

ChipNL Innovatieprogramma



Investeer in
toekomstbestendig
concurrentievermogen
van Nederland



Inhoudsopgave

Management Summary	4
Inleiding	6
1. Strategische keuzes halfgeleiderindustrie	8
1.1 Halfgeleiderindustrie in een wereldwijde context	9
1.2 Probleemanalyse	13
1.3 Ons antwoord	14
1.4 Flankerend beleid	15
2. Duurzaam verdienvermogen van Nederland	18
2.1 Economisch verdienvermogen	19
2.2 Maatschappelijk rendement	23
3. Investeren in integraal innovatieplan	24
3.1 Pijler Chip Design	26
3.2 Pijler Packaging	37
3.3 Pijler Equipment	51
4. Financiële kaders	68
4.1 Begroting	69
Bijlagen	72
1. Flankerend beleid en innovatieprogramma's	72
2. Maatschappelijke impact halfgeleiderindustrie	77
3. Literatuurlijst	80
4. Technologische afkortingen	82

Management Summary

De wereldwijde halfgeleiderindustrie staat aan de vooravond van een volgende enorme groeispurt. Naar verwachting verdubbelt de wereldwijde halfgeleidermarkt in de komende jaren van een omvang van \$ 590 miljard in 2021 tot een geschatte omvang van \$ 1.065 miljard in 2030¹. Deze ontwikkeling biedt zowel mogelijkheden als uitdagingen voor Nederland.

Naast het belang van halfgeleiders in ons dagelijks leven, zijn ze ook een rol gaan spelen in de soevereiniteit, veiligheid en de innovatiekracht van landen. Daarmee is controle over halfgeleiders een essentieel element geworden in de huidige geopolitieke machtsverhoudingen. Zowel Azië als de Verenigde Staten zetten sterk in op strategische autonomie. Europa volgt deze trend met de European Chips Act².

Gezien de strategische Nederlandse positie op het gebied van halfgeleiders wil Nederland op initiatief van de minister van Economische Zaken een leidende rol spelen in het vormen van een Europese 'Coalition of the Willing'³. Met het ChipNL innovatieprogramma stelt de halfgeleidersector een coherent programma voor met prioriteiten om inhoudelijke invulling te geven aan deze ambitie.

Een unieke waarde van de Nederlandse halfgeleiderindustrie ligt in het nationale ecosysteem dat als collectief goed samenwerkt en daardoor op onderdelen sneller kan innoveren. Als gevolg hiervan heeft Nederland technologisch leiderschap in machinebouw, unieke kennisposities in chip design (op chip- en systeemniveau) en is het wereldspeler in high performance/mixed signal chip-productie en chip packaging. Echter, dit ecosysteem staat onder druk door toenemende industriepolitiek elders, industriële veranderingen en schaarste aan talent en materialen.

De partners binnen ChipNL delen bij deze een voorstel voor een **industriebreed gedragen innovatieprogramma**. De inzet is toekomstbestendige groei. ChipNL omvat een breed scala aan innovatieve Nederlandse hightech halfgeleiderbedrijven verspreid over alle regio's van Nederland. Het beslaat de gehele breedte van de waardeketen: van materialen tot equipment en van design tot productie. Het is niet eerder voorgekomen dat wereldspelers, startups, scale-ups en kennisinstellingen op deze manier de handen ineen slaan.

In het ChipNL innovatieprogramma is het hoofdthema **toekomstbestendig concurrentievermogen**. Dit betekent dat we gezamenlijk werken aan innovaties en technologische infrastructuur die 'bijdragen' aan onze economische groei, maatschappelijke vooruitgang en het versterken van Nederland als kennis- en innovatieland.

Het voorgestelde innovatieprogramma omvat vele deelprojecten binnen drie pijlers: Chip Design, Packaging en Equipment. Hierin worden gemeenschappelijk gedeelde uitdagingen opgepakt zoals escalerende complexiteit, ontwikkelmethodiek en harmonisatie van specificatie.

Het innovatieprogramma draagt bij aan de volgende doelstellingen:

- **Duurzaamheid:** Zorg voor circulariteit in de waardeketen, een lager energieverbruik en het minder toepassen van schadelijke grondstoffen, zoals PFAS.
- **Efficiëntie:** Realiseer productiviteitsverhoging middels technologische innovaties en maak zo de benodigde groei binnen een krappe arbeidsmarkt mogelijk.
- **Waardecreatie:** Creëer toekomstgerichte nieuwe producten en bedrijven voor de waardeketens van de toekomst.

Een focus op deze doelstellingen waarborgt technologisch vooruitgang voor Nederland in de halfgeleidersector. Dit verbetert controle over en toegang tot technologie voor essentiële sectoren als defensie, gezondheidszorg, energie en mobiliteit.

Het ChipNL innovatieprogramma sluit aan bij lopend beleid, zoals de roadmaps van TKI High Tech Systems and Materials (HTSM)¹, de Nationale Technologiestrategie (NTS)², de Groeimarktstrategie³ en de EU Chips Act⁴.

Gebaseerd op een detailbegroting van alle deelnemende partijen voor de komende 7 jaar, voorzien we dat voor dit innovatieprogramma € 60 miljoen per jaar nodig is aan

publieke cofinanciering, gekoppeld aan een vergelijkbare private investering van € 45 miljoen per jaar. In 2032 betaalt dit zich, met een Return on Investment van een ruime factor 5, in veelvoud terug.

Deze publieke investering draagt bij aan een toekomstbestendige halfgeleiderindustrie in Nederland, mogelijk gemaakt door een breed samenwerkende sector. Het stelt bestaande bedrijven in staat om mee te groeien met de verdubbeling van de markt, terwijl startups en scale-ups de kans krijgen om nieuwe leidende posities binnen de waardeketen te veroveren. Hierdoor kan de Nederlandse economie op lange termijn blijven groeien⁵.



¹ Technologieën en roadmaps topsectoren, Holland High Tech

² Nationale Technologiestrategie, 19 januari 2024
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2024/01/19/de-nationale-technologiestrategie>

³ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat: Groeimarkten voor Nederland, 5 december 2023.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/05/dialogic-seo-groeimarkten-voor-nederland>

⁴ European Chips Act, European Commission
https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_en

⁵ Zie hiervoor de productiviteitsgroei in de machine-industrie, waarvan de halfgeleiderindustrie (equipment) een groot onderdeel is: [5. Welke bedrijfstakken droegen het meest bij aan de groeivertraging? | CBS](#)

¹ McKinsey (2022) – The semiconductor decade: a trillion-dollar industry

² European Chips Act, European Commission
https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_en

³ Dutch economy minister pushes for European chip industry coalition | Reuters

Inleiding

Eind 2023, heeft een brede groep van Nederlandse halfgeleiderbedrijven het initiatief genomen om een industriebreed gedragen innovatieprogramma samen te stellen: ChipNL.

Het ChipNL Innovatieprogramma is de basis voor gezamenlijke groei en diepgaande samenwerking, waarin we slim gebruik maken van onze open cultuur. Door deze samenwerking wordt een volgende productiviteitsstap en toekomstig technologisch leiderschap mogelijk gemaakt en werken we aan een toekomstbestendige concurrentiepositie voor de Nederlandse halfgeleiderindustrie.

Het plan sluit aan bij de roadmaps van TKI HTSM¹, de Nationale Technologiestrategie (NTS)² en de Groeimarktstrategie. Het beschrijft de acties en de infrastructuur

die nodig zijn om het beleid tot uitvoer te brengen. Hiermee beoogt het substantieel bij te dragen aan zowel de maatschappelijke transitie, het economisch verdienvermogen als ook de nationale veiligheid en strategische autonomie.

Voorliggend voorstel is tot stand gekomen door veelvuldig samenkomen van experts van de onderstaande bedrijven, kennisinstellingen en organisaties. In deze sessies zijn de thema's, gedeelde uitdagingen en beoogde doelen in een coherent programma samengebracht. De hiernaast weergegeven partijen hebben bijgedragen aan dit plan en onderschrijven de benodigde investeringen.

2 december 2024



¹ Technologieën en roadmaps topsectoren, Holland High Tech
² De Nationale Technologiestrategie | Beleidsnota | Rijksoverheid.nl

ALTUM RF	epiphany	MIKRO CENTRUM at the heart of logtech	SMART PHOTONICS
AME	fastmicro cleanliness control	MPS	SYNOPSYS
ASM	FononTech	NEARFIELD INSTRUMENTS	SYSTEMATIC
ASML	High Tech NL	neways	SALLAND Engineering ADVANTEST Group
AXELERA ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Holst Centre Powered by Intel & TSMC	nexperia	SENIGURE
Besi	imec	NXP	SUPERLIGHT PHOTONICS
BRAINPORT EINDHOVEN	IMPACT	oost.nl	SiTime
bruco INTEGRATED COERCITS	itec equipment + automation tech	PHILIPS	THALES
BOSCH	intility	PRODRIVE TECHNOLOGIES	ThermoFisher SCIENTIFIC
CHIPTECH TWENTE	KNS	phix	TELEDYNE DALSA
CHAIN IC EVERY LINK MATTERS	Lionix INTERNATIONAL	QBayLogic	TNO
CITC Chip Integration Technology Center	meilink	Royal Dutch Shell	tracxon
CYIENT	MEMS Foundry The High Performance & Precision Technology	ROARTIS www.ROARTIS.com	TU/e
D&M	UNIVERSITY OF TWENTE MESA+ INSTITUTE	RENESAS	TU Delft
DEMCON HIGH-TECH SYSTEMS	memSic	signify	UNIVERSITY OF TWENTE
DOMICRO	Methods Business	SIoux TECHNOLOGIES	VBI VOL ETC

1

Strategische keuzes halfgeleiderindustrie

1.1 Nederlandse halfgeleiderindustrie in een wereldwijde context

De wereldwijde halfgeleiderindustrie staat aan de vooravond van een volgende enorme groeispurt. Naar verwachting, verdubbelt de wereldwijde halfgeleidermarkt in de komende jaren van een omvang van \$ 590 miljard in 2021 tot een geschatte omvang van \$ 1.065 miljard in 2030¹. De drijfveer voor deze enorme toename is grotendeels toe te rekenen aan drie applicatiedomeinen: automatisering, digitalisering - beide aangedreven door kunstmatige intelligentie - en elektrificatie².

De Nederlandse halfgeleidersector kan slechts in een wereldwijde context gezien worden. Dat maakt dat wereldwijde maatschappelijk-economische trends, industriepolitiek en technologische ontwikkelingen een sterke weerslag hebben. Alle drie bovengenoemde ontwikkelingen zijn van belang om de grote uitdagingen van deze industrie te duiden en worden hieronder uiteengezet.

Maatschappelijk-economische trends

De economische groeitrend wordt veroorzaakt door maatschappelijke transitie en technologische ontwikkeling. De halfgeleiderindustrie levert essentiële technologie voor het mogelijk maken van de grote maatschappelijke transitie:

- **Digitalisering:** De geavanceerde datatransitie, versneld door doorbraken in AI, voedt de vraag naar veilige en betrouwbare informatieverwerking. Denk daarbij aan autonome systemen in de maakindustrie, het diagnosticeren van ziekten en het realtime verwerken van sensorgegevens in auto's.
- **Energie:** De noodzaak voor vermindering van broeikasgassen veroorzaakt een transitie van fossiele brandstoffen naar elektriciteit, vooral in de industrie en het verkeer. Chips spelen een cruciale rol in energiesystemen en elektrificatie, zoals smart energy grids en zonnestroomsystemen.
- **Veiligheid:** Voor het waarborgen van de nationale veiligheid, de bescherming tegen cyberdreigingen en het voorkomen van manipulaties van kritische infrastructuur, zoals radar- en energiesystemen, zijn geavanceerde chips essentieel.
- **Gezondheid en zorg:** Wereldwijd zorgt een verouderende populatie voor enorme uitdagingen in het behoud van welvaart en de betaalbaarheid van zorgvoorzieningen. Het veroorzaakt extra druk op de arbeidsmarkt en verhoogt tegelijkertijd de vraag naar onder andere medische apparaten die geschikt zijn voor thuisgebruik en betere diagnostiek.

- **Landbouw, water en voedsel:** Chips dragen bij aan de agro-, food- en watersector om zo efficiëntere en duurzamere productie, monitoring en distributie mogelijk te maken. Dit is essentieel voor het waarborgen van voedselzekerheid, schoon drinkwater en duurzaamheid in de gehele keten.

Halfgeleidertechnologie is de spil in al deze transitie. Zo zijn geavanceerde chips van cruciaal belang voor de economische en maatschappelijke stabiliteit en veiligheid van Nederland. Economisch zijn zowel de producerende industrie als de diensteneconomie volledig afhankelijk van een stabiele aanvoer van chips en rekenkracht. Zonder stabiele aanvoer van chips zijn we economisch, maatschappelijk én militair kansloos.

Deze transitie bieden ook economische kansen. Halfgeleidertechnologie vertegenwoordigt een sterk groeiend deel van de toegevoegde waarde van dagelijkse producten. Ter illustratie: waar een personenauto in de jaren 90 gemiddeld nog maximaal enkele tientallen chips bevatte, zijn dat er in een moderne elektrische auto tussen de 1.000 en 3.000. Bovendien zijn een deel van die chips vele male geavanceerder. Alle ontwikkelingen in digitalisering, inclusief AI, zorgen dat deze trend verder wordt versneld. De groei in toegevoegde waarde zal doorzetten; het missen van deze transitie leidt onomkeerbaar tot het inleveren van economisch verdienvermogen.

Industriepolitiek

De centrale rol van chips in de maatschappelijke transitie en daarmee het economisch potentieel, maken dat chips een belangrijke factor zijn geworden in de geopolitieke machtsverhoudingen. Dit heeft de afgelopen jaren voor een golf van industriepolitiek elders in de wereld gezorgd. Recente gebeurtenissen, zoals de pandemie en conflicten als de oorlog in Oekraïne, zorgden voor tijdelijke tekorten aan grondstoffen en componenten, met als gevolg verregaande verstoringen van de markt. Daarnaast hadden de geopolitieke spanningen tussen grootmachten als China en de VS tot gevolg dat landen exportrestricties invoerden en investeerden in eigen Chip Acts³. Het doel van deze investeringen is om een groter deel van de halfgeleiderindustrie te controleren (zie box 1). Deze internationale gebeurtenissen kunnen onze nationale veiligheid in gevaar brengen en de groei van vitale sectoren zoals defensie en gezondheidszorg belemmeren.

¹ McKinsey (2022) – The semiconductor decade: a trillion-dollar industry

² Gartner & Boston Consulting Group (2022) – Outlook on semiconductor strategy in Europe

³ Chips Act China <https://www.reuters.com/technology/china-launch-new-40-bln-state-fund-boost-chip-industry-sources-say-2023-09-05/>
Chips Act Verenigde Staten <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346>

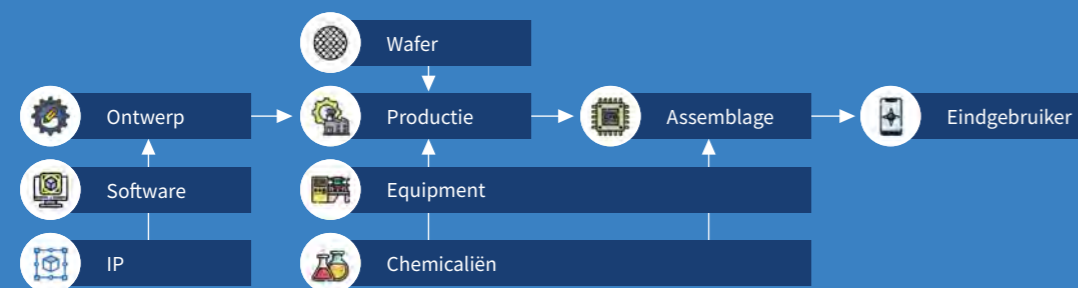
Box 1: Specialisatie en consolidatie in de wereldwijde halfgeleiderindustrie

De halfgeleiderindustrie heeft zich ontwikkeld tot een, in economisch opzicht, bijzonder efficiënte, wereldwijde sector. Er is sprake van zeer vergaande economische en technologische specialisatie en de waardeketens in de halfgeleiderindustrie zijn sterk geconsolideerd.

De tekst hieronder beschrijft de waardeketen en de specialisaties op wereldniveau, overgenomen uit de Nationale Technologiestrategie.

De waardeketen (stappen)

De complexe waardeketen omvat meerdere stappen, waaronder chipontwerp (chip design), ontwikkeling van machines benodigd voor de productie van halfgeleiders, productie van halfgeleiders (inclusief metrologie en karakterisatie), assemblage en testen van halfgeleiderproducten en de ontwikkeling en levering van kritische en geavanceerde materialen.



Figuur 1: Schematische weergave van de waardeketen van de halfgeleiderindustrie

Specialisaties

Er zijn verschillende typen chips te onderscheiden, waaronder digitale, analoge, RF en mixed-signal chips. Het ontwerpen van digitale chips, voornamelijk toegepast in computers, servers en consumentenelektronica, wordt gedomineerd door Amerikaanse bedrijven. Europese ontwerpbedrijven zitten voornamelijk in specialistische waardeketens en ontwerpen met name analoge, RF en mixed-signal chips, met toepassingen in onder andere sensoren, radarapparatuur en de auto-industrie. Een opvallende trend die binnen het ontwerpen van chips wordt gezien is dat grote technologische bedrijven steeds meer inzetten op AI en daarvoor hun eigen chips ontwikkelen. Het betreft voornamelijk digitale chips.

Wereldwijd is er veel aandacht voor het vergroten van de productiecapaciteit. Wat betreft productie bekleden momenteel met name Taiwan (TSMC) op het gebied van geavanceerde logic chips en Zuid-Korea (Samsung) op het gebied van de meest geavanceerde geheugenchips een leidende positie. Amerikaanse productiebedrijven zijn voornamelijk sterk in productie van CPU's en (in mindere mate) geheugenchips. Europese productiebedrijven richten zich meer op de productie van analoge chips, RF en mixed-signal chips. Europa loopt qua productiecapaciteit achter op de Amerikaanse en Aziatische bedrijven, maar ook vanuit Europa wordt nu geïnvesteerd in het opschalen van de productiecapaciteiten. Vooral Duitsland investeert op dit moment aanzienlijk in het opbouwen van verschillende fabrieken. Dit betreft met name fabrieken voor analoge chipproductie en/of gespecialiseerde processen.

Productie-, assemblage- en testactiviteiten zijn op grond van kostenoverwegingen over de jaren heen voornamelijk verplaatst naar China en Zuidoost-Azië. Deze activiteiten zijn complex en vergen verschillende geavanceerde machines om ze te kunnen uitvoeren. Nederland heeft een sterke positie binnen de machinebouw, met marktleidende producten in verschillende productiestappen.

Enkele recente voorbeelden van de grote investeringen zijn de aangekondigde investeringen van \$ 470 miljard in Zuid-Korea¹, \$ 210 miljard in Taiwan², \$ 100 miljard in China³ en \$ 53 miljard in de Verenigde Staten⁴. De VS hebben – naast belastingvoordelen – Advanced Packaging-investeringen aangekondigd van \$ 52 miljard, en China maar liefst \$ 143 miljard. De Advanced Packaging-markt in 2028 heeft naar verwachting een omvang van \$ 78 miljard. Hierin kunnen geopolitieke invloeden mogelijk voor een dempende werking zorgen. Ook Europa gaat mee in deze trend: de European Chips Act mobiliseert € 43 miljard aan publiek-private investeringen om de Europese chipindustrie te versterken, de veerkracht van toeleverketens te waarborgen en externe afhankelijkheden te verminderen⁵. Tevens investeren Europese lidstaten op nationaal niveau fors in de chipindustrie, waaronder Duitsland, Frankrijk en Polen. Ook economisch is de halfgeleidersector van enorm belang. Dit wordt onderstreept door het rapport van Mario Draghi. Dit rapport gaat over meer inzet voor het veiligstellen van het Europese concurrentievermogen, zie box 2. Chips zijn van groot belang voor het concurrentievermogen en de industrie wordt uitgelicht als een essentiële pijler voor toekomstig industriebeleid. Nederland onderschrijft dit en onlangs is er door minister Beljaarts een 'Coalition of the Willing'⁶ geïnitieerd, zie box 3.

Technologische trends

Al decennialang is de 'Wet van Moore' de drijvende kracht achter de technologische ontwikkelingen van halfgeleiders. De Wet van Moore stelt dat het aantal transistoren op een chip elke twee jaar verdubbelt, wat resulteert in een exponentiële toename van rekenkracht en een verbeterde energie-efficiëntie. Door aanhoudende miniaturisatie naderen de halfgeleidercomponenten de grootte van enkele nanometers, wat verdere verkleining steeds uitdagender maakt. De lithografiemachines van ASML (EUV en High-NA) en onderzoek naar geavanceerde materialen spelen een grote rol in het doorzetten van deze wet, wat ook wel wordt aangeduid met 'More Moore'.

Tegelijkertijd wordt er gezocht naar alternatieve methoden ('More than Moore') om meer rekencapaciteit per oppervlakte-eenheid te realiseren. In dit kader wordt bijvoorbeeld gekeken naar het toepassen van heterogene integratie, waarbij verschillende soorten chiptechnologieën worden geïntegreerd binnen één package of systeem, zoals het combineren van diverse chiptypen en architecturen om meer rekencapaciteit te realiseren. Het verpakken van halfgeleiders en systemen wordt bovendien steeds complexer, waardoor er nieuwe expertise nodig is en ook nieuwe materialen benodigd zijn om effectief hogere prestaties en nieuwe functionaliteiten te realiseren.

Box 2: Draghi rapport

De roep om te investeren in de halfgeleidersector wordt versterkt door het recente rapport van Mario Draghi 'The future of European competitiveness'. In dit rapport wordt de relatief beperkte economische groei van Europa ten opzichte van de VS en China geanalyseerd en wordt een weg voorwaarts voorgesteld. Draghi roept op tot snellere besluitvorming, Europees gecoördineerd industriebeleid en grote investeringen, met zeker € 800 miljard additionele middelen.

Box 3: Coalition of the Willing

Binnen Europa is op initiatief van minister Beljaarts van Economische Zaken een 'Coalition of the Willing' aan het ontstaan van landen als Nederland, Duitsland, Frankrijk, Spanje, Polen, België en Italië, gericht op samenwerking in de halfgeleiderindustrie. Deze landen bundelen hun krachten om de technologische soevereiniteit van Europa te versterken door nu te investeren in nationale sterke punten in de halfgeleidersector. Doel daarvan is een substantieel marktaandeel te veroveren en cruciale technologieën en infrastructuur veilig te stellen danwel op te bouwen binnen Europa.

¹ Bloomberg (2024) – [South Korea lays out \\$ 470 billion plan to build chipmaking hub](#)

² Focus Taiwan (2023) – [Taiwan IC suppliers to invest US\\$210 billion over 5 years](#)

³ Reuters (2023) – [Exclusive: China to launch \\$40 billion state fund to boost chip industry](#)

⁴ Reuters (2024) – [White House touts \\$11 billion US semiconductor R&D program](#)

⁵ European Commission – [European Chips Act](#)

⁶ [Dutch economy minister pushes for European chip industry coalition | Reuters](#)

⁷ [The future of European competitiveness, Mario Draghi, september 2024](#)

Als gevolg van deze twee ontwikkelingen, wordt metrologie – het meten en controleren van de gefabriceerde structuren - steeds belangrijker. 'More Moore' resulteert in kleinere halfgeleidercomponenten en een hogere mate van complexiteit, waardoor de kans op fouten in het proces toeneemt. Het snel en nauwkeurig kunnen meten en vroegtijdig detecteren van fouten wordt daarom steeds belangrijker, maar ook uitdagender. Tegelijkertijd introduceert 'More than Moore' complexere structuren, gemaakt van nieuwe en diverse materialen, wat eveneens grote uitdagingen met zich meebrengt voor metrologie. Ontwikkelingen in betere en nieuwe metrologiemethodes zal daarom naar verwachting een steeds belangrijkere rol spelen binnen de halfgeleiderindustrie.

De toegenomen rekenkracht en energie-efficiëntie vormen belangrijke enablers voor technologieën zoals kunstmatige intelligentie en hebben tal van commerciële toepassingen mogelijk gemaakt. Hierdoor zijn de afgelopen jaren nieuwe bedrijven ontstaan die zich richten op het ontwerp van digitale AI-chips. De Verenigde Staten, met hun lange geschiedenis in digitaal chipontwerp, hebben hierin een sterke positie ingenomen, maar ook in Nederland springen diverse startups in op deze ontwikkeling. Tegelijkertijd drijft de groei van AI-toepassingen de vraag naar sensoren op, die de benodigde data leveren voor AI-chips. Europa, en met name Nederland, heeft traditioneel een sterke focus op het ontwerp van high performance RF-, analoge en mixed-signal chips, die veelal worden toegepast binnen sensortechnologieën. In snel veranderende markten, zoals die gedreven door AI, is wendbaarheid in chip design en productie cruciaal voor het behouden van concurrentievoordeel. Dit benadrukt het belang van flexibele partnerschappen en infrastructuur voor bedrijven die geavanceerde innovaties ontwikkelen.

Het economisch belang van de halfgeleiderindustrie voor Nederland

Het Nederlandse speelveld in halfgeleider technologie speelt zich met name af rond de drie pijlers: chip design, packaging en equipment, zoals blijkt uit recente analyses van onder andere PwC (2024)¹ en de overheid (2023)². Nederland heeft technologisch leiderschap in equipment, oftewel machinebouw en metrologie, unieke kennisposities in chip design (op chip- en systeemniveau) en is een van de wereldspelers in high performance/mixed-signal chipproductie en chip packaging. Een aanzienlijk deel van de wereldwijde halfgeleiderwaardeketen wordt mogelijk gemaakt door baanbrekende technologie uit Nederland,



waaronder de lithografie van ASML. Ook in andere delen van de productieketen rondom halfgeleider technologie zijn Nederlandse bedrijven koplopers, met partijen zoals ASM, Besi, NXP, Thermo Fisher Scientific (Amerikaans, maar met een grote Nederlandse tak), KNS en Boschman. Bovendien bevindt zich rondom deze grote namen een groot en hoogwaardig ecosysteem van TNO, universiteiten, kennisinstellingen, toeleveranciers en verpakkings- en ontwerpbedrijven, waaronder Demcon, Fastmicro, VDL, Neways, Sioux, Philips, Prodrive, Phix Assembly, Nexperia, Axelera AI, SystematIC, Bruco IC, Ampleon, Salland Engineering, FononTech en Synopsys.

De wereldwijde en Europese toename in industriepolitiek, maatschappelijk-economische trends en technologische ontwikkelingen vormen een uitdagende context voor de Nederlandse halfgeleiderindustrie. Het is in het belang van Nederland om zich sterk te profileren met een eenduidig actieplan. Nederland draagt als technologisch powerhouse stevig bij aan de strategische autonomie van Europa en kan daarom een leidende rol nemen in de implementatie van de European Chips Act. Echter, dit vereist een nationaal strategisch plan en nationale financiering om het Europese geld te matchen.

¹ 'Ecosysteem semiconductor-industrie staat nu al op het spel' - PwC <https://www.pwc.nl/actueel-en-publicaties/diensten-en-sectoren/technologie/ecosysteem-semiconductor-industrie-staat-nu-al-op-het-spel.html>

² Dutch Semiconductor Industry - Value Chain Overview | Rapport | Rijksoverheid.nl <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/06/19/bijlage-report-nl-semiconductor-industry-value-chain-overview>

1.2 Probleemstelling

De belangrijkste trends die van invloed zijn op de Nederlandse halfgeleiderindustrie zijn te vertalen naar drie onderwerpen: **schaarste van materialen en nieuwe milieueisen, schaarste talent en industriële veranderingen, binnen een context van toenemende industriepolitiek.**

Schaarste van materialen en nieuwe milieueisen zijn voor de wereldwijde halfgeleiderindustrie een enorme opgave, omdat de productie van chips een grote ecologische impact heeft. Bovendien draagt de groeiende vraag naar geavanceerde chips bij aan een toename van de CO2-uitstoot, wat de klimaatverandering verder verergert. De industrie moet daarom investeren in groene technologieën en duurzame productiemethoden om de ecologische voetafdruk te verkleinen en te voldoen aan de steeds strengere milieuregels. Tegelijkertijd zal **duurzaamheid** in het komende decennium een essentiële rol gaan spelen in de concurrentiepositie van alle bedrijven en alle stappen in deze markt. Duurzaamheid heeft ten eerste betrekking op de industrie zelf: het maken van chips is enorm belastend voor de directe omgeving van een fabriek, onder meer door de consumptie van water en energie en het gebruik van schadelijke stoffen in het productieproces. Vanwege reshoring door Europa en de VS zullen de duurzaamheidseisen van productie toenemen. Ten tweede gebruiken chips tijdens hun gebruik veel energie en gebruiken we als samenleving steeds meer rekenkracht en data. Dit datagebruik is enkel houdbaar als chips energiezuiniger worden; met andere woorden, alleen zuinige chips hebben toekomst. Ten derde hebben 'licence to operate' en duurzaamheidseisen impact op de Nederlandse halfgeleiderindustrie, zeker in relatie tot het economisch verdienvermogen. Duurzame productie en groene groei is het belangrijkste concurrentievoordeel van de toekomst.

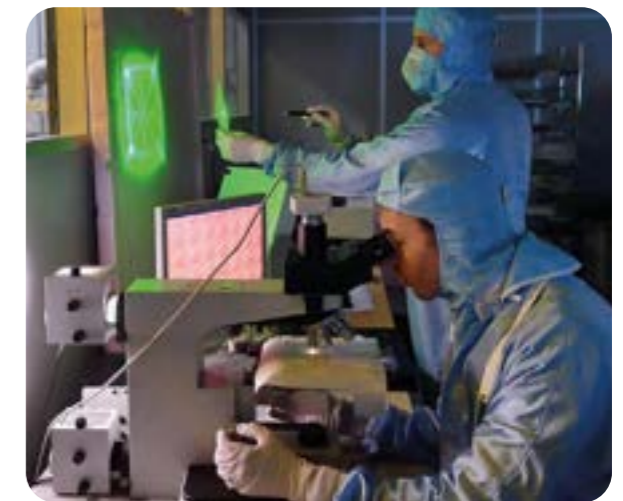
Schaarste aan talent is eveneens een grote uitdagingen waar de Nederlandse halfgeleiderindustrie voor staat. Het is niet voor niets dat de Nederlandse overheid recent aankondigde om vanuit 'Project Beethoven' ruim € 2,5 miljard vrij te maken voor talentontwikkeling, infrastructuur en woonruimte ten behoeve van de Nederlandse halfgeleiderindustrie¹. De verwachte verdubbeling van de markt betekent dat de Nederlandse halfgeleiderindustrie aanzienlijk moet opschalen om aan de marktvrage te kunnen voldoen. Deze groei biedt zowel een economische kans als een existentiële bedreiging. Als de industrie niet aan de vraag kan voldoen, komen huidige marktposities

onder druk te staan. Tegelijkertijd neemt de technologische complexiteit enorm toe en wordt het steeds moeilijker om hier grip op te krijgen. De combinatie van deze verwachte groei, de alsnog toenemende complexiteit van de technologieën en het tekort aan talent maakt het noodzakelijk om slimmer en **efficiënter te werken** en de productiviteit van de sector te verhogen, om zo sterke posities veilig te kunnen stellen.

Ten slotte is de halfgeleiderindustrie zeer dynamisch, hetgeen resulteert in continue industriële verandering. Met deze industriële verandering worden nieuwe producten en nieuwe bedrijven bedoeld. Om onze positie in de halfgeleiderindustrie te behouden, zijn het ontwikkelen van innovatieve producten en startups en scale-ups essentieel voor **waardecreatie** en vernieuwing van de sector. Zonder voortdurende vernieuwing dreigen we achterop te raken in de wereldwijde markt en zal het niet lukken om de posities in bestaande waardeketens vast te houden en posities op te bouwen in nieuwe waardeketens.

Deze ontwikkelingen vinden allemaal plaats in de context van toenemende industriepolitiek zoals beschreven in 1.1. Dit maakt het essentieel om concurrerend te blijven en daarmee bestaande control points te behouden en nieuwe te ontwikkelen.

De drie elementen duurzaamheid, efficiëntie en waardecreatie, die de industrie collectief en samen met de overheid moet oppakken, bieden noodzakelijke randvoorwaarden voor een concurrerende positie in de toekomst en Nederland als aantrekkelijk vestigings- en R&D-land.



¹ Rijksoverheid (2024) – [Nederland investeert € 2,5 miljard in sterk ondernemingsklimaat voor microchipsector Brainport Eindhoven](https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/06/19/bijlage-report-nl-semiconductor-industry-value-chain-overview)

1.3 Ons antwoord

Een unieke waarde van de Nederlandse halfgeleider-industrie ligt in het nationale ecosysteem dat als collectief goed samenwerkt en daardoor op onderdelen sneller kan innoveren. Op die kracht bouwt dit programma voort door de samenwerking te verdiepen en uit te bouwen en zo samen tot efficiëntere, duurzame en volledig nieuwe waardeketens te komen. Zo blijft er ruimte om te groeien, te vernieuwen en te verdienen.

ChipNL is een **industriebreed gedragen innovatieprogramma** voor de Nederlandse halfgeleider-industrie, waarin we inzetten op de houdbaarheid en toekomstbestendigheid van de sector in Nederland. In dit samenwerkingsprogramma is het hoofdthema **toekomstbestendig concurrentievermogen**. Dit initiatief draagt bij aan volgende doelstellingen:

- **Duurzaamheid:** Zorg voor circulariteit in de waardeketen, een lager energieverbruik en het minder toepassen van schadelijke grondstoffen, zoals PFAS.
- **Efficiëntie:** Realiseer productiviteitsverhoging door middel van technologische innovaties en maak zo de benodigde groei binnen een krappe arbeidsmarkt mogelijk.
- **Waardecreatie:** Creëer toekomstgerichte nieuwe producten en bedrijven voor de waardeketens van de toekomst.

Het programma berust op drie pijlers: chip design, packaging en equipment¹. Samen vormen zij de Nederlandse halfgeleider community. Binnen de pijlers wordt stevig ingezet op duurzaamheid, efficiëntie en waardecreatie. Een samenvatting van deze concrete plannen staat beschreven in Hoofdstuk 3.

Tegelijkertijd zijn er ook gezamenlijke uitdagingen en kansen die de pijlers aan elkaar verbindt. Hieronder geven we drie voorbeelden van gezamenlijke uitdagingen weer.

Een eerste voorbeeld is het **beheersen van complexiteit**. Dit speelt een grote rol in de ontwikkeling van nieuwe producten. In de halfgeleiderindustrie neemt deze ontwikkeling veel tijd in beslag en is zeer arbeids- en kapitaalintensief. Binnen het domein van chip design maakt de trend van het schalen naar kleinere dimensies, en daarmee de exponentiële groei van het aantal transistoren op een chip, het creëren van meerdere en complexere functies mogelijk. Echter, het voorspellen en verifiëren van de werking van het design wordt steeds moeilijker als er geen verbetering is in de designtools en -methodiek. Bij equipment worden steeds extremere eisen aan nauwkeurigheid en resolutie gesteld. Hierin speelt de ontwikkeling en introductie van nieuwe technologie een rol. Daarnaast wordt het voorspellen van de prestatie van de nieuwe generatie producten steeds moeilijker, omdat interactie tussen verschillende onderdelen steeds belangrijker wordt. Ook hier spelen designtools en -methodiek een belangrijke rol. Bij packaging zorgen de variëteit van chips en hun functies, hun connectiviteit, verpakkingstechnologie en miniaturisatietrends voor eenzelfde toename van complexiteit. Ook hier speelt de onderlinge interactie van de verschillende onderdelen een rol. Het gezamenlijk inzetten op het beheersen van complexiteit kan worden gezien als de sleutel tot succesvolle productontwikkeling.

Een tweede voorbeeld speelt op het gebied van **duurzaamheid**. Voor alle pijlers is de transitie naar een circulaire economie, het elimineren van schadelijke materialen in processen en technologieën, het verminderen van energieverbruik en het terugwinnen van materialen een uitdaging. Dit vergt innovatie in chip- en systeemontwerp, equipment en packaging-technologie. Daarnaast zal op een nieuwe manier moeten worden samengewerkt. Om te blijven voldoen aan wetgeving en om duurzaamheidsdoelstellingen te bereiken, moet de Nederlandse halfgeleiderindustrie gezamenlijk optrekken en toewerken naar een toekomstbestendige industrie.

Het derde voorbeeld gaat over **heterogene integratie**. Dit is een relatief jonge technologie waar zowel chip design, packaging-processen en nieuwe equipment nodig zijn voor de ontwikkeling ervan. In deze technologie functioneren verschillende soorten chips samen in één geïntegreerd systeem. Dit vereist een goed ontworpen systeemarchitectuur om de prestaties, betrouwbaarheid en schaalbaarheid van het complexe geheel te optimaliseren. Dit biedt marktkansen in alle drie de pijlers.

¹ PwC, Semicon in NL, mei 204 en Rapport Science & Technology, 2024, Internationalisering van Chip Ontwerp.

1.4 Flankerend beleid

Om de strategische positie van Europa en Nederland in de halfgeleiderindustrie te versterken, is de afgelopen jaren een breed scala aan beleidsplannen en instrumenten in werking gesteld. Dit beleid richt zich op de ontwikkeling van kritieke technologieën, met de nadruk op het vergroten van de autonomie en concurrentiekracht van Europa. Echter, wat we nodig hebben om dit ChipNL Innovatieprogramma ten uitvoer te brengen, zijn beleidsmaatregelen die ons in staat stellen om de productiviteit te verhogen, het energieverbruik van de sector te verlagen en de toepassing van schadelijke materialen te minimaliseren.

In dit hoofdstuk gaan we nader in op wat er speelt, hoe het ChipNL Innovatieprogramma past binnen deze strategische keuzes en wat de legitimatie is van publiek-private investeringen boven op de al gedane investeringen. De onderstaande figuur geeft de relatie weer tussen het ChipNL Innovatieprogramma en de meest relevante, gerelateerde beleidsvelden, programma's en projecten op national en Europees niveau. De volgende secties gaan hier verder op in.

1.4.1 Europese beleidsvelden

De **European Chips Act** is op 21 september 2023 in werking getreden en is een belangrijke stap voor de technologische soevereiniteit van de EU en het vergroten van het wereldwijde marktaandeel in halfgeleiders tot 20% in 2030. Het versterken van onderzoek en technologisch leiderschap en de opbouw en het versterken van Europa's innovatiecapaciteit op het gebied van ontwerp, productie en verpakking van geavanceerde chips zijn belangrijke strategische doelstellingen binnen de EU Chips Act.

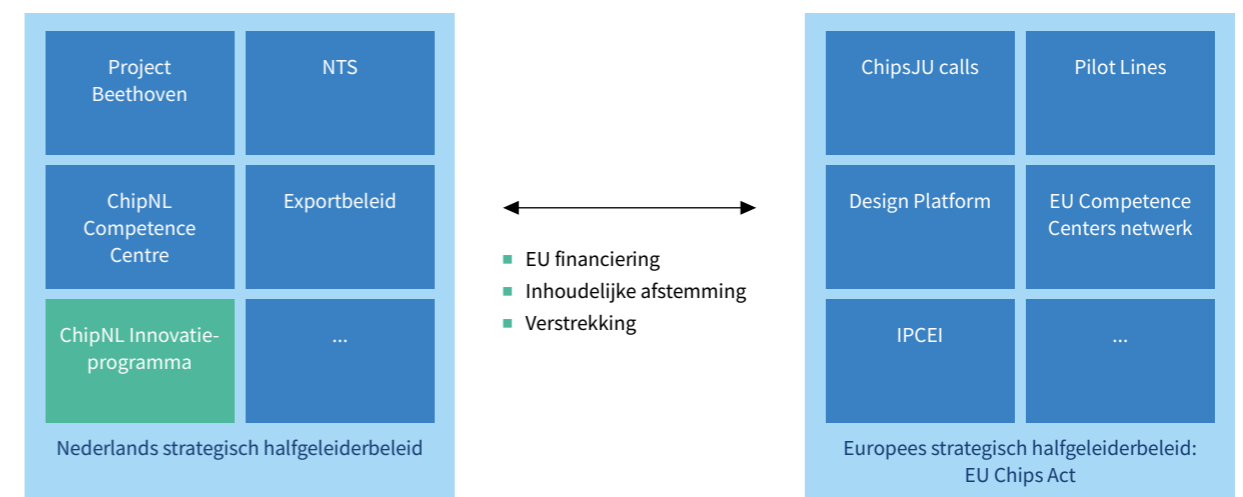
Nederland heeft in oktober 2024 een aanvraag ingediend om het ChipNL Competence Center (dat valt onder de Chips Joint Undertaking van de EU Chips Act) op te zetten, dat is gericht op onze sterkten in semiconductor manufacturing equipment, chip design, heterogene integratie, fotonica en quantum computing. Daarnaast zijn er initiatieven om fotonische pilot lines op te zetten en ondersteunen we de opzet van het Design Platform.

Relatie ChipNL Innovatieprogramma: Dit plan ligt volledig in lijn met de EU Chips Act. Het sluit vooral aan op de doelstellingen voor het opbouwen van capaciteit op chip design, packaging en productie, en het versterken van technologisch leiderschap.

IPCEI ME/CT

Nederland neemt deel aan belangrijke Europese initiatieven, zoals het Important Project of Common European Interest (IPCEI) Micro-Elektronica (ME) en Communication Technology (CT), dat baanbrekende innovaties binnen deze domeinen stimuleert. De komende jaren zal de positionering van de IPCEI ME/CT in het teken staan van het brede halfgeleider-ecosysteem, waarbij Nederland in de nieuwe rondes vooralsnog alleen deelneemt aan de IPCEI CT. Binnen de huidige IPCEI ME/CT nemen onder andere NXP, ASML en Nearfield Instruments deel.

Relatie ChipNL Innovatieprogramma: De focus op het bredere semiconductor-ecosysteem sluit naadloos aan bij de integrale benadering van chip design, equipment en packaging in dit plan.



Figuur 2: Schematische weergave van een selectie van de verschillende instrumenten en initiatieven in het strategische halfgeleiderbeleid in Nederland en Europa.

Pack4EU

Binnen het Europese kader is het van belang om het recent verschenen **Pack4EU-rapport** te benoemen. Het Pack4EU-initiatief beoogt een robuuste infrastructuur voor geavanceerde chip packaging op te bouwen, om zo de leveringszekerheid en technologische onafhankelijkheid van Europa te vergroten. Een belangrijke aanbeveling binnen dit rapport is de **Creation of Open Piloting Facilities for small and medium volume production as a seed for growing European Advanced Packaging capabilities**.

Relatie ChipNL Innovatieprogramma: In dit plan zetten we in op het ontwikkelen en introduceren van een compleet nieuwe methodiek voor het packagen van elektronica en het implementeren ervan binnen een nieuw op te richten OSAT (productiefaciliteit) met een focus op kleine en middelgrote volumes. Dit sluit naadloos aan bij bovenstaande aanbeveling uit het Pact4EU. Onze oplossing is complementair aan de pilot line van Fraunhofer voor 2.5D/3D heterogene integratie, omdat deze uitgaat van de bestaande methodiek van packagen, waar ook het EPOSS-initiatief op gebaseerd is.

Tot slot zijn de volgende Europese en nationale programma's en regelingen relevant: XECS, Eurostars, Horizon Europe, EFRO, Groeimarktstrategie, Interreg, MIT en NWO. Voor een toelichting verwijzen wij naar bijlage 1 Flankerend beleid en innovatieprogramma's.

1.4.2. Nederlandse beleidsvelden

In december 2023 is de **Kamerbrief**¹ van 'De Nederlandse inzet voor een sterk halfgeleiderecosysteem in geopolitiek uitdagende tijden' uitgestuurd. Daarin werd de algemene beleidsinzet vanuit de Rijksoverheid voor halfgeleiders gepresenteerd en stelde: 'Samen met de industrie en het kennisveld zet de overheid zich in voor het laten groeien van het marktaandeel van Nederlandse halfgeleiderbedrijven binnen de mondiale waardeketen in de komende tien tot vijftien jaar'. Ook werd daarin de oprichting van de Semiconductor Board aangekondigd. In deze kamerbrief zijn 5 beleidsdoelstellingen geformuleerd, die sinds die tijd hebben geresulteerd in 1 of meerdere initiatieven:

1. Inzet op aantrekkelijk en concurrerend ecosysteem in Nederland.
2. Investeren in aantrekken en opleiden talent.

3. Ruimte om te groeien voor de halfgeleiderindustrie.
4. Voorkomen van ongewenste overdracht en diefstal van kennis en technologie.
5. Sluiten van internationale samenwerkingsverbanden om onze relevante positie in de waardeketen te waarborgen.

Ten aanzien van punt 1 geven we met dit plan invulling aan innovatie- en industriebeleidsinstrumentaria en aanvullend sectorspecifiek beleid, zoals hierna verder wordt toegelicht. Binnen punt 5 'Internationale samenwerking' is het relevant te benoemen, dat minister Beljaarts van Economische Zaken inzet op een 'Coalition of the Willing'² binnen Europa, zie ook hoofdstuk 1.1. Nederland dient daarvoor noodzakelijke keuzes te maken in wat structureel bijdraagt aan een sterk en weerbaar ecosysteem in Nederland, aangemoedigd door het Draghi-rapport, zie eveneens hoofdstuk 1.1. Met dit ChipNL Innovatieprogramma reiken wij hiervoor de bouwstenen aan.

Project Beethoven

Voor punt 2 en 3 heeft het Rijk, regio en bedrijfsleven tot en met 2030 € 2,51 miljard uitgetrokken, met een structurele Rijksbijdrage van € 80,5 miljoen per jaar na 2031. Dit staat bekend als Project Beethoven³. Binnen dit interdepartementale beleidsplan wordt er gewerkt aan het versterken van het vestigings- en investeringsklimaat van de halfgeleidersector, onder meer door het opleiden van meer talent (via het Nationaal Versterkingsplan voor Microchip-talent), een positief en stabiel fiscaal klimaat, en het voornemen tot het opstellen van een nationale Semicon Sectoragenda.

Relatie ChipNL Innovatieprogramma: Dit plan is complementair aan Project Beethoven, waarbij de laatste zich onder andere richt op talent, bereikbaarheid en beschikbare betaalbare woningen. ChipNL richt zich vooral op R&D en innovatie als additionele voorwaarde voor een succesvolle sector.

Nationale Technologiestrategie

Nederland heeft in de Nationale Technologiestrategie (NTS) een duidelijke koers uitgezet om haar concurrentiepositie in sleuteltechnologieën, zoals halfgeleiders, quantumtechnologie en fotonica, te versterken. De NTS prioriteert tien sleuteltechnologieën die een grote bijdrage leveren aan het verdienvermogen, maatschappelijke uitdagingen, nationale veiligheid en het versterken van

Nederlands technologisch leiderschap. Deze strategie benadrukt de noodzaak van investeringen in R&D, productiefaciliteiten en talentontwikkeling om de technologische autonomie van Nederland te waarborgen.

Relatie ChipNL Innovatieprogramma: Semicon Technologies is een van de 10 sleuteltechnologieën waarvoor actie-agenda's opgesteld dienen te worden. Dit plan geeft daar handen en voeten aan. Daarnaast heeft dit plan sterke raakvlakken met Optical Systems and Integrated Photonics, Imaging Technologies en Mechatronics and Optomechanics. In bijlage 1 Flankerend beleid en innovatieprogramma's is kort uitgewerkt hoe innovatie in halfgeleiders bijdraagt aan de sleuteltechnologieën uit de NTS.

Groiefondsen, subsidies en roadmaps

Tot slot zijn diverse investeringen gedaan via het Nationaal Groeifonds die een relatie hebben met de halfgeleiderindustrie, te weten PhotonDelta, Quantum Delta NL, POLARIS, NEXTGEN HighTech en 6G Future Network Services. Ook zijn er de afgelopen jaren agenda's en roadmaps¹ ontwikkeld voor de Topsector HTSM, de Semiconductor Manufacturing Equipment en Electronica

Roadmap met daaraan gekoppeld de PPS innovatieregeling. Voor een toelichting op bovenstaande programma's en roadmaps verwijzen wij naar bijlage 1 Flankerend beleid en innovatieprogramma's.

Relatie ChipNL Innovatieprogramma: Ten aanzien van de gedane investeringen in fotonica en quantum is het relevant hier te benoemen dat het evenredig investeren in de halfgeleiderindustrie een **essentiële voorwaarde is om voldoende rendement uit deze investeringen te halen en deze verder uit te kunnen bouwen**. Immers, zonder succesvolle (en voorwaardelijke) integratie met micro-elektronica, zal er fors minder rendement behaald kunnen worden.

Het ChipNL Innovatieprogramma sluit aan op de doelstelling van de Nederlandse overheid² om onze halfgeleidersector te versterken. ChipNL is complementair aan de lopende programma's en geeft invulling aan de activiteiten op het gebied van onderzoek, ontwikkeling en innovatie die noodzakelijk zijn om de Nederlandse halfgeleiderindustrie nauwer te laten samenwerken, de productiviteit van de toeleverketen te vergroten en daarmee de Nederlandse halfgeleiderindustrie te versterken en competitiever te maken ten opzichte van buitenlandse concurrenten.



¹ Meer informatie over de verschillende roadmaps voor HTSM-technologieën

² Kamerbrief: De Nederlandse inzet voor een sterk halfgeleiderecosysteem in geopolitiek uitdagende tijden, 21 december 2023

¹ Kamerbrief De Nederlandse inzet voor een sterk halfgeleiderecosysteem in geopolitiek uitdagende tijden, 21 december 2023

² Dutch economy minister pushes for European chip industry coalition | Reuters

³ Kamerbrief met bijbehorende beslisnota Investeren in ondernemingsklimaat microchipsector, 28 maart 2024

2

Duurzaam verdienvermogen van Nederland

2.1 Economisch verdienvermogen

Nederland zal de komende jaren en decennia de economische groei voor een groot deel uit productiviteitsverhoging moeten halen. In een vergrijzende samenleving zal de afnemende beroepsbevolking zorgvuldig moeten worden ingezet. Dit betekent kiezen voor hoogproductief werk.

De Nederlandse halfgeleiderindustrie heeft, uitgedrukt in toegevoegde waarde, een omvang van € 24,3 miljard en zijn er 60.000 mensen werkzaam¹. De Nederlandse halfgeleiderindustrie vertoont een significante groei die grofweg parallel loopt met de voorspelde verdubbeling. Ten opzichte van 2021 is de toegevoegde waarde van de sector met € 13,7 miljard toegenomen². Afhankelijk van het gevoerde beleid kan het toekomstscenario er gunstiger of minder gunstig uitzien. In deze paragraaf lichten we toe wat de situatie is zonder overheidssteun (Nulscenario) en wat het economisch verdienvermogen per pijler is, inclusief overheidssteun³.

Nulscenario (zonder ChipNL)

Dit scenario gaat uit van een situatie zonder ChipNL, waarbij de individuele partijen doorgaan zoals zij dat op dit moment doen. Nederland investeert in dit scenario niet grootschalig in de halfgeleiderindustrie. Zonder onmiddellijke actie loopt Nederland het risico de komende vijf tot tien jaar achterop te raken in de wereldwijde concurrentiestrijd, afhankelijk te worden van buitenlandse technologie en haar strategische autonomie in belangrijke sectoren te verliezen. We zullen te maken krijgen met een 'braindrain' als onze beste bedrijven financiering en kansen in het buitenland zoeken, waardoor onze halfgeleidercapaciteiten eroderen en we kwetsbaar worden op gebieden als nationale veiligheid en economische groei. Grote spelers zoals ASML, ASM en NXP zijn mogelijk in staat om mee te bewegen met de markt, maar worden in dit scenario steeds meer afhankelijk van leveranciers en partners buiten Nederland, omdat de productiviteitsgroei in de toeleverketen stagneert. Mogelijk zien zij zichzelf in dit scenario genoodzaakt om (meer delen van) hun productie en R&D naar andere landen te verplaatsen om aan de groeiende vraag van innovatieve producten en systemen te kunnen voldoen. **Het gevolg is een geleidelijke afname van de Nederlandse internationale concurrentiepositie, een verminderde groei van de economische toegevoegde waarde en het wegstromen van kritische kennis uit Nederland.**

Effecten per pijler

Binnen dit plan identificeren we drie pijlers: chip design, packaging en equipment. Die pijlers hebben ieder een uitgesproken profiel en een eigen groeiscenario. Hoewel deze pijlers niet los van elkaar te zien zijn, zullen we voor iedere pijler een nul- en investeringsscenario schetsen⁴.

2.1.1 Chip design

Chip design is cruciaal in de halfgeleiderindustrie. Nederland heeft sterke designkennisposities op RF, analog/mixed signal en power & high voltage. Binnen deze posities wordt een aanzienlijke marktgroei verwacht, evenals binnen (opkomende) digitale designs aangedreven door AI.

Door gerichte investeringen, goede samenwerking en de juiste beleidsmaatregelen, kan Nederland niet alleen haar positie in chip design behouden, maar ook uitbreiden en de komende decennia wereldklasse blijven. Voor digitale design scale-ups als Axelera AI is de timing van deze steun belangrijk om hun groeipotentieel te halen. Zonder ChipNL kan de groei doorgaan, maar op een lager tempo en met minder ruimte voor innovatie en concurrentiekracht.

In het **nulscenario** gaan we ervan uit dat de productiviteitsgroei van de afgelopen jaren doorzet. In Nederland zijn 1.100 IC-designers werkzaam bij 90+ bedrijven. De toegevoegde waarde van alle IC-designers in Nederland in 2023 was € 419 miljoen. De productiviteit van chip design groeit jaarlijks met 10%. Dat wil zeggen dat de toegevoegde waarde per FTE ieder jaar met 10% stijgt. Het aantal designers in Nederland groeide de afgelopen jaren gemiddeld met 4%. Dit geeft een gecombineerde groei in toegevoegde waarde van 14%. Onder de aanname van 14% groei in toegevoegde waarde per jaar, wordt dit in 2032 € 1363 miljoen.

Met financiële middelen uit **ChipNL** kan er een groei in personeelsbestand van 10% gerealiseerd worden. Dit geeft dan een gecombineerde groei in toegevoegde waarde van 20%. Dit is 6% meer dan zonder deze middelen. Onder de aanname van 20% groei in toegevoegde waarde vanaf 2025 wordt de toegevoegde waarde in 2032 € 2054 miljoen. Vanaf 2032 wordt verwacht dat op basis van ChipNL-investeringen er jaarlijks € 692 miljoen aan additionele toegevoegde waarde wordt gerealiseerd.

¹ Semicon in NL, PwC, mei 2024

² RVO (2022)

³ De berekeningen zijn uitgevoerd door Brainport Development met behulp van diverse bronnen, databases en documentatie.

⁴ De berekeningen zijn uitgevoerd door het Business Intelligence team van Brainport Development. Geraadpleegde bronnen: Databronnen van Brainport Development, RVO en VentureIQ; Jaarverslagen van een sample bedrijven (n>9); en databases van ORBIS, Dun & Bradstreet.

2.1.2 Packaging

Binnen de packaging-pijler wordt een nieuwe technologie ontwikkeld en op de markt gebracht. Verschillende partners binnen dit programma hebben (kleine) Nederlandse packaging-faciliteiten. Deze partners zullen hun faciliteiten upgraden met het nieuw ontwikkelde proces binnen ChipNL. Dit zal geen abrupte overschakeling zijn, maar op termijn geïmplementeerd worden in hun productieproces. Naar verwachting gaat dit gebeuren bij het in productie nemen van nieuwe producten en daarom gradueel verlopen. Dit zal in de toekomst concurrentievoordeel bieden. Daarnaast zal TracXon de al bestaande faciliteiten voor additieve printtechnologieën geschikt maken voor productie van deze nieuwe generatie van chippackages.

De kennispartners (CITC, ITEC en TNO) zullen hun kennis inzetten om andere OEM's, dus buiten de participerende ChipNL-partners, te helpen bij het implementeren van de nieuwe packaging-technologie. Dit zal leiden tot tweede orde effecten in andere sectoren. Doordat packaging van kleinere productievolumes mogelijk en betaalbaar wordt gemaakt, kunnen andere sectoren sneller innoveren en digitaliseren.

In het **nulscenario** bestaat er in de toekomst geen packaging-bedrijvigheid in Nederland. Dit is echter strategisch gezien geen slimme zet. Verliezen we wat als we het niet doen? Naast het feit dat we geen grip hebben op de supply chain voor specifieke chips in kritische sectoren en hoog-innovatieve producten, zijn het vooral economische aderlatingen die we moeten accepteren. Zo blijven de kosten voor advanced packaging hoog, de leveringszekerheid kritisch, blijven startups, mkb en afzetmarkten met laag en mid volume-producten strugglen en zal de concurrentiepositie van Nederland ver achterblijven. Bedrijven met een lage productieoplage gaan op zoek naar andere oplossingen, omdat zij niet in staat zijn om hun chips te packagen. Als Nederland zijnde hebben we geen antwoord op de 'More than Moore'-trend, hetgeen ook van invloed is op onze equipmentpositie. Kortom, het economisch vermogen en de strategische autonomie komen onder druk te staan.

Wanneer we dit **ChipNL-scenario** uitvoeren, verwachten we op de markt te kunnen komen met een nieuwe technologie die op duurzame wijze kleine volumes kan produceren en waarmee Nederland een positie kan veroveren in advanced packaging. Daarnaast worden nieuwe bedrijven als TracXon en FononTech in staat gesteld om fors te kunnen schalen en kunnen huidige

bedrijven binnen het ecosysteem, zoals equipmentbouwers, IDM'ers en chip designers, meegroeien met deze nieuwe technologie. Dit vraagt echter wel om snelle investeringen, omdat de kans om positie binnen deze markt te pakken een korte window of opportunity kent.

De huidige packaging activiteiten in Nederland zijn bescheiden en hebben een omvang van € 24 miljoen toegevoegde waarde per jaar. Binnen het traditionele packaging-segment is gemiddeld 41% van de gerealiseerde omzet toegevoegde waarde. Binnen het advanced packaging-segment ligt de gemiddelde toegevoegde waarde t.o.v. de omzet hoger, op 61%. In Nederland wordt binnen advanced packaging vanaf 2031 een omzet beoogd van € 750 miljoen. € 750 miljoen omzet geeft een verdienvermogen van € 457,5 miljoen, waarvan 50% mogelijk gemaakt wordt door financiële middelen uit ChipNL. Het ChipNL-effect is vanaf 2032 € 375 miljoen omzet waarvan € 229 miljoen toegevoegde waarde. Deze toegevoegde waarde is slechts berekend op basis van het nieuwe proces en de use cases binnen het ChipNL-plan. De verwachte omzetgroei binnen bestaande industrieën, zoals hierboven ook geschetst en waartoe onder andere Nexperia en NXP behoren, zijn buiten beschouwing gelaten. De beoogde toegevoegde waarde kan dus hoger liggen.



2.1.3 Equipment

Voor het succes van de semiconductor equipmentsector in Nederland is productiviteitsgroei een essentieel element. De sector zal aan een grotere vraag naar halfgeleider-equipment moeten voldoen, die voortvloeit uit de groei van de wereldwijde halfgeleidermarkt. Deze groei vindt plaats onder een talenttekort en ongunstige demografische ontwikkeling. Naast meer talent, zal een deel van de groei opgevangen moeten worden door verhoging van de arbeidsproductiviteit van de toeleverketen, zodat de toeleverketen de groei van de machinebouwers kan bijhouden. Daarnaast groeide het aantal medewerkers bij equipmentproducenten de afgelopen jaren gemiddeld met 15%. Voor de toeleverketen besloeg deze groei slechts 5% ¹.

Het goede nieuws is dat deze sector, in tegenstelling tot andere sectoren in de Nederlandse industrie, stevig groeit in productiviteit. De autonome productiviteitsgroei van de equipmentindustrie, waar de grote machinebouwers onder vallen, is een positieve uitschieter in het algemene beeld². Over de afgelopen jaren schatten we de productiviteitsgroei op 10% per jaar. Dit houdt in dat iedere medewerker in deze sector ieder jaar 10% meer toegevoegde waarde genereert.

De grote uitdaging die we in dit programma aanpakken, is dat we door het versterken van de samenwerking binnen de toeleverketen en met machinebouwers een hogere productiviteitsgroei over de totale breedte kunnen realiseren. Waar de grote bedrijven in staat zijn goede resultaten te boeken, is het voor de kleinere bedrijven en de toeleverketen moeilijker om een vergelijkbare productiviteitsgroei te realiseren.

Wanneer de keten niet mee kan bewegen met de groei, zijn de machinebouwers genoodzaakt onderdelen uit het buitenland te gebruiken, of ze lopen ook zelf vast: iedere schakel is nodig. Dit zal desastreus zijn voor het vestigingsklimaat van de halfgeleidersector en de spillover effecten die deze sector heeft - juist via de toeleverketen.

In het **nulscenario** gaan we ervan uit, dat de productiviteitsgroei van de afgelopen jaren doorzet, zonder verandering. In dit scenario groeit de totale toegevoegde waarde (combinatie van toename aan medewerkers en toename van productiviteit) van de machinebouwers met 19%, terwijl de totale toegevoegde waarde bij toeleveranciers met 16% per jaar groeit. In dit scenario zien we een onbalans tussen de twee segmenten. Dat zorgt op termijn voor een substantieel verlies aan marktaandeel in de toeleverketen en verlies van dit waardevolle ecosysteem.

In het **ChipNL-scenario** werken we aan een verhoging van de productiviteitsgroei in de toeleverketen door versterkte samenwerking tussen de ketens. Deze samenwerking zal naar verwachting ook het gezamenlijke R&D-proces structureel versnellen, wat een structureel effect kan hebben op de productiviteitsgroei. In dit scenario is aangenomen dat de deelnemende toeleveranciers geleidelijk (per jaar stapsgewijs) over de looptijd op hetzelfde groeiniveau als de machinebouwers komen, door een 3 procentpunt toename in hun productiviteitsgroei in 2032. Deze berekening resulteert door financiële middelen van ChipNL vanaf 2032 in een jaarlijkse toename van de toegevoegde waarde van € 640 miljoen, met de productiviteitswinst bij equipment toeleveranciers. In deze berekening hebben we niet de toeleveranciers meegenomen die (nog) niet aangesloten zijn. Deze groep zal door tweede orde effecten ook meeprofiten. Daarnaast hebben we geen inschatting kunnen maken van de effecten op de machineproducenten, omdat moeilijk in te schatten is welk deel van de groei van de productiviteit is toe te rekenen aan ChipNL. We hebben deze effecten dus ook niet meegenomen. Ten slotte heeft de halfgeleider-equipment toeleverketen enorme potentie tot spillovers in andere sectoren. Bekende toeleveranciers zijn ook actief in bijvoorbeeld defensietechnologie, ruimtevaart en medische technologie. Door voor deze spillovers meer ruimte te creëren voor productiviteitsgroei, kunnen de effecten op de toegevoegde waarde nog groter zijn.

¹ Groeiberekeningen door Business Intelligence team van Brainport Development, op basis van jaarverslagen van een sample bedrijven (n>9).

² [5. Welke bedrijfstakken droegen het meest bij aan de groeivertraging? | CBS](#)

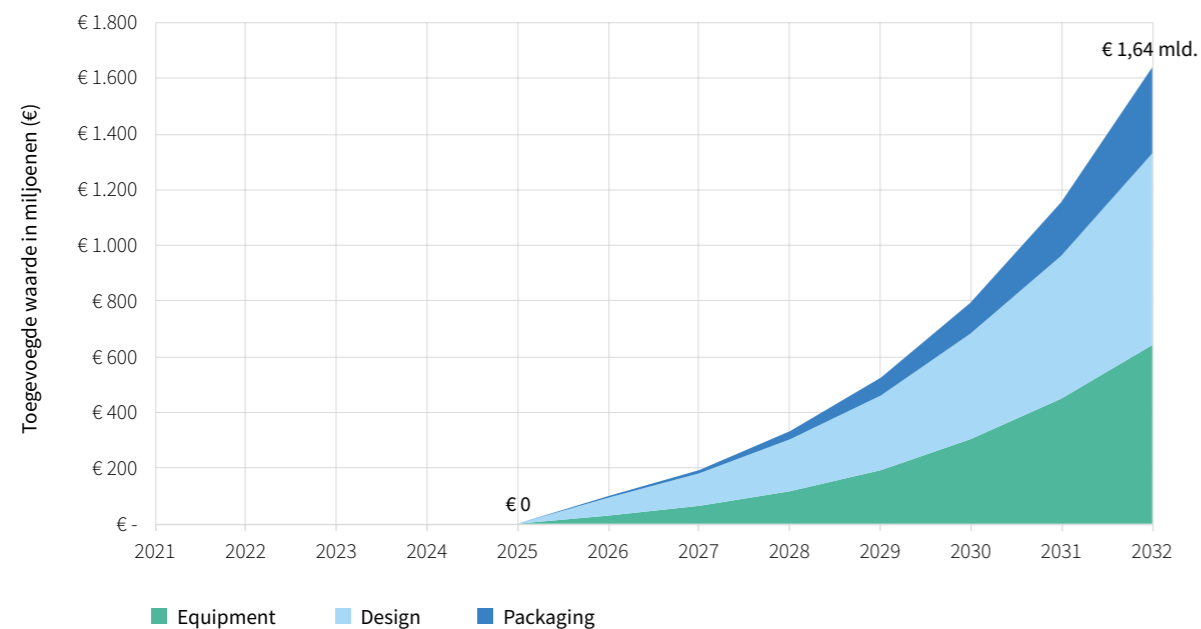
2.1.4 BBP Effect vanaf 2032 voor totale ChipNL Innovatieprogramma

Gebaseerd op de bovenstaande analyse van de ontwikkeling van de toegevoegde waarde, kan het cumulatieve verdienvermogen ten gevolge van de investeringen in ChipNL grafisch worden weergegeven.

Vanaf 2032 wordt er jaarlijks minimaal € 1,64 miljard additionele toegevoegde waarde gegenereerd door ChipNL-activiteiten. Het huidige BBP is €1.010 miljard (Q1 2024). Het effect van ChipNL op het huidige BBP is per 2032 ten minste 0,16%, exclusief correctie inflatie en exclusief stijging huidige BBP. Dit leidt tot een Return on Investment van een ruime factor 5. Voor een financiële begroting en Return on Investment verwijzen we naar hoofdstuk 4 Financiële kaders.



Jaarlijks additioneel verdienvermogen ChipNL-scenario



Tabel 1: Jaarlijks additioneel verdienvermogen ChipNL-scenario

2.2 Maatschappelijk rendement

De grote maatschappelijke veranderingen die alle ontwikkelde economieën wereldwijd tegemoet treden, worden - zoals in hoofdstuk 1.1 ook al aangestipt - vooral aangedreven door decarbonisatie via elektrificering, versnelde digitalisering, een vergrijzende bevolking en voedsel en schoon drinkwater voor iedereen. Het is een meervoudige transitie.

Digitalisering vereist nieuwe competenties van de beroepsbevolking; van basale digitale kennis tot programmeren en onderliggende natuurkunde. De klimatologische noodzaak tot decarbonisatie vraagt om een ander industrieel ecosysteem, met een ander verdienmodel, een andere energievraag en ruimtelijk beslag. Deze transities moeten financieel en met arbeid worden ondersteund in een krimpende beroepsbevolking, met daarbij horende uitdagingen rondom productiviteit. Het maatschappelijk ontwrichtende en tegelijkertijd kansrijke potentieel van de transities maakt deze bij uitstek (geo-)politiek.

Chiptechnologie fungeert als spil binnen de transities en heeft een grote impact binnen maatschappelijke velden, zoals zorg, landbouw, energie, defensie, mobiliteit, wonen, arbeidsmigratie, onderwijs en armoedebestrijding. In bijlage 2 Maatschappelijke impact halfgeleiderindustrie staat toegelicht hoe de industrie een bijdrage levert aan oplossingen binnen belangrijke maatschappelijke sectoren.

Maatschappelijke doelstellingen

Naast de in paragraaf 2.1 genoemde economische impact, heeft ChipNL een sterke maatschappelijke meerwaarde. Het ChipNL Innovatieprogramma is gericht op een bijdrage aan de volgende doelstellingen:

- **Duurzaamheid:** de innovaties uit ChipNL dragen bij aan een lager energieverbruik in producten en productieprocessen en het minder toepassen van schadelijke grondstoffen, zoals PFAS en chemische processen. Dit zorgt direct voor een verbeterde leefomgeving in eigen land en bij onze Europese bureaus, zeker nu een deel van de chipproductie mogelijk terug naar Europa wordt gehaald. ChipNL draagt dus bij aan een schonere wereld door technologie te leveren die minder energie en grondstoffen verbruikt en die reparatie van producten mogelijk maakt.

- **Efficiëntie:** De wereldwijde groei van de halfgeleiderindustrie zorgt voor een explosie aan hoogwaardige technische banen: van ontwerpers en software-ingenieurs tot systeemarchitecten en productiespecialisten. De industrie stimuleert bovendien innovatie in andere sectoren, wat weer extra werkgelegenheid creëert. Tegelijkertijd zorgen automatisering en robotisering, aangestuurd door geavanceerde chips, voor een dalende behoefte aan laaggeschoold personeel en seizoensarbeidskrachten, waardoor er ruimte ontstaat voor technisch geschoolde hoogproductieve banen. Nederlandse bedrijven zoals ASML, NXP en BESI creëren dergelijke banen, met een grote impact op de werkgelegenheid in de hightech waardeketen. PwC's rapport¹ bevestigt dat de spillover naar andere sectoren en de versterking van de maakindustrie essentieel zijn voor economische groei en productiviteitsverhoging. Dit plan biedt de technologische handvatten die nodig zijn om de productiviteitsverhoging in de sector mogelijk te maken binnen een krappe arbeidsmarkt en biedt tegelijkertijd uitzicht op een groot aantal hoogproductieve arbeidsplaatsen in de volle breedte en op alle niveaus. Het opleiden van mensen met de juiste skills (in onder meer Project Beethoven) die inzetbaar zijn om innovaties mogelijk te maken voor de halfgeleiderindustrie en andere sectoren, maakt dat we in zijn totaliteit een evenwicht zoeken in de huidige talentgap. En dat heeft effect: de sterke mensgedrevenheid van onze huidige halfgeleiderindustrie draagt bij aan een zeer lang renderend effect van investeringen in talent².

- **Technologische onmisbaarheid en waardecreatie:** het plan draagt bij aan een sterkere positie van Nederlandse leveranciers van halfgeleider-technologie en hun Europese ketenpartners. Ook draagt het bij aan een vermindering van de afhankelijkheid van overzeese partijen voor kritische technologieën en een weerbare Europese technologiesector. Daarmee waarborgen we de bescherming van privacy, data en toegankelijkheid van technologie voor kritische, danwel maatschappelijk relevante sectoren.

¹ Semicon in NL, PwC, mei 2024

² Het MEGA-project uit de jaren tachtig was de aanjager van de carrières van het gros van de huidige topfunctionarissen in de Nederlandse chipindustrie - een rendement van meer dan 35 jaar!

3

Het ChipNL Innovatie- programma

3. Het ChipNL Innovatieprogramma

Het ChipNL Innovatieprogramma stelt voor te investeren op het raakvlak van **strategisch industriebeleid en economisch verdienvermogen**. Binnen de complexe halfgeleiderwaardeketen (zie Box 1, Hoofdstuk 1) kan Nederland, of Europa, niet alles zelf doen. We kiezen met dit plan voor strategische onmisbaarheid in de waardeketen met posities en ingrepen die de industrie als rendabel ziet en waar de industrie in mee investeert. Bovendien kiezen we voor economische activiteiten die een hogere productiviteit en hogere productiviteitsgroei hebben dan de industrie als geheel. Zo behouden we, en ontwikkelen we, posities die het verdienvermogen van Nederland langdurig en duurzaam versterken.

De ambitie van ChipNL is om een duurzaam verdienvermogen te realiseren voor de volledige Nederlandse halfgeleiderindustrie, terwijl we onze concurrentiepositie toekomstbestendig maken binnen de domeinen van chip design, packaging en equipment. De competitieve voordelen worden nagestreefd op drie verschillende doelstellingen:

- **Duurzaamheid:** Zorg voor circulariteit in de waardeketen, een lager energieverbruik en het minder toepassen van schadelijke grondstoffen, zoals PFAS.
- **Efficiëntie:** Realiseer productiviteitsverhoging middels technologische innovaties en maakt zo de benodigde groei binnen een krappe arbeidsmarkt mogelijk.
- **Waardecreatie:** Creëer toekomstgerichte nieuwe producten en bedrijven voor de waardeketens van de toekomst.

Corresponderende ontwikkelpaden worden binnen de pijlers chip design, packaging en equipment uitgewerkt met werkpakketten en activiteiten die uiteindelijk bijdragen aan de ambities van het totale ChipNL Innovatieprogramma.

Beoogde resultaten

Met de activiteiten in de werkpakketten beogen we de volgende resultaten te behalen:

- Behoud en beschermen van kritische posities op chip design, equipment en advanced packaging voor toepassingen in essentiële sectoren als defensie, zorg, mobiliteit en energie. Dit verstevigt onze strategische autonomie en nationale veiligheid.
- Creëren van nieuwe posities, nieuwe innovatieve bedrijven en bedrijvigheid binnen bestaande en nieuwe waardeketens met substantieel marktaandeel door een sterk samenwerkend ecosysteem.
- Verdergaande efficiencyverbetering van equipment, packaging en chip design-processen met behulp van nieuwe AI-methodes, hetgeen bijdraagt aan verbetering van de concurrentiepositie van Nederland: meer doen met minder mensen en materialen.
- De equipment toeleverketen groeit in arbeidsproductiviteit mee met de grote machinebouwers en tegelijkertijd groeien de machinebouwers duurzaam mee met de marktverdubbeling.
- Een disruptief, duurzaam en kostenefficiënt proces voor het geavanceerd packagen door toepassing van additive productietechnologieën, waardoor startups kunnen schalen.
- Een beter renderend vermogen en de verdere uitbouw van reeds gedane investeringen, met name op fotonica en quantum, door noodzakelijke en gewenste integratie van deze nieuwe waardeketens met de bestaande halfgeleider waardeketen.
- Een volledig geautomatiseerde geavanceerde packagingfaciliteit (OSAT, Outsourced Semicon Assembly and Test).
- Realisatie gezamenlijke faciliteiten met open karakter voor gezamenlijke technologische en wetenschappelijke roadmaps met een focus op onder andere (opto) mechatronica, metrologie, detectie en materialen.

3.1 Pijler Chip Design

3.1.1 Chip design in een wereldwijde context

Chip design is cruciaal in de halfgeleiderindustrie, verantwoordelijk voor 50% van de toegevoegde waarde, vergeleken met de 24% van de productie en de 12% die apparatuur bijdraagt. De Verenigde Staten domineren de sector met grote fabless spelers zoals Qualcomm en Nvidia en Integrated Device Manufacturers als Texas Instruments en Intel, goed voor 56% van het wereldwijde marktaandeel in 2018. Europa, met slechts 8% van het marktaandeel, huisvest belangrijke IDM's, zoals NXP, Nexperia, Infineon en STMicroelectronics, die zowel ontwerp als productie in-house doen. Ook de meeste verpakings- en testactiviteiten vinden plaats in Azië. De omvang van de wereldwijde chipmarkt in 2023 wordt geïllustreerd in figuur 3.

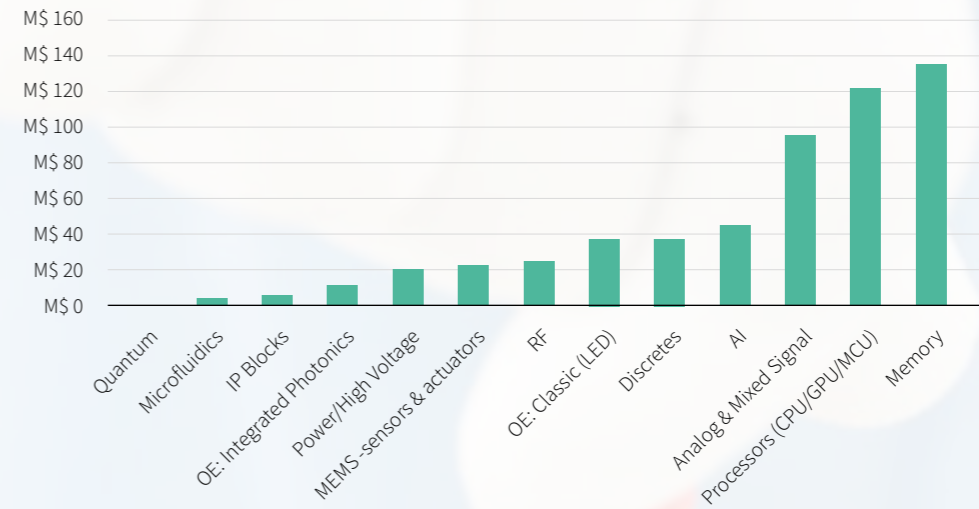


Nederland, als onderdeel van het Benelux-technologiecluster, heeft historisch gezien een sterke positie binnen chipontwerp. Een uitgebreide analyse door Science & Technology¹ in opdracht van RVO, zoals weerspiegeld in de Nationale Technologiestrategie (NTS), laat zien dat Nederland uitblinkt in analog & mixed-signal, RF, power & high voltage. Binnen deze segmenten wordt aanzienlijke marktgroei verwacht, zoals te zien is in figuur 4. Daarnaast zijn veelbelovende domeinen zoals AI, advanced packaging, cross-functioneel ontwerp, quantum en geïntegreerde fotonica geïdentificeerd als groeigebieden. In deze segmenten heeft Nederland ook al aanzienlijke ervaring en expertise opgebouwd. De in Nederland ontwikkelde chipdesigns hebben een strategische positie veroverd in sectoren zoals ruimtevaart & defensie, mobiliteit & automotive, communicatie en life sciences & health. Ook opkomende sectoren, zoals energie, agro-food en financiële diensten, bieden kansen voor technologische integratie en groei. Om onze positie te behouden en uit te breiden, moeten we proactief inspelen op internationale ontwikkelingen door strategische samenwerking met andere Europese technologieclusters en door gerichte investeringen in ons eigen fabless ecosysteem.

Het Nederlandse chipontwerp-ecosysteem bestaat uit ongeveer 75 bedrijven, waaronder Original Equipment Manufacturers (OEM's), ontwerphuizen, IP-blokbedrijven en ontwerp toolbedrijven. Innovatieve spelers uit de markt hebben een trekkersrol gespeeld bij het opstellen van dit innovatieplan, te weten NXP, Axelera AI, Nexperia, Philips Medical Systems en imec, met input uit het brede chip design ecosysteem, waaronder Bruco IC, SystematIC, ProChip, Synopsys, Bosch en Cyient.

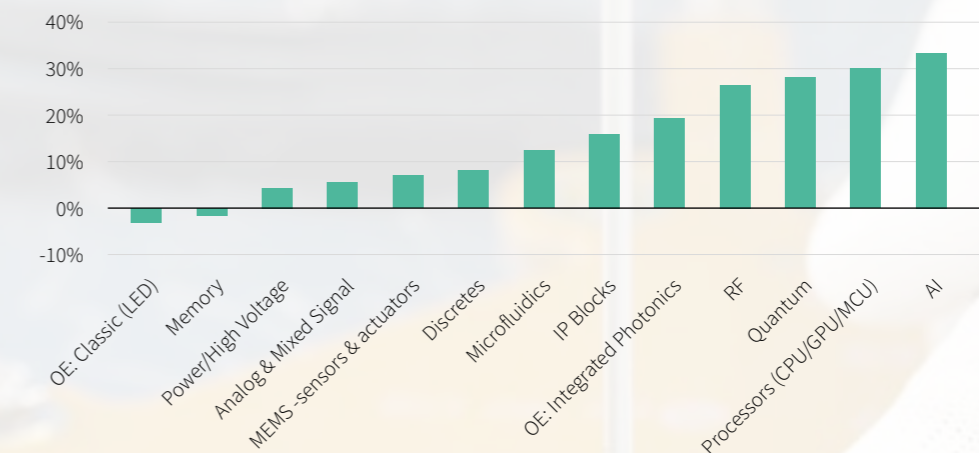
¹ Internationalisering van Chip Ontwerp, Iwan van Vijfeijken & Steve Stoffels, Science & Technology, mei 2024 https://www.hightechnl.nl/wp-content/uploads/2024/05/dutchchipdesign_publicrapport.pdf

Marktgrootte (in \$ miljarden) per functie



Figuur 3: Marktomvang van de verschillende chipsegmenten, Bron: Brainport marktonderzoek, mei 2024

Marktgroei (%) per functie



Figuur 4: Verwachte groei per type chip, Bron: Brainport marktonderzoek, mei 2024.

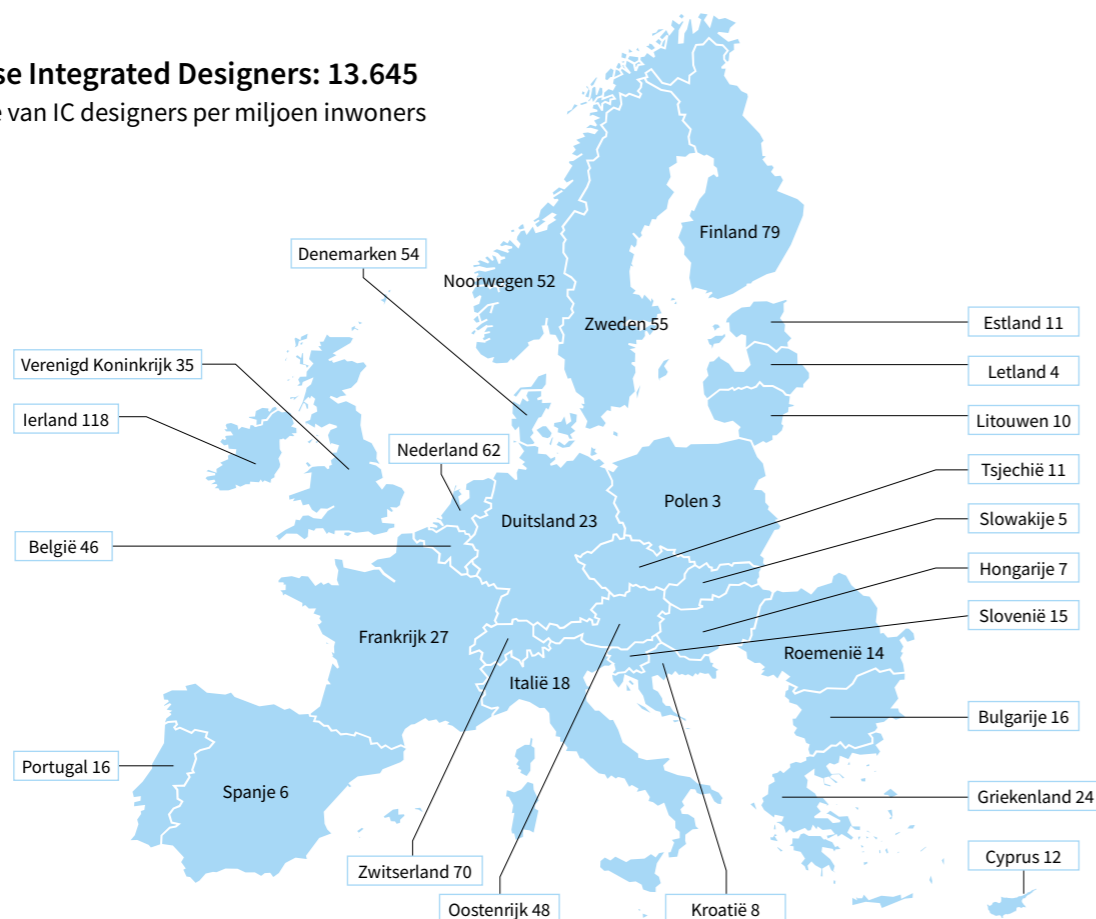
Uit dezelfde analyse van Science & Technology uit 2024 blijkt dat Nederland circa 1.100 Integrated Circuit Designers huisvest. In absolute cijfers deelt Nederland de vierde plaats met Italië, alleen verslagen door het Verenigd Koninkrijk, Duitsland en Frankrijk. Wanneer de vergelijking wordt gemaakt in termen van inwoneraantal per land, blijkt dat Nederland zich eveneens in een goede positie bevindt voor verdere groei binnen het Europese chip-ontwerp-ecosysteem, zie ook onderstaande figuur 5.

De aanwezigheid van de complete keten, van onderzoek tot eindgebruiker, in de vorm van academia, kennisinstituten, ontwerpbureaus, productiebedrijven en systeemintegrators leidt consequent tot analoge innovaties met een wereldwijde impact. 'One chip TV', Bluetooth en Wi-Fi zijn Nederlandse uitvindingen en deze chips werden en worden nog steeds in Nederland ontwikkeld, waardoor ze beter, sneller en goedkoper worden. Vandaag de dag vinden we Nederlandse analog & mixed-signal innovaties in bijna elk elektronisch product: ruisonderdrukkende versterkers en filters in smartphones, extreem laagvermogen draadloze chips voor en (defensie) radarsystemen. Vanaf het begin van de halfgeleider-industrie heeft het verbeteren van de analoge prestaties

bovenaan de agenda gestaan. Dit komt omdat **de algemene prestaties van elektronische systemen cruciaal afhangen van de prestaties van de analoge onderdelen**, of het nu gaat om nauwkeurigheid, (grote) bandbreedte, energieverbruik of snelheid. Analooch chip design vormt de essentiële brug tussen onze analoge wereld en de digitale wereld, waar rekenkracht gebruikt wordt. Het is de cruciale schakel die nodig is om signalen uit de fysieke wereld – zoals van sensoren, medische apparatuur en communicatiesystemen – om te zetten in digitale data voor verdere verwerking. Daarnaast zorgt analooch chip design ervoor, dat digitale signalen weer kunnen worden omgezet naar de fysieke wereld, bijvoorbeeld voor luidsprekers, antennes, motoren, displays en lasers. Vooral nu, met onder meer de toenemende eisen aan bandbreedte onder strenge stroombeperkingen, blijft het verbeteren van de prestaties van analoge en gemengde signalen een topprioriteit. Met Nederland als wereldwijde sterpseler. Het versterken van Nederlands positie in chipdesign is niet alleen een technologische noodzaak, maar ook een strategische keuze om onze economische kracht en autonomie binnen kritieke markten, zoals defensie, energie, mobiliteit en gezondheidszorg, te waarborgen.

Europese Integrated Designers: 13.645

Weergave van IC designers per miljoen inwoners



Figuur 5: Aantal IC designers per miljoen inwoners in Europese landen.

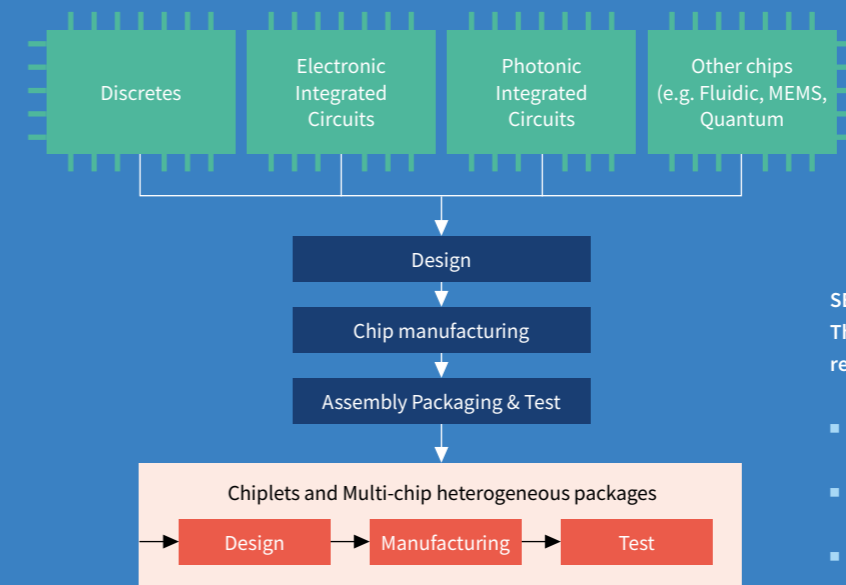
Chip design uitgelegd

Chip design, ook wel Integrated Circuit design (IC-ontwerp) genoemd, is een subveld van de elektronica-engineering dat zich richt op het ontwerpen van geïntegreerde circuits (IC's). Deze circuits bestaan uit miniaturiseerde elektronische componenten, zoals transistors, weerstanden en condensatoren, die op een enkel stuk halfgeleidermateriaal, meestal silicium, worden gebouwd. Het proces omvat verschillende stappen, waaronder specificatie, ontwerp, verificatie en fabricage.

Er zijn twee hoofdtypen IC-ontwerpen: digitaal en analoog. Digitaal IC-ontwerp richt zich op het creëren van componenten, zoals microprocessors, geheugens en digitale ASIC's (Application-Specific Integrated Circuits). Analooch IC-ontwerp is gericht op het ontwerpen van componenten, zoals versterkers en lineaire regelaars.

Naast elektronische geïntegreerde circuits (IC's) kennen we ook discrete chips (elektronische componenten die één specifieke functie uitvoeren), fotonische geïntegreerde circuits (PIC's) en andersoortige chips met bijvoorbeeld mechanisch bewegende delen (MEMS). Internationaal komen er tienduizenden nieuwe chips per jaar op de markt. Chip design is niet afhankelijk van het feit of een land wel of niet een grote front-end chipproductiefaciliteit heeft, waardoor het een zeer interessante markt is voor waardecreatie. In onderliggende plan ligt de focus op elektronische IC's, die verreweg het grootste deel van de markt uitmaken. De sterktes van Nederland liggen voornamelijk op het gebied van RF, analog & mixed signal en power & high voltage zoals blijkt uit het onderzoek van Science & Technology Consult¹.

Types of Chips



SEMICONDUCTORS
The entire domain that realizes chips:

- Design (Circuits, PDK, EDA tools)
- Manufacturing (materials, equipment, processes)
- Assembly and Packaging (materials, equipment, processes)
- Testing (equipment, procedures)

¹ Business report, Chip Design Internationalisation, May 2024, Science & Technology Consult in opdracht van Rijksdienst Ondernemend Nederland

3.1.2 Probleemstelling

De Nederlandse chip design industrie staat voor enkele structurele uitdagingen die zowel de groei als het concurrentievermogen beperken. Ondanks de historisch sterke positie van Nederland, is onze huidige concurrentiepositie fragiel en wordt deze bedreigd door internationale krachten en technologische disruptie.

Technologische uitdagingen

De belangrijkste problemen in chipdesign, ongeacht de applicatiemarkt, omvatten de hoge kosten en complexiteit van ontwikkeling, de noodzaak voor betrouwbaarheid en veiligheid, en de uitdagingen van energie-efficiëntie en schaalbaarheid. Bijvoorbeeld, medische chips moeten uiterst betrouwbaar en veilig zijn, terwijl chips voor telecommunicatie hoge snelheden en lage latentie (vertragingen) vereisen. Daarnaast moeten chips in bijvoorbeeld de automotive sector real-time en 'on the edge' data kunnen verwerken en voldoen aan strenge veiligheidsnormen. Hieronder worden de belangrijkste problemen voor chip design gedefinieerd, samen met de redenen waarom deze kwesties aandacht vereisen.

Probleem 1: Toenemende complexiteit en noodzaak tot kostenefficiëntie

De toenemende complexiteit van chipproducten neemt zienderogen toe, onder meer door de vraag naar meer functies op een chip, met een snellere verwerkingstijd en een lager energieverbruik. Tegelijkertijd is het noodzakelijk om kosteneffectief te produceren. Deze combinatie van factoren vormt de grootste uitdaging voor chip designers. De **integratie van verschillende technologieën**, zoals RF, Analog, Mixed-Signal en Power & High Voltage met advanced CMOS, digitale technologieën - voortgedreven door AI - en nieuwe technologieën als fotonica en quantum, maakt het ontwerpproces steeds ingewikkelder. Dit verhoogt niet alleen de ontwikkelkosten, maar maakt het ook moeilijk om ontwerpen snel en betrouwbaar op te schalen. Een ander belangrijk obstakel is het ontwikkelen van productiemethoden die zowel hoge volumes als lage kosten mogelijk maken: de ontwikkelsnelheid moet omhoog, terwijl de kosten omlaag moeten. Dit is met name uitdagend in een industrie waarin precisie en kwaliteit van cruciaal belang zijn, zoals bij de productie van chips voor geavanceerde toepassingen in de automotive, medische sectoren en defensie. De **balans vinden tussen kostenreductie en het handhaven van de kwaliteit en prestaties** van chips is een voortdurende uitdaging. Daarnaast is er vaak een gebrek aan gestandaardiseerde

IP en modellen (zogenoemde basisbouwblokken die niet voorhanden zijn) die kunnen helpen bij het stroomlijnen van het ontwerpproces. Dit leidt tot inefficiënties, aangezien ontwerpers vaak veel tijd kwijt zijn aan het ontwikkelen van op maat gemaakte oplossingen voor specifieke toepassingen. Denk bijvoorbeeld aan het maken van een USB-interface die je wilt gebruiken op een nieuwe chip. Het zelf ontwerpen kost tijd en levert nauwelijks waarde op. Het ontbreken van standaardisatie bemoeilijkt bovendien samenwerking tussen verschillende bedrijven en partners in de toeleveringsketen, wat de innovatie vertraagt en kosten opdrijft.

Voorbeelden van complexiteit:

- De exponentiële groei van datagestuurde concepten, vooral bij edge computing en cloudgebaseerde toepassingen als autonome voertuigen, gezondheidsmonitoring en predictive maintenance, stelt nieuwe eisen aan chip design. Er is een dringende behoefte aan hardware die deze concepten kan ondersteunen door energie-zuinigheid, lage kosten en schaalbaarheid.
- Een van de grootste uitdagingen in chip design is het gebrek aan system-level competenties en geïntegreerde co-design raamwerken. Dit geldt overigens niet alleen voor chip design, maar ook voor equipment. Complexe systemen vragen om heterogene integratie van verschillende technologieën, maar er is een gebrek aan tools en methodologieën om dit effectief te ontwerpen. Dit probleem belemmert de ontwikkeling van veelzijdige chips die kunnen inspelen op de groeiende eisen van data-intensieve applicaties, zoals slimme systemen en AI. Ook is een verhoogd niveau van systeemintegratie nodig. Zonder effectieve integratie tussen analoge, digitale en nieuwe technologieën, kan hun potentieel niet volledig worden gerealiseerd en zal het rendement van reeds gedane investeringen (waaronder in fotonica en quantum) niet behaald worden.

Probleem 2: Technologische uitdagingen voor duurzame chips

Het ontwerpen van duurzamere chips staat voor aanzienlijke technologische uitdagingen die het volledige productieproces en de levenscyclus van een chip omvatten. Zo zorgen de huidige vaste functionaliteiten van chips voor **beperkte ontwerpflexibiliteit en een lager aanpassingsvermogen**. Dat maakt dat veranderingen moeilijker door te voeren zijn, met inefficiënte inzet van middelen en een verhoogd verbruik van schadelijke materialen tot gevolg. Een verschuiving naar meer duurzame chip designs kan de kosten voor de industrie verlagen.

Daarnaast is **energie-efficiëntie een blijvende uitdaging**. Veel chips verbruiken meer energie dan nodig is, zowel tijdens hun productie als in gebruik. Het minimaliseren van energieverbruik zonder concessies te doen aan prestaties is daarom een belangrijk aandachtspunt. Tegelijkertijd moeten sensoren en andere componenten op een manier worden ontworpen dat hun impact op het milieu minimaal is, met behoud van hoge nauwkeurigheid en betrouwbaarheid. Verder blijft het lastig om **schadelijke materialen** in de productie van chips te vervangen door milieuvriendelijkere alternatieven. Dit proces vereist niet alleen nieuwe ontwerpstechnieken, maar ook voortdurende monitoring en aanpassing van de productie om ervoor te zorgen dat de prestaties van de chips behouden blijven. In dit opzicht is er een duidelijke noodzaak voor nieuwe benaderingen om duurzamere chips te ontwikkelen die voldoen aan de toenemende vraag naar milieubewuste technologie. Tegelijkertijd draagt dit bij aan het verlagen van de '**Cost of Ownership**' voor eindgebruikers, wat de concurrentiepositie van bedrijven versterkt.

3.1.3 Gewenste positie in 5-10 jaar

Om de bovengenoemde uitdagingen aan te pakken en een leidende rol in de halfgeleidersector te blijven spelen, moet Nederland strategisch investeren in chip design expertise. Dat is niet alleen een technologische noodzaak, omdat nieuwe technologie vraagt om nieuwe designs, het is ook een strategische keuze om onze economische kracht en autonomie te waarborgen binnen kritieke markten, zoals defensie, gezondheidszorg, mobiliteit en industrie. Geavanceerde chip designs, voortkomend uit een sterk ecosysteem, zorgen voor meer duurzame en veerkrachtige systemen die bijdragen aan onze nationale en Europese autonomie en veiligheid. Chip design bedrijven spelen tevens een cruciale rol in het ontwikkelen en ontwerpen van geavanceerde chips, hetgeen Nederland in staat stelt om wendbaarder te opereren in snel evoluerende markten zoals AI. Het succes van design houses hangt echter sterk af van de beschikbaarheid van hoogwaardige en toegankelijke Europese productiecapaciteiten voor het snel opschalen van geavanceerde chip designs.

Over 5-10 jaar moet Nederland een **toonaangevende speler zijn in het ecosysteem, met specifieke focus op high-mix, low-volume productie**. Dit vraagt om nauwe samenwerking tussen universiteiten, onderzoeksinstituten en bedrijven om innovatieve technologieën zoals FinFET en AI-geoptimaliseerde processors te ontwikkelen en op de markt te brengen. Met gerichte investeringen in talentontwikkeling en technologiedomeinen, zoals quantum en fotonische chips, kunnen we ons onder-

scheidend vermogen verder versterken en ervoor zorgen dat Nederland een cruciale rol speelt in de halfgeleiderwaardeketen van de toekomst. Van daaruit ontstaan over een aantal jaren nieuwe bedrijven, die uiteindelijk een eigen productiefaciliteit rechtvaardigen doordat we deze faciliteiten kunnen vullen met eigen producten. Daar profiteren dan uiteindelijk ook onze equipment en packaging bedrijven van. Win-win!

Belangrijk is ook om in deze periode de samenhang tussen chip design, geavanceerde packaging en hightech equipmentontwikkeling te optimaliseren. De ontwikkeling van gespecialiseerde kennis en vaardigheden in zowel chip design als packaging is essentieel om Nederlands concurrentiepositie op lange termijn te waarborgen en de halfgeleiderwaardeketen te versterken. Daardoor zijn we in staat om Nederland positioneren als een centraal innovatiecentrum in Europa met de creatie van duizenden hoogwaardige banen en nieuwe exportmarkten als gevolg. Dit moet leiden tot een potentiële toename van het BBP.

Hoe gaan we dat doen?

We stellen voor om te profiteren van het enorme potentiële toekomstige verdienvermogen door onze duurzame concurrentiepositie uit te breiden. We hebben verschillende grote kansen geïdentificeerd voor de chip design sector (ook aangegeven in de Nationale Technologiestrategie).

Binnen de pijler Chip Design hebben we op basis daarvan activiteiten gedefinieerd die gericht zijn op 1) het verduurzamen van IC design, 2) het efficiënter inrichten van design en productie door onder andere beheersing van de complexiteit en het ontwikkelen van gestandaardiseerde IP en modellen, en 3) op innovatie en business development voor het creëren van nieuwe markten in specifieke sectoren.

Op basis van de analyse van de Nederlandse chip design sector en de geïdentificeerde kansen richten we ons op kennisontwikkeling voor de volgende markt-/technologiegebieden:

- RF
- Analog & Mixed-Signal (AMS)
- AI processors (AIProc)
- Heterogenous integration (Hint)
- Power & High Voltage (PHV)

Daarnaast komt er een set Generieke Activiteiten (GA) die bijdragen aan alle marktgebieden.

Beoogde resultaten (zie samenvatting werkpakketten onder 3.2.4)

- Nieuwe apparaten, architecturen en materialen voor meer efficiëntie, waaronder AI-geoptimaliseerde RF- en Analog & Mixed-Signal-chips, chips voor geavanceerd batterijbeheer, slim energiebeheer en -modules, inclusief WBG-halfgeleider-technologie en -apparaten, voor meer efficiëntie en hogere vermogensdichtheden. Dit versterkt onze technologische positie en levert concurrentievoordeel op.
- Verhoogd niveau van systeemintegratie naar heterogene integratie.
- Vermindering van de impact op het milieu, door verbeterde energie-efficiëntie, energy harvesting (elektronica zonder batterijen), minder (giftige) grondstoffen, verbeterde betrouwbaarheid en levensduur.
- Lagere Cost of Ownership voor eindklanten, hetgeen ons nationale concurrentievermogen versterkt.
- Behoud van de fundamentele kennisbasis voor voortdurende halfgeleiderinnovatie.

Uitbreiding van onderzoek, ontwikkeling en innovatie zal de kennisbasis die cruciaal is voor toekomstige doorbraken niet alleen in stand houden, maar ook uitbreiden.

Beoogde impact van het project

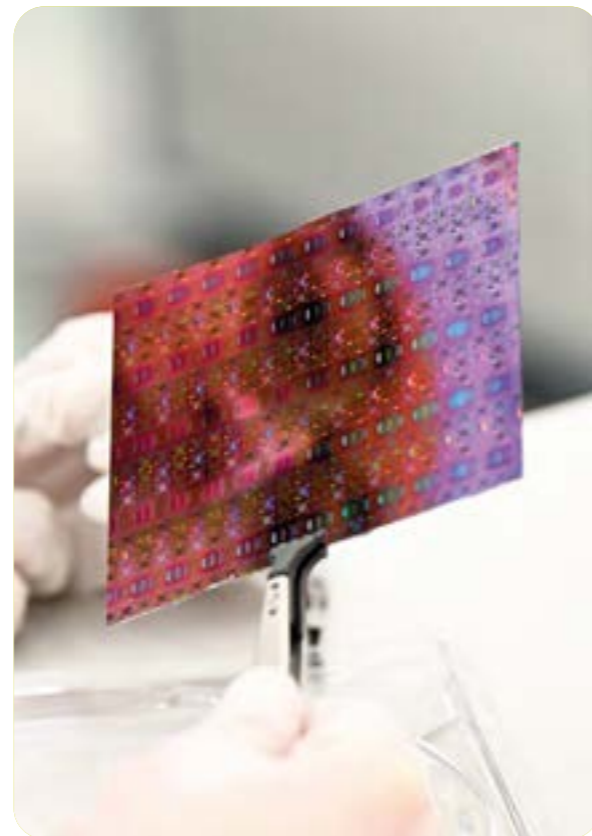
Impactdoel 1: Veiligstellen cruciale chip design kennis en behoud concurrentiepositie

De VS, China, Zuid-Korea en Taiwan domineren de markt op het gebied van design en productie, maar missen wellicht een evenwichtige en geïntegreerde aanpak. Deze concurrenten breiden hun capaciteiten snel uit door enorme investeringen. Om ons concurrentievoordeel te behouden, is het van cruciaal belang om interne expertise te ontwikkelen op het gebied van **chipontwerp op systeemniveau**, AI-verwerking en HMLV (high-mix, low-volume) productiecapaciteiten - de productie van een breed scala aan producten of componenten in relatief kleine hoeveelheden. Met onze uitgebreide HMLV-mogelijkheden kunnen we sneller prototypes maken en testen, waardoor we **de toepassing van innovatieve en baanbrekende architecturen en technologieën effectief naar links kunnen verschuiven** (eerder in de ontwikkelingslevenscyclus). Dit zorgt ervoor dat we toonaangevend blijven op gebieden waar precisie en innovatie het belangrijkste zijn, in plaats van voorbijgestreefd te worden door concurrenten met grote volumes en lagere kosten. **Belangrijke kennisgebieden die we over 10 jaar in huis hebben**, zijn geavanceerde chiparchitecturen, co-designcapaciteiten en integratie tussen hardware en AI-gestuurde toepassingen.

Dit gaat niet alleen over het behouden van onze concurrentiepositie, het gaat over het veiligstellen van de controle op lange termijn over kritieke technologieën die onze nationale veiligheid, economie en leiderschap op het gebied van innovatie ondersteunen.

Impactdoel 2: Positie pakken op toekomstige chiptechnologieën & integratie met huidige sterktes

Hoewel Europa achterloopt op het gebied van geavanceerde CMOS-nodes, zijn er nog volop kansen voor innovatie. We richten ons op de ontwikkeling van de chips van de toekomst, zoals verticaal gestapelde transistors en andere doorbraken die binnen tien jaar de norm kunnen worden. En vanwege de doorontwikkeling van RF- en Analog & Mixed-Signal technologie, kunnen we over tien jaar een doorbraak realiseren in energie-efficiëntie en connectiviteit. We stellen Nederlandse halfgeleiderbedrijven in staat de innovatieniveaus en -snelheid op te voeren - in het bijzonder in producten voor RF, Analog & Mixed-Signal (AMS), AI-processoren, Power & High Voltage gecombineerd met advanced CMOS binnen het Nederlandse ecosysteem. Onderzoeksinstituten zoals imec en Leti kunnen hierbij een leidende rol spelen, in nauwe samenwerking met universiteiten en bedrijven.



Daarmee creëren we de internationaal concurrerende randvoorwaarden in Nederland voor R&D-activiteiten op het gebied van chip design en het testen, assembleren en verpakken van chips, effectief gekoppeld aan front-end capaciteiten (elders) in Europa.

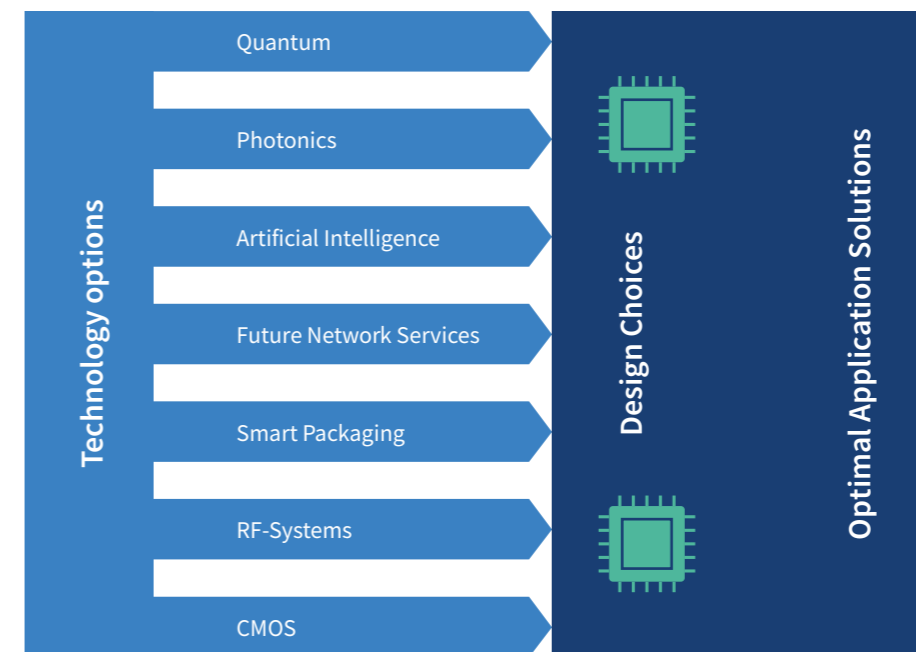
Impactdoel 3: Chip design als enabler voor volgende generatie equipment

Vanwege de grote fabrikanten van hightech apparatuur is Nederland de ideale omgeving voor het ontwerpen van ASIC's. Deze bedrijven creëren toegang tot geavanceerde technologieën en gespecialiseerde kennis, wat cruciaal is voor het ontwerpen van maatwerkchips. Bovendien zorgt een nauwere samenwerking tussen designers en fabrikanten voor het sneller inspelen op specifieke technologische behoeften en innovaties. De directe interactie met eindgebruikers van ASIC's zorgt ervoor dat designs perfect aansluiten op praktijkgerichte eisen, terwijl gezamenlijke R&D-initiatieven het innovatieproces versnellen. Het huidige ecosysteem biedt een unieke omgeving voor het ontwikkelen van hoogwaardige, toepassings-specifieke chips.

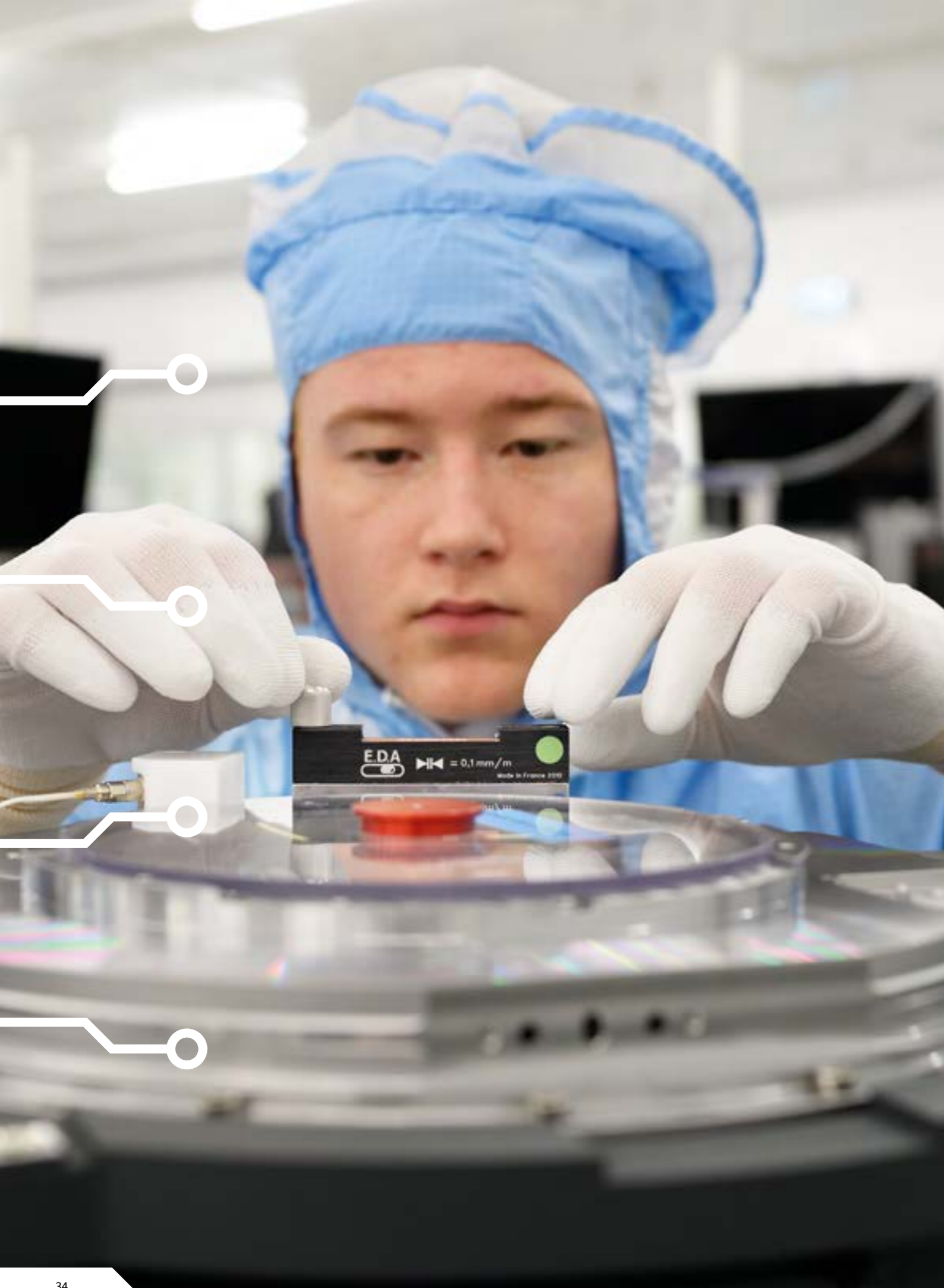
Door in te zetten op nieuwe en betere chip designs kan Nederland over 10 jaar een wereldwijde leidende rol pakken in de ontwikkeling en levering van de volgende generaties hightech apparatuur. Er kan een win-win-samenwerking ontstaan, waarbij de toepassingspelers een concurrentievoordeel behalen met first-of-a-kind chipgebaseerde waardeproposities, terwijl de pure technologiespelers hun toepassingsexposure uitbreiden naar de hightech apparatuurruimte.

Impactdoel 4: Batterijloze toekomst & veilige digitale samenleving

Met geavanceerde chips die nieuwe toepassingen aandrijven, van gezondheidszorg tot schone energie, nemen we een kritieke positie in wereldwijde toeleverketens en helpen we urgente maatschappelijke uitdagingen aan te pakken. We gaan de uitdaging aan om - tijdig - de innovatieve oplossingen en componenten te leveren, bijvoorbeeld voor geavanceerd batterijbeheer, slim energiebeheer, energy harvesting en vermogensmodules, die nodig zijn om voor maatschappelijke transitie als energie, zorg, mobiliteit, data & security.



Figuur 6: De technologische opties en toepassingsoplossingen waarvoor Nederlandse chip designers de juiste keuzes kunnen maken.



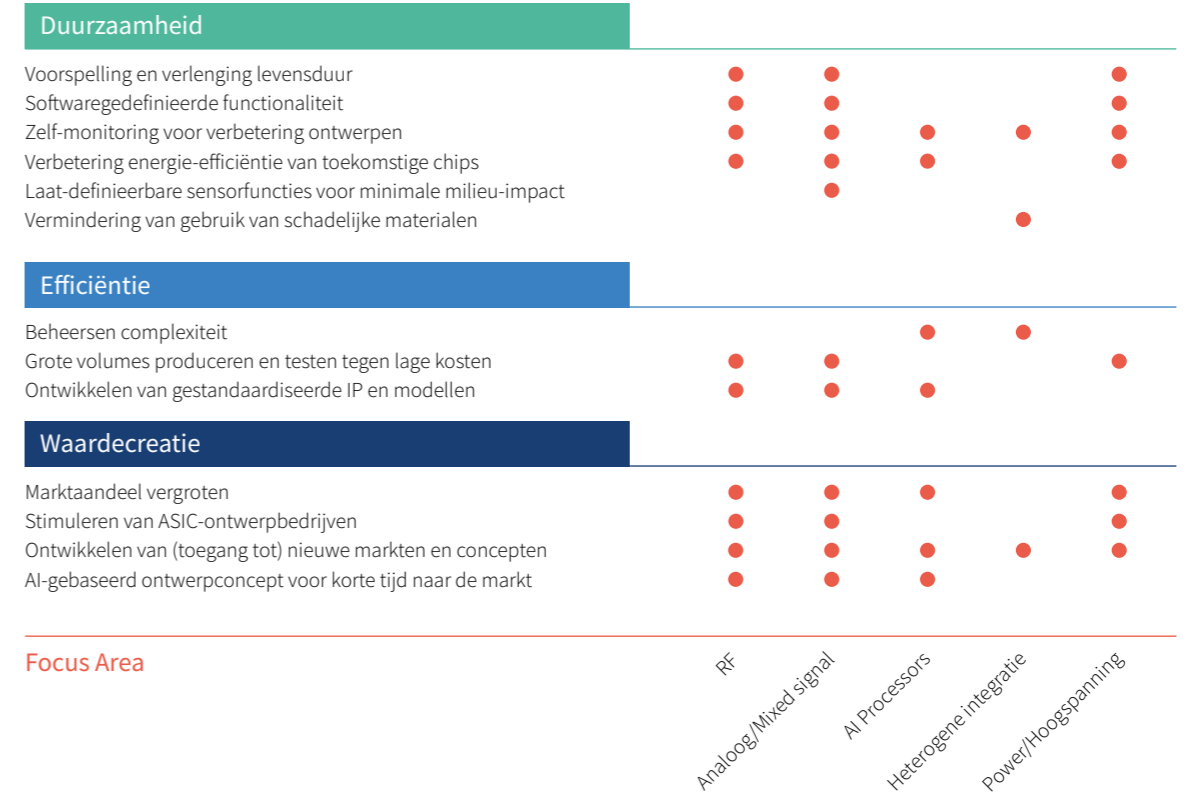
Een voortdurende vooruitgang in analoge schakelingontwerp zal essentieel zijn om onder meer de energietransitie te versnellen, met als doel een batterijloze toekomst. Deze technologieën moeten bestand zijn tegen omgevingsstoringen, zoals ruis en interferentie, wat cruciaal is om een veilige en veerkrachtige digitale samenleving te waarborgen. Schakelingen met een laag energieverbruik zullen de autonomie van systemen vergroten en ze robuuster maken, met toepassingen die variëren van gezondheidszorg tot landbouw, en van AI tot datacenters.

In de komende decennia zullen geavanceerde RF-componenten en systemen, zoals die gebruikt worden in 5G en 6G netwerken, zorgen voor ongekende economische en maatschappelijke mogelijkheden. De introductie van Wifi-7 en IoE (Internet of Everything) zal onze digitale connectiviteit versterken, wat leidt tot nieuwe toepassingen in sectoren als mobiliteit, energie en gezondheidszorg. Om aan de eisen van deze systemen te voldoen, is het noodzakelijk om de kloof tussen de huidige prestaties en de vereisten op het gebied van energie-efficiëntie, bandbreedte en dynamisch bereik te dichten.

3.1.4 Samenvatting van de werkpakketten

De pijler Chip Design is opgedeeld in 3 ontwikkelpaden: duurzaamheid, efficiëntie en waardecreatie. De activiteiten binnen deze paden zullen ervoor zorgen dat Nederland een competitieve voorsprong behoudt in chip design en packaging, met specifieke focus op de ontwikkeling van nieuwe markten en technologieën, zoals AI-geoptimaliseerde hardware en energiebeheer. Duurzaamheid loopt als een rode draad door alle werkpakketten, van energiebesparend chip design tot het verminderen van de ecologische footprint in packaging en equipment. Daarmee versterkt Nederland haar voortrekkersrol in duurzame technologieën.

1. Duurzaamheid: In wezen is het verband tussen chip design en duurzaamheid rechtlijnig, omdat chipintegratie meer capabele systemen mogelijk maakt die, dankzij miniaturisatie, veel minder energie verbruiken en minder materiaal nodig hebben. Als zodanig zal miniaturisatie blijven zorgen voor incrementele duurzaamheidsverbeteringen. Er kan echter nog meer grote vooruitgang worden geboekt, zoals beschreven in de drie activiteiten van Werkpakket 1.



Figuur 7: De opzet van de Chip Design pijler. Onder de algemene ChipNL-hoofddoelen Duurzaamheid, Efficiëntie en Waardecreatie zijn de projectdoelen opgenomen. Op de horizontale as (focus area) zijn de marktgebieden weergegeven. De focusgebieden dragen bij aan een of meerdere projectdoelen zoals weergegeven met oranje bollen.

2. **Efficiëntie:** Werkpakket 2 richt zich op drie belangrijke doelstellingen: 1) het beheersen van de complexiteit van het ontwerp, 2) het mogelijk maken van goedkope productie en testen in grote volumes, en 3) het ontwikkelen van gestandaardiseerde IP en modellen. De taken richten zich op het verbeteren van ontwerp-processen en productie-efficiëntie door verbeteringen in RF, Analoog, Mixed-Signal, AI Processors, Heterogene Integratie en Power & High Voltage domeinen. Door gebruik te maken van nieuwe methodologieën, AI/ML-technieken en standaardisatiepraktijken zijn we klaar om de uitdagingen aan te gaan van het opschalen van de productie met behoud van geavanceerde prestaties.
3. **Waardecreatie:** Werkpakket 3 omvat meerdere IC-ontwikkelingsinitiatieven op het gebied van Chip Design, waarbij verschillende in Nederland gevestigde halfgeleiderbedrijven samenwerken en participeren op geselecteerde aandachtsgebieden om: 1) het marktaandeel in geselecteerde toepassingsgebieden te vergroten, 2) ASIC design houses te ondersteunen (ondersteunende fabrikanten van apparatuur) en 3) MKB-bedrijven te ondersteunen bij het ontwikkelen van nieuwe markten en concepten. Er zullen sterke koppelingen zijn tussen de activiteiten in WP3 en de andere werkpakketten die betrekking hebben op apparatuur, proces- en pakketontwikkeling, methodologie en productie.

Voor de ambities en activiteiten van de pijler Chip Design ligt de focus op waardecreatie, vanwege het grote aantal kansen in de chip design sector. De technologische sprong voorwaarts binnen de pijlers equipment en packaging zijn kritische enablers voor het ontwerpen van de nieuwe generatie chips. Daarmee creëert de gecombineerde inspanningen op chip design, packaging en equipment een geïntegreerd chip ecosysteem dat niet alleen economisch waarde toevoegt, maar ook een concurrentievoordeel biedt voor Nederland in de mondiale halfgeleiderindustrie. Die concurrentiepositie wordt nog eens extra verstevigd door het ontwerpen (en produceren) van duurzame chips. We zien dit niet slechts als ethische noodzaak, maar vooral ook als strategische kans om de kosten te verlagen en onze positie op de wereldmarkt te versterken.

3.1.5 Kennisvragen

Het innovatieplan is een industriegedreven plan, waarbij de samenwerking gezocht dient te worden met kennisinstellingen. Voor het uitvoeren van de activiteiten voor chip design, zijn de volgende kennisvragen geformuleerd.

Verbeterde ontwerpmethodologieën voor chipontwerp

- Hoe gebruiken we AI-tools in de ontwerpflow om efficiëntie te verbeteren en complexiteit aan te pakken?
- Hoe ontwerpen we chips die systeemprestaties en functionaliteiten verbeteren en tegelijkertijd de ecologische voetprint en het energieverbruik verminderen zonder in te leveren op prestaties of functionaliteiten?

Nieuwe ontwerpmethodologieën die heterogene systemen mogelijk maken met behulp van chipleets en geavanceerde verpakking

- Hoe creëren we nieuwe ontwerpmethodologieën die bestaande pure-chipontwerpmethodes in geavanceerde CMOS en andere halfgeleider-technologieën (bijvoorbeeld InP) combineren met geavanceerde verpakking-ontwerpmethodes?
- Hoe kunnen we co-design processen verbeteren om zowel de prestaties als de duurzaamheid in echte toepassingen te optimaliseren?
- Hoe kunnen verschillende spelers een deel van een multi-chip heterogeen package (co-)designen?
- Hoe kunnen nieuwe modelleer- en simulatietechnologieën helpen omgaan met de toenemende complexiteit?

Nieuwe analoge en digitale circuitconcepten

- Hoe kunnen we een chip zo ontwerpen om de levensduur en faalindicatie te verbeteren en de levensduur te voorspellen in een nieuwe generatie chips zonder prestaties of functionaliteiten in te leveren?
- Hoe kunnen autonome zelflerende tinyML chips worden ontworpen?
- Hoe kunnen we chips en single-photon detectoren ontwerpen voor cryogene temperaturen (voor quantum computing)?
- Hoe kunnen analoge bouwstenen (zoals ADC's, RF-zenders/ontvangers) verder worden verbeterd dan 'state-of-the-art', bijvoorbeeld door gebruik te maken van geavanceerde kalibratietechnieken met slimme volledig digitale algoritmen en algoritmen die gebruik maken van machine learning/AI?

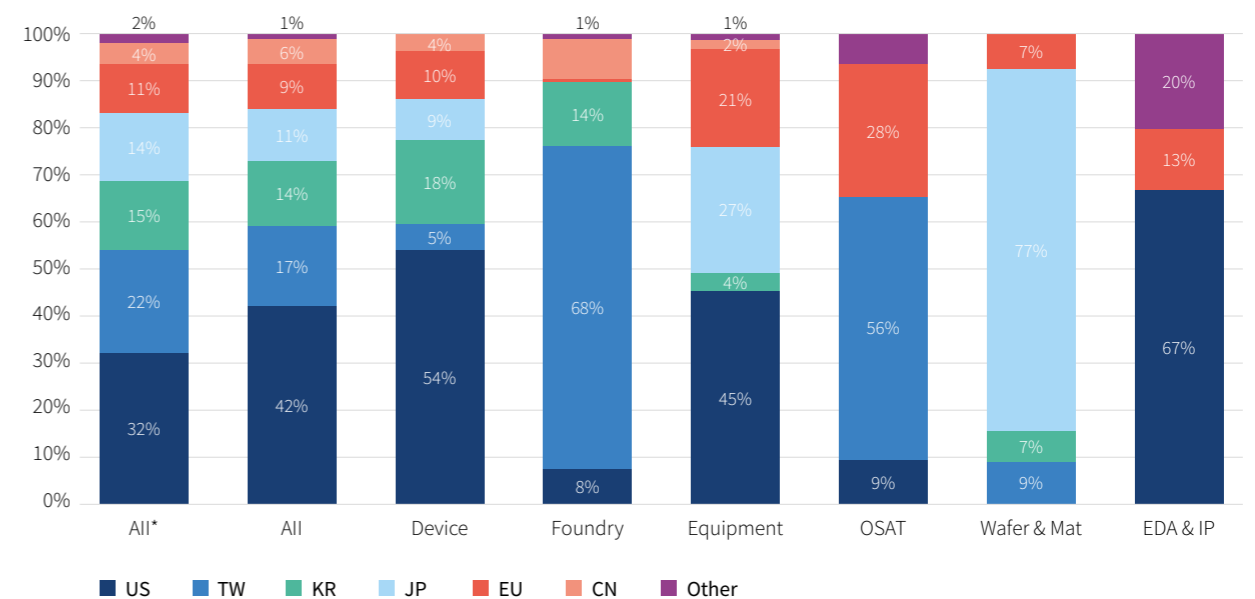
3.2 Pijler Packaging

In de wereld van packaging vindt er momenteel een paradigm shift plaats: waar in het verleden de packaging-industrie toebehoorde aan onafhankelijke OSAT's (Outsourced Semiconductor Assembly and Test bedrijven) en IDM's (Integrated Device Manufacturers) in vooral Aziatische landen, stappen nieuwe spelers met andere verdienmodellen in de markt: van foundries en substraat/PCB leveranciers tot Electronic Manufacturing Services (EMS) en Original Design Manufacturers (ODM). Zij winnen geleidelijk marktaandeel van de traditionele packaging-producenten. Ook vindt er een verschuiving plaats van productielocaties. Packaging is sinds jaar en dag het domein van Taiwan en later ook China, maar opkomende landen als Vietnam, Thailand, India, Filippijnen en Maleisië grijpen hun kansen om productie naar zich toe te trekken. Deze diversificatie van de supply chain is positief en kan de kans op tekorten verminderen, maar het is nog maar de vraag of zij in staat zijn om de packaging-productie in China te evenaren.

Specifiek voor packaging is het minder afhankelijk worden van Azië en de VS een grote uitdaging: geen van de wereldwijde top 50 OSAT's is Europees, en ook de IDM's zoals Intel en TSMC zijn niet Europees. Hoewel we in Europa zeker IDM's van formaat hebben, zoals Infineon, STMicroelectronics en NXP, is Azië ook hier wereldwijd de absolute koploper.

Omdat de packaging-markt in beweging is, is er momentum en liggen er kansen die we kunnen grijpen. Willen we bijdragen aan de technologische soevereiniteit van Europa en onze (Nederlandse) positie in de mondiale waardeketen beschermen en versterken, dan is dit het moment. Nederland is vanwege haar unieke kennispositie in staat om een zeer belangrijke bijdrage te leveren aan het beschermen en opbouwen van een eigen advanced packaging waardeketen en daarmee de concurrentiepositie van het bedrijfsleven te verstevigen.

2022 Marktaandeel halfgeleiders per geografisch gebied in %



CN + TW: 84% of OSAT

JP + KR: 84% of Wafers & Material

(Bron: Yole, Pack4EU results)

Packaging uitgelegd

Van eenvoudige bescherming tot innovation driver

Packaging in de halfgeleiderindustrie verwijst naar het proces van het omhullen van een elektronische chip om deze te beschermen tegen fysieke schade, elektrische verbindingen te maken, warmte af te voeren en de chip te integreren in een groter systeem. De packagingindustrie bestaat uit twee hoofdspelers: Integrated Device Manufacturers (IDMs) en Outsourced Semiconductor Assembly and Test bedrijven (OSAT's). IDM's, zoals Intel en TSMC, beheren het volledige productieproces inclusief packaging, terwijl OSAT's zich specialiseren in het verpakken van elektronische componenten voor hun klanten.

In het verleden diende packaging slechts als een eenvoudige behuizing, ontworpen om de delicate chip te beschermen tegen externe invloeden. Het proces omvatte stappen zoals het sorteren en slijpen van de chip, het plaatsen en verbinden van componenten, encapsulatie, het aanbrengen van thermische oplossingen, en het testen en inspecteren van de modules. Dit proces was gestandaardiseerd en veranderde weinig door de jaren heen. Daardoor was het een aantrekkelijk domein voor de lagelonenlanden. Deze situatie is echter drastisch veranderd door de opkomst van geavanceerde technologieën, zoals 5G, 6G, Internet of Things (IoT), kunstmatige intelligentie en zelfrijdende voertuigen. In deze context is packaging veel meer geworden dan een eenvoudige fysieke bescherming: het is nu een integraal onderdeel van het ontwerp en de functionaliteit van de chip zelf, en speelt een cruciale rol in het verbeteren van de prestaties en efficiëntie van elektronische systemen. We noemen dit advanced packaging (AP): een reeks geavanceerde assemblage-technologieën die gericht zijn op het integreren van meerdere chipllets in een enkele verpakking, het handhaven van de Wet van Moore, het verhogen van de systeemprestaties en het verbeteren van de energie-efficiëntie, terwijl de kosten worden verlaagd. Belangrijk om te weten is dat hiervoor andere type machines, materialen en processen nodig zijn dan voor de traditionele manier van verpakken. Spelers in de markt van AP investeren enorm in het ontwikkelen van nieuwe materialen en substraten, lithografie-processen, chemische processen en het testen van individuele chips na productie.

Een goed voorbeeld van de rol die advanced packaging inneemt in de waardeketen is de ontwikkeling van nieuwe 6G-radiochips. Bij deze zogenaemde RF-chips moet de antenne in de package worden geïntegreerd om zo te zorgen voor optimale prestaties. De benodigde ontwerp synergie tussen de RF-chip en de antenne-in-package is essentieel om deze technologie te laten werken. Ook speelt advanced packaging een belangrijke rol in de ontwikkeling van Power Electronics, zoals elektrische voertuigen, zonnestroomsystemen, datacenters en hogesnelheidstreinen, voor het integreren van kleine functionele blokken in een grotere verpakking (chipllets) voor meer flexibiliteit en functionaliteit, voor quantum computing en voor fotonica. De combinatie van verschillende technologieën en materialen in één package maakt het mogelijk om nieuwe functionaliteiten en toepassingen te realiseren die voorheen niet mogelijk waren. Advanced packaging is dus niet meer 'slechts' een beschermende omhulling, maar een innovation driver die een cruciale rol speelt in het voldoen aan de steeds hogere eisen van moderne technologieën en toepassingen in de halfgeleiderindustrie.

3.2.1 Positie Nederlandse packaging sector

Om inzicht te krijgen in de Nederlandse positie binnen advanced packaging, is het goed om deze te plaatsen in een Europese context.

Europa heeft een prominente positie in de wereldwijde elektronica-industrie, met een sterke aanwezigheid in verschillende marktsegmenten. Ongeveer 62% van de toepassingsmarkten in Europa zijn consumentgericht, zoals mobiele apparaten en consumentenelektronica. Daarnaast is 21% van de markten gerelateerd aan infrastructuur, zoals internet servers en telecommunicatie, en 18% aan high-end toepassingen, waaronder de automobiellindustrie, medische technologie, industriële toepassingen, defensie en lucht- en ruimtevaart.

Europa herbergt Integrated Device Manufacturers (IDM's) die goed meedraaien op het wereldtoneel, zoals STMicroelectronics (STM), Infineon, Bosch en NXP. Deze bedrijven genereren elk jaar meer dan \$ 50 miljard aan omzet en hebben interne packaging-capaciteiten. Echter, een groot deel van hun packaging-behoefte wordt uitbesteed aan faciliteiten buiten Europa, voornamelijk in Azië.

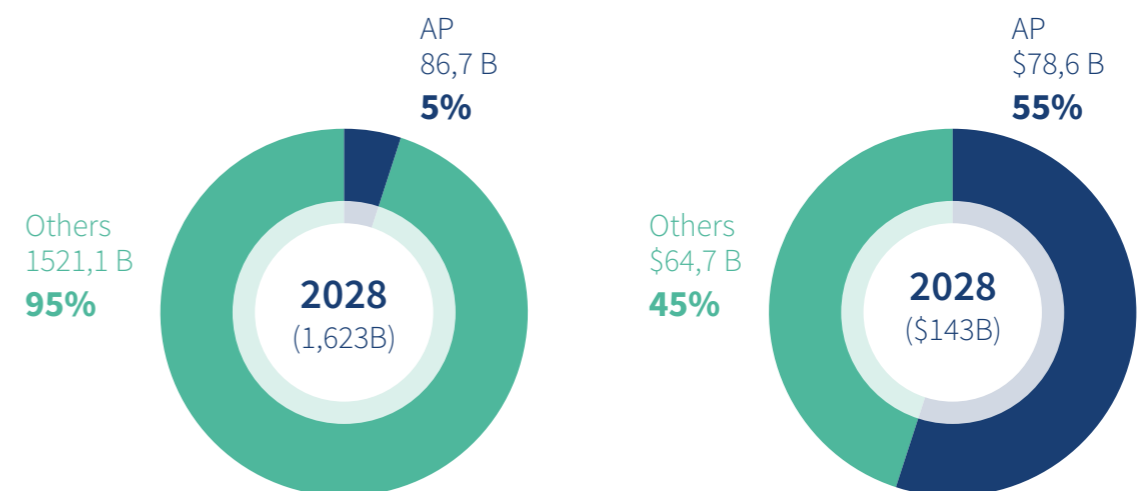
De vraag naar packaging in Europa is vooral geconcentreerd in de automobiel- en industriële sectoren. Ondanks deze vraag heeft geen van de grote Outsourced Semiconductor Assembly and Test bedrijven (OSAT's) een productiefaciliteit in Europa. Amkor Technology Portugal (ATEP) is de enige OSAT met een aanwezigheid in Europa, maar slechts 50% van hun vraag komt van Europese klanten.

Europa heeft ook een aantal kleine, gespecialiseerde packaging-bedrijven die voornamelijk traditionele packaging-oplossingen bieden, en er zijn verschillende IC-ontwerpserviceproviders die ASIC-design en packaging design aanbieden. Bovendien heeft Europa sterke spelers in de packaging materialen- en apparatuursector, zoals Henkel, Heraeus, Roartis, AT&S, EVG, BESI, Evatec, Formfactor en Ficontec. Ook beschikt het over wereldklasse onderzoeksinstituten, zoals imec, Fraunhofer en CEA-Leti, die bijdragen aan de kennis en ontwikkeling van geavanceerde packaging.

Europa en packaging

In 2022 bedroeg de omzet van advanced packaging 47% van de totale verpakkingsmarkt. Rond 2028 zal de omzet stijgen tot ongeveer 58%, terwijl het slechts 5% van het volume vertegenwoordigt (zie figuur 8). Advanced packaging krijgt veel tractie van AI en computing en zal de komende jaren andere markten bereiken.

De belangrijkste Europese applicatiemarkten die gebruik maken van advanced packaging-faciliteiten zijn Automotive, Telecom, Medical, Defense en Aerospace. Binnen deze domeinen zijn verschillende trends aan te wijzen, onderzocht door Pack4EU. Binnen dit project is op verzoek van de Europese Commissie onderzoek gedaan naar de packaging-industrie, waar vrijwel alle grote spelers binnen Europa aan mee hebben gewerkt. Verwacht wordt dat toepassingen als ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), connectivity en infotainment (voor Automotive), 6G en Co-Packaged Optics (Telecom), MEMS-sensoren (Industrie), infraroodspelers en tactische RF (Soevereine markten) en MEMS-componenten, HD-camera's en vermogenslektronica (Medical) een vlucht gaan nemen.



Figuur 8: Advanced packaging in volume (links) is verantwoordelijk voor 5% van het marktaandeel tegen een waarde van 55% in 2028 (rechts), bron: Yole.

Onderzoek Pack4EU: applicatiemarkten voor advanced packaging

Auto-industrie: De Europese verpakkingsmarkt voor auto's vertegenwoordigt een waarde van 4,56 miljard euro en is van cruciaal belang voor de Europese economie. In het meest optimistische scenario zal de auto-industrie advanced packaging binnen 3 jaar toepassen, aangedreven door onder andere ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), connectivity en infotainment.

Telecom: Europa is sterk in de RF-industrie en meer specifiek de markt voor basisstations waar Europa een marktaandeel heeft van 42% en een omzet genereert van 21,56 miljard euro. Ericsson en Nokia bekleden respectievelijk de 2e en 3e plaats met marktaandelen van 25 en 17%. Op het gebied van chips is NXP Europees leider met een marktaandeel van 32%. Andere belangrijke spelers zijn STMicroelectronics en Infineon. Het is voor Europa belangrijk om te anticiperen op de toekomstige ontwikkeling van 6G (met een sterke research basis in Europa, Azië en VS) en Co-Packaged Optics.

Industrie: De industrie moet haar impact op het milieu verminderen en haar energieverbruik beter beheersen. Voor digitalisering zijn veel sensoren nodig die verbonden zijn met randcomputers. Dit leidt tot een sterk gefragmenteerde behoefte en markt. Europa heeft een sterke positie in sensoren en de groei voor industriële MEMS-sensoren bereikt dubbele cijfers met een CAGR van 13,27%.

Soevereine markten: Sinds 2014 is Defensie en Lucht- en Ruimtevaart in Europa toegenomen met een totale uitgavenpost van 214 miljard euro in 2021. De kracht in Europa ligt bij infraroodspelers (Lynred, Thales, Theon, Safran) en tactische RF (Bittium, Saab Grintek, Thales). De totale markt bedraagt 690 miljoen dollar, waarvan de meeste onderdelen in Europa worden geproduceerd.

Medisch: Europa is sterk vertegenwoordigd met spelers als Medtronic (13% marktaandeel) en Philips (9% marktaandeel) op een wereldmarkt van 530 miljard dollar. Siemens Healthineers heeft een marktaandeel van 14% in de markt voor medische beeldvormingsapparatuur (40 miljard dollar) en Biomérieux heeft 13% van de markt voor IVD- en biologie-instrumenten (11 miljard dollar) in handen. De behoeften van deze markt op het gebied van halfgeleiders zijn sterk gefragmenteerd en kan MEMS-componenten, HD-camera's en vermogenselektronica omvatten. Het vertegenwoordigt een markt van 242 miljoen euro voor verpakkingen met een hoge mix. De markt is in beweging door de verschuiving van zorg in ziekenhuizen naar personalized healthcare aan huis.

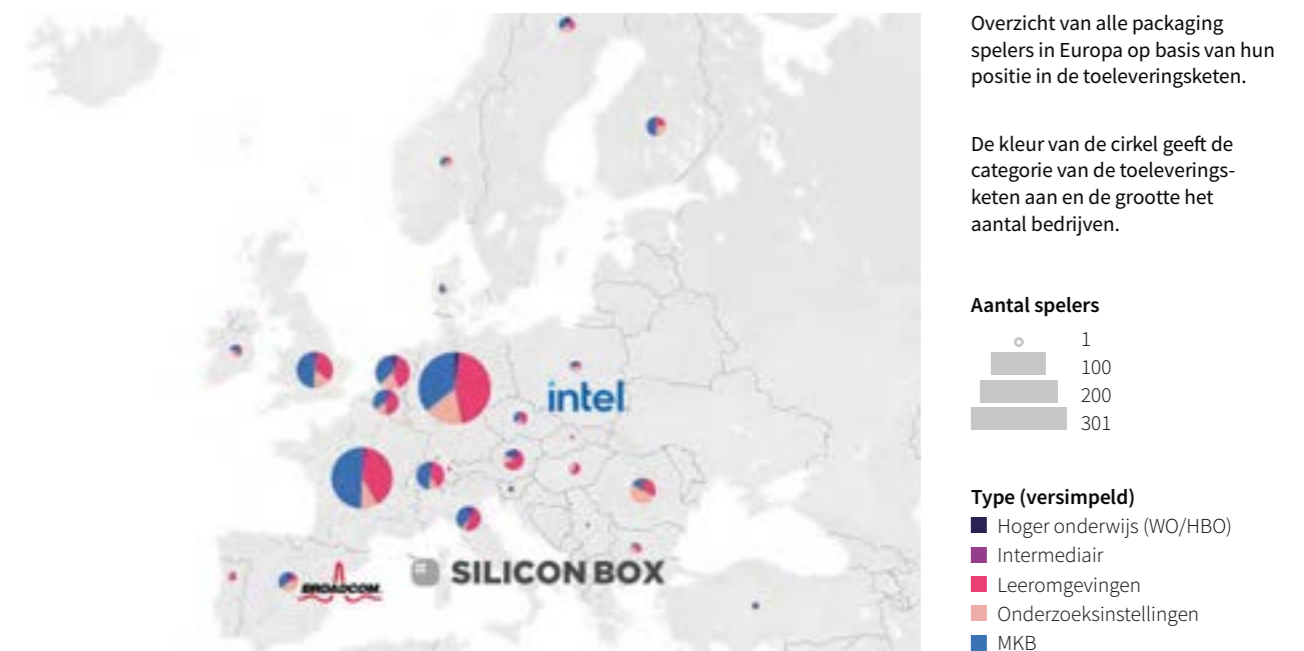
De positie van Nederland

Binnen Europa nemen Nederlandse bedrijven, kennis en onderzoeksinstellingen een belangrijke positie in, zoals ook te zien is in onderstaande figuur 9.

De combinatie van technologische knowhow, ondernemerschap en praktische toepassingen biedt Nederland een sterke basis om een leidende rol te blijven spelen in advanced packaging binnen de Europese Unie. Daardoor kunnen innovatieve oplossingen geboden worden voor complexe uitdagingen, zoals het verbeteren van de energie-efficiëntie en het vergroten van de rekenkracht van chips. Dit omvat toegepast onderzoek over het ontwikkelen van packaging-processen, -materialen en chipintegratie technologieën, zoals interposers, 2D- en 3D-integratie voor het samenvoegen van analoge, digitale en fotonische chips en de kennis om nieuwe productieapparatuur voor advanced packaging te ontwikkelen. Daarnaast heeft Nederland een unieke positie in printed electronics (additieve technologieën). Door gebruik te maken van 2D- en 3D-printtechnologieën, kunnen complexe structuren gecreëerd worden, waardoor het aantal stappen in het advanced packaging-proces gereduceerd kunnen worden.

Binnen **equipmentontwikkeling** kent Nederland een aantal bedrijven die bijdragen aan een sterke advanced packaging uitgangspositie:

- **BESI:** is een toonaangevende speler in de advanced packaging industrie, gespecialiseerd in high-end back-end assemblageapparatuur. Het bedrijf heeft een strategische positionering in substraat- en wafer level packaging, die essentieel zijn voor high-performance en compacte elektronische apparaten. BESI's innovatieve oplossingen en robuuste portfolio maken hen tot een cruciale speler in de waardeketen van halfgeleiders.
- **ITEC:** is gespecialiseerd in de ontwikkeling en productie van geavanceerde productieapparatuur (die attach, discrete tester, optical inspection) en automatiseringsoplossingen voor chipproductie. Hun focus op packaging equipment biedt innovatieve oplossingen voor het optimaliseren van de productie-efficiëntie en precisie in het assemblageproces. Hoewel hun specifieke marktaandeel in advanced packaging moeilijk vast te stellen is, maakt hun historische samenwerking met NXP en Nexperia hen tot een belangrijke speler binnen de halfgeleiderindustrie.



Figuur 9: Positie van alle packaging spelers in Europa, gezien hun positie in de waardeketen, bron: Yole.

- **FononTech** is een relatief kleine, jonge maar innovatieve speler in de advanced packaging-industrie. De technologie die het bedrijf gebruikt is gericht op technologieën zoals Impulse Printing™, dit is een op warmte gebaseerde contactloze depositietechnologie voor de productie van elektronica met een hoog volume. Het maakt afdrukken met hoge resolutie van functionele materialen op complexe 3D-oppervlakken met een hoge doorvoer mogelijk. Ze starten met nichemarkten binnen packaging en bieden gespecialiseerde oplossingen die bijdragen aan de miniaturisatie en prestaties van geavanceerde elektronische apparaten. Hoewel hun marktaandeel beperkt is in vergelijking met grotere spelers, heeft hun technologie het potentieel om impact te maken binnen specifieke sectoren van de markt. Hun innovatieve technologie speelt een zeer belangrijke rol in dit plan, aangezien hun nieuwe additive manufacturing technologie Impulse Printing een cruciale stap in het packaging-proces overbodig maakt.

Nederland heeft een robuust ecosysteem van **toeleveranciers, systeemintegratie- en engineeringbedrijven**, zoals VDL-ETG en DEMCON.

- **VDL-ETG:** bekend als een industriële en technologie-groep, speelt een ondersteunende rol in de advanced packaging-industrie, vooral op het gebied van systeem-integratie en machinebouw. Ze leveren hightech oplossingen die essentieel zijn voor de productie en automatisering van packaging-processen in de halffegeleidersector. Hoewel hun directe marktaandeel in packaging beperkt is, dragen hun engineering- en productiecapaciteiten

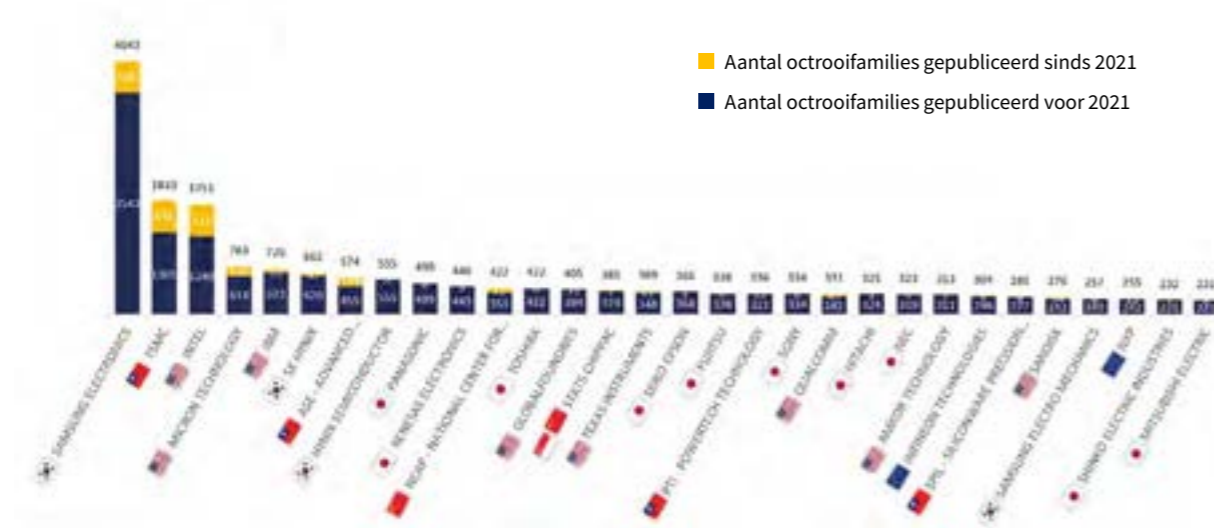
aanzienlijk bij aan de ontwikkeling van geavanceerde productietechnologieën in Europa.

- **DEMCON:** biedt gespecialiseerde oplossingen in mechatronische systemen en hightech equipment, die van groot belang zijn voor geavanceerde packaging-processen in de halffegeleiderindustrie. Hun engineering-expertise op het gebied van precisietechnologie maakt hen een gewaardeerde partner voor bedrijven die zich richten op innovatie in de packaging-sector. DEMCON speelt ook een rol bij de ontwikkeling van nieuwe technologieën en productielijnen voor packaging, hoewel hun marktaandeel voornamelijk in de ondersteunende infrastructuur ligt.

Overige bedrijven die allen een goede positie hebben binnen het packaging speelveld zijn Nexperia, Ampleon, APC, Neways en Phix Photonic Assembly, systeembedrijven als Philips, Signify en Prodrive, en vele andere uitstekende bedrijven voor verpakkingsapparatuur, zoals ASMI, KNS en Boschman.

Nederland beschikt binnen Europa tevens over relevante patentposities op advanced packaging met NXP en CITC. NXP is één van de twee Europese bedrijven met relevante packaging patenten in huis (255 gepubliceerde patent-families¹), zie figuur 10. Het CITC heeft voor het nieuwe packaging-proces inmiddels 4 patentaanvragen ingediend (naast 2 bestaande patenten die reeds toegekend zijn), en begin 2025 komen er naar verwachting nog 2 bij. Ook verwachten zij binnen huidige lopende onderzoeksprojecten nieuwe patenten te kunnen realiseren.

Rangschikking van octrooihouders op basis van het aantal van hun octrooifamilies



Figuur 10: Ranking van patenten wereldwijd binnen de packaging-industrie. Bron: Knowmade

¹ Een check bij de Lens.org database laat zien dat het aantal relevante patenten gelijk is gebleven.

Op het gebied van **additive productietechnologieën** kent Nederland een aantal toonaangevende spelers die bijdragen aan een sterke advanced packaging uitgangspositie:

- **Holst Center:** is een onafhankelijk R&D-centrum dat zich richt op draadloze sensortechnologieën en flexibele elektronica, wat van belang is voor de ontwikkeling van innovatieve packaging-oplossingen. Hun werk op het gebied van printed electronics en dunne filmtechnologieën draagt bij aan nieuwe toepassingen in advanced packaging, zoals flexibele chips en sensoren voor medische en industriële toepassingen. Hoewel ze geen directe speler zijn in massaproductie, zijn hun onderzoeksresultaten cruciaal voor het verbeteren van de packaging-technologie en het creëren van nieuwe mogelijkheden voor de halffegeleiderindustrie.
- **CITC:** is het innovatiecentrum dat zich specifiek richt op advanced packaging en chipintegratietechnologieën met een pilot line voor backend packaging-productontwikkeling. Met een focus op R&D en samenwerkingen met zowel de industrie als academische partners, draagt CITC bij aan de ontwikkeling van nieuwe packaging-processen en -materialen die de prestaties van halffegeleiders verbeteren. Ze spelen een belangrijke rol in het ecosysteem door bedrijven te ondersteunen bij het versnellen van hun innovatie in chip packaging. Binnen dit plan brengen zij de ambitie voor een fully automated factory een forse stap dichterbij, mede door de samenwerking met FononTech die, door het toepassen van additive manufacturing, een cruciale stap in het productieproces wil vervangen.
- **TU Delft:** heeft expertise op het gebied van heterogene systeemintegratie-infrastructuur op waferniveau en de grootste onderzoeksgroep van universiteiten in de EU.
- **TracXon** is gespecialiseerd in het ontwerpen en produceren van hybride geprinte elektronica. Met technologieën, zoals sheet-to-sheet (S2S) en roll-to-roll (R2R) printing biedt het bedrijf op maat gemaakte oplossingen voor sectoren als gezondheidszorg, automotive en consumentenelektronica. TracXon streeft naar duurzaamheid met circulaire productie en vermindert de ecologische voetafdruk van elektronica. Dankzij de nauwe samenwerking met het TNO Holst Centre en sterke IP-kennis levert TracXon hoogwaardige elektronica-oplossingen die innovatie en efficiëntie stimuleren.

Nederland beschikt over relevante bedrijven in strategische sectoren voor de Europese industriële markten, zoals automotive, gezondheidszorg en telecommunicatie, die binnen dit projectplan use cases inbrengen voor onder andere Medical (miniaturisatie chips in MRI-scanners), de volgende generatie lampmodules en defensie (pahes array radar).

3.2.2 Probleemstelling

Zoals aan het begin van dit hoofdstuk al werd beschreven, omvat packaging het assemblageproces waarbij integrated circuits ICs op een leadframe of substraat worden gepositioneerd, elektrisch aangesloten, omsloten met een kunststof behuizing en tot slot worden voorzien van afgewerkte contactpunten. Traditioneel worden voor het produceren van leadframes en substraten etsprocessen gebruikt, waarbij overtollig materiaal wordt verwijderd om tot de halffabricaten te komen. Voor het omsluiten met kunststof wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van molding, waarbij de kunststof in een mal om de producten heen wordt geplaatst. Deze productiemethode heeft twee grote nadelen: ten eerste is het **etsproces zeer inefficiënt qua gebruik van grondstoffen en energie**, omdat er proportioneel maar heel weinig materiaal daadwerkelijk in het eindproduct wordt gebruikt, en ten tweede wordt het **molding proces kostbaar en inefficiënt wanneer oplages van single devices kleiner worden**. Voor kleine of middelgrote oplages is het volgen van standaardisatie daarmee een enabler om efficiënt te produceren. Dit wordt echter nog niet altijd toegepast. Voor het aansluiten van het IC op het leadframe wordt vaak gebruik gemaakt van wire-bonding. Dit is een tijdrovend proces, omdat hier draad voor draad moet worden aangesloten op het leadframe. Wire-bonding is daardoor **een grote kostenpost in het productieproces**.

Binnen advanced packaging is een aantal technologische processen te tackelen, die we in dit projectplan willen adresseren.

Probleem 1: Hoge kostenstructuur

De drempel om een eerste chip te verpakken is hoog vanwege de enorme initiële kosten, waarbij zeker de design kosten momenteel skyhigh zijn. De initiële kosten bestaan uit de kosten voor onderzoek en ontwikkeling, het ontwerpen van de chip en het opzetten van de productieprocessen. Ook de geavanceerde apparatuur en materialen (waaronder speciale kunststoffen en metalen) die bij het packagen nodig zijn, vormen een hoge kostenpost. Tot slot speelt de complexiteit van de supply chain een rol. Het coördineren van de verschillende stappen in het ontwikkelings- en verpakkingsproces, van het ontwerp tot de uiteindelijke levering, is een logistieke uitdaging die extra kosten met zich meebrengt. Dit is vooral problematisch bij kleine series, waar de marges kleiner zijn en elke extra kostenpost zwaarder weegt. Deze initiële kosten moeten uiteindelijk worden terugverdiend, wat moeilijker is bij kleinere productieseries, omdat de kosten over minder eenheden worden verdeeld. Dat maakt het voor startups en mkb'ers lastig om gericht tot een goed product te komen, of om er überhaupt te komen.

Het optimaliseren van de productiekosten in Europa vereist een holistische benadering, waarin co-design van chip en package centraal staat. Het combineren van **equipment, materialen en processen** en het toepassen van methoden zoals Design for Test (DfT), Design for Reliability (DfR) en Design for Inspection (DfI) zal helpen om de kosten te beheersen. Ontwikkelings- en engineeringkosten (NRE) kunnen met deze benadering aanzienlijk worden gereduceerd, vooral bij kleinere productieseries.

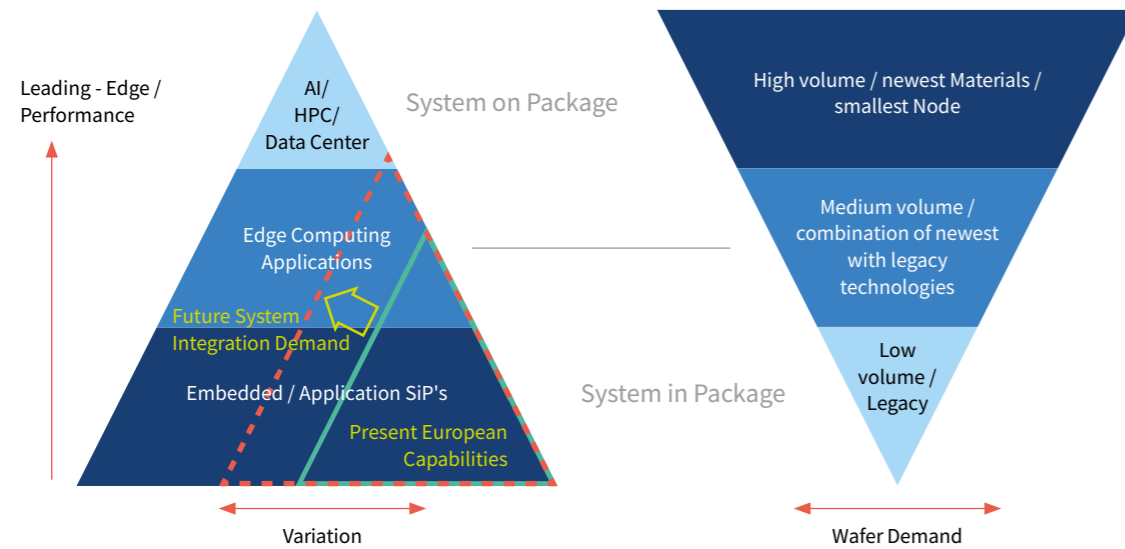
Probleem 2: Geen interesse in kleine volumes, wel hoge nood

Niet alleen startups en mkb'ers hebben het lastig, ook gevestigde bedrijven krijgen met moeite de kleinere volumes verpakt. De grotere OSAT's zitten niet te wachten op series van 1 miljoen of lager, terwijl dat voor met name de applicatiemarkten vaak wel het geval is. Dit staat ons innovatievermogen in de weg. De grootste behoefte in Europa ligt in het verpakken van chiplets voor de Europese markt. Deze chiplets zijn binnen drie jaar nodig voor

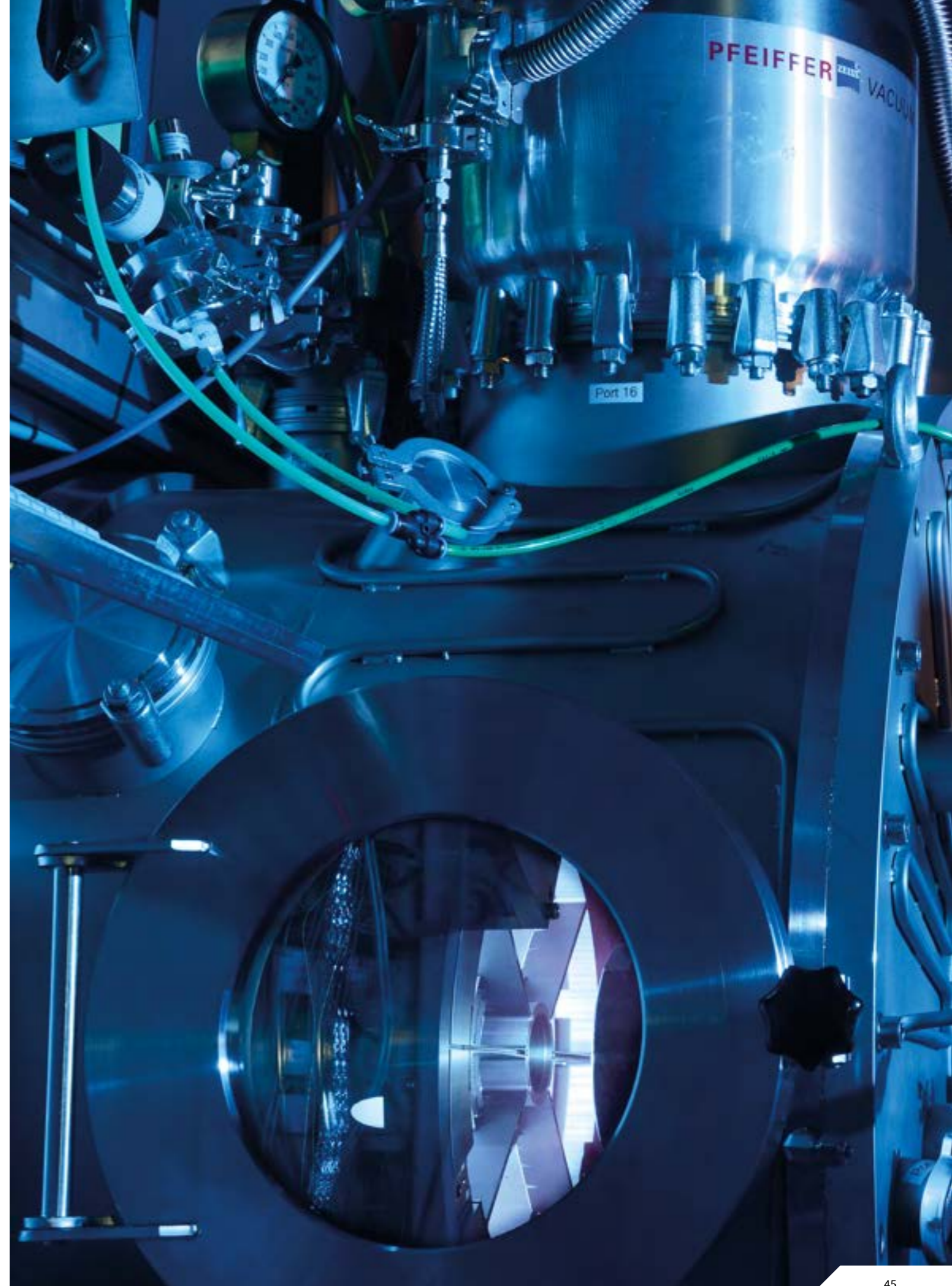
onder meer ADAS-applicaties (Advanced Driver Assistance Systems) voor de auto-industrie. Ook is er geen open faciliteit beschikbaar waar de Europese behoeften tussen nu 3 en 10 jaar vervuld kunnen worden én missen we een productiestap tussen prototyping en productie (lab-to-fab). Deze behoeften zijn gefragmenteerd qua markt, maar daardoor zeker niet onbelangrijk. Integendeel. In de nabije toekomst wordt tevens een hogere vraag verwacht voor fotonische en quantum-verpakkingen.

Gezien de strategische belangen voor Nederland en Europa om de lagere volumes (high mix, low volume) in eigen hand te houden, is het van belang om productiecapaciteit voor advanced packaging op te bouwen. In geval van nood kunnen de hogere volume-producten ook op deze productielijnen verpakt worden, aangezien we de technologie en kennis in huis hebben om dat te doen. En daar waar we dat niet in huis hebben, zijn er gelijkgestemde Europese partners, zoals Duitsland, België, Italië, Polen en Frankrijk, om gezamenlijk de supply chain op te bouwen.

Heterogenous Integration and Advanced Packaging: Volumes and Applications



Figuur 11: Versnelde Lab-to-Fab transfer voor advanced packaging, ECS (Electric Component Systems).



Probleem 3: Hoge ecologische footprint

De packaging-industrie kent een behoorlijke ecologische voetprint, waaronder het hierboven omschreven etsproces. De ecologische impact komt voornamelijk door het gebruik van gespecialiseerde materialen en complexe productieprocessen. Doordat de verpakkingen de chips moeten beschermen tegen fysieke schade, vocht en elektrostatische ontlading, worden plastics, metalen en andere niet-biologisch afbreekbare materialen toegepast. Daarnaast vereist de productie ervan veel energie, natuurlijke hulpbronnen en grondstoffen, met een hoge uitstoot van broeikasgassen tot gevolg. Bovendien zijn de verpakkingen vaak moeilijk te recyclen vanwege de combinatie van verschillende materialen en de noodzaak om de integriteit van de chips te waarborgen. Na gebruik belanden veel van deze verpakkingen op stortplaatsen, waar ze bijdragen aan milieuvervuiling en de ophoping van afval. Het ontwikkelen van duurzamere verpakkingsopties en het verbeteren van recyclingmethoden zijn cruciale stappen om de ecologische impact van de halfgeleiderindustrie te verminderen en een duurzamere toekomst te bevorderen.

Probleem 4: Nieuwe materialen en processen nodig

De overgang van traditionele packaging (flip-chipverpakking) naar advanced packages brengt nieuwe uitdagingen met zich mee voor assemblage en productie. Nieuwe materialen en andere processen zullen onderzocht moeten worden om de functionaliteit van de verpakking te verbeteren. Voorbeelden daarvan zijn verschillende fluxstrategieën (spuiten vs. onderdempelen), nieuwe inkapselingsmaterialen en alternatieve thermische interfacematerialen voor thermische prestaties. Ook zijn er nieuwe machines en inspectietools nodig voor deze complexe processen. Deze nieuwe assemblageprocessen moeten produceerbaar, betrouwbaar en kostencompetitief zijn. Nederland is een belangrijke leverancier voor de rest van de wereld voor nieuwe machines en materialen en kan daarmee opwaartse waarde creëren voor de packaging industrie.

Het onderliggende plan voorziet in een oplossing om de initiële kosten drastisch te verminderen, concurrerende productiecapaciteit voor high mix, low volume op te bouwen, de ecologische voetprint van de packaging-productie te verminderen en nieuwe materialen en productieprocessen te ontwikkelen.

3.2.3 Gewenste positie in 5-10 jaar

De bestaande markt is volwassen met beperkte marges en gekende spelers. Een positie verwerven in een dergelijke markt vergt of een prijsvechter of een technologiestap. De beschreven dubbele technologiestap, de noodzaak voor heterogene integratie en de mogelijkheden van additieve processen, biedt de mogelijkheid om die marktpositie te verwerven. De uitgangspositie van Nederland is hiervoor zeer gunstig, omdat we zowel procestechnologie als apparatenbouwers voor packaging 'in huis' hebben. Deze gunstige uitgangspositie is echter niet onbeperkt houdbaar. Als we nu niet schakelen, zullen anderen dat op termijn doen, wat automatisch resulteert in een bedreiging voor diezelfde procestechnologie en apparatenbouwers.

Maar waar willen we dan staan?

Om in Nederland (en Europa) succesvol te zijn op het gebied van **advanced chip packaging**, moeten we creatief en strategisch te werk gaan. Dit vereist een nieuwe benadering die gebruikmaakt van de sterke punten van Nederland en Europa op gebieden waar het al in uitblinkt en waar het opbouwen van eigen waardeketens cruciaal zijn, zoals chip manufacturing in de automotive-industrie, defensie, energie en de medische sector.

Binnen de pijler packaging van dit ChipNL Innovatieplan verenigen we onze drie state-of-the-art kennisgebieden equipment, additieve technologieën en packaging van chips om te komen tot disruptief andere oplossingen (processen en apparatuur) voor het verpakken van componenten. Dit stelt ons in staat om op kosteneffectieve en milieuvriendelijke wijze grotere maar ook kleinere series in Nederland dan wel Europa te produceren.

Hoe gaan we dat doen?

Binnen de pijler packaging hebben we alle relevante kennis en knowhow van de industrie en de kennisinstellingen samengebracht. Jarenlange innovatie en samenwerking hebben ertoe geleid, dat we voorzien dat een disruptieve benadering van advanced packaging mogelijk is. We richten ons op het ontwikkelen en introduceren van een compleet nieuwe methodiek voor het packagen van elektronica. Waar het huidige proces vaak gebruik maakt van leadframes of andere substraten en wire-bonding, is het nieuwe proces volledig gebaseerd op additieve technologieën. Daardoor onderscheidt het proces zich van de bestaande processen op de volgende aspecten:

- Kostenefficiënter, zowel bij het opzetten van het proces als tijdens het produceren van de package;
- Milieuvriendelijker;
- Technische mogelijkheden en vrijheden bij het packagen, waardoor nieuwe producten technisch realiseerbaar zijn.

Als gevolg hiervan biedt dit nieuwe proces de mogelijkheid om een deel van de packaging-activiteiten uit met name Aziatische landen terug te halen naar Nederland en dientengevolge ook naar Europa. Daarnaast vraagt dit nieuwe proces om nieuwe machines danwel aanpassing van bestaande apparatuur, iets wat onze positie op het gebied van apparatenbouw voor de halfgeleiderindustrie verder kan versterken. In onderstaande figuur 12 zijn de voordelen van dit proces schematisch weergegeven.

Wat willen we over 5 tot 10 jaar gerealiseerd hebben?

De impact die we met ons voorstel willen maken, heeft positieve resultaten voor zowel het Nederlandse economisch verdienvermogen, onze concurrentiepositie en een duurzamere industrie. In deze periode willen we gefaseerd toewerken naar het opbouwen van eigen advanced packaging productiecapaciteit die substantieel bijdraagt aan lagere kosten, kