II) claimen, de special order te kunnen garanderen. Dit houdt in, een nauwkeurigheid van 25 cm in de verticale richting en een nauwkeurigheid van 2 m in de horizontale richting volgens figuur 27

Figuur 27

Bovenste figuur:
Nauwkeurigheid bij
verschillende orders in
de verticale richting
Onderste figuur:
Nauwkeurigheid bij
verschillende orders in
verticale richting.



De nauwkeurigheid van een ALB systeem zal afnemen naarmate er hoger wordt gevlogen. Dit komt omdat de er een fout zit in de IRS (Zie 2.9) en de laserbundel. In paragraaf 4.1 worden de systeem specificaties opgesomd voor de verschillende systemen.



2.9 Hulpsystemen

Net als voor mutlibeam echolood opnames zullen voor ALB systemen ook externe gegevens nodig zijn om te komen tot het eindresultaat.

Belangrijke hulpsystemen zijn:

- A Versnellingsensoren
- B Global Position System
- C Video

A Versnellingsensoren

Om de vliegbewegingen te meten zal een beweging sensor aan boord zijn. De Inertial Reference System (IRS) meet versnellingen en hoeken ter bepaling waar de laserpuls heen gaat. Met behulp van de IRS en Global Position System (GPS) worden hoogten, koers, positie, grondsnelheid, horizontale en verticale versnellingen componenten, drifthoek en het magnetisch noorden gemeten en berekend. Al deze informatie is nodig om de horizontale coördinaten van de footprint op het wateroppervlak ten opzichte van het vliegtuig te bepalen en zo het scanpatroon te bepalen.

B Global Position System

De positie van het vliegtuig wordt bepaald met GPS. Voor betere nauwkeurigheid kan Differential GPS gebruikt worden. Hiermee zal de nauwkeurigheid van de x,y component toenemen. De z richting levert niet genoeg nauwkeurigheid. Het getij of de waterstand zal daarom ook gemeten moeten worden. Als gebruik kan worden gemaakt van Kinematic GPS wordt de x,y,z van het vliegtuig bepaald waardoor getij correctie niet nodig is.

C Video

Een video camera zal real-time het gescande gebied opnemen. Voor de hydrograaf kunnen later bij het verwerken de beelden handig zijn. Eventuele rare data kunnen ontstaan zijn door eilanden of schepen die de IR laser scant als een wateroppervlak. Elk opgenomen frame bevat data over de tijd, positie, hoogte, roll, pitch en koers van het vliegtuig. Ook kan ruw de positie worden bepaald van objecten. Zie figuur 28

.....
Figuur 28

Videobeeld van de camera aan boord van een ALB systeem



3 Praktijk

Het systeem zal net zoals andere systemen moeten worden gekalibreerd voor plaatsbepaling en lichtvoortplanting (paragraaf 3.1). De data zal worden gecorrigeerd voor het getij, vlieghoogte en golven (paragraaf 3.2).

3.1 Kalibratie

Om nauwkeurige data te verkrijgen moet het systeem worden gekalibreerd.

Er worden 3 kalibraties uitgevoerd, volgens het LADS MK-II systeem.

- A Statische kalibratie
- B Benchmark check
- C Navigatie kalibratie

A Statische Kalibratie

De statische kalibratie wordt uitgevoerd voor vertrek, wanneer het vliegtuig nog aan de grond is. Het doel van deze kalibratie is om te controleren of het positioneringssysteem goed werkt. Dit is te vergelijken met een positie check

B Benchmark check

De eerste dynamische kalibratie is de benchmark check. Een benchmark is een gebied dat eerder door een schip is gesurveyed met een hoge nauwkeurigheid.. Het vliegtuig vliegt elke vlucht over dit gebied om een vergelijking uit te voeren tussen de bekende diepte waarden en de dieptes die het vliegtuig meet.

C Navigatie Kalibratie

De tweede dynamische kalibratie is de navigatie kalibratie. Deze kalibratie wordt uitgevoerd door over een punt te vliegen met bekende coördinaten, bijvoorbeeld een vuurtoren. Op dat moment kan er een globale vergelijking worden gemaakt. Het beeld wordt opgenomen met de video camera die loodrecht naar beneden kijkt.. Tevens wordt de positie van het vliegtuig gemeten. Hierdoor kunnen de x,y parameters worden geoptimaliseerd.

De Benchmark en Navigatie Kalibratie dienen voor en na elke survey te worden uitgevoerd.

3.2 Correcties

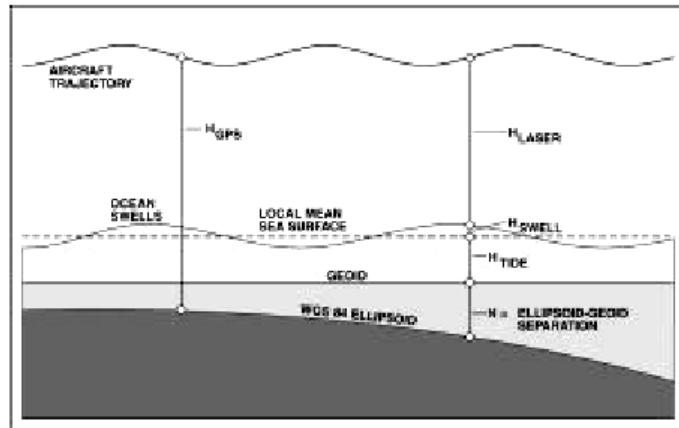
Enige hoogte correcties zullen moeten worden toegepast op de opgenomen data.

De infrarode straal wordt gebruikt om de hoogte van het vliegtuig te meten boven het zeeoppervlak.

De hoogte van de GPS wordt gekoppeld aan de WGS84 ellipsoïde. Aan de GPS wordt de laser gekoppeld (offsett). Nu hoeft alleen nog gecorrigeerd te worden voor het getij en golven (Zie figuur 29)

Figuur 29

Schematische weergave van de correcties op het z vlak



De z coördinaat kan als volgt berekend worden:

$$H_{msl} = H_{gps} - H_{laser} - H_{getij} - H_{golven} \quad \text{Formule 9}$$

Het getij wordt gekoppeld aan een lokaal stelsel.

De golven of golf toppen kunnen worden gecorrigeerd door het gemiddelde te nemen. De IR laser meet de golf top en het dal in een range van 15 meter, afhankelijk van de vlieghoogte. Hieruit wordt het gemiddelde bepaald.

4 Specificaties

De specificaties per systeem worden uiteengezet in paragraaf 4.1. De systemen kunnen aangeschaft of gehuurd worden (paragraaf 4.2).

4.1 Specificaties

In de volgende tabel worden de specificaties per systeem weergegeven. De openstaande vakken bij de Hawk eye en Lads MK II zijn nog niet bekend.

Tabel 3
Specificaties van de verschillende systemen

| systeem | scan patroon | scan angle (graden) | pulse rate (Hz) | vlieghoogte | vlieghoogte typical |
|-------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------|---------------------|
| Larsan 500 | rotating mirror/elliptical | 30 | 200 | 500 | 500 |
| Shoals-400 | parallel lines / arcs | 0-40 | 400 | 200-800 | 200 |
| Shoals-1000 | arcs | 0-40 | 1000 | --- | 200-400 |
| Hawk eye | parallel lines / arcs | 0-40 | 200 | 50-800 | 200-300 |
| Hawk eye II | parallel lines | 0-40 | 1000 | 150-1000 | 200-300 |
| Lads MK II | parallel lines / arcs | 27 | 900 | --- | 366-500 |

| systeem | beam divergence mrad | snelheid (km/h) | Area/h km ² /h | pulse widths |
|-------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------|
| Larsan 500 | 4 | 230 | <50 | 12 |
| Shoals-400 | 2-15 | 37-222 | <60, tipcal 8-32 | 6 |
| Shoals-1000 | 0-32 | 200-400 | | --- |
| Hawk eye | 2-15 | 37-81 | <30 typical 18 at 300m h and 5m grid | 7 |
| Hawk eye II | --- | 45-350 | 25 (order 1) | --- |
| Lads MK II | --- | 324 | <65 | 5 |

| systeem | VRU/ heading | depth accuracy 1 sigma | Horizontal accuracy | eye safe range |
|-------------|--------------|------------------------|---------------------|----------------|
| Larsan 500 | 0.05 | 30 cm | 5 m | 500 m |
| Shoals-400 | 0.05/0.05 | 15 cm | 2 m | 160 m |
| Shoals-1000 | --- | 25 cm | 2.5 m | 150 m |
| Hawk eye | 0.05/0.05 | 30 cm | 3 m | 160 m |
| Hawk eye II | --- | 30 cm | 5 m | --- |
| Lads MK II | --- | 30 cm | 5 m | --- |

4.2 Kosten

Het is moeilijk om een prijs weer te geven voor een systeem om te huren. Het huren van een ALB verschilt per locatie. Moeilijk toegankbare locaties en punt dichtheid, waterdiepte bepalen de prijs van een ALB systeem. Het LADS systeem geeft een ruime prijsindicatie van 600-2000 USD per vierkante kilometer. De Shoals via Fugro USA geeft een prijsindicatie van 400-800 USD per vierkante kilometer. Voor de Hawk eye is nog geen prijsindicatie bekend. Prijs per dag voor de Shoals-1000 wordt geschat op 45 tot 50 duizend dollar.

Om een nieuw systeem aan te schaffen moet gedacht worden aan een bedrag tussen de 4 en 8 miljoen dollar zonder vliegtuig en hulp systemen. Er komt ongeveer 10 miljoen dollar bij voor ground control en hulpsystemen.

5 Meten

Er zijn 3 parameters om te beschrijven hoedanig de troebelheid in de wateren zijn. Met behulp van de Secchi-schijf (paragraaf 5.1) kan het doorzicht gemeten worden. Een andere meer betrouwbare methode is het meten van de extinctiecoëfficiënt (paragraaf 5.2). Ten derde geeft de uitdovingcoëfficiënt (paragraaf 5.3), een parameter die in Nederland niet wordt gebruikt om metingen te verrichten, ook een uitdoving weer. Windinvloeden en stroomsnelheid zijn factoren die de uitdoving van het licht bepalen. Deze factoren zijn verschillend per gebied (paragraaf 5.4).

5.1 Secchi-schijf

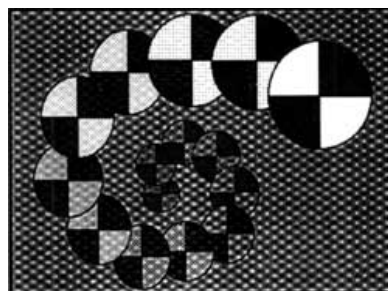
De Secchi parameter is een maat voor de helderheid van het water. In veel meren, rivieren en beken, zal de helderheid afnemen door een toename van de hoeveelheid algen in het water.

Figuur 30
Secchi-schijf



De Secchi-schijf wordt gebruikt om aan te geven hoe diep iemand in het water kan zien. De schijf wordt in het water gelaten met een lijn met maatstrepen. Dit wordt gedaan totdat de schijf niet meer te zien zal zijn of totdat men het wit niet meer van het zwart kan onderscheiden. Hierna wordt de schijf langzaam weer omhoog gehaald zodat die net te zien is.

Figuur 31
Secchi-bij verschillende diepten



De diepte van het water waar de Secchi-schijf verdwijnt en ook weer verschijnt is de Secchi-schijfwaarde.

In de onderstaande figuur is schematisch de verdwijning van de Secchi-schijf te zien. Het witte vlak is haast niet meer van het zwarte vlak te onderscheiden naarmate de Secchi-schijf dieper het water in wordt gelaten.

In Nederland zijn vroeger veel metingen verricht met de Secchi-schijf. In de Noordzee is in de jaren 70 veel gemeten. Helaas is de nauwkeurigheid van dit eenvoudige systeem niet te garanderen omdat de lichtintensiteit bepaald wordt door de zon en dus verschillende antwoorden mogelijk zijn. De zonne-intensiteit verschilt per uur. Tevens kan door verschillende personen de meting worden verricht waardoor de een de disk wel ziet en de ander niet. Als laatste is de Noordzee te ruw voor deze metingen, de golven zijn te hoog om een juiste waarde af te lezen, waardoor men liever op de Noordzee werkt met de extinctiecoëfficiënt (4.2). In rustig binnenwater zoals de randmeren, IJsselmeer en de Waddenzee wordt de Secchi-diskmeting nog wel gedaan.

5.2 Extinctiecoëfficiënt

De extinctiecoëfficiënt geeft de uitdoving van al het licht weer tussen twee bepaalde dieptes, weergegeven in $1.m^{-1}$.

$$K_d = \frac{-\ln(I / I_0)}{d} [m^{-1}] \quad \text{Formule 10}$$

Waarin:

K_d = extinctiecoëfficiënt

I = lichtintensiteit van de onderste lichtsensor

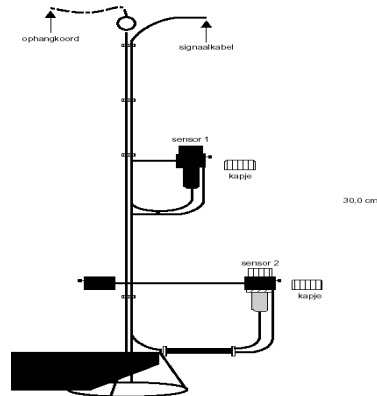
I_0 = lichtintensiteit van de bovenste lichtsensor

d = de afstand (in m) tussen beide lichtsensoren

Volgens het standaardvoorschrift van Rijkswaterstaat (referentie 19) kan een extinctiemeting alleen overdag uitgevoerd worden als de zonne-instraling groter is dan 50 (zout water) of 0,5 (zoet water) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Er zijn twee methodes om verticale lichtextinctie te bepalen. In troebele binnenwateren kan de extinctie alleen nauwkeurig gemeten worden als de afstand tussen beide sensoren kleiner is dan 0,5 m.

Figuur 32

Schematische weergave van een extinctie meter



In zout water verandert de lichtintensiteit over deze afstand te weinig om nauwkeurig de verticale extinctie te bepalen. In dit geval wordt de extinctiemeting uitgevoerd door de afstand tussen beide lichtsensoren te variëren.

A Voor zoet water geldt:

In zoet water wordt op de locatie dezelfde meting 20 keer uitgevoerd; deze serie wordt als 1 extinctiebepaling beschouwt. De meting wordt 20 maal herhaald en K_d wordt berekend volgens formule 1. De d bedraagt hierbij 0,300 m..

De gemiddelde K_d wordt gerapporteerd met behulp van formule 10

B Voor zout water geldt:

In zout water bestaat de bepaling uit een serie metingen waarbij de onderlinge afstand tussen de sensoren varieert.

Bepaal de lichtintensiteit op waterniveau als referentiewaarde. Dit is de I_0 -waarde. Laat de sensor met zodanige snelheid door de waterkolom dalen, dat tenminste 20 meetwaarden worden verkregen die (min of meer) regelmatig verspreid liggen over de range met een uitdoving tussen de 20% en 80%. Bij grote uitdoving kan het nodig zijn eerst een proef te doen om de maximale diepte te bepalen teneinde voldoende meetwaarden te verkrijgen. Met behulp van formule 11 kan de gemiddelde extinctiecoëfficiënt bepaald worden

$$K_d = \frac{\sum \{(d_i - \ln(I / I_0))\}}{\sum d_i^2}$$

Formule 11

5.3 Beam attenuation coefficient

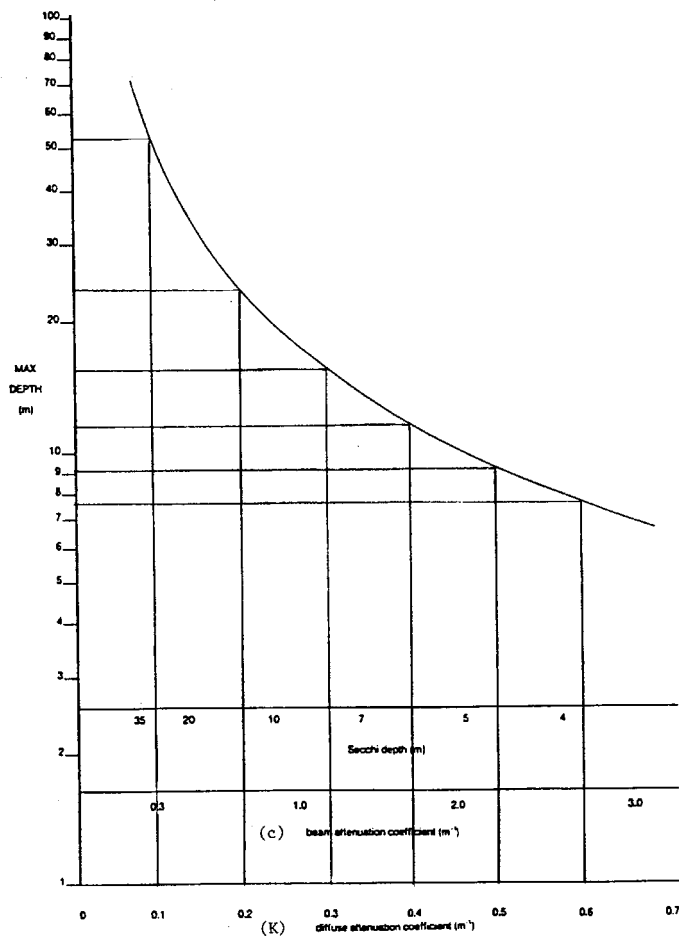
De beam attenuation coefficient (uitdovingcoëfficiënt) beschrijft het effect van absorptie (a) en verstrooiing (b) bij een gerichte lichtstraal met een bepaalde golflengte volgens de formule 12

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda) \quad \text{Formule 12}$$

De beam attenuation coefficient geeft een grove indicatie van de concentratie van een hoeveelheid sediment in water. Daarom wordt deze parameter niet gebruikt

In figuur 33 is een grove indicatie weergegeven om te bepalen wanneer ALB toepasbaar is. Op de y-as staan de diepte weergegeven en op de x-as de drie parameters die de uitdovingcoëfficiënt bepalen. De parameters kunnen niet met elkaar omgerekend worden maar geeft ruwweg een schatting. Uit de figuur is af te lezen dat bijvoorbeeld bij een k waarde van 0,5 een maximale diepte geldt van 9 meter waarbij het ALB systeem de bodem kan detecteren.

Figuur 33
Een benadering voor de maximale diepte van een ALB bij verschillende parameters



5.4 uitdoving

De penetratie van licht in water is afhankelijk van absorptie (paragraaf 5.4.1) en verstrooiing (5.4.2) samen met deze twee factoren kunnen theoretische modellen worden gemaakt om de uitdoving in wateren te berekenen (paragraaf 5.5.3).

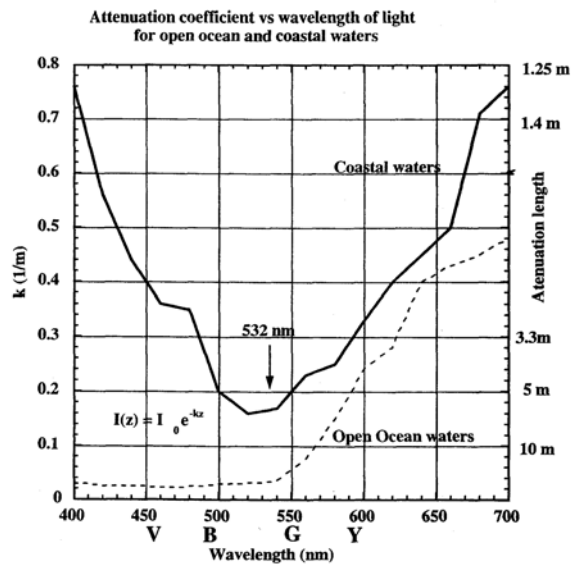
5.4.1 Absorptie (opnemen van licht)

Doordat laser licht monochromatisch is en dus uit 1 golflengte bestaat zal de best mogelijke golflengte moeten worden uitgekozen waarbij zo min mogelijk licht wordt geabsorbeerd door het medium. Als we naar binnenwateren en oceanen kijken is er een duidelijk verschil aanwezig qua absorptie, uitgedrukt in extinctie(1/m) en attenuation coëfficiënt (m) bij een bepaalde de golflengte.

In figuur 34 duidelijk te zien dat op open water (ocean) het licht beter wordt doorgelaten dan in binnenwateren of kustwater.

