

Kernenergie en Defensie

Een strategische krachtbron voor de krijgsmacht

KLTZ (TA) J. Friedericy MBA, majoor S. van der Heijden en T.P. Kuipers MSc

Dit artikel belicht de strategische waarde van Small Modular Reactors (SMR's) voor Nederlandse militaire operaties. SMR's bieden betrouwbare, schone energie ter plaatse voor Forward Operating Bases (FOB's) en Military Operating Bases (MOB's), waardoor de afhankelijkheid van kwetsbare brandstoflogistiek wordt verminderd. In vergelijking met zonne- en windenergie zijn SMR's compact, aanvalsbestendig en in staat om elektriciteit, warmte, waterstof en synthetische brandstoffen te produceren. Het artikel onderzoekt de haalbaarheid van de Klimaatwet, gebruik van kleinschalige kernenergie en Defensie en de verschillende aspecten van energiezekerheid: de mate van leveringsbetrouwbaarheid, veerkracht van de infrastructuur, logistieke onafhankelijkheid, diversificatie van bronnen, lokale autonomie, prijsstabiliteit, interoperabiliteit binnen de NAVO en ecologische duurzaamheid. SMR's scoren op al deze punten hoog. Het artikel bespreekt ook NAVO-ontwikkelingen zoals het Amerikaanse Project Pele, dat mobiele microreactoren inzet met HALEU- en TRISO-brandstof. De conclusie: kernenergie is essentieel, niet alleen voor het behalen van klimaatdoelen, maar ook voor het versterken van operationele capaciteiten, het beveiligen van expeditionaire strijdkrachten en het aandrijven van toekomstige energie-intensieve defensiesystemen en -platforms.

* Joachim Friedericy is tandarts en senior adviseur straling bij het Defensie Ondersteuningscommando/Defensie Gezondheidsorganisatie/Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid; Salomo van der Heijden is stralingsbeschermingsdeskundige bij het Defensie Ondersteuningscommando/Defensie Gezondheidsorganisatie/Centraal Militair Hospitaal; Tjerk Kuipers is senior adviseur straling bij het Defensie Ondersteuningscommando/Defensie Gezondheidsorganisatie/Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid.



De kleine kernreactor komt aan op Hill Air Force Base in Utah tijdens een test met transport via strategisch luchtvervoer, 2026



De hedendaagse geopolitieke verhoudingen worden gekenmerkt door een toenemende strategische onzekerheid. In dit veranderlijke veiligheidslandschap neemt de noodzaak voor Defensie toe om te beschikken over een betrouwbare, robuuste en duurzame energievoorziening. Energieonafhankelijkheid van (operationele) eenheden vormt daarbij een cruciale factor voor de continuïteit van militaire operaties, zowel nationaal als internationaal. Brandstoftransporten brengen immers niet alleen aanzienlijke logistieke uitdagingen met zich mee, maar vormen tevens veiligheidsrisico's voor personeel en materieel. Daarnaast vereisen nieuwe systemen, zoals railguns, laserwapens, high-power microwavewapens en datacenters ten behoeve van kunstmatige intelligentie, een constante en krachtige energievoorziening. Microreactoren bieden in dit opzicht een veelbelovende oplossing, doordat zij kampe-menten volledig autonoom van stroom kunnen voorzien, ook in gebieden zonder betrouwbare netaansluiting. Deze technologie sluit bovendien aan bij de *Uitvoeringsagenda Duurzaamheid Defensie*, die inzet op volledig zelfvoorzienende kampe-menten in 2050.

Dit artikel onderzoekt in hoeverre de doelstellingen uit de Klimaatwet haalbaar zijn zonder inzet van kleinschalige kernenergie. Tevens worden verschillende scenario's verkend waarin kleinschalige kernenergie kan bijdragen aan de versterking van de operationele inzet binnen de drie hoofdtaken van Defensie.

Inleiding

De natuurkundige wet van behoud van energie geldt helaas niet voor de vorm waarin energie voorkomt. Energie vrijmaken of omzetten in de vorm die we wensen, of dat nu elektriciteit, warmte of beweging is, kost altijd iets. Of dat nu de uitstoot van CO₂ of fijnstof tijdens de productie van energie is, de schaarse ruimte die

productie-eenheden als windmolens en zonneweides in ons landschap innemen, of het inleveren van geopolitiek veiligheidsgevoel, er zullen altijd maatschappelijke, financiële en praktische gevolgen aan de verschillende soorten van energieproductie verbonden zijn. Bij de huidige energietransitie waarin Nederland – en de hele wereld – zich in bevindt, wordt vooral gekeken naar verhoging van de energieproductie door de zogeheten groene, duurzame energiebronnen. Dit was voor Nederland van oudsher energie die opgewekt werd met behulp van zon, wind, waterkracht of aardwarmte, maar onlangs heeft de Europese Commissie kernenergie toegevoegd¹ aan de lijst voor duurzame investeringen. De krijgsmacht heeft zich gecommitteerd aan duurzaamheidsdoelstellingen vastgelegd in de Klimaatwet via rijksbrede beleidsafspraken en duurzaamheidsstrategieën, waarin kernenergie een prominente rol speelt. Daarnaast zetten NAVO-partners sterk in op ontwikkelingen van nieuwe nucleaire technieken en om deze operationeel inzetbaar te maken om *on site* afdoende duurzame elektriciteit, warmte, waterstof en synthetische brandstoffen te kunnen produceren.

Het doel van dit artikel is om vooruit te kijken naar de inzet van kernenergie, opgewekt met mobiele of kleine nucleaire centrales, zogeheten (very) Small Modular Reactors (SMR's), in eigenaarschap van Nederland of de Nederlandse krijgsmacht, dan wel van NAVO-partners, in te bedden voor specifieke Nederlandse krijgsmacht-doeleinden. Immers, linksom of rechtsom, als een NAVO-partner besluit kernenergie te gebruiken bij missies, heeft de Nederlandse krijgsmacht bij NAVO-missies te maken met kernenergie en effecten. De keuze voor nucleair energiegebruik binnen Defensie wordt daarmee feitelijk al gemaakt, zonder dat hier beleidsmatig op wordt geanticipeerd. In dit artikel willen we bespreken aan welke randvoorwaarden het gebruik van SMR's specifiek voor Defensie moet voldoen. Het artikel gaat eerst in op de theorie van de werking van een kern-reactor. Daarna behandelen we de capaciteitsbeperkingen in de energievoorziening om vervolgens te inventariseren welke technieken op dit moment al beschikbaar zijn. Daarna

¹ EU taxonomy for sustainable activities. What the EU is doing to create an EU-wide classification system for sustainable activities (Brussel, Europese Commissie, 17 maart 2026). Zie: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en#regulation.

bekijken we welke energievraagstukken Defensie daar potentieel mee op zou kunnen lossen.

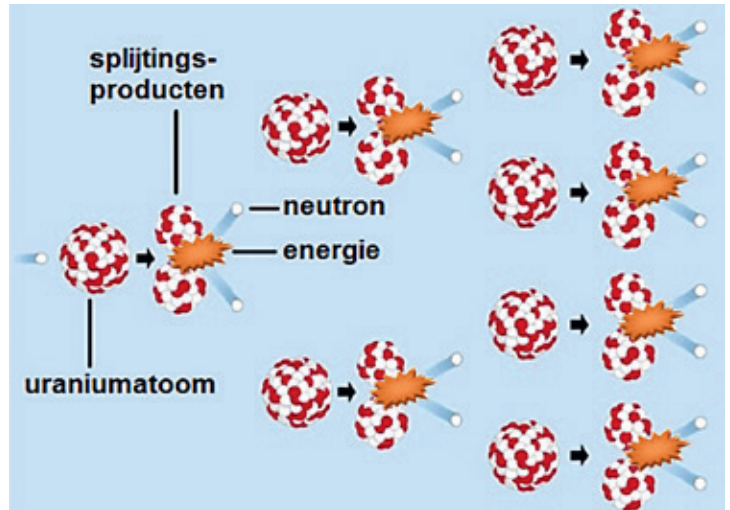
De theorie

Alle materie bestaat uit vele soorten atomen met lichte en zware atoomkernen. Sommige zwaardere atoomkernen zijn splijtbaar door ze te beschieten met neutronen waarbij, onder andere, veel warmte vrijkomt. Deze splijtbare atoomkernen worden gezamenlijk aangeduid als splijtstof, zoals uranium. Als een uraniumkern geraakt wordt door een neutron, valt deze uiteen in twee kleinere atoomkernen, twee à drie neutronen en een enorme hoeveelheid energie. Deze enorme hoeveelheid energie wordt overgedragen aan een koelmiddel zoals water, vloeibaar zout of metaal, of een gas en via een turbine omgezet in mechanische energie, waarmee elektriciteit wordt opgewekt.

Capaciteitsfactoren energie

In de energiesector wordt gerekend met een percentage per tijdseenheid van een energiecentrale wanneer deze daadwerkelijk elektriciteit levert aan het energienetwerk, ten opzichte van de maximale capaciteit van deze energiecentrale. Dit wordt de capaciteitsfactor genoemd en is afhankelijk van vele factoren. Voor windmolenparken zijn dat onder meer de windkracht, het aantal dagen dat een turbine stil staat vanwege onderhoud, hoogte en grootte van de windmolen en de locatie (zee of land). De capaciteitsfactor van windenergie bedraagt gemiddeld circa 34%. Deze varieert sterk per locatie: ongeveer 20% op land en tot 50% op zee. De capaciteitsfactor van een zonnepark is 23%, en een kerncentrale levert 95% van zijn tijd vermogen.²

Windturbines op zee hebben tegenwoordig een vermogen in de orde van 9,5 MW. Het offshore-windmolenpark Borssele 1 & 2, dat op dit moment gebouwd wordt, krijgt 94 windturbines van 8 MW. De 77 windturbines in het naastgelegen park Borssele 3 & 4 hebben elk een vermogen van 9,5 MW. Nieuwe windparken in de Noordzee halen een capaciteitsfactor van



Figuur 1 Splijting van uraniumatomen

45-50%. De jaarlijkse stroomproductie van één windturbine van 9,5 MW op de Noordzee is dan ongeveer 40.000 MWh.³

Een moderne kernreactor heeft een vermogen in de orde van 1600 MW (Frankrijk 1650 MW_e, Finland 1600 MW_e en Engeland 2×1600 MW_e). Als twee kernreactoren van 1600 MW op basislast draaien en een capaciteitsfactor van 95% halen, dan produceren ze per jaar ongeveer 27 miljoen MWh⁴. Ofwel, één moderne centrale met twee kernreactoren produceert per jaar evenveel elektriciteit als 675 windturbines op de Noordzee of 2450 windturbines op land. Gebrek aan ruimte om energiebronnen te plaatsen speelt niet alleen Nederland parten, maar zeker ook Defensie. Vergeleken met wind- en zonne-energie is de energiedichtheid van kernenergie dan ook ongeveer 500 respectievelijk 150 keer groter per vierkante kilometer.⁵

Een andere vergelijking kan gemaakt worden op basis van het energieverbruik van Kandahar Airfield in oktober 2016⁶ en Bagram Airbase in

2 Zie ook US Department of Energy: www.energy.gov.

3 $9,5 \text{ MW} \times 47,5\% \times 8760 \text{ uur/jaar} = 40.000 \text{ MWh}$.

4 $2 \times 1600 \text{ MW} \times 95\% \times 8760 \text{ uur/jaar} = 27.000.000 \text{ MWh}$.

5 Road to EU Climate Neutrality By 2050 – Spatial Requirements of Wind/Solar and Nuclear Energy and Their Respective Costs. Zie: https://nucleairerenaisance.nl/Energy_Study_Full.pdf.

6 Mid-America Engine, Kandahar Airfield. Zie: <https://www.midamericaengine.com/projects/kandahar-airfield/>.



FOTO MCD, ARNOUD SCHOOR

Een van de doelen van de krijgsmacht is onafhankelijkheid van fossiele brandstoffen in het operationele domein

2010. Kandahar Airfield had 60 MW aan powermodules nodig en Bagram Airbase, die huisvesting bood aan 10.000 militairen, had 56 MW aan powermodules nodig. Om Kandahar Airfield volledig te voorzien van zonnestroom, zou een oppervlak van 225.000 m² nodig zijn,⁷ aangenomen dat de capaciteitsfactor 100% is in Kandahar en er 's nachts op batterijen gedraaid kan worden. Afgezien van het benodigde oppervlak zijn het transport en de lage betrouwbaarheid zonder baseload ook bepalende factoren. Wind en zon zijn dan niet voor de hand liggende energiebronnen.

Energietransitie en Uitvoeringsagenda Duurzaamheid Defensie

In Nederland (en wereldwijd) vindt er momenteel een overgang plaats van fossiele energievoorziening naar duurzame energievoorziening, onder andere vanwege het tegengaan van klimaatverandering. Andere factoren die deze energietransitie bespoedigen

zijn de afnemende beschikbaarheid van fossiele brandstoffen en de afhankelijkheid van internationale energieleveranciers. Deze energietransitie is deels verwoord in de Nederlandse klimaatdoelstellingen en vastgelegd in de Klimaatwet. Het hoofddoel van deze wet is het bereiken van 95% broeikasgasreductie in Nederland in 2050 ten opzichte van 1990 en, als tussendoel, streven naar 49% broeikasgasreductie in 2030 ten opzichte van 1990. Daarnaast bevat de wet als neven-doel het streven naar 100% CO₂-neutrale elektriciteitsproductie in 2050. Vooral bij dat laatste aspect is het goed om te weten dat de CO₂-uitstoot van kernenergie in de gehele levenscyclus gelijk is aan die van windenergie of zonne-energie, zo niet minder. Iedere kWh die wordt opgewekt door kernenergie zorgt (indirect) voor 4 gram CO₂-equivalenten aan uitstoot. Bij zonne-energie ligt de uitstoot op 6 gram per kWh. Ter vergelijking met fossiele brandstoffen: bij kolen ligt de uitstoot op 109 gram per kWh en bij gas op 78 gram per kWh.⁸

Defensie heeft haar eigen energietransitie-doelstellingen verwoord in een *Uitvoeringsagenda Duurzaamheid Defensie*: 'In 2030 is de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen met tenminste 30 procent gereduceerd ten opzichte van 2010. In 2050 is de afhankelijkheid van fossiele

7 60 MW benodigd, 1 zonnepaneel levert maximaal 400 W_p en 1 zonnepaneel heeft een oppervlakte van 1,5 m² dus (60.000.000 w)/(400 w) * 1,5 m² = 225.000 m².

8 Michaja Pehl e.a., 'Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling', zie: <https://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>.

brandstoffen met tenminste 70 procent gereduceerd ten opzichte van 2010, in 2030 wordt 50 procent van de benodigde energie op kampementen duurzaam opgewekt en in 2050 zijn kampementen volledig zelfvoorzienend op energiegebied’.

Dit zijn ambitieuze doelstellingen, zeker wanneer wordt gezien dat het Engineer Research and Development Center berekend heeft dat de typische stroombehoefte voor een FOB gelijk is aan 6,5 tot 9 liter generatorbrandstof per persoon per dag en dit in 2030 voor 50% duurzaam opgewekt zou moeten worden.⁹

Een ander doel van de krijgsmacht is onafhankelijkheid van fossiele brandstoffen in het operationele domein. Ook dat is best ambitieus te noemen gezien het fossiele brandstoffenverbruik van Defensie. Hierbij enkele cijfers: in 2020 is er 132 miljoen liter brandstof geleverd aan de Defensieonderdelen.¹⁰ De luchtmacht is de grootste verbruiker van brandstof. Kerosine heeft het grootste aandeel hierin (± 55%), gevolgd door scheepsbrandstof en vervolgens diesel. Niet zo gek, aangezien de nieuwe F-35 tot 5600 liter brandstof per uur kan verbruiken. In vergelijking met zijn voorganger, de F-16, is dat 1,6 maal zoveel en vergeleken met het grootste fregat van de Marine (1750 liter per uur) is dat driemaal zoveel. Daarnaast is Defensie voornemens nog meer F-35's aan te schaffen.

Defensie streeft naar structurele bijmenging van gemiddeld 30% biologische of synthetische brandstoffen voor kerosine, diesel en scheepsdiesel. Er zal dus in 2030 minimaal 40 miljoen liter brandstof bespaard of vervangen moeten worden door bio- en synthetische brandstof. Huidige synthetische brandstoftechnologieën op basis van gebruikte olie uit de voedselindustrie bereiken door schaarste hun limiet; het frietvet raakt nu eenmaal een keer op. Synthetische brandstoffen kunnen echter ook gemaakt worden met behulp van elektriciteit, waterstof en CO₂. Nadeel hiervan is dat voor de productie van een kilogram synthetische kerosine (energie-inhoud: 12 kW) minimaal twee keer zoveel energie aan elektriciteit nodig is. Synthetische kerosine, ook wel Sustainable Aviation Fuel (SAF) of e-fuel genoemd, kan

Kilowatten zijn de kogels van de toekomst

geproduceerd worden in meerdere stappen via een chemisch proces waarbij waterstof en CO₂ gecombineerd worden tot lange koolwaterstofketens. Als het CO₂ uit de lucht gehaald wordt via Direct Air Capture (DAC), is op deze wijze de CO₂-uitstoot netto nul. Het waterstofgas wordt daarbij opgewekt door elektrolyse van water met behulp van elektriciteit. Het voordeel van dit proces is dubbel, omdat het waterstofgas deels gebruikt kan worden voor SAF-productie, maar ook prima op te slaan en te vervoeren is. De waterstof kan in brandstofcellen langdurig gebruikt worden door de hoge energiedichtheid. Dergelijke brandstofcellen worden reeds gebruikt in back-up systemen of in voertuigen. Momenteel zijn er enkele mobiele waterstofproductiesystemen op de markt, zoals Giga PtX van Rheinmetall.¹¹

De Defensieorganisatie is voornemens op een aantal locaties nieuwbouw te realiseren waarbij netcongestie de nieuwbouw ernstig kan vertragen. In juni 2025 stonden er voor de regio Zeewolde 29 verzoeken in de wachtrij met een totaal vermogen van 8 MW.¹² Met de inzet van SMR's kan de krijgsmacht zonder aanspraak te doen op civiele energiebronnen zelfstandig een

9 U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC), *Forward Operating Base Energy and Fuel Demand Analyses*, USACE, 2009-2012; U.S. Department of Defense, *Operational Energy Strategy*, 2016-2022.

10 Jaarverslag en Slotwet ministerie van Defensie 2020, blz. 86.

11 Zie: <https://www.rheinmetall.com/en/products/e-fuels/giga-ptx>.

12 Zie: www.partnersinenergie.nl.

betrouwbare, duurzame en toekomstbestendige energievoorziening garanderen, passend bij de strategische en operationele eisen van een moderne krijgsmacht.

Toekomstige energievoorziening wapensystemen

Nieuwe wapens en wapensystemen verbruiken vaak meer energie dan hun voorgangers. Ze worden groter, sneller en zwaarder. Niet voor niets schreef Marcel Hendriks al eens dat 'kilowatten de kogels van de toekomst zijn'.¹³ Om de systemen in de toekomst 'groener' te laten functioneren, moet er nóg meer reductie van CO₂-uitstoot plaatsvinden. Dat is een forse uitdaging want diesel, kerosine en benzine stoten gemiddeld 2,5 kg CO₂ per verbrande liter brandstof uit, wat met de verbruikscijfers van 2020 elders tot een reductie van 100.000 ton CO₂ zou moeten leiden. Dit kan gerealiseerd worden door compensatie: het kopen van emissierechten (à € 64,69 per ton, de marktprijs op 14 april 2025).¹⁴ De vraag rijst in hoeverre dit zowel moreel als financieel verdedigbaar is. Daarnaast is het waarschijnlijk verstandiger om de realisatie van de gestelde eisen in de Klimaatwet als defensieorganisatie zelf in handen te houden, met de daarbij komende voordelen zoals onafhankelijkheid op geopolitiek vlak en stuwung van ontwikkelingen.

Er moet dan ook nu al nagedacht worden over de toekomstige energievoorziening en elektrificatie van nieuw aan te schaffen wapensystemen, mede omdat deze tot wel veertig jaar meegaan. Voorbeelden daarvan zijn

de F-35, Landing Platform Docks en Joint Logistic Support Ships, radarsystemen, luchtafweer tegen drones, railguns, High Energy Lasers (HELs) en nucleair aangedreven schepen (NAS).

Luchtafweer

Een voorbeeld waarbij kilowatten de 'kogels' zijn in plaats van conventionele projectielen, is Epirus Leonidas.¹⁵ Het is een geavanceerd antidrone-wapensysteem gebaseerd op *high-power microwave* (HPM) technologie, dat in staat is om grote aantallen drones gelijktijdig en binnen korte tijd uit te schakelen. Het systeem maakt daarbij gebruik van HPM-technologie, een soort microgolfkanon. De munitie voor dit systeem bestaat uit krachtige elektromagnetische pulsen met een frequentie tussen 1 en 2 GHz. Een bijkomend voordeel is het wegvallen van traditionele munitietransporten, wat de logistieke belasting aanzienlijk vermindert en kwetsbare aanvoerlijnen verkleint. Daarnaast is het systeem mobiel, schaalbaar en ook inzetbaar voor civiele infrastructuur zoals luchthavens, energiecentrales en overheidsgebouwen.

Nucleair aangedreven schepen

Een ander voorbeeld zijn nucleair aangedreven schepen. Al decennia worden varende platforms als vliegdekschepen en onderzeeërs, veilig aangedreven met kernenergie. Met het compacter worden van dergelijke reactoren, kunnen ook kleinere schepen uitgerust worden met een energiebron die enkel om de paar jaar moet "bijtanken". Onderzoek naar deze toepassing wordt onder andere gedaan door COMMIT¹⁶ en concreet is *AllSeas*¹⁷ hiervoor reactoren aan het ontwikkelen.

Iron Beam

Het Iron Beam-systeem is een geavanceerd *direct-energy* wapen ontwikkeld door Rafael Advanced Defense Systems¹⁸ in Israël. Het is ontworpen om in te grijpen bij dreigingen op korte afstand (tot 10 kilometer). Het systeem

13 Marcel Hendriks, De Oekraïne maakt duidelijk: kilowatten zijn de kogels van de toekomst!, *Energie voor inzet*, 5 april 2022. Zie: <https://www.energievoorzet.nl/kilowatturen-zijn-de-kogels-van-de-toekomst>.

14 Trading economics, EU Carbon Permits, zie: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>.

15 GD Land Systems, zie: <https://www.gdls.com/stryker-leonidas/>.

16 G.H. Wieggersma, Master Thesis *Generation IV (very) Small Modular Reactor Technology for Future Surface Combatants* (2024).

17 'Allseas pioneers nuclear technology' (5 June 2025). Zie: <https://www.allseas.com/en/who-we-are/news-and-media/allseas-pioneers-nuclear-technology>.

18 IRON BEAM™, High Energy Laser Weapon System. Zie: https://www.rafael.co.il/system/iron-beam/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=iron_beam_gsn&gad_source=1.



Leonidas is een gevanceerd antidrone-wapensysteem gebaseerd op high-power microwave (HPM) technologie

detecteert inkomende dreigingen zoals raketten, drones of mortiergranaten met behulp van een radar. Vervolgens richten krachtige laserstralen zich met uiterste precisie op een kwetsbaar punt van het object. Het systeem kan de laserstraal op aanzienlijke afstand zeer nauwkeurig focussen. Het systeem vuurt dus met de lichtsnelheid en heeft, zolang er voldoende elektriciteit voorradig is, een onbeperkte munitievoorraad. Een ander belangrijk voordeel van Iron Beam is de minimale nevenschade (geen neerstortende brokstukken van een luchtdoelraket). Bovendien zijn de operationele kosten uitzonderlijk laag: een schot kost slechts enkele euro's aan energie.

Omgevingsfactoren en reactorveiligheid

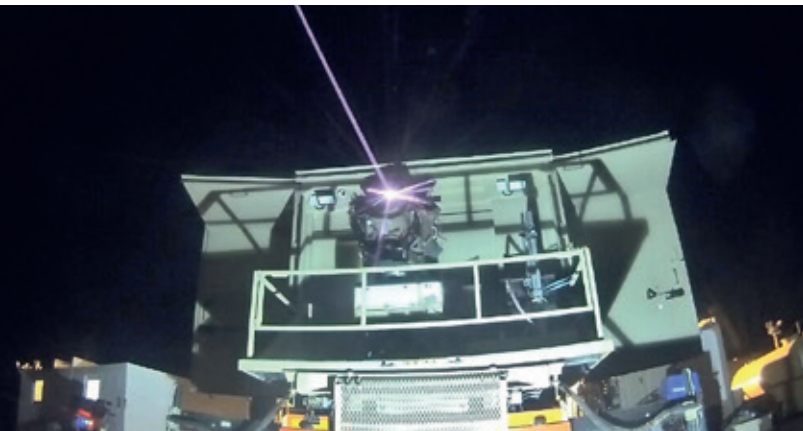
Het Defense Science Board (DSB) heeft in een studie¹⁹ geconcludeerd dat kernenergiesystemen een betrouwbare, robuuste, continue en overvloedige energiebron voor de krijgsmacht kunnen zijn om de discrepantie tussen de stijgende energievraag van de Amerikaanse

krijgsmacht en het intermitterende karakter van alternatieve energiebronnen te overbruggen. Het Strategic Capabilities Office (SCO) van het Amerikaanse ministerie van Defensie is daarom in 2016 het project Pele²⁰ gestart, met als doel een werkend prototype, een mobiele SMR, op te leveren. In 2025 is Project Janus van start gegaan.²¹ De kaders daarbij zijn betrouwbaarheid, robuustheid, minimalisering van proliferatierisico's, nucleaire veiligheid en nucleaire security, milieurisico's en gezondheidsrisico's van personeel en bevolking. Om in de toekomst een mobiele SMR – ook wel microreactor of nucleaire batterij genoemd – succesvol en rendabel in te kunnen zetten in een militair missiegebied, zijn er strenge

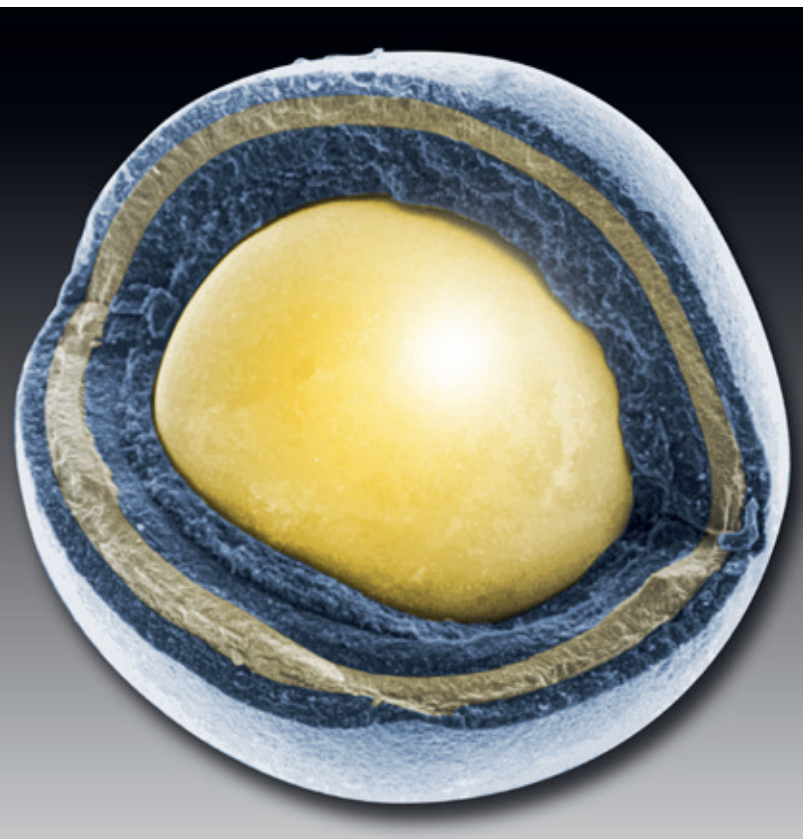
19 US Defense Science Board, Final Report, Task Force on Energy Systems for Forward/ Remote Operating Bases (1 augustus 2016). Zie: [Energy_Systems_for_Forward_Remote_Operating_Bases.pdf](#).

20 Project Pele (Washington, D.C., US Department of Defense, Office of the Under Secretary of War for Research and Engineering, februari 2022). Zie: https://www.cto.mil/pele_eis/.

21 World Nuclear News, 'US Army launches advanced reactor programme' (16 oktober 2025). Zie: <https://www.world-nuclear-news.org/articles/us-army-launches-advanced-reactor-programme>.



De Iron Beam: vuren met de snelheid van het licht zolang er voldoende elektriciteit is



In TRISO-brandstof heeft de drievoudig ingepakte uraniumkern het formaat van een sesamzaadje

22 US Department of Energy, 'TRISO Particles: The Most Robust Nuclear Fuel on Earth' (9 juli 2019). Zie: <https://www.energy.gov/ne/articles/triso-particles-most-robust-nuclear-fuel-earth>.

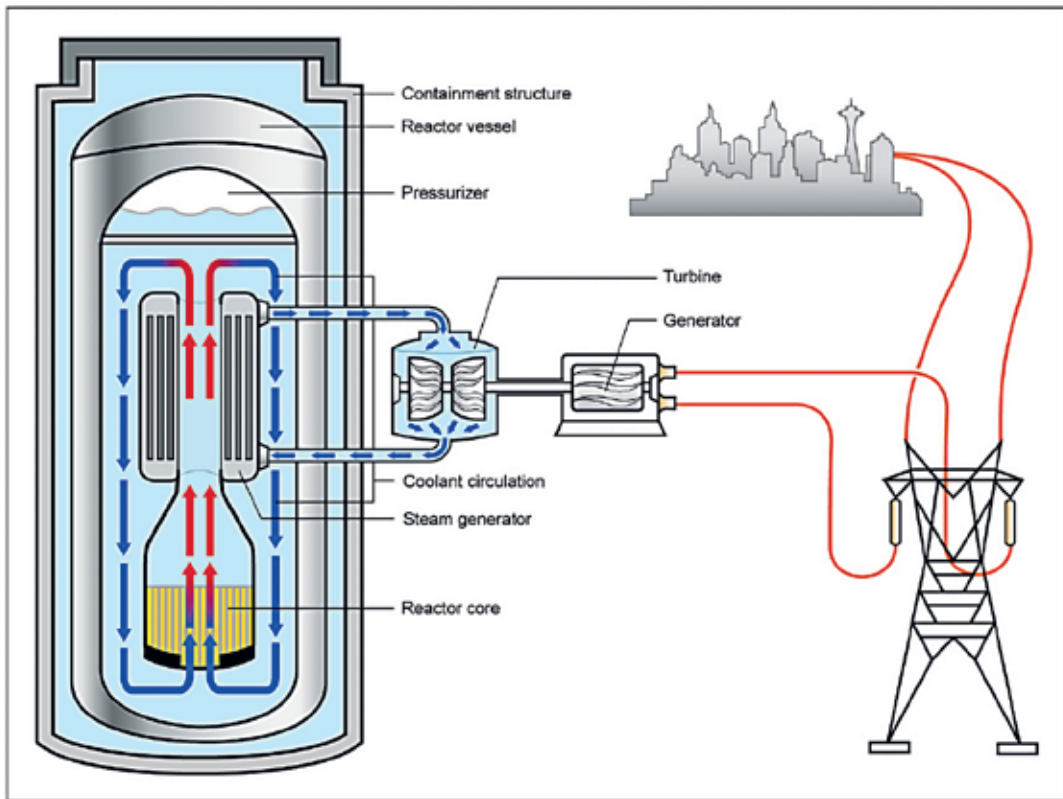
FOTO: AUTEUR

voorwaarden waaraan zo'n systeem moet voldoen. Zo moet de SMR zonder logistieke aanpassingen per vrachtwagen, vliegtuig of schip te transporteren en te installeren zijn. Daarnaast moet de SMR autonoom kunnen werken én jarenlang stabiel energie kunnen leveren zonder toevoeging van nieuwe brandstof. Omgevingsrisico's moeten zoveel mogelijk geminimaliseerd, maar wel operationeel realistisch, benaderd worden. Door het inherent veilige ontwerp van de SMR's, de relatief kleine bronterm en de soort brandstof, is het gebruik van de reactor veilig, ook bij interne storingen. Risico's uit de omgeving op een militaire SMR, zoals externe (kinetische) explosies, vormen een veel grotere dreiging van defecten. Een dergelijke militaire SMR moet dan ook bestand zijn tegen externe risico's. Indien nodig kunnen ze modulair opgeschaald worden en ze zijn koppelbaar, waardoor ze flexibel kunnen integreren binnen NAVO-systemen.

In bepaalde situaties zal blijken dat risico's naar de omgeving van militaire kernenergie verbleken in vergelijking met de bredere operationele en strategische risico's. Het is namelijk een groot strategisch voordeel dat er veel minder fossiele brandstoftransporten nodig zijn om de energiebehoefte te kunnen garanderen bij operationele inzet. Een voorbeeld hiervan is het doorsnijden van de energietoevoerlijnen van een land of een missiegebied in een toekomstige oorlog, zoals de sluiting van de Khyberpas door Pakistan in 2010, wat een aanvoerroute van ISAF was, of een Russische sluiting van de Suwalki-corridor tussen Litouwen en Polen.

Het in handen van de vijand vallen van de splijtstof moet voorkomen worden vanwege terroristische scenario's en proliferatierisico's. Mocht dit toch gebeuren, dan moeten de consequenties zo gering mogelijk blijven. Dit kan bereikt worden door brandstof te gebruiken die niet geschikt is voor het maken van kernwapens of 'vuile bommen'. Op deze wijze kan militaire kernenergie voldoen aan non-proliferatieverdragen.

Project Pele maakt bijvoorbeeld gebruik van High-Assay Low Enriched Uranium (HALEU) in TRISO-vorm.²² De verrijkingsgraad van dit type



Source: GAO, based on Department of Energy documentation. | GAO-15-652

Figuur 2 Schematische voorstelling van een SMR

uranium is hoog genoeg om energie mee op te wekken (>5%), maar ver onder het niveau dat benodigd is om kernwapens te maken (<20%). Door het uranium drievoudig te verpakken in bolletjes met een harde schil van koolstof en silicium, is een kernsmelt en het verder uiteenvallen (een meltdown) niet mogelijk, ook niet bij de zeer hoge temperaturen die een dergelijke reactor kan bereiken. Het SMR-ontwerp in combinatie met de TRISO-brandstof zal er in geval van verlies van koeling door de temperatuuroptocht zorgen dat het aantal splijtingsreacties zal afnemen²³ en de kern uiteindelijk stabiliseert zonder incidenten. Bij een grote kinetische impact en een beschadiging van de kern blijven de TRISO-bolletjes intact en is er nauwelijks tot geen verspreiding van open radioactieve splijtstoffen; daarnaast zal de verspreiding van de TRISO-bolletjes zeer lokaal blijven en relatief eenvoudig zijn op te ruimen. Naast dat er brandstof in TRISO-vorm gebruikt

wordt, is de totale hoeveelheid brandstof in een SMR veel kleiner in vergelijking met een reguliere kernenergiecentrale. De Emergency Preparedness Zone (EPZ) rondom een SMR is daarmee enorm gereduceerd (tot enkele meters) in vergelijking met reguliere, stationaire grote kernreactoren (tientallen kilometers). Hierdoor zijn klassieke beschermingsmaatregelen voor de omgeving, zoals evacuatie of jodiumdistributie, wellicht niet van toepassing bij dergelijke SMR's, omdat er zeer moeilijk radioactieve stoffen vrij kunnen komen. Doordat de TRISO-schillen zeer lastig te verwijderen zijn én het HALEU-brandstof betreft, zijn het uranium en de splijtstoffen zeer moeilijk voor terroristische doeleinden of kernwapenproductie te gebruiken, waardoor het proliferatierisico laag is.

23 Zie: Jan-Leen Kloosterman, *Nuclear Reactors*: <http://www.janleenkloosterman.nl/reactors.php>.

Energy security is niet meer faciliteerend maar een strategische capability

Energieveiligheid

SMR's bieden grote voordelen voor energie-veiligheid op militaire kampementen.²⁴ In vergelijking met hernieuwbare energiebronnen zoals zon en wind zijn SMR's veel beter bestand tegen aanvallen of sabotage. Zonnepanelen en windturbines hebben een grotere fysieke voetafdruk en hun onderdelen zijn kwetsbaar, waardoor ze met relatief eenvoudige wapens uitgeschakeld kunnen worden. In vijandige omgevingen zijn ze dan ook slechts beperkt inzetbaar. Een SMR daarentegen is compact (enkele zeecontainers groot) waardoor ze goed te beveiligen en te beschermen zijn. De expeditie-naire energieveiligheid heeft daarnaast baat bij de afwezigheid van de kwetsbare logistieke aanvoerlijnen van brandstof.

Vanuit het oogpunt van energie-veiligheid van Defensielocaties in Nederland is de impact-bestendigheid van kernenergie en andere hernieuwbare bronnen superieur aan gas en olie vanwege hun lagere afhankelijkheid van logistieke ketens, maar ook van het elektriciteitsnet. Kernenergie scoort bijzonder hoog qua robuustheid, zelfstandig functioneren en leveringscontinuïteit, terwijl zon en wind juist kunnen profiteren van decentralisatie. Fossiele brandstoffen blijven het meest kwetsbaar, vooral door hun afhankelijkheid van een internationale infrastructuur en geopolitieke stabiliteit.

24 Energieveiligheid (energy security) is het vermogen van staten, samenlevingen en militaire organisaties om energievoorziening en -infrastructuur zodanig te beschermen, te diversifiëren en te beheren dat politieke besluitvorming, militaire operaties en vitale maatschappelijke functies niet kwetsbaar zijn voor verstoring, dwang of uitval, zowel in vredetijd als bij crisis en conflict.

25 IAEA, *Small Modular Reactors*, Catalogue 2024. Zie: https://aris.iaea.org/publications/SMR_catalogue_2024.pdf.

26 NATO 2022 Strategic Concept, 29 juni 2022, https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/290622-strategic-concept.pdf.

SMR ontwerpen

Op dit moment zijn er wereldwijd ongeveer tachtig, in verschillende stadia van ontwikkeling verkerende, SMR-ontwerpen en concepten. Hiervan lijkt de gasgekoelde SMR de beste kandidaat om aan de eisen voor gebruik in defensieomgevingen te voldoen. Dit type reactor gebruikt HALEU in TRISO-vorm als brandstof en helium- of stikstofgas voor warmtetransport. Een voorbeeld van een *load-balanced* ontwerp-vorm is verdeling van de reactor in meerdere compartimenten die los van elkaar geen kernreactie op kunnen wekken. Alleen als de compartimenten hydraulisch dicht bij elkaar gebracht worden, komt de kernreactie op gang en wordt er meer warmte gegenereerd, en vice versa. Op deze manier is het energieaanbod vraaggestuurd te maken. Deze totale configuratie past in vier 20-voets ISO-containers.

Voor 2027-2028 staat een proefopstelling bij het Amerikaanse ministerie van Energie (DOE) of een alternatieve faciliteit op het programma en in 2029 de ombouw van de FOAK-demonstratie-eenheid (First Of A Kind) tot eerste commerciële eenheid.²⁵

Tijdens de testfase zal een gedeelte van een US Army Base voorzien worden van elektriciteit uit een SMR. Bovendien worden de *deployment*, *deployability* en (subkritische) transporten naar een site getest. De site wordt daarbij binnen drie dagen operationeel gemaakt en kan gedemonstreed worden in minder dan een week. De kosten zijn momenteel nog hoog vanwege de ontwerp-fase, maar er wordt gestreefd naar 40 dollarcent/kWh.

Internationale regelgeving

De NAVO heeft in recente publicaties en tijdens topconferenties het belang van energie-veiligheid benadrukt en beaamt dat interoperabiliteit van energiesystemen onder NAVO-partners gegarandeerd moet zijn en dat klimaat-verandering breed bestreden moet worden bij alle activiteiten van de alliantie.²⁶

In de EU-lidstaten en zeker ook in NAVO-landen is de houding jegens toepassing van kernenergie voor energiesystemen verschillend. Dit is soms

(grond)wettelijk vastgelegd, maar is veranderlijk, zoals blijkt in Nederland.²⁷ Ook is internationale licensering van reactorontwerpen nog niet van de grond gekomen, hoewel het Internationaal Atoomenergieagentschap (IAEA) en andere instanties hiertoe wel voorzitten hebben gegeven. Een Module Design Certificate (MDC) voor een specifiek reactortype, zoals een SMR, heeft als voordeel dat een aangesloten lidstaat kan bouwen op de certificering uitgegeven door een buitenlandse nucleaire autoriteit. Een vergelijkbare methode wordt toegepast door de vliegtuigindustrie; vliegtuigonderdelen worden in licentie door toeleveranciers gebouwd en gecertificeerd aangeleverd voor inbouw.

De NAVO kan zelf een grote rol spelen in het stroomlijnen van het licenseringsproces, als zij besluit hierop regelgeving in te richten. Zo kunnen de NAVO-lidstaten zich bij acquisitie van SMR's dan verlaten op een vertrouwd en veilig product. En zelfs als acquisitie geen rol speelt, zullen NAVO-lidstaten wel op gestandaardiseerde interoperabiliteit moeten kunnen rekenen van landen die wel SMR's inzetten bij missies. Immers, de stekker moet wel op het stopcontact van de buurman blijven passen en de nachtrust moet gegarandeerd zijn, ook als de slaapzaal naast de reactor geplaatst wordt.

Afwegingen

Al met al zijn er veel zaken af te wegen en zijn er diverse argumenten om voor en tegen gebruik van kernenergie bij Defensie te zijn.

Argumenten voor

De toepassing van al dan niet mobiele SMR's bij Defensie zorgt ervoor dat de organisatie beter toegerust is in de uitvoering van haar drie hoofdtaken. Door de inzet van deze technologie kan Defensie ruimschoots voldoen aan de te verwachten stijging van het operationele energieverbruik, dat waarschijnlijk alleen maar verder zal toenemen door het gebruik van een breder arsenaal aan verdedigings- en aanvalssystemen, zoals drones, radar, cybercapaciteiten en High Energy Lasers. Deze toename geldt zowel voor missielocaties als binnen Nederland. Daarnaast leiden SMR's tot minder beperkingen in de operationele inzet, doordat zij commandanten ter plaatse meer energieggarantie bieden. Dit minimaliseert de noodzaak voor logistieke

- 27 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 'Ontwerp-wetsvoorstel voor het mogelijk maken van het langer openhouden van kerncentrale Borssele', zie: <https://www.platformparticipatie.nl/kerncentraleborssele/default.aspx>.
- 28 T.P. Kuipers, 'Developing nuclear security related legislative guarantees in licensing mobile Small Modular Reactors' (Technische Hochschule Brandenburg, augustus 2020). Zie: <https://d-nb.info/1230469133/34>.

Countries	Review of regulatory framework towards SMRs	
France	Regulatory context is fully applicable to SMRs	👍
Germany	New build projects of (most) SMRs in Germany are forbidden by law	👎
Lithuania	Primary legal basis and provisions are in line with international approved regulatory frameworks	👍
Canada	The Canadian regulatory framework allows for graded and alternative approaches towards safety requirements	👍
United States	Licensing Modernization Project (LMP) has the goal to develop a new framework for regulatory processes for advanced reactors	👍
United Kingdom	The risk-informed framework with mostly non-prescriptive high-level goals, is technology-neutral and does not need to be changed in order to regulate SMRs	👍
Russian Federation	The Russian Federation's legal and regulatory framework allows for the use of a graded approach for SMRs	👍
Finland	Optimization of licensing process for SMRs due to the multi-module SMR designs, which creates new challenges in the Finnish licensing process	👉
The Netherlands	The Dutch regulatory framework is basically fit for SMRs as it legally allows for a graded approach towards nuclear safety and security; some recommendations should be implemented	👍

Figuur 3 SMR's en internationale regelgeving²⁸

brandstoftransporten, waardoor niet alleen de operationele efficiëntie stijgt, maar ook het aantal (dodelijke) slachtoffers door kwetsbare en kostbare transporten aanzienlijk kan afnemen. De toepassing van SMR's draagt bovendien bij aan het terugdringen van de huidige en toekomstige geopolitieke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en zeldzame edelmetalen, wat essentieel is voor het waarborgen van de operationele slagkracht. De recente geopolitieke ontwikkelingen onderstrepen de noodzaak hiervan. Verder kunnen SMR's naast de productie van elektriciteit en warmte ook worden ingezet voor aanvullende doeleinden, zoals de ontzilting van zeewater voor drinkwater, de productie van synthetische brandstoffen (SAF) of waterstof, en het opslaan van elektriciteit in accu's wanneer er voldoende overproductie is. Een belangrijk voordeel van moderne SMR's is dat ze veilig kunnen worden ingezet dankzij het gebruik van TRISO-brandstof. De zogeheten Emergency Preparedness Zone is sterk gereduceerd tot slechts enkele meters, in tegenstelling tot kilometers bij conventionele kerncentrales. Hoewel bescherming tegen directe straling nog verder onderzocht moet worden, lijkt dit technisch haalbaar, waardoor SMR's inzetbaar zijn in kampementen en zelfs op kazernes. Naast de militaire voordelen biedt deze technologische ontwikkeling ook economische kansen voor Nederland wanneer Defensie tijdig instapt, zowel binnen als buiten de krijgsmacht. Bovendien kan Defensie hiermee haar personeel waardevolle (hoog)technologische carrièremogelijkheden bieden. In vreedstijd kunnen SMR's worden aangesloten op het (lokale) elektriciteitsnet om duurzame energie te leveren aan kazernes, wat bijdraagt aan de nationale energietransitie. Daarmee helpt de technologie tevens om de doelstellingen uit de *Uitvoeringsagenda Duurzaamheid* Defensie te realiseren. Immers, kernenergie is duurzaam, doordat ze de laagste impact heeft op klimaat, land, materialen en mensenlevens, en hernieuwbaar, doordat kernenergie met kweken beschikbaar is op geologische tijdschalen.²⁹ Defensie streeft ernaar

om in 2030, ten opzichte van 2010, 30% minder afhankelijk te zijn van fossiele brandstoffen en 50% zelfvoorzienend te zijn op energiegebied in missiegebieden. Gezien het feit dat Defensie in 2020 nog 132 miljoen liter brandstof inkocht, kunnen SMR's een cruciale rol spelen in het overbruggen van deze schijnbare tegenstelling tussen operationele noodzaak en duurzame ambities.

Argumenten tegen

De huidige systemen bevinden zich nog in de ontwerp- of testfase, waardoor het essentieel is om hun ontwikkeling (TRL) nauwlettend te volgen. Toch lijkt het onvermijdelijk dat Defensie hier binnen enkele jaren mee te maken krijgt, aangezien de NAVO de inzet van dergelijke systemen al voorbereidt. Een belangrijk aandachtspunt vormt het ontbreken van een afgestemd militair *nuclear regulatory framework* dat ontwikkeld zou moeten worden onder een militaire nucleaire veiligheidsautoriteit. Dit vraagt om samenwerkingsverbanden die op termijn kunnen uitmonden in formele NAVO-doctrine. Defensie kan een unieke rol spelen als kennispartner en als logistiek specialist op het gebied van veilig transport. In Nederland is relatief weinig kennis aanwezig om zelfstandig dergelijke nucleaire projecten op te starten. Deelname aan internationale samenwerkingsverbanden kan dan waardevolle *spin-off* opleveren, zowel voor Defensie als voor de Nederlandse kenniseconomie. Er zal nog veel aandacht moeten worden besteed aan de risicoperceptie rondom kernenergie en ioniserende straling, zeker binnen de operationele context. De operationele inzet van nucleaire energiebronnen vereist een grondige risico-inventarisatie met als pijlers nucleaire veiligheid, stralingsbescherming en beveiliging, bezien vanuit een militair perspectief. Wetenschappelijk onderzoek naar de omgevingseffecten, zoals de plaatsing van reactoren binnen Forward Operating Bases (FOB's), het gebruik van lokale afschermings- en beschermingsmaterialen, moet worden afgerond, zodat de resultaten kunnen worden verwerkt in technische oplossingen, veiligheidsprotocollen en militaire doctrine. Tot slot is de beschikbaarheid van voldoende en deskundig personeel,

29 J. Rhebergen, Rapport 'Kernenergie: Duurzaam, Hernieuwbaar en Nodig' (13 Januari 2026).

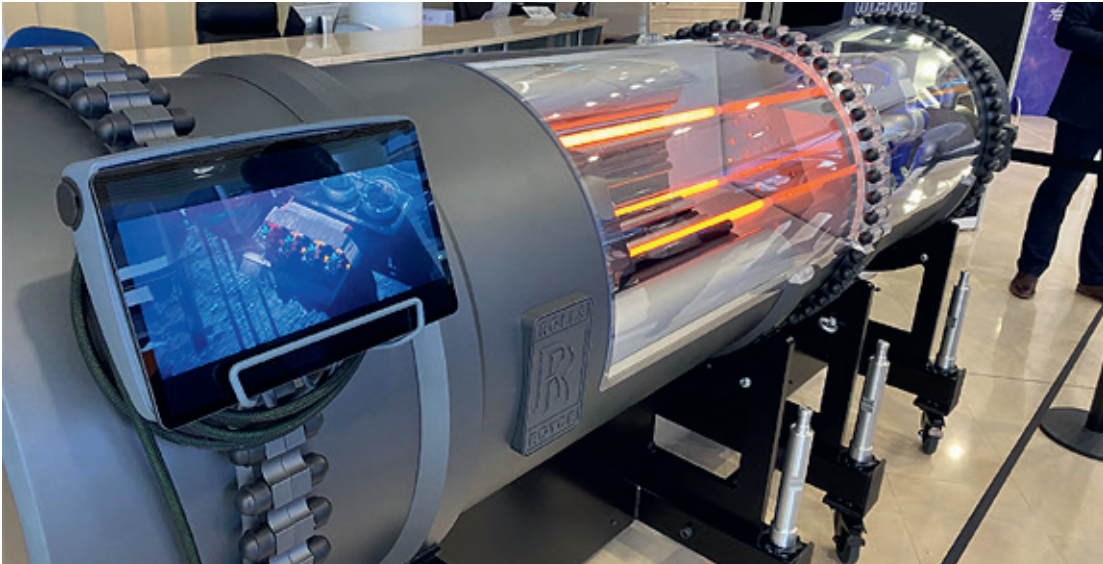


FOTO ROLLS-ROYCE

Proefneming bij Rolls-Royce met een kleine reactor

zoals reactoroperators en nucleaire veiligheidsadviseurs, een essentiële voorwaarde.

Conclusies

Gezien de huidige conflicten en geopolitieke spanningen en onrust die dit met zich meebrengt op zowel militair als humanitair vlak en de huidige energietransitie waarin Nederland nu verkeert, is het onmogelijk om de gestelde doelstellingen te behalen zonder kernenergie toe te voegen aan de huidige energiemix. Toepassing van kernenergie bij Defensie leidt niet alleen tot het halen van de klimaatdoelstellingen, maar ook tot een betere besteding van de slagkracht en operationele inzetbaarheid. De operationele meerwaarde wordt namelijk ook bepaald op basis van energiezekerheid en energieveiligheid.

Om samenhang, doorzettingsvermogen en strategische visie op energieveiligheid, energiebeschikbaarheid, energiegebruik en het duurzame gebruik van energie te verstevigen binnen alle gelederen, is het aan te bevelen om hier bij Defensie serieus aandacht aan te besteden en eenduidig beleid te formuleren. Zaken die hierbij aan bod kunnen komen zijn het nucleair energiebeleid in de NAVO en bij Defensie,

wetgevingsaspecten, internationale ontwikkelingen, militaire nucleaire veiligheidsautoriteit, voorlichting, bewustmaking binnen Defensie en bij andere departementen over de noodzaak van energiegaranties, energieveiligheid en de daarvan afhankelijke operationaliteit van Defensie.

Het niet voldoen aan de doelstellingen vastgelegd in de *Uitvoeringsagenda Duurzaamheid Defensie* kan de operationaliteit klemzetten als gevolg van juridische procedures, vergelijkbaar met de huidige stikstofproblematiek. Het elders compenseren van CO₂-uitstoot door aanschaf van emissierechten gecombineerd met wind- en zonne-energie blijkt niet afdoende voor het behalen van de doelstellingen. Afdoende duurzame, stabiele en veilige energieopwekking met SMR's in de energiemix slaat een brug tussen de toekomstige energiebehoefte en de strikte doelstellingen.

De kansen en mogelijkheden zijn er om nu te participeren in projecten bij NAVO-partners, binnen en buiten Europa. Dat wil niet zeggen dat er morgen resultaten te verwachten zijn, maar op zijn minst is het noodzakelijk om voor te sorteren op de ontwikkelingen door nucleair energiebeleid te maken en zo voorbereid te zijn op de toekomst. ■