

Onderscheppen op lichtsnelheid?

Het gebruik van lasers voor raketverdediging

Op een kolom van vuur verlaat een ballistische raket het lanceerplatform. Meer dan honderd kilometer verderop en op dertien kilometer hoogte vliegt een Boeing 747. Enkele seconden na de lancering detecteren sensoren aan de buitenkant van de Boeing de uitlaatpluim van de raket. Lasers worden op de raket gericht om de afstand, de baan en vervormingen van de bundels in de atmosfeer te meten. Seconden later worden achter in het vliegtuig chemicaliën verbrandingskamers ingepompt, waar ze reageren. Er ontstaat een krachtige laserbundel die via een stelsel van spiegels naar de voorkant van het toestel reist en van daar met een grote draaibare spiegel naar de raket wordt gestuurd. Door de energie in de laserbundel wordt de wand van de raket zo heet dat hij de krachten die erop werken niet meer kan weerstaan en binnen twee minuten na de lancering bezwijkt. De raket breekt uiteen in stukken, die langzaam tuimelend naar zee vallen.

Dr. ir. R. Savelsberg*

Bovenstaand scenario lijkt misschien *science fiction*, maar het beschrijft een test die in februari 2010 is uitgevoerd voor de kust van Californië.¹ Het vliegtuig was het *Airborne Laser Testbed*. Bij deze test slaagde een laserwapen er voor de eerste keer in een ballistische raket te onderscheppen. Een beschrijving van dit wapen illustreert de beperkingen en mogelijkheden van laserwapens en beantwoordt de vraag of we binnen afzienbare termijn kunnen verwachten dat lasers als wapen kunnen worden gebruikt. Allereerst bespreek ik in dit artikel de geschiedenis van laserwapens en in het kort hoe lasers als wapen werken. Vervolgens schets ik een fictief scenario waarin de *Airborne Laser* (ABL) wordt ingezet tegen een ballistische raket: een Noord-Koreaanse *No-dong*. Aan de hand van dit scenario bespreek ik ten slotte meer in het algemeen de belangrijkste problemen rond laserwapens en hun consequenties.

Lasers als wapen

Star Wars

Vrijwel onmiddellijk nadat Theodore Maiman in 1960 voor het eerst een werkende laser demonstreerde, werden de mogelijkheden van lasers voor militair gebruik onderzocht.² Inmiddels zijn lasers met militaire toepassingen gemeengoed, bijvoorbeeld voor het meten van afstanden (*laser range-finders*), het aanwijzen van doelen (*target designators*) of als onderdeel van systemen om vliegtuigen te beschermen tegen infrarood-geleide raketten. Geen van deze toepassingen gebruikt echter de energie in de laserbundel om direct schade aan te richten aan het doel, ondanks de miljarden die in de afgelopen vijftig jaar aan de ontwikkeling van laserwapens zijn besteed.

Laserwapens werden bekend als onderdeel van het in 1983 door president Ronald Reagan aangekondigde *Strategic Defense Initiative* (SDI), beter bekend als het *Star Wars*-programma. Dit was gericht op de ontwikkeling van een raketverdedigingssysteem dat de Verenigde

* De auteur is natuurkundige en werkzaam als Universitair Docent Wapensystemen bij de Nederlandse Defensie Academie, locatie Den Helder.

1 *Airborne Laser Test Bed Successful in Lethal Intercept Experiment*, U.S. Missile Defense Agency News Release, 11-2-2010; zie: <http://www.mda.mil/news/10news0002.html>.

2 T.H. Maiman, 'Stimulated Optical Radiation in Ruby' in: *Nature* 187 (1960) 493-494.

Staten zou kunnen beschermen tegen een nucleaire aanval van de Sovjet-Unie. De gelaagde verdediging die binnen SDI was voorzien bestond uit een combinatie van wapensystemen voor gebruik tijdens elk van de drie fasen van de vlucht van een ballistische raket:

- de *boost*-fase, ofwel de tijd tussen de start van de raket en het moment waarop de motoren worden uitgeschakeld;³
- de *midcourse*-fase, waarin de raket zelfstandig zijn weg vervolgt buiten de atmosfeer;
- de *terminal*-fase, ofwel de eindfase, waarin de wapenlading de atmosfeer weer binnen komt op weg naar zijn doel.⁴

Lasers leken bij uitstek geschikt voor onderschepping tijdens de boost-fase, omdat de laserbundel zich met de lichtsnelheid voortplant en dus snel bij het doel kan komen. De raket bevindt zich op een grote afstand, maar is relatief eenvoudig te detecteren door de grote uitlaatpluim en is kwetsbaar vanwege de grote krachten die erop werken. Er werd binnen SDI onder meer gewerkt aan lasers die vanaf de grond raketten konden onderscheppen via een systeem van spiegels in omloopbanen. Er werd ook gewerkt aan *Space-Based Lasers*, waarbij de lasers zich in omloopbanen rond de aarde zouden bevinden.⁵ De technische problemen waren legio en met het einde van de Koude Oorlog is er van de plannen weinig terechtgekomen.

De Golfoorlog van 1991 gaf een nieuwe impuls aan de ontwikkeling van wapens voor raketverdediging. Irak vuurde in totaal 88 ballistische raketten op Israël en Saoedi-Arabië af. De raketten waren in Irak ontwikkelde varianten van de Sovjet-Russische *Scud* met een groter vliegbereik (tot 600 kilometer) en een overeenkomstig kleinere wapenlading.⁶ De VS en Nederland stuurden *Patriot*-luchtafweerraketten naar het Midden-Oosten om de Iraakse raketten in de eindfase van hun vlucht te onderscheppen. Dit bleek buitengewoon moeilijk. De raketten waren tijdens de eindfase instabiel, waardoor ze de neiging hadden te slingeren en te tolleren. Hierdoor werd hun baan onvoorspelbaar. Soms vielen de raketten al in brokstukken uiteen voordat ze onderschept werden en de radar van

FOTO US MISSILE DEFENSE AGENCY



Het Airborne Laser Testbed. De spiegel waarmee de bundel op het doel gericht wordt bevindt zich in de neus

de *Patriot* was niet in staat de wapenlading van de overige brokstukken te onderscheiden. De Amerikaanse landmacht claimt dat de *Patriot* desondanks bij 34 procent van de aanvallen het doel raakte, maar dit getal is omstreden.⁷

De ABL is ontwikkeld als reactie op deze ervaring en zou onderdeel worden van een gelaagd verdedigingssysteem tegen ballistische raketten uit landen als Noord-Korea en Iran. Voor verdediging in de midcourse-fase werkt Amerika aan het *Ground-Based Midcourse Defense System*, met lange-afstandsraketten. Voor de eindfase wordt gebruik gemaakt van op het land gestationeerde raketten (*THAAD* en *Patriot PAC-3*) en raketten die op schepen zijn geplaatst (*Standard SM-III*). Hierbij speelt de NAVO een actieve rol.⁸ De ABL zou de boost-fase voor zijn

3 Bij een raket met meerdere onafhankelijk te richten ladingen (zogenoemde *Multiple Independent Re-entry Vehicles* of MIRV's) worden tijdens de *post-boost* fase de wapenladingen en eventuele *decoys* losgekoppeld om aparte banen te volgen.

4 Bij tactische ballistische raketten, met een bereik tot ongeveer 3500 kilometer, wordt de wapenlading vaak niet losgekoppeld van de *booster*, maar vliegt het wapen in zijn geheel op het doel af.

5 J. Hecht, *Beam Weapons. The Next Arms Race* (iUniverse.com, Lincoln, Nebraska, 1984) 213-241.

6 C.K.S. Chun, *Thunder over the Horizon. From V-2 Rockets to Ballistic Missiles* (Westport, Praeger Security International, 2006).

7 J. Conyers, Jr., 1992, 'The Patriot Myth: Caveat Emptor' in: *Arms Control Today* 22 (9) (1992) 3-10; en G.N. Lewis and T.A. Postol, 'Video Evidence on the Effectiveness of Patriot during the 1991 Gulf War' in: *Science & Global Security*, Vol. 4 (1993) 1-63.

8 D.C. van Ingen, 'Change in de Amerikaanse Missile Defense plannen' in: *Militaire Spectator* 179 (2010) (3) 120-132.

rekening moeten nemen. Het programma had uiteindelijk moeten leiden tot een vloot van zeven vliegtuigen en volgens de oorspronkelijke plannen had het systeem in 2005 operationeel moeten zijn.⁹ Het ABL-project heeft inmiddels 5,2 miljard dollar gekost, maar de plannen voor operationele inzet zijn door de regering-Obama in de ijskast gezet. Een enkel prototype, afgebeeld op de foto hieronder, is nog in gebruik voor tests. Pogingen om ook dit testprogramma te stoppen houdt het Amerikaanse Congres tegen. Voorstanders zien de ABL als een *transformational system* dat de oorlogvoering net zo dramatisch kan veranderen als de introductie van het machinegeweer.¹⁰



FOTO US MISSILE DEFENSE AGENCY

Een enkel prototype van het ABL-project vliegt nog en een meerderheid in het Congres wil doorgaan met het testprogramma

Chemische lasers

Lasers produceren een geconcentreerde bundel licht van een unieke golflengte.¹¹ De golflengte hangt af van het medium waarin de laserwerking wordt opgewekt. Om laserwerking tot stand te brengen, wordt energie aan het

medium toegevoegd in een proces dat pompen heet. Dit pompen is inefficiënt: er is veel meer energie nodig dan uiteindelijk in de vorm van licht wordt uitgezonden. Er zijn veel verschillende lasers met verschillende energiebronnen en pompmechanismen, maar de meeste lasers die tot nu toe zijn ontwikkeld als laserwapens gebruiken chemische reacties als pompmechanisme. ABL maakt gebruik van een *Chemical Oxygen Iodine Laser* (COIL). Een combinatie van chloorgas, waterstofperoxide en kaliumhydroxide levert aangeslagen zuurstofatomen op. Deze reageren vervolgens met jodium. De laatste reactie levert aangeslagen jodiumatomen als lasermedium op. De reacties vinden plaats in een reactiekamer die lijkt op een raketmotor. Een chemische laser heeft als voordeel dat er geen aparte energiebron nodig is en dat restwarmte voor een groot deel wordt afgevoerd met de uitlaatgassen.

Niet alleen de efficiëntie van het opwekken van de energie voor een laser is laag; er gaat ook energie verloren in de atmosfeer. Een deel van de energie wordt geabsorbeerd door lucht en omgezet in warmte. De absorptie is onder meer afhankelijk van de golflengte van het laserlicht. Voor golflengtes in het gebied tussen 0,3 en 1,0 mm is de absorptie relatief laag.¹² Licht met een grotere golflengte wordt geabsorbeerd door moleculaire absorptiebanden van onder meer water en kooldioxide. Licht met een kleinere golflengte is ongeschikt vanwege absorptie door vooral ozon en wordt daarnaast verstrooid door stof en waterdruppels. Absorptie heeft een nadelig neveneffect: *thermal blooming*. De lucht die door absorptie wordt verwarmd, zet uit. Hierdoor neemt de brekingsindex lokaal af, waardoor de bundel uitwaaiert. Een vergelijkbaar fenomeen ontstaat door turbulentie. Hiermee samenhangende lokale temperatuurverschillen leiden tot gebieden in de atmosfeer met verschillende brekingsindices. Dit leidt vervolgens tot vervorming van de bundel en kan er zelfs voor zorgen dat de laserstraal wegbuigt van het doel. Een methode om dit te compenseren heet adaptieve optica. De reflectie van een referentielaser op het doel wordt geanalyseerd met een golffrontdetector. Aan de hand van de vorm van de zo gemeten vervorming wordt een

9 G.E. Forden, 'The Airborne Laser' in: *IEEE Spectrum* (september 1997) 40-49.

10 N. Hodge, 'Pentagon Loses War to Zap Airborne Laser From Budget' in: *The Wall Street Journal*, 11-2-2011.

11 Er is enige spreiding ten opzichte van de centrale golflengte, maar deze is voor dit artikel niet van belang. Er zijn ook lasers die licht uitzenden rond meerdere discrete golflengtes en lasers waarvan de golflengte gevarieerd kan worden. Dat zijn echter uitzonderingen.

12 M.A. Fischetti, 'Exotic Weaponry. SDI—the Grand Experiment' in: *IEEE Spectrum* (september 1985) 47-54.

flexibele spiegel aangestuurd, zodat het golf front van de bundel die op het doel gericht wordt, aan de storingen wordt aangepast. Deze zelfde spiegel wordt vervolgens ook gebruikt voor de *kill beam* die het doel moet uitschakelen. De bouw van een flexibele spiegel die geschikt is voor de hoge intensiteit van de kill beam is hierbij een van de moeilijkste problemen.

Van de COIL wordt verwacht dat de energie-opwekking efficiënt verloopt vergeleken bij andere lasers. De laser levert licht van 1,315 mm (infrarood). Deze golflengte is niet optimaal, maar de absorptie is lager dan bij andere bestaande chemische lasers.¹³ Desondanks zal maar een klein deel van de energie die aan boord van de ABL wordt opgewekt daadwerkelijk aankomen bij het doel.

Het onderscheppen van een ballistische raket

Geometrie van de onderschepping

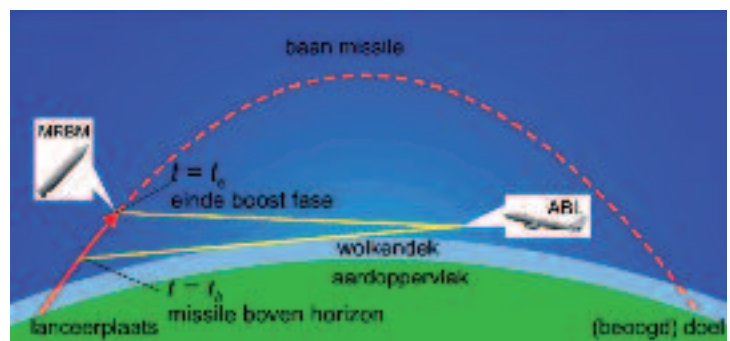
Om een idee te krijgen van de mogelijkheden van ABL heb ik een computermodel opgesteld, met het volgende scenario als uitgangspunt: Noord-Korea vuurt een No-dong raket af in de richting van Yokosuka, de Amerikaanse marinehaven bij Yokohama ten zuiden van Tokio, over een afstand van 1060 kilometer. De No-dong is een *Medium Range Ballistic Missile* (MRBM), die waarschijnlijk grotendeels op basis van Scud-technologie is ontwikkeld.¹⁴ Op zijn beurt vormde de No-dong vermoedelijk de basis voor de Iraanse Shahab-3.¹⁵ De Airborne Laser bevindt zich in dit scenario boven de Japanse Zee, op een afstand van 350 kilometer van de lanceerplaats en vliegt op een hoogte van dertien kilometer. Boven Noord-Korea hangt een wolkendek op tien kilometer hoogte. De locaties en de beoogde baan van de raket zijn weergegeven in figuur 1.

De ABL detecteert lanceringen optisch, met behulp van IR-detectors aan de buitenkant van het toestel. In het algemeen zal de ABL de raket niet meteen bij de lancering zien, omdat de raket zich dan nog onder de horizon bevindt. De ABL vliegt gewoonlijk boven het wolkendek,



Figuur 1 Onderschepping van een No-dong uit Noord Korea op een afstand van 350 kilometer. De dikke rode lijn is de baan van de raket. De lila lijn is de projectie van de baan op de aarde. De zichtlijnen waartussen de ABL de raket kan onderscheppen zijn in geel weergegeven¹⁶

maar kan niet door de wolken heen kijken. De laserbundel kan ook niet door het wolkendek heen schijnen, omdat waterdruppeltjes het licht verstrooien en absorberen. De hoogte van het wolkendek bepaalt zo de horizon voor ABL (zie figuur 2). Het computermodel berekent voor ieder moment van de baan of de ABL de raket in zicht heeft en wat de afstand tussen de ABL en de raket is.



Figuur 2 Geometrie van een onderschepping door ABL. De kromming van de aarde is overdreven weergegeven

- 13 Hecht, *Beam Weapons*, 71-76.
- 14 D.C. Wright and T. Kadyshew, 'An Analysis of the North Korean No-dong Missile' in: *Science & Global Security* (4) (1993) 129-160.
- 15 T.A. Postol, *A Technical Assessment of Iran's Ballistic Missile Program*, Technical Addendum to the Joint Threat Assessment on Iran's Nuclear and Missile Potential (New York, East-West Institute, 2009).
- 16 De afbeelding is gemaakt met Google Earth. De baan van de raket is berekend met *GUI_Missile_flyout*. Dit programma is ontwikkeld door G.E. Forden en gratis te downloaden van web.mit.edu/stgs/downloads.html. Details staan beschreven in G.E. Forden, 'GUI_Missile_Flyout: A General Program for Simulating Ballistic Missiles' in: *Science & Global Security* 15 (2007) 133-146.

Tussen het moment waarop de raket zichtbaar wordt en de laser begint met vuren is in dit scenario een responstijd aangenomen van $t_R = 10$ s. Om de baan van de raket nauwkeurig te bepalen is tijd nodig. De kill beam en ook de referentie-bundel voor de adaptieve optica worden op het doel gericht met een grote spiegel (diameter 1,5 meter) in de neus van het toestel en deze moet bijzonder nauwkeurig gericht worden. Een raket als de No-dong op 500 kilometer afstand is qua grootte vergelijkbaar met een muntje van vijf eurocent op een kilometer. Het richten is moeilijk omdat zowel de ABL als het doel bewegen. De kill beam zelf zal niet meteen het maximum vermogen kunnen leveren. Er is in ieder geval ook tijd nodig om een beslissing te kunnen nemen en er is extra tijd nodig als de ABL zijn koers moet verleggen. Bij een enkel doel is beslissen misschien relatief eenvoudig, maar omdat de ABL slechts één doel tegelijk kan bestralen zal er, als er meerdere raketten binnen korte tijd gelanceerd worden, onder grote tijdsdruk een moeilijke keuze gemaakt moeten worden. Mogelijk is er voordat de ABL de raket zelf ziet wel een waarschuwing dat er een lancering heeft plaatsgevonden, bijvoorbeeld via een IR-waarnemings satelliet, wat tijdswinst oplevert bij de onderschepping zelf.

Eigenschappen No-dong

In het gebruikte computermodel is de baan van de raket berekend met behulp van een drievrijheidsgraden model.¹⁷ Hiermee kan ook het maximum bereik van de raket worden vastgesteld. De gegevens die gebruikt zijn voor berekeningen in dit artikel staan in tabel 1. Precieze gegevens van de No-dong zijn in open bronnen niet terug te vinden. De baan die de raket volgt voor het maximum bereik is weergegeven in figuur 3. Het maximale bereik is volgens deze berekening 1150 kilometer, wat overeenkomt met de 1000-1300 kilometer uit tabel 1. De raket kan dus Tokio, Yokohama en de marinehaven in Yokosuka bereiken.

Benodigde tijd voor de onderschepping

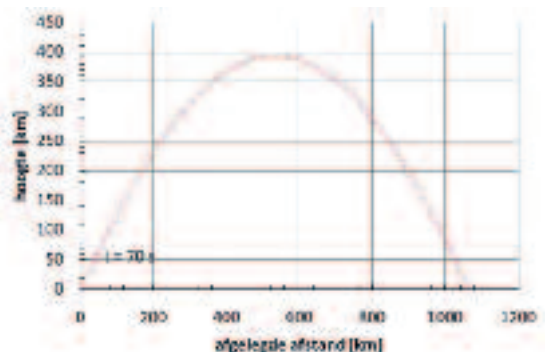
De schade die een laser aanricht aan een doel is anders dan de schade door een projectiel of

Wanddikte	3 mm
Materiaal	Staal
Lengte raket	15,5 m
Diameter	1,3 m
Specifieke Impuls	240 s
Duur boost-fase	70 s
Massa nuttige lading	1000 kg
Massa leeg	3000 kg
Massa brandstof	16000 kg
Maximum bereik	1000-1300 km

Tabel 1 Gegevens van de Noordkoreaanse No-dong.

Verschillende bronnen geven verschillende waarden. De waarden die hier gebruikt worden komen uit Wright and Kadyshev, 'An analysis of the North Korean No-dong Missile' (zie noot 14).

explosief. Voor ballistische raketten in de boost fase is het voldoende om een deel van de wand van de raket zodanig te verhitten dat de metalen wand zijn sterkte verliest, waardoor er een gat ontstaat en de motoren stoppen. Ook kan de druk en de versnelling die de raket tijdens de boost fase ondervindt ervoor zorgen dat de raket in elkaar klappt, zoals beschreven aan het begin van dit artikel. De belangrijkste grootte die nodig is om te berekenen wanneer de wand voldoende is verzwakt, is de energie die per oppervlakte-eenheid op de wand gestraald moet worden. Deze hangt af van de eigenschappen van het materiaal van de wand en de wanddikte d . De laser levert de benodigde energie



Figuur 3 Hoogte als functie van de afgelegde afstand voor een minimum energie baan van een No-dong MRBM. Het + symbool geeft de locatie van de raket aan bij het einde van de boost fase, op $t = 70$ s na de lancering.

17 Forden, 'GUI_Missile_Flyout'.

Het berekenen van de benodigde dwell time

De energie per oppervlakte-eenheid die nodig is om het doel uit te schakelen heet ook wel de hardheid of *fluence*. Deze kan in de meest eenvoudige benadering worden uitgerekend aan de hand van de hoeveelheid energie die nodig is om een metalen wand met een wanddikte d zodanig te verhitten dat de temperatuur van begintemperatuur T_0 oploopt naar een temperatuur T_f waarbij het materiaal bezwijkt. We vinden zo

$$F = \frac{C_g \rho (T_f - T_0) d}{1 - R}$$

met c_g de soortelijke warmte van het materiaal, ρ de dichtheid en R de reflectiviteit van de wand. De metalen wand van de raket zal het grootste deel van de energie reflecteren en daarom $R = 0,9$. Een aantal effecten is verwaarloosd. In een vollediger beschouwing zal ook warmtegeleiding in het materiaal moeten worden opgenomen. In het geval van een ballistische raket speelt ook stroming van de lucht buiten de raket en eventuele vloeibare brandstof binnen de raket een rol. De No-dong heeft een stalen wand met een dikte d van 3 mm en de temperatuur waarbij staal zijn sterkte verliest is $T_f = 460$ °C. Met $T_0 = 0$ °C en typische waarden voor staal $\rho = 8 \cdot 10^3$ kg/m³ en $c_g = 500$ J/kg/K vinden we een hardheid van $F = 5,5$ kJ/cm².

De laser levert de energie niet onmiddellijk. De bundel, met een intensiteit I , zal gedurende enige tijd op het doel moeten worden gericht. Hoe lang hangt af van de afstand en van de hoek θ tussen de bundel en de wand. Ver van de bron wordt de bundel breder en neemt de intensiteit dus af. Bij een totaal uitgangsvermogen van de laser P is de intensiteit I op een afstand r gelijk aan

$$I = C_a P \frac{D^2}{\pi r^2 \gamma^2}$$

Hierin is γ de golflengte van het licht, D de diameter van de spiegel waarmee de bundel wordt gevormd en C_a een correctiefactor voor de invloed van de atmosfeer. Aangenomen is dat $C_a = 0,1$, wat betekent dat 90 procent van de energie onderweg verloren gaat.¹ Voor de ABL geldt dat $D = 1,5$ m. Het vermogen P van de ABL is niet vrijgegeven, maar de meeste bronnen gaan uit van 3 MW.²

Zowel de ABL als het doel bewegen en de afstand en hoek veranderen dus terwijl de laser het doel belicht.³ De intensiteit op het doel is daardoor ook een functie van de tijd. Het doel wordt uitgeschakeld wanneer de hoeveelheid energie per oppervlak op het doel meer is dan de hardheid F . Hieruit volgt een voorwaarde

$$\int_{t_a}^{t_u} I \sin \theta dt = F$$

waarin t_a het tijdstip is waarop de laser wordt ingeschakeld en t_u het tijdstip waarop het doel is uitgeschakeld. De dwell time is gelijk aan $t_u - t_a$.

- 1 De absorptie voor de COIL ligt relatief laag, maar over een grote afstand gaat toch veel energie verloren. Een uitgebreider model vereist ook dat de invloed van turbulentie wordt meegenomen. Zie bijvoorbeeld J.M. Stupl, *Untersuchung der Wechselwirkung von Laserstrahlung mit Strukturelementen von Raumflugkörpern* (Proefschrift, TU München, 2008).
- 2 Zie bijvoorbeeld G.E. Forden, 'The Airborne Laser', of D.K. Barton, 'Report of the American Physical Society Study Group on Boost-Phase Intercept Systems for National Missile Defense: Scientific and Technical Issues' in: *Review of Modern Physics* 76 S1.
- 3 Omdat de afstand die de ABL gedurende de onderschepping aflegt veel kleiner is dan de verplaatsing van de raket is de beweging van de ABL in het model verwaarloosd.

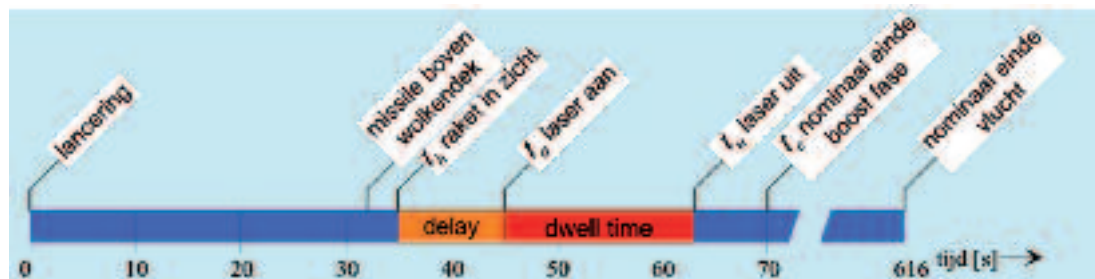
niet onmiddellijk. Hoe lang de ABL op de raket gericht moet blijven – de zogeheten *dwell time* – hangt niet alleen af van de eigenschappen van de laser en hoeveel energie er in de atmosfeer verloren gaat, maar ook van de afstand. Ver van de bron wordt de bundel namelijk breder, waardoor de intensiteit (het vermogen per oppervlak) afneemt. In het algemeen geldt dat op grotere afstand meer tijd nodig is. De vergelijkingen en waarden die gebruikt zijn staan in het kader. Of de *dwell time* toe- of afneemt bij het veranderen van een aantal van de parameters in het model is weergegeven in tabel 2.

Parameter	Symbol	Effect op dwell time	Uitgangswaarde in simulatie
wanddikte raket	d	+	3 mm
reflectiviteit wand	R	+	0.9
diameter spiegel	D	-	1.5 m
vermogen laser	P	-	3 MW
transmissie atmosfeer	C_a	-	10 %

Tabel 2 Het effect van het veranderen van een aantal van de parameters in het rekenmodel op de dwell time. Een '+' in de derde kolom geeft aan dat de dwell time groter wordt bij een grotere waarde van de parameter en '-' geeft aan dat de dwell time kleiner wordt. De laatste kolom geeft de waarde die in het scenario als uitgangspunt wordt aangenomen.

Resultaten

Voor onderschepping op 350 kilometer, zoals weergegeven in figuur 1, is de tijd berekend waarop de raket in zicht komt en de tijd waarop de raket wordt uitgeschakeld. De tijden zijn weergegeven op de balk in figuur 4.



Figuur 4 Tijdlijn van een onderschepping van een No-dong op 350 kilometer afstand

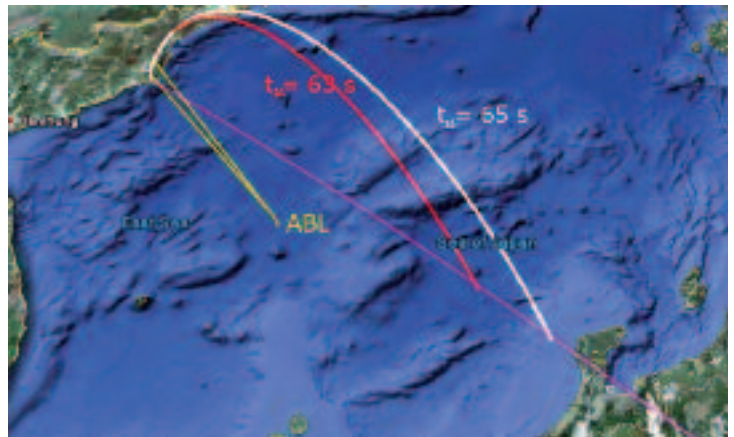
Zonder onderschepping zou de No-dong na iets meer dan tien minuten bij het doel aankomen. Voor een lancering van 350 kilometer afstand heeft de laser een dwell time van 18 s nodig om de raket uit te schakelen. Dit lukt enkele seconden voor het einde van de boost fase. Als de raket wordt onderschept zullen onderdelen, waaronder de wapenlading, verder vliegen in de richting van het doel. Waar ze precies terecht zullen komen is niet aan te geven, omdat het mogelijk is dat de raket al voordat de motoren stoppen van zijn koers gaat afwijken. Door de baan te herberekenen, maar de stuwkracht vanaf 63 s uit te schakelen, is het wel mogelijk te voorspellen hoe ver wrakstukken maximaal kunnen komen. Figuur 5 laat zien dat de brokstukken in dit geval in de Japanse Zee terecht komen. Om er zeker van te zijn dat er geen brokstukken naar beneden komen in Japan moet de raket uiterlijk op 65 s zijn uitgeschakeld, wat ook te zien is in figuur 5.

Door in het computermodel de afstand tot de lanceerplaats te variëren en uit te rekenen op welke afstand er 65 s nodig zijn, kan het maximum bereik van de ABL worden berekend. Wanneer de afstand van ABL tot de lanceerplaats toeneemt, duurt het langer voordat de raket in zicht komt en de dwell time neemt toe. Het resultaat is weergegeven in figuur 6. De ABL mag zich niet verder dan 370 kilometer van de lanceerplaats bevinden.

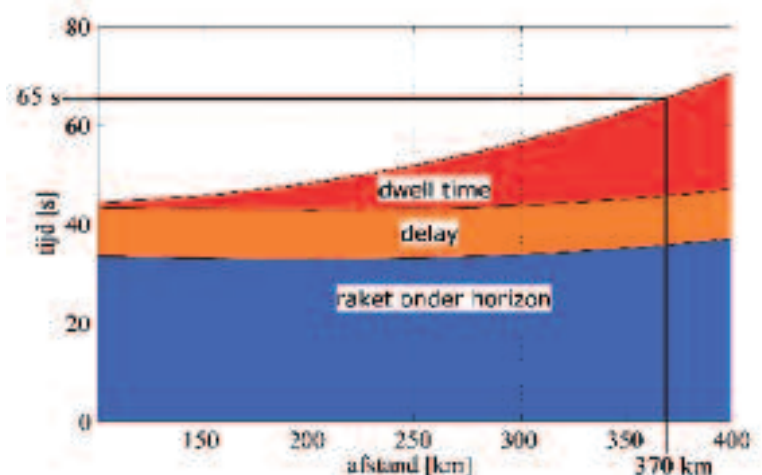
Dit bereik geldt alleen voor de waarden in tabel 2. Als tegenmaatregel tegen een laserwapen kan een ontwerper van een raket proberen de reflectiviteit te verhogen. Een verhoging van 0,9 naar 0,99 halveert het bereik. Zelfs bij een optimaal werkend systeem voor adaptieve op-

tica zal energie verloren gaan in de atmosfeer en de transmissiewaarde van 0,1 (10 procent) die als uitgangspunt is gebruikt, is relatief hoog.¹⁸ Zeker bij slechte weersomstandigheden zal de transmissie lager zijn en zal er dus meer energie verloren gaan in de atmosfeer. Er zit ook onzekerheid in de responstijd. Zonder waarschuwing van een lancering voordat de ABL zelf de raket detecteert, lijkt een responstijd van 10 s erg kort, zeker wanneer de koers van het vliegtuig moet worden aangepast om de laser er op te kunnen richten. Wanneer de responstijd oploopt tot 30 s neemt het bereik af tot minder dan 200 kilometer.¹⁹ Het is twijfelachtig of de ABL zo dicht bij Noord-Korea veilig is. Het is bijvoorbeeld binnen het bereik van de SA-5 Surface-to-Air Missile.²⁰

De manier om het bereik te verbeteren is het vergroten van het vermogen, maar het is onduidelijk of de ABL de 3 MW die in het model is aangenomen kan leveren. De ABL heeft zes COIL-modules, waarvan de bundels met een stelsel van spiegels worden samengevoegd tot de uiteindelijke kill beam. Oorspronkelijk waren veertien modules voorzien en de zes modules halen samen niet het beoogde vermogen. Ze zijn bovendien te zwaar. Met de modules, de benodigde pompen, apparatuur voor de koeling, optische componenten en voldoende laserbrandstof voor 120 s is het vliegtuig zo zwaar dat het niet met de volledige hoeveelheid vliegtuigbrandstof kan vertrekken.²¹ Het zal na vertrek in de lucht moeten worden bijgetankt.²² De brandstoffen voor de laser, specifiek het chloor en de waterstofperoxide, zijn giftig en moeilijk hanteerbaar. De locaties van de lancering en het doel zorgen voor extra beperkingen. In het beschreven scenario is gekozen voor een lanceerplaats die dicht bij de kust ligt en een doel waarvoor de raket een koers volgt direct richting zee. Voor een lanceerplaats verder landinwaarts en een doel verder naar het zuiden, waardoor de raket een baan moet volgen die over Zuid-Korea voert, wordt de onderschepping moeilijker. Het is moeilijker om dicht bij de lanceerplaats te komen en een vroege onderschepping vergroot de kans dat de wapenlading en eventuele brokstukken neerkomen in Zuid-Korea in plaats van



Figuur 5 De gevolgen van een onderschepping. De dikke rode lijn geeft de baan aan die de raket zou volgen wanneer de stuwkracht op 63 s wegvalt na een succesvolle onderschepping. De witte lijn geeft de baan met beëindiging van de stuwkracht op 65 s. De raket komt in de Japanse Zee terecht



Figuur 6 De tijd die nodig is voor de onderschepping is de optelsom van de tijd die het duurt voordat de raket zichtbaar wordt (blauw), de delay (oranje) en de dwell time (rood). Met uitzondering van de delay hangen de tijden af van de afstand. Op uiterlijk 65 s moet de raket worden uitgeschakeld

18 Forden, *The Airborne Laser*.

19 Meer details van de berekeningen en de resultaten voeren te ver voor dit artikel. Een technisch addendum kan worden opgevraagd bij de auteur.

20 D. Lennox, (ed.), *Jane's Strategic Weapon Systems* (Coulsdon, Surrey, 2005) 259-260.

21 Het brandstofverbruik van de COIL bedraagt 100 kg/10 MJ. Een schot van 20 s bij 3 MW kost dus 600 kg brandstof. Zie: D.K. Barton *et al.*, 'Report of the American Physical Society Study Group on Boost-Phase Intercept Systems for National Missile Defense: Scientific and Technical Issues' in: *Review of Modern Physics* 76 (2004) 51.

22 M. Clark and V. Samson, *A Look at the Troubled Development of the Airborne Laser* (Center for Defense Information, 2005, zie: www.cdi.org/pdfs/abl-031505.pdf).



FOTO US MISSILE DEFENSE AGENCY

De dure en complexe laserwapens kennen nog veel beperkingen. Er is te weinig vermogen voorhanden voor inzet onder ongunstige atmosferische omstandigheden

in de Japanse Zee.²³ Voor het onderscheppen van een Iraanse Shahab-3, met Israël als doel, zou de ABL zich zelfs in het Iraanse luchtruim moeten bevinden.

Conclusies

De Airborne Laser heeft aangetoond dat het mogelijk is om met een laser een ballistische raket te onderscheppen. De berekeningen in dit artikel laten echter zien dat het systeem veel beperkingen heeft. De afstand en de benodigde dwell time voor de aan het begin van dit artikel besproken test zijn niet vrijgegeven, maar de raket werd binnen enkele seconden waargenomen en binnen twee minuten na de lancering onderschept. Dit suggereert dat de test onder zeer gunstige omstandigheden plaatsvond. Om onder minder gunstige omstandigheden raketten te onderscheppen met de ABL is het noodzakelijk met een Boeing 747 vol chemicaliën binnen het bereik van vijandelijk luch-

verdedigingssystemen te vliegen.

De beperkingen van de ABL gelden in zekere mate voor alle laserwapens. Ze zijn duur en complex. Atmosferische omstandigheden hebben een grote invloed op de inzet en tegenmaatregelen zijn relatief eenvoudig te treffen. De enige manier om iets aan deze beperkingen te doen is krachtigere lasers te bouwen. De efficiëntie van lasers is zodanig laag dat de energievoorziening een probleem is en relatief efficiënte lasers zoals de COIL gebruiken toxische brandstoffen.

Zo lang de efficiëntie niet dramatisch kan worden verbeterd, zullen laserwapens alleen geschikt zijn voor een kleine niche.

Lasers worden onderzocht als wapen tegen korte-afstandsraketten, artillerie en mortieren (C-RAM) en als verdediging tegen anti-scheepsraketten. Op lage hoogte en zeker in een maritieme omgeving zijn de verliezen in de atmosfeer echter nog groter dan op de hoogte waarop de ABL vliegt en de beschikbare tijd voor de onderschepping bij een dergelijke inzet is nog veel korter. De energiedichtheid die nodig is om het doel uit te schakelen is hoger, want alleen de wand verhitten is onvoldoende. Lasers met relatief lage vermogens kunnen mogelijk worden gebruikt als *non-lethal weapons*.²⁴ Lasers worden ook onderzocht als precisiewapen tegen bijvoorbeeld *fast-attack boats*, UAV's of voertuigen op relatief korte afstand.²⁵ Een voordeel van lasers in deze rol is de beperkte kans op *collateral damage* vergeleken bij conventionele wapens. Er wordt veel verwacht van een efficiëntere nieuwe generatie elektrische lasers, die geen chemicaliën nodig hebben voor hun energievoorziening. Voorlopig hebben laserwapens hun belofte echter nog steeds niet waargemaakt. ■

23 J.M. Stupl, *Untersuchung der Wechselwirkung von Laserstrahlung mit Strukturelementen von Raumflugkörpern* (Proefschrift, TU München, 2008).

24 D.V. Giri, *High Power Electromagnetic Radiators. Non-Lethal Weapons and other Applications* (Cambridge, MA, Harvard University Press, 2004) 137-138.

25 J. Hecht, 'Laser Weapons. Advanced Tactical Laser is Ready for Flight Tests' in: *Laser Focus World*, 44, Iss. 2 (2008) 18.