Figuur 34

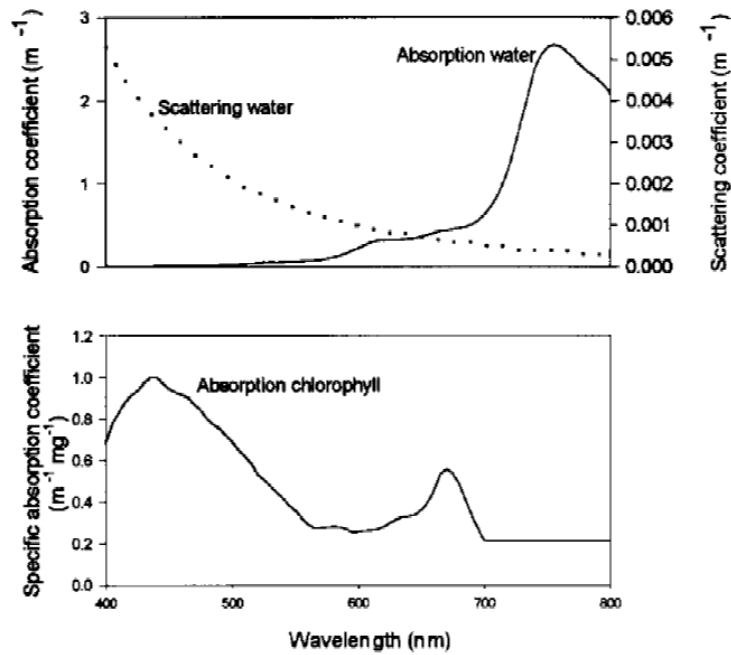
Absorptie van licht bij verschillende wateren



Verder valt op, dat bij lagere golflengte, licht beter wordt geabsorbeerd in binnenwateren. Voor het meten met laser van lodingen wordt daarom gekozen voor een golflengte van 532 nm waarbij de absorptie het minst is. De verticale schalen bij deze figuur zijn indicatief en kunnen niet met elkaar worden omgerekend

Figuur 35

Absorptie van licht door chlorofyl in de lagere golflengtes



In figuur 35 bovenste plaatje wordt nogmaals het absorptie spectrum weergegeven van open water in relatie met de absorptie coëfficiënt (k) In de onderste figuur is het absorptie spectrum van chlorofyl weergegeven. Aan de hand hiervan is te verklaren dat bij kustwater chlorofyl aanwezig is. Deze stof wordt vooral aangetroffen bij fytoplankton wat weer een maat is voor de hoeveelheid algen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er stoffen in de binnenwateren aanwezig zijn die de metingen kunnen beïnvloeden of zelfs onmogelijk maken.

Als we ons nu richten op de binnenwateren in Nederland zijn de volgende stoffen van belang die de metingen kunnen beïnvloeden.

Yellow substance

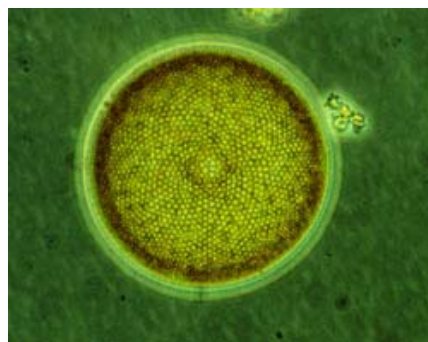
Dit zijn afbraakproducten van plantenresten

Algen

Het element chlorofyl zorgt voor absorptie van het groene licht. De figuur hiernaast in een eencellige fytoplankton weergegeven. Ze kunnen honderd meter diep zitten, mits er voldoende licht is.

Figuur 36

Een bacterie die het groene licht opneemt



Algen zijn seizoen afhankelijk. Dit betekent dat bij een bepaalde temperatuur, licht en weinig stroming fytoplankton heel snel kan groeien. Dit gebeurt in Nederland meestal in het voorjaar rond mei, juni. Een voorbeeld waar Algen een groot probleem zijn, zijn de Randmeren

Zwevend materiaal

Zwevend materiaal zorgt er ook voor dat licht zijn weg niet naar beneden vindt, door absorptie en door verstrooiing door het sediment. Sediment komt in het water door lozingen, schroefwater en water afkomstig van de rivieren. Dit zorgt voor grote sedimentdichtheid in het Deltagebied en de riviermondingen. Ook ontstaat er een grote troebelheid bij grote windsnelheden waardoor het water wordt opgestuwd, op de grondliggend materiaal wordt losgeslagen waardoor het water een stuk troebeler wordt..

De dichtheid van het zwevend materiaal in water is dus afhankelijk van het gebied en de weersomstandigheden.

5.4.2 Verstrooiing

Verstrooiing (scattering) is een verzamelnaam van verschillende eigenschappen van licht wanneer fotonen door en van medium veranderen.

Van toepassing zijn de volgende 3 eigenschappen:

1.Refractie (breken van licht)

Doordat het licht van lucht naar water overgaat zal het licht onder een andere hoek verder gaan.

2.Reflectie (weerkatsten van licht):

Door van medium te veranderen en door sedimenten in het medium zal licht, deels reflecteren. Dit komt door de aanwezige stoffen in het medium Algen, Detrius en sediment plus de overgang van lucht naar water.

3.Diffractie (afbuigen van licht)

Doordat het medium niet homogeen is en dus uit meerdere elementen bestaat zal het licht afbuigen. Dit wordt bij water veroorzaakt door sediment, Algen en Detrius

5.4.3 Uitdoving

Voor de bepaling van de theoretische totale extinctie zijn verschillende modellen bedacht. Om inzicht te krijgen hoe de totale extinctie is opgebouwd, uit verschillende elementen, zal er een korte beschrijving worden gegeven aan de hand van formules.

Licht wordt bij een bepaalde golflengte geabsorbeerd en verstrooid (scattering) door verschillende elementen. De som van deze coëfficiënten wordt de beam attenuation coëfficiënt ook wel extinctie genoemd.

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_g(\lambda) + a_a(\lambda) + a_s(\lambda) \quad \text{Formule 13}$$

$$b(\lambda) = b_w(\lambda) + b_a(\lambda) + b_s(\lambda) \quad \text{Formule 14}$$

Waarin
a = Absorptie coëfficiënt
b = scattering coëfficiënt
a = algen, Detritus
w = water
g = Gilvin (opgelost organisch materiaal)
s = sediment

Voor het bepalen van specifieke absorptie en extinctie coëfficiënten heeft ieder element zijn eigen formule. Een benadering voor de extinctie van opgelost organisch materiaal is:

$$a_g(\lambda) = a_g(\lambda_{ref}) e^{-k_g(\lambda - \lambda_{ref})} \quad \text{Formule 15}$$

Waarin
 a_g = absorptie coëfficiënt bij een bepaalde golflengte
 k_g = empirische waarde (0,014) (m^{-1})

Stel: $a_g = 0,5$

$$a_g = 0,5 * e^{-0,014} = 0,39$$

Een theoretisch model gebaseerd op absorptie, scattering door dhr. Buitenveld.

$$K_d = 0,627 + 0,050a_g(380nm) + 0,025C_{iss} + 0,049C_{det} + 0,021C_{chl} \quad \text{Formule 16}$$

Waarin
 a_g = absorptie coëfficiënt van Gilvin
 C_{iss} = Concentratie niet organische stoffen ($mg.l^{-1}$)
 C_{det} = Concentratie detritus ($mg.l^{-1}$)
 C_{chl} = Concentratie chlorofyl ($mg.l^{-1}$)

$$K_d = 0,627 + 0,05 * 1 + 0,025 * 1 + 0,049 * 4 + 0,021 * 0,5 = 0,4$$

6 Toepasbaarheid ALB Nederland

De waarnemingen bestaande uit voornamelijk extinctiewaarnemingen worden verzameld en verwerkt tot werkbaar gegevens (paragraaf 6.1). Per locatie worden de gebieden nader toegelicht qua eigenschappen (paragraaf 6.2). Na verwerking wordt per gebied bekeken wat de toepassingsmogelijkheden zijn tot gebruik van ALB (paragraaf 6.3).

6.1 Aanpak

Het mogelijke gebruik van ALB hangt af van de lichtdoordringbaarheid van water. De Secchi-waarnemingen en extinctie coëfficiënt zijn in Nederland gemeten voor zowel zoet als zout water. De gegevens die

.....
Figuur 37

ruwe ascii data van locatie noordwijk 70 km uit de kust

Location : NOORDWK70
Parameter : Extinctie
Unit : /m

Datum Tijd in MET Meetwaarde
14-01-1997 09:21 +.3373E+00
13-03-1997 16:37 +.4949E+00
26-03-1997 07:56 +.3716E+00
17-04-1997 07:13 +.3270E+00

zijn gebruikt komen van het Rijks Instituut voor Kust en Zee (RIKZ) waar de gegevens zijn opgeslagen in het Data Opslag Natte Rijkswaterstaat, het DONAR systeem. Deze gegevens zijn aangeleverd in ascii vorm en bevatten een datum, tijd en extinctie. (Zie figuur 37)

Tevens is on-line extinctie en Secchi-waarnemingen te vinden op de internetpagina www.waterstat.nl en www.waterbase.nl voor de zoete wateren.

Voor zoute wateren, met name de Noordzee, is van 1977 t/m 1980 maandelijks de Secchi-diepte gemeten. Vanwege de onbetrouwbaarheid van de meetmethode, veroorzaakt door de hoge golfslag, is hier in 1980 vanaf gezien en wordt vanaf 1997 de extinctie gemeten. In de binnenwateren wordt de extinctie en de Secchi-diepte gemeten. De laatste 10 jaar zijn veel gegevens verzameld. De waarnemingen worden een keer in de twee weken gemeten.

In dit onderzoek naar toepassing van ALB wordt per gebied bekeken wat de mogelijkheden zijn tot gebruik van ALB. Zoals eerder vermeldt is de penetratie van het licht afhankelijk van de elementen in het water. De hoeveelheid elementen zijn weer afhankelijk van het jaargetijde. In het onderzoek is gekeken wanneer de troebelheid en algenbloei het laagst zijn.

In het onderzoek is per locatie een grafiek gemaakt. Deze grafiek bevat voor een aantal jaren extinctiegegevens met per jaar een andere lijn. Hieruit kunnen we per gebied zien in welk jaargetijde de extinctie het laagst is.

De ascii data zijn ingelezen in excel (zie figuur 38). De datum wordt veranderd in een waarde tussen de 1 en 365. Van deze waarnemingen wordt een grafiek gemaakt.

.....
Figuur 38

Na conversie van de data is er een bruikbare tabel ontstaan

| Location Noordwijk 70 | | |
|-----------------------|-----|------|
| Datum dagen extinctie | | |
| 14-1-97 | 14 | 0,34 |
| 13-3-97 | 75 | 0,49 |
| 26-3-97 | 88 | 0,37 |
| 17-4-97 | 110 | 0,33 |
| 1-5-97 | 125 | 0,2 |
| 22-5-97 | 146 | 0,19 |
| 26-5-97 | 150 | 0,18 |

Aan de hand van de diepte, afhankelijk van de locatie, kan geconcludeerd worden of de betreffende locatie in aanmerking komt voor gebruik van ALB.

6.2 Eigenschappen onderzoeksgebieden

Het is belangrijk te weten wat de eigenschappen van de te onderzoeken gebieden zijn.

Relevante eigenschappen in het kader van ALB zijn: diepte, bodemsamenstelling, samenstelling water.

De onderzoeksgebieden zijn:

- A Noordzee
- B Waddenzee
- C Westerschelde
- D Rivieren (Rijn, Maas)
- E Meren (Markermeer, IJsselmeer, Randmeren)

De beschrijvingen van de verschillende gebieden zijn ontleend aan een van de bronnen, die in de literatuurlijst zijn gegeven.

A Noordzee

De Nederlandse territoriale wateren en het Nederlands Continentaal Plat zijn onderdeel van de zuidelijke Noordzee. Met een oppervlakte van 57.000 vierkante kilometer is het Nederlandse deel van de Noordzee anderhalf keer zo groot als Nederland zelf. De totale oppervlakte van de Noordzee is 572.000 vierkante kilometer. (Zie figuur 39)

Figuur 39

Nederlands continentaal Nederlands plat van de Noordzee



De bodem van het Nederlands Continentaal Plat varieert niet alleen van vorm maar ook van samenstelling. De kusthelling strekt zich uit van de kustlijn tot vijftien à twintig meter diepte.

Langs de Hollandse kust en de centrale delen van de Waddeneilanden is deze helling een gelijkmatig glooiende onderwateroever. Voor de zeegaten in het Deltagebied en de Wadden wordt de helling gedomineerd door ebdelta's met diepe geulen en ondiepe platen.

De bodem van het Nederlands deel van de Noordzee bestaat vrijwel geheel uit zand. De korrelgrootte van het zand neemt van zuid naar noord af. Zeer fijn zand en slib komen vooral voor in het noordelijk deel. Grof zand en grind komen maar op enkele plaatsen aan de oppervlakte, bijvoorbeeld bij de klaverbank. Langs de kust komt zeer veel slib voor.

De diepte van de Noordzee neemt in zuidelijke richting af van meer dan tweehonderd meter bij de Shetlandeilanden en de kust van Noorwegen tot twintig meter bij de Nederlandse kust. Dit patroon wordt onderbroken door de Doggersbank (diepte 25 m) in de centrale Noordzee en een relatief dieper deel (tot 40 m) tussen Nederland en Engeland (Zie figuur 40)

Figuur 40

Indicatie van de diepte in de Noordzee. In het midden van de kaart is de Doggersbank weergegeven wat te zien is aan de lichtere blauwe kleur



Een flink deel van het water en de bodem van de Noordzee is schoner dan een jaar of tien geleden. De belasting van de Noordzee met zwevend materiaal afkomstig van de rivieren is afgenomen. De meeste locaties voor de Hollandse kust en in de Voordelta voldoen inmiddels aan het maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) voor bijvoorbeeld cadmium, lood, zink en kwik.

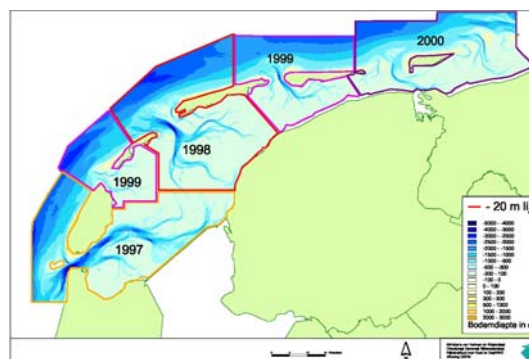
De fosfaatconcentratie in de kustzone is iets afgenomen. Door een overmaat aan stikstof is de kans op het optreden van eutrofiëringsverschijnselen immer aanwezig. In het watermilieu neemt de hoeveelheid algen dan explosief toe, zoals algenbloei en vervolgens treedt er zuurstofloosheid op waardoor de algen afsterven en schuim op het land vormen.

B Waddenzee

De Waddenzee staat bekend om haar vele ondiepe wateren en bij laag water droogvallende stukken. Er zijn sterke getijstromen aanwezig en daardoor wordt er ook veel sediment opgewoeld. De diepte varieert tussen 0 en 40 meter (Zie figuur 41). De geulen tussen de eilanden (donker blauw) zorgen voor de water afvoer die zijn ontstaan door getijstromen en zijn daarom ook relatief vrij diep.

Figuur 41

Waddenzee De donkerblauwe gebieden tussen de eilanden zijn afwateringsgeulen



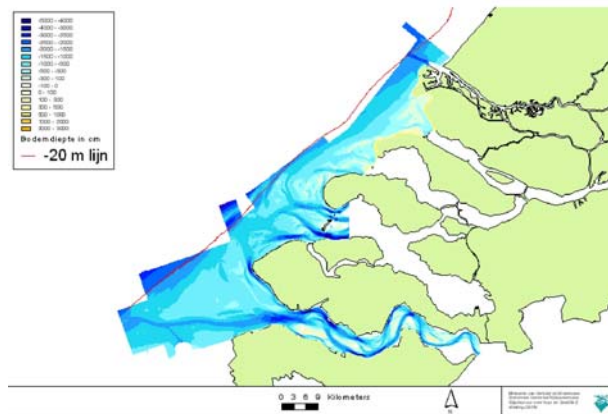
Door eutrofiëring verdwijnen waterplanten omdat door de grote hoeveelheid algen het water troebel wordt en het licht niet meer tot op de bodem kan doordringen. Als de algenmassa afsterft kan het water tijdelijk zuurstofloos worden, waardoor er sterfte optreedt onder het dierenleven.

C Westerschelde

Voor de Westerschelde geldt hetzelfde als de Waddenzee. Hier zijn ook diepe geulen aanwezig door een sterke getij stroming (Zie figuur 42). Ook hier wordt er veel sediment losgewoeld. Een relatief klein gedeelte is diep.

Figuur 42

Zeeland. De donkerblauwe gebieden zijn de vaar en afwateringsgeulen



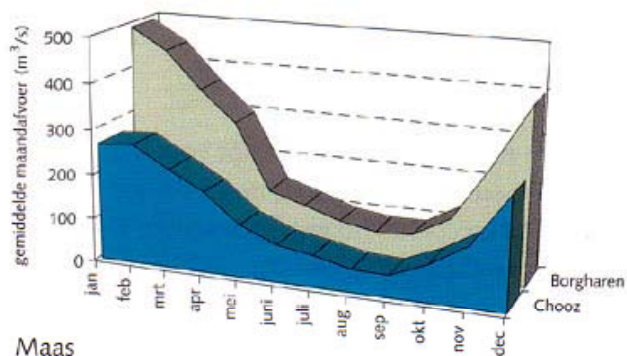
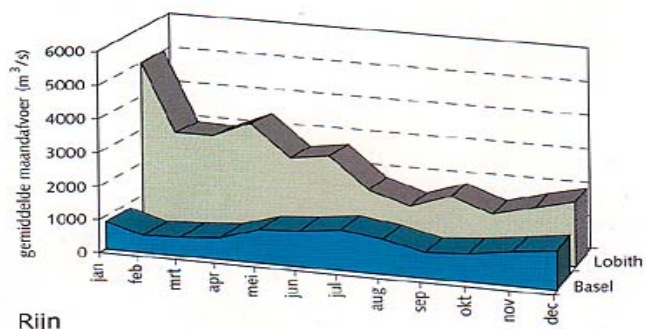
Er worden veel menselijke activiteiten ontplooid in dit gebied. Scheepsvaart, baggeren en getijstromen zorgen ervoor dat de Westerschelde constant in beweging is. Door baggerwerkzaamheden om de vaargeul op diepte te houden zal het sediment gehalte in het water fors toenemen.

D Rivieren Rijn, Maas

In de rivieren de Rijn en de Maas fluctueert de afvoer van water door het jaargetijde (Zie figuur 43).

Figuur 43

Afvoeren van de Rijn en de Maas.



Smeltwater en regenval zorgen er voor dat in december en januari veel water door de Rijn en de Maas stroomt. Hierdoor zal het waterpeil toenemen. De gemiddelde afvoer bedraagt voor de Rijn, 2220 m³/s en voor de Maas 250 m³/s. Ook zal het sediment wat de rivier meeneemt toenemen. Hierbij wordt afhankelijk van de stroomsnelheid grotere brokken meegenomen wanneer het hoger water is. De diepte van de verschillende rivieren worden in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4

Weergaven van de diepten bij de verschillende rivieren

| | Boven rijn | Waal/ Beneden merwede | Pannerdens Kanaal | Neder rijn/ Lek | IJssel | Grens maas | Zand maas | Bergse Maas |
|--------------------|---------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| Diepte (meters) | 6,5 | 5,0-5,5 | 4,50 | 4,0- 6,0 | 3,0- 4,0 | 2,0- 2,5 | 5,0- 6,0 | 5,0- 7,0 |

E IJsselmeer

Het IJsselmeer is het grootste zoetwatermeer van Nederland. Het heeft een oppervlakte van 1136 km², een gemiddelde waterdiepte van 4,4 m en het water heeft een verblijftijd van 4 maanden. Het Markermeer heeft een oppervlakte van 700 km² en een gemiddelde diepte van 3,5 m (Zie figuur 44)

Figuur 44

Markermeer en IJsselmeer en daaronder liggende randmeren onder flevoland



In het IJsselmeer zijn grote ruimtelijke verschillen in waterkwaliteit en samenstelling van de voedselketen. Het relatief heldere water in het zuidelijk deel van het IJsselmeer kan worden verklaard door de grote filtratie van het water door driehoeksmosselen in dit gebied. Hoewel de fosfaatbelasting van het IJsselmeer de laatste 10 jaar sterk is afgenomen, is de algenbiomassa veel minder sterk gedaald en is het doorzicht juist afgenomen.

De beroepsvisserij is van grote invloed op de samenstelling van het voedselweb en daardoor de waterkwaliteit. Mogelijke oorzaken zijn o.a. de afsluitdijk en ecologische barrières zoals harde steile oevers en overbevissing van roofvis en aal.

Daarom zijn vanaf 1989 veranderingen doorgevoerd om de waterkwaliteit op lange termijn te verbeteren. Oeverinrichting, vergroten van oppervlakte met ondiep water, vergroten van aantal locaties met geleidelijke land-waterovergangen, moeten voor een betere helderheid en evenwicht zorgen.

F Randmeren

Het Veluwemeer en Drontermeer maken deel uit van de Veluwerandmeren. De meren zijn in 1957 ontstaan bij de inpoldering van Flevoland. Het Veluwemeer heeft een oppervlakte van 3022 ha, een gemiddelde diepte van 1,55 m en een verblijftijd van ongeveer 2 maanden. Het Drontermeer dat met het Veluwemeer in verbinding staat heeft een oppervlakte van 476 ha, een gemiddelde diepte van 1,25 m en een verblijftijd van minder dan 1 maand. De vaargeul is in beide meren 3,5 - 4,5 m diep. De bodem bestaat uit zand aan de oudelandzijde en meer uit klei en slib aan de polderzijde (Zie figuur 45).

Figuur 45

Luchtfoto van de randmeren



De eerste jaren na het ontstaan van het meer was het water helder en was de bodem bedekt met kranwieren en kwamen veel vogels voor. Omstreeks 1969 is het water troebel geworden en zijn de kranwieren verdwenen. Er ontstond een stabiele troebele situatie met veel voedingsstoffen, hoge algenbiomassa's met veel blauwalgen en nauwelijks planten.

Na de fosfaat reducerende maatregelen is vanaf 1979 het fosfaatgehalte en het chlorofylgehalte sterk gedaald. Tot ongeveer 1994 bleef echter het doorzicht in het meer vrij laag, ongeveer 40 cm. In 1987 zijn voor het eerst weer kranwieren gesignaleerd in het meer. Begin jaren '90 breidden de kranwieren zich uit en bleef het water helder boven de kranwieren, maar was het water troebel in de rest van het meer. Vanaf 1995 is het doorzicht ook toegenomen buiten de kranwiervelden. Vanaf 1995 is het hele systeem veranderd. Het fosfaatgehalte is afgenomen, er zijn meer driehoeksmosselen gekomen, er is minder benthivore vis (mogelijk door de pootvisvisserij door beroepsvissers welke vanaf 1993 sterk is geïntensiveerd). Het water blijft vooral helder door de aanwezigheid van de kranwieren.

De situatie bevindt zich op het randje van stabiliteit. Voor een werkelijk stabiele situatie zou de hoeveelheid kranwieren moeten toenemen (vrijwel niet mogelijk door de aanwezigheid van de vaargeul en diepere delen) of zou het fosfaatgehalte nog verder moeten afnemen.

De Randmeren Noord (Ketelmeer, Vossemeer en Zwartemeer) hebben samen een oppervlakte van 5700 ha, een gemiddelde diepte van 2,4 m en een gemiddelde verblijftijd van 0,11 maand. Het Ketelmeer heeft een oppervlakte van 3500 ha, het Zwartemeer een oppervlakte van 1700 ha en het Vossemeer een oppervlakte van 400 ha.

In tabel 5 zijn alle gebieden weergegeven met de daarbij behorende diepten of stroomsnelheid. Of ALB toepasbaar is hangt af van de verblijftijd en hoe schoon het water blijft. Daarbij speelt de diepte een rol of ALB de bodem kan detecteren

Tabel 5

Weergaven van de onderzochte gebieden voor toepassing van ALB hangt af van de diepte doorstroming of verblijftijd.

| | oppervlakte km ² | gem. diepte | doorstroming/Verblijftijd |
|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|
| IJsselmeer | 1136 | 4,4 | 4 maanden |
| Markermeer | 700 | 3,5 | 4 maanden |
| Randmeren Zuid | 41 | 1,6 | 2 maanden |
| Randmeren Oost | 65 | 1,5 | 1,0 tot 3,5 maand |
| Randmeren Noord | 57 | 2,4 | 0,11 maand |
| Maas | -- | 2,0-2,5 | 2220 m ³ /s |
| Waal | -- | 5,0-5,5 | 250 m ³ /s |
| Noordzee | 57.000 | 15-40 | ---- |
| Waddenzee | 2500/1355 droogvallend | 0-40 | ---- |
| Westerschelde | 50 | 0-40 | dagen tot enkele maanden |

6.3 Onderzoek

- A Noordzee
- B Waddenzee
- C Westerschelde
- D Rivieren (Rijn, Maas)
- E Meren (Markermeer en IJsselmeer)
- F Randmeren

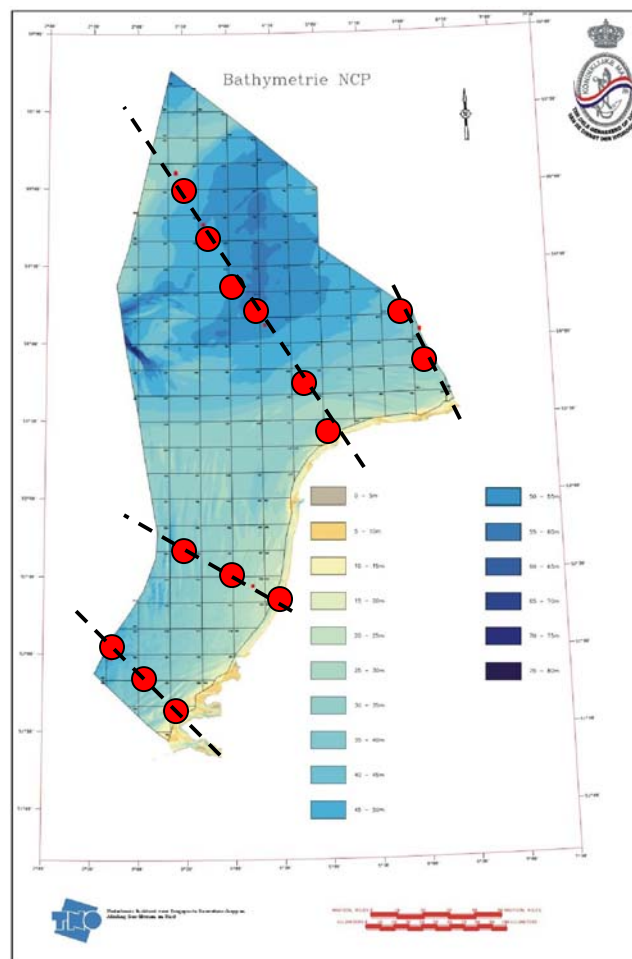
Van ieder gebied zal aan het eind een conclusie getrokken worden aan de hand van de gegevens.

A Noordzee

In figuur 46 is een diepte kaart van het continentaal plateau van de Noordzee weergegeven.. De met rode aangegeven stippen zijn vaste meetplekken waar routine matig wordt gemeten met een frequentie van om de twee weken Er zijn door RWS 4 meetlijnen, gegeven van onder naar boven: Walcheren, Noordwijk, Terschelling en Rottumerplaat. Per locatie is gekeken gelet op de diepte of ALB toepasbaar is. Uit de theorie blijkt dat de waarde van K, afhankelijk van het ALB systeem, de extinctie coëfficiënt tussen de 3,5 en 4,5 ligt. In dit onderzoek is daarom uitgegaan van een waarde van $K=4$.

Figuur 46

Kaart van de Noordzee met de meetlijnen van Rijkswaterstaat en meetpunten



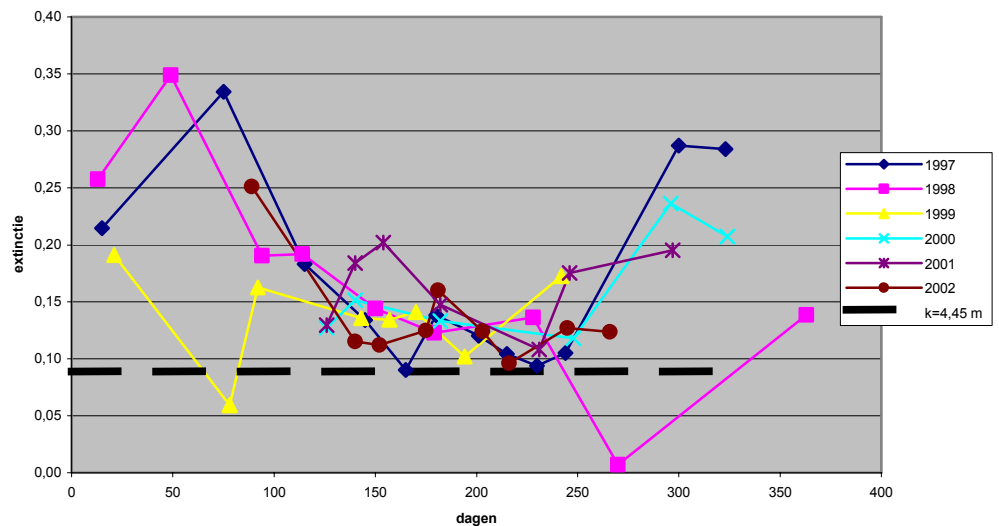
In tabel 6 wordt de locatie met de bijbehorende coördinaten en de gemiddelde diepte weergegeven. Tevens is vermeld wanneer ALB wel of niet toepasbaar is en in welke maand de extinctie het laagst is. Als er streepjes zijn weergegeven is er te weinig data om een voorspelling te doen.

Tabel 6
Loactie en toepasbaarheid ALB op de Noordzee

| locatie | N | E | Gem. diepte (m) | Beste Maand | Toepasbaar |
|------------------|-------------|------------|-----------------|-------------|------------|
| Rottumerplaat 50 | 53° 57' 11" | 6° 18' 31" | | ---- | nee |
| Rottumerplaat 70 | 54° 07' 02" | 6° 05' 46" | | ---- | nee |
| Terschelling 4 | 53° 24' 52" | 5° 08' 02" | 15 | ---- | nee |
| Terschelling 10 | 53° 27' 37" | 5° 05' 58" | 25 | ---- | nee |
| Terschelling 50 | 53° 56' 00" | 4° 45' 56" | 35 | ---- | nee |
| Terschelling 100 | 54° 08' 55" | 4° 20' 26" | 45 | mei-juni | nee |
| Terschelling 135 | 54° 24' 53" | 4° 02' 23" | 45 | mei-juni | nee |
| Terschelling 175 | 54° 43' 06" | 3° 40' 58" | 45 | mei-juni | af en toe |
| Terschelling 235 | 55° 10' 17" | 3° 09' 22" | 25 | mei-juni | ja |
| Noordwijk 2 | 52° 15' 38" | 4° 24' 17" | 10 | juni | nee |
| Noordwijk 10 | 52° 17' 57" | 4° 18' 04" | 14 | juli | nee |
| Noordwijk 20 | 52° 20' 00" | 4° 10' 25" | 16 | juli | nee |
| Noordwijk 70 | 52° 34' 58" | 3° 31' 48" | 22 | juli | af en toe |
| Walcheren 2 | 51° 32' 53" | 3° 24' 24" | 10 | --- | nee |
| Walcheren 20 | 51° 39' 28" | 3° 13' 09" | 20 | --- | nee |
| Walcheren 70 | 51° 57' 22" | 2° 40' 40" | 23 | --- | nee |
| Schouw N10 km | 51° 43' 09" | 3° 29' 38" | 15 | --- | nee |
| Goere 6 km | 51° 52' 08" | 3° 52' 20" | 10 | mei-juni | nee |

terschelling 135

Figuur 47
Voorbeeld meetpunt bij Terschelling 135 kilometer uit de kust



Als voorbeeld is een grafiek van de locatie Terschelling 135, figuur 47 (135 km uit de kust t.o.v Terschelling) weergegeven. In figuur 47 is op de verticale as de extinctie weergegeven en op de horizontale as het verloop van het jaar in dagen. Er is duidelijk een neer- en opgaande lijn aanwezig met een minimum tussen eind mei en juni.

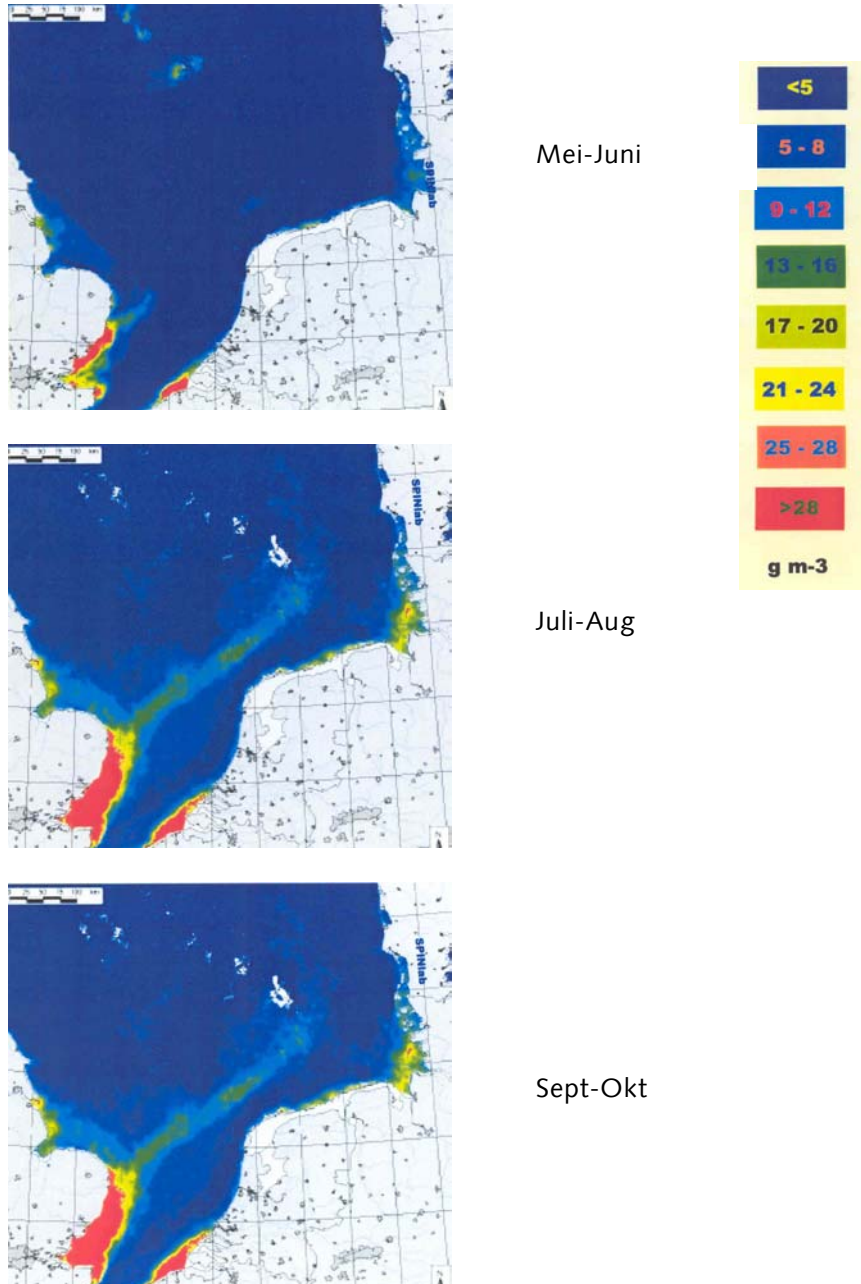
De zwarte gestippelde lijn geeft de maximale diepte aan waarbij de bodem nog gedetecteerd kan worden. Bij $K = 4$, met een diepte van 45 meter wordt de maximale extinctie:

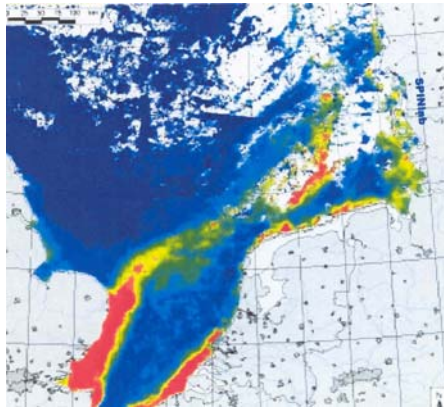
$$E_{\max} = \frac{k}{d} = \frac{4}{45} = 0.9 \quad \text{Formule 17}$$

Dit is een voorbeeld analyse op een locatie toegepast. Door dit op verschillende locaties te doen krijg je tabel 6. Het sediment transport kan ook via de SeaWiFS satelliet bekeken worden. In figuur 48 is van elke twee maanden een satellietplaatje weergegeven. Deze satelliet plaatjes zijn ontstaan na verwerking en classificering. Hierin wordt de sediment hoeveelheid afgebeeld in de loop van het jaar in g.m^{-3} .

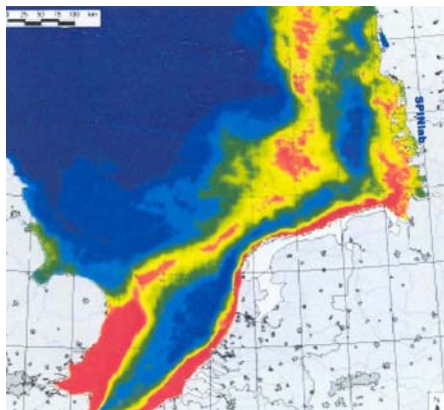
Figuur 48

Sediment transport in de Noordzee door het jaar heen

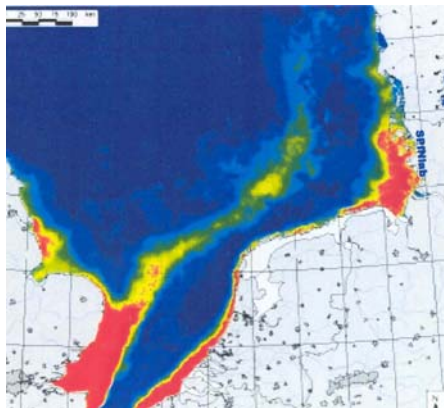




Nov-Dec



Jan-Febr



Maart, April

In figuur 48.1 is er weinig sediment aanwezig. In de maanden mei en juni is het rustig weer. Alleen voor de kusten van Zeeland en Engeland is het sedimentgehalte plaatselijk hoog. In juli t/m oktober breid zich het sediment gehalte aan de Engelse kust uit. In figuur 48.4 zijn de witte vlekken bewolking. Van november t/m februari zorgt het sediment afkomstig van de rivieren voornamelijk voor een hoge concentratie. In figuur 43 paragraaf 6.2 (Rivieren) neemt rond die tijd het debiet toe tot een maximum en zal daarna weer dalen. De concentratie aan sediment is daarom in januari en februari het hoogst. In maart, april neemt de toevoer aan sediment weer af. In deze satelliet

plaatjes is alleen het sediment weergegeven waardoor niet het totaal beeld van de extinctie is weergegeven.

Als je naar de verschillende elementen waaruit de extinctie is opgebouwd kijkt (zie hoofdstuk 5), is een duidelijker beeld qua afnamen en toename van elementen waarneembaar.

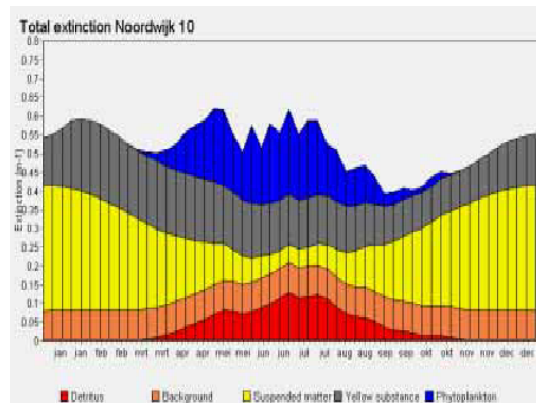
In figuur 49 t/m 51 worden de 4 elementen: Detritus (rood), zwevend materiaal (geel), organisch materiaal (grijs), achtergrond (orange) en fytoplankton (blauw) weergegeven in een grafiek van de locaties Walcheren 2, Doggersbank en Noordwijk 10.

Noordwijk 10.

De verticale schaal loopt van 0 tot 0,9. De meting ligt niet ver uit de kust. Het fytoplankton en Detritus ontstaan in maart en verdwijnen in september. Dit wordt veroorzaakt door de warmte. De afname van het sediment komt doordat het weer rustiger is en er minder rivier afvoer is.

Figuur 49

Extinctieopbouw Noordwijk 10 km uit de kust

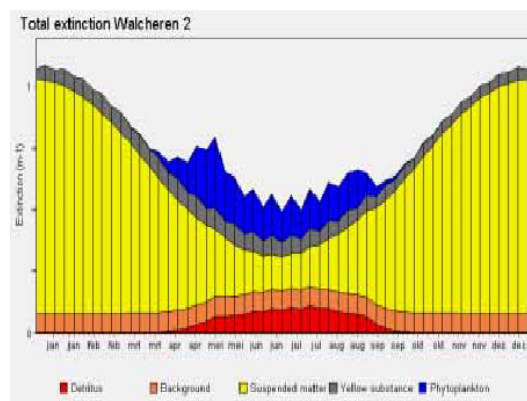


Walcheren 2

De verticale schaal loopt van 0 tot 1. Walcheren ligt dicht bij de rivieren delta van Zeeland waardoor de extinctie vooral afhankelijk is van het debiet van de rivieren. Er is minder stil staand water waardoor er minder algen zijn dan bij Noordwijk 10.

Figuur 50

Extinctieopbouw Walcheren 2km uit de kust



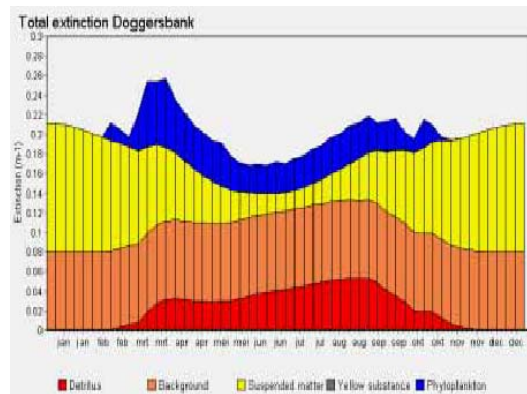
Doggersbank.

De Verticale schaal loopt van 0 tot 0,3.

De Doggersbank ligt ver uit de kust waardoor de invloeden van land minder belangrijk zijn. Toch zijn er algen aanwezig in het zomerseizoen.

Figuur 51

Extinctie opbouw doggersbank



Er bestaan verschillende fenomenen die de totale extinctie bepalen. De relatieve invloed van deze is seizoensafhankelijk. Vaak werken de effecten elkaar tegen waardoor de extinctie het hele jaar hoog blijft.

Conclusie Noordzee

De bodem van de Noordzee is in beweging. In het algemeen is ALB niet toepasbaar mede door de monding van verschillende rivieren, en veel aanvoer van sediment. Rond mei-juni neemt het sedimentgehalte af. Tevens neemt de wind in die maanden af waardoor het water 'stil' staat (minder in beweging is). Doordat het water 'stil' staat ontstaat er algengroei waardoor de extinctie niet genoeg afneemt om te kunnen meten. In gebieden langs de kust blijft de extinctie zelfs dezelfde waarde.

De Doggersbank is relatief ondiep en bevindt zich in ruim open water. Hierdoor zou laser bathymetrie gebruikt kunnen worden in de maanden mei, juni, juli.

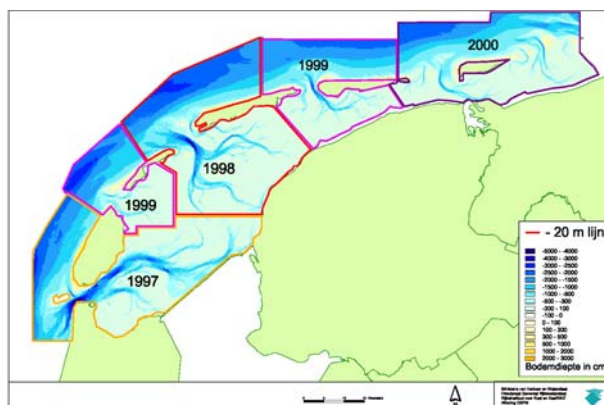
Het gat tussen de Doggersbank en Terschelling is te diep m.b.t de extinctie, en dichterbij de kust naarmate het ondieper wordt neemt de extinctie sterk toe.

Tussen Engeland en Nederland aan het Nederlands continentaal plat zal in het midden het soms mogelijk zijn om de bodem te detecteren als de diepte in de toekomst niet radicaal groter wordt dan 22 m.

B Waddenzee

Figuur 52

bathymetrische Kaart van de Waddenzee



De Waddenzee, bestaande uit diepe geulen en droogvallende gebieden, wordt de extinctie en doorzicht gemeten. De extinctie waarnemingen zijn niet bekend bij het RIKZ, maar de meet stations zijn er wel. Bij het bepalen van het doorzicht wat met behulp van een Secchi-schijf wordt gedaan geldt voor de Waddenzee in meest ideale situatie gemiddelde 10 dm wat op een maximale meetbare diepte komt van 3 meter. In de onderstaande tabel wordt het meer uitgesplitst per gebied.

Tabel 7

Toepasbaarheid ALB op de Waddenzee met betrekking tot de diepte

| Plaats | Locatie | Gem. Diepte m | Beste maand | Toepasbaar |
|---------------------|--------------------|---------------|-------------|---------------|
| Dantziggat | Waddenzee oost | -0.6 | mei-juni | ja, to 3 m |
| Harlingen havenmond | Westerschelde west | 2 | mei-juni | ja, tot 2,4 m |
| Zoutkamperlaag | Waddenzee oost | 3,7 | mei-juni | ja, tot 3 m |
| Z-O Lauwers oost | Waddenzee oost | -1.2 | juli | ja |
| Doove Balg oost | Waddenzee west | 1 | juli | ja, tot 3 m |
| Doove Balg west | Waddenzee west | 2 | juli | ja, tot 4 m |

Uit figuur 52 en tabel 7 blijkt dat de diepte varieert, met uitzondering van de vaargeulen tussen de -1 en 4 m. Hieruit blijkt dat laserbathymetrie voor het grootste gedeelte toepasbaar is tussen een diepte van 0,3 en 4 meter.

Conclusie

De Waddenzee is voor een groot gedeelte toepasbaar voor laserbathymetrie mits de diepte groter is dan 0,3 meter (zie hfst 4.1). Ook hier speelt eutrofiering een rol waardoor gebieden te troebel worden.

Rond mei juni is het doorzicht het hoogst en daardoor een maximale penetratie diepte kan worden bereikt van 3 tot 4 meter.

C Westerschelde

De Westerschelde bevat veel sediment zoals te zien is in figuur 48 en figuur 50. Zelfs in de maanden mei en juni is de sediment concentratie hoog in vergelijking met andere gebieden. De waarnemingsstations in de Westerschelde geven een vergelijkbaar beeld. Zie tabel 8.

Tabel 8

Toepasbaarheid ALB op de Westerschelde

| Plaats | Locatie | Gem diepte | Beste maand | Toepasbaar |
|----------------|---------------|------------|-------------|---------------|
| Hansweert | Westerschelde | -- | ---- | ja, tot 1,5 m |
| Terneuzen | Westerschelde | -- | mei | ja, tot 1 m |
| Vlissingen | Westerschelde | -- | mei | ja, tot 2,5 m |
| Hoedekenskerke | Westerschelde | -- | mei-juni | ja, tot 2,5 m |

Conclusie

Laserbathymetrie is niet mogelijk in de Westerschelde door de hoge concentratie aan sediment. De laser zou bij mooi weer en lage sediment stromen op zijn hoogst 1,5 meter doordringen in het water. Er zouden volgens figuur (Westerschelde C) gebieden kunnen worden ingemeten op en aan de rand van platen mits de diepte tussen de 0,3 en 1,5 meter blijft.

D Rivieren (Rijn, Maas)

De rivieren de Rijn en de Maas hebben een gemiddelde diepte van respectievelijk 3 en 5 m (zie tabel 4). De laagste extinctie wordt bereikt rond juni, juli en augustus en is sterk afhankelijk van de regenval. In tabel 9 wordt de maximale diepte berekend aan de hand van de gemiddelde laagste extinctie.

Tabel 9

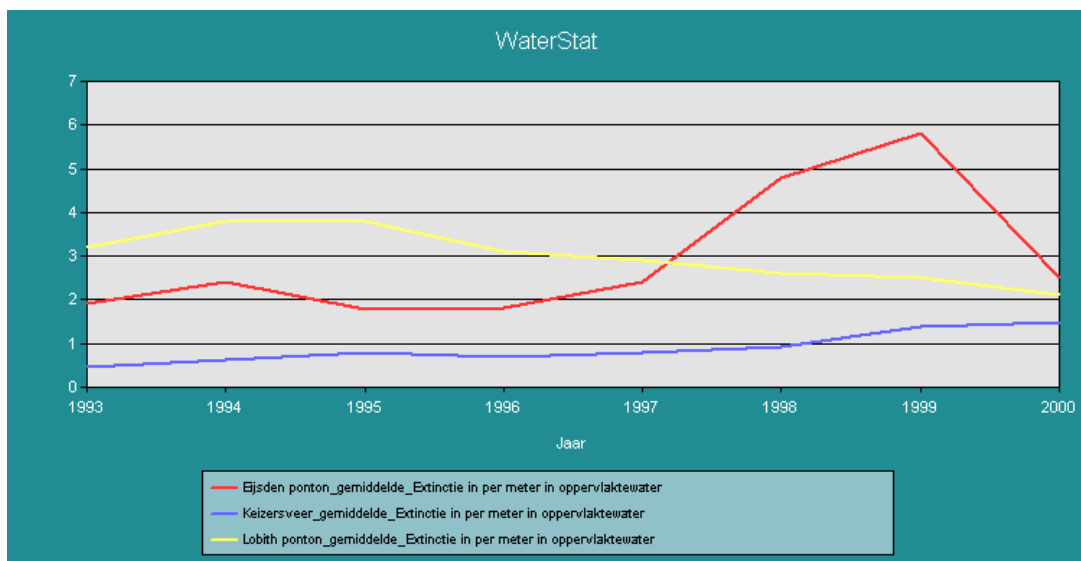
Toepasbaarheid alv op de rivieren

| Plaats | Locatie | Gem Diepte | Beste Maand | Toepasbaar |
|----------------|---------|------------|-------------|---------------|
| Eijsden Pontom | Maas | 2-6 | geen | ja, tot 2,5 m |
| Keizersveer | Maas | 2-6 | geen | ja, tot 5 m |
| Lobith Ponton | Rijn | 4-6 m | geen | nee |

De sedimentconcentratie is te hoog bij Lobith met betrekking tot de diepte om de bodem te kunnen detecteren. In figuur 53 worden de 3 meetstations weergegeven. De waarnemingen die worden getoond zijn jaar gemiddelden. Duidelijk is te zien dat bij Lobith de extinctie langzaam afneemt, terwijl de extinctie langzaam toeneemt in Keizersveer.

Figuur 53

Gemiddelde extinctie per jaar op de rivieren bij IJsden, Keizersveer en Lobtjeh



Het ponton in de Maas bij IJsden toont een sterk op en neergaande lijn. Door hoge fluctuaties in de meetgegevens ontstaat een hoge extinctie. De gemiddelde extinctie zal rond de 2 zijn.

Conclusie

In het algemeen is de concentratie aan stoffen in de Rijn het te hoog voor laserbathymetrie. De Maas leent zich meer voor laserbathymetrie. Aan de grens met België zal de Maas een hogere stroomsnelheid hebben dan halverwege Nederland. Hierdoor zullen aan het begin van de Maas zwaardere deeltjes sediment zitten dan halverwege de Maas waardoor te verklaren is dat de extinctie in Keizersveer lager is dan in IJsden.

Voor toepassingen tot het meten van diepten tussen de kribben zou laserbathymetrie geschikt kunnen zijn. De diepte is gering (tussen de 0 en 2 meter) de stroomsnelheid lager en daardoor minder sediment in het water. Al met al zijn er te weinig meetstations om te kunnen vaststellen of ALB toepasbaar is. Maar er is een grote kans, vanwege de geringe diepte, dat ALB toepasbaar is tussen de kribben. Hier moet nader onderzoek naar worden verricht.

Figuur 54

Foto van een rivier. Vanuit de lucht is te zien dat de bodem tussen de kribben zichtbaar is



E Markermeer en IJsselmeer

Het Markermeer en IJsselmeer hebben een geringe diepte. Met uitzondering van de vaargeulen is het Markermeer 3,5 meter diep en het IJsselmeer 4,4 meter. (Zie tabel 10). De maximale extinctie m.b.t de diepte zou voor het Markermeer $1,1 \text{ m}^{-1}$ mogen zijn en voor het IJsselmeer $0,9 \text{ m}^{-1}$.

.....
Tabel 10

Toepasbaarheid ALB op het IJsselmeer en Markermeer

| Plaats | Locatie | Gem diepte | Betse Maand | Toepasbaar |
|------------|-------------------|------------|-------------|------------|
| IJsselmeer | Vrouwenzand | 4,40 | geen | nee |
| Markermeer | Markermeer midden | 3,50 | geen | nee |

Conclusie

Uit de gegevens blijkt dat het, heel het jaar door, onmogelijk is de diepte te meten m.b.v laserbathymetrie op de grote meren vanwege de lange verblijftijd van het water en daardoor grote hoeveelheden algenbloei aanwezig is.

F Randmeren

De Randmeren hebben een geringe diepte.

De extinctie is het laagst in het voor en najaar. (Zie tabel x). Het is met uitzondering van de Randmeren noord haast heel het jaar door mogelijk te meten met laserbathymetrie.

Tabel 11

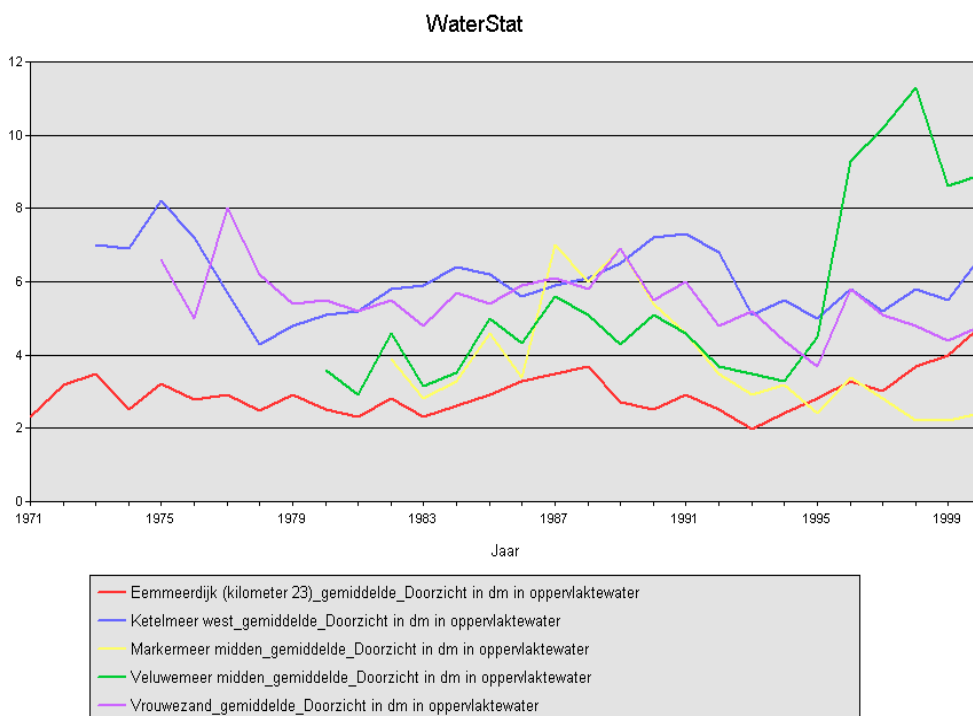
Toepasbaarheid ALB op de Randmeren

| Plaats | Locatie | Gem. diepte | Beste Maand | Toepasbaar |
|----------------|------------|-------------|-------------|------------|
| Randmeer oost | Veluwemeer | 1,50 | maart | ja |
| Randmeer oost | Wolderwijd | 1,50 | sept | ja |
| Randmeer noord | Ketelmeer | 2,40 | april | ja |
| Randmeer zuid | Eemeerdijk | 1,60 | febr | ja |

Als we naar de toekomst kijken (zie figuur 55, waar de gemiddelde doorzicht per jaar is weergegeven) wordt er hard gewerkt aan de waterkwaliteit op de randmeren. D.m.v doorstroming en minder fosfaat in het water zal het doorzicht in de toekomst toenemen.

Figuur 55

Gemiddelde doorzicht per jaar op verschillende meetlocaties van de Randmeren



Conclusie

Het is mogelijk om met laserbathymetrie de diepte in kaart te brengen van de Randmeren vanaf 0,3 meter.

7 Conclusie

Het is mogelijk om met ALB in Nederland gebieden in kaart te brengen. Alhoewel het afhangt van de hoeveelheid sediment in het water. Uit dit rapport blijkt dat ALB toepasbaar is op de Doggersbank (Noordzee), delen van de Waddenzee en de Randmeren. Ook zou bathymetrische lodingen kunnen worden verricht op de rivieren. Hiervoor moet nog meer onderzoek gedaan worden.

Uit de extinctiegegevens blijkt dat de maanden mei-juni-juli zich het best lenen voor ALB, mits het weer rustig is. Dit houdt in geen storm of hoge golfslag waardoor er sediment wordt opgewoeld.

ALB is niet tot nauwelijks toepasbaar op de Westerschelde, het IJsselmeer en het Markermeer. De extinctie is in deze gebieden te hoog met betrekking tot de diepte.

Het ALB systeem is verbeterd in verhouding tot 10 jaar geleden. De nauwkeurigheid is toegenomen en de frequentie van de laser is toegenomen. Tevens is de pulsduur van de laser afgenomen waardoor er op ondieper water gemeten kan worden. Het software pakket is ook verbeterd. Hierdoor worden signalen beter en nauwkeuriger gedetecteerd. Echter de software is langzaam in ontwikkeling. Er wordt meer aandacht besteed aan de laser.

Voor Nederland betekent dit dat ALB op korte termijn niet toepasbaar is omdat niet tot nauwelijks de ontwikkeling op het gebied van software aan de orde is maar meer aandacht wordt besteed aan de laser. Dit betekent dat de detectie van de bodem bij een hoog sedimentgehalte niet toeneemt in vergelijking met 10 jaar geleden. Ook in de toekomst zal detectie met een hoog sediment nauwelijks toenemen.

Als we naar de gebieden kijken zien we een afname van de sedimentconcentratie. Dit geldt voor de Randmeren, IJsselmeer, Markermeer en de rivieren. Door ingrijpende veranderingen van de meren zal het water schoner worden maar dit heeft pas jaren later effect op het doorzicht. De Noordzee, Westerschelde zal altijd troebel blijven de komende decennia waardoor er niet een verbetering is te verwachten qua doorzicht..

Door de ontwikkeling van de ALB systemen en een toekomstige analyse van de gebieden zou ALB in de toekomst gebruikt kunnen worden op het IJsselmeer en Markermeer.

Het detecteren van wrakken met een tenminste grootte 2x2 meter is mogelijk tot een diepte van 20 meter.

Literatuurlijst

- 1 Toeteneel, Astrid
LADS MKII, afstudeerscriptie opleiding hydrografie
Alkmaar, 1999
- 2 ISPRS Journal
Photogrammetry & Remote sensing
Volume 54, Juli 1999
- 3 Rijkswaterstaat
Kopstudie blaser, laserbathymetry
februari 1990, bcrs 89-36
- 4 Laan, M van der
Passive optical bathymetry witch CAESAR
februari 1991, bcrs 90-25
- 5 Peters, H.C
Feasibility of airborne laserbathymetry with respect to turbidity in Dutch coastal waters.
Juni 1992, bcrs 91-19
- 6 Ree, R.E
Reader OMG course oct 2001
Amsterdam, November 2001
- 7 Penny, M.F.
LADS- the Australian Laser Airborne Depth Souder
Remote sensing 1989, vol. 10
- 8 Wozencraft, Jennifer
THE COASTAL ZONE REVEALED THROUGH SHOALS LIDAR DATA
- 9 Banic, John
Airborne Laser Bathymetry: A Tool for the Next Millennium
1998, Canada
- 10 Brooks, Mark W
SHOALS Laser Bathymetry System
1998, Canada
- 11 SHOALS
Chapter 13, Airborne LIDAR hydrographic Surveying
Januari 2002, EM 1110-2-1003
- 12 Guenther, Gary C
Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry
- 13 Irish, Jennifer
An introduction to coastal zone mapping with airborne lidar
USA, 2000
- 14 LaRocque, Paul E
Airborne Laser Hydrography, An introduction
1999
- 15 Smith, Rebecca A.
Airborne lidar and airborne hyperspectral imagery
Navel Oceanographic Office, 2001

-
- 16 Smith, Rebecca A.
Airborne lidar a tool for the new millennium
Navel Oceanographic Office, 1999
 - 17 Los, Hans
Grootschalig 3D slib, waterkwaliteit en primaire productie
R&D presentatie Noordzee, 2003
 - 18 Duin, Elisabeth H.S.
Modelling underwater light climate in relation to sedimentation
Nederland, 2001
 - 19 Rijkswaterstaat voorschrift
Bepaling van de extinctiecoëfficiënt
Nederland, Oktober 2001, nr. 913.00.WO12
 - 20 Wolters, H.A.
Richtlijnen voor inrichting en beheer van uiterwaarden.
RIZA December 2001, rapport 2001.059
 - 21 DSII 24th conference, NHCS
Experiences from use of laser in surveying
Norway, September 2000
 - 22 Lads MKII, workout
Operator Training Package
 - 23 Shaowei Han
Airborne GPS Kinematic Positioning
Australië
 - 24 Axelsson Rune,
Airborne Laser Surveying Systems and Applications
Saab Dynamics, Zweden
 - 25 West, Geraint R.
Feature Detection and Classification with Airborne Lidar
USA, 1999
 - 26 Kruif, A.C.
Bodem dieptegegevens van het Nederlandse Kuststelsel
RIKZ, oktober 2001, rapport RIKZ/2001.41

Internetpagina's:

www.waddenzee.nl
www.rdi.nl/rdij/ijssemeergebied/ijssemeer.nl
www.shallowlakes.net
www.optech.on.ca
<http://shoals.sam.usace.army.mil>
www.tenix.com
www.waterstat.nl
www.waterbase.nl
www.airbornehydrography.com
www.fli-map.nl
www.walrus.wr.usgs.gov
www.cla.sc.edu/geog/rslab/551/Projects/Borden
www.bblaser.com/toriatukai/got/got_in.htm
www.ceolaser.com/terms.html
www.leidenuniv.nl/arbodienst/wet/laserveiligheid.htm
www.lasersafety.com/safety.html

Engelse woorden bij illustraties

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| absorption | absorberen |
| beam divergence | straaldivergentie |
| bottom retrun | bodemterugkaatsing |
| Diffuse botten reflection | spreiding bodem reflectie |
| illuminated bottom Area | belichte bodem |
| illuminated surface Area | belichte wateroppervlak |
| laser rod | laserstaaf |
| scan angle | scanhoek |
| scattering | verstrooien |
| spot density | punt dichtheid |
| surface return | oppervlakte terugkaatsing |
| tail | staart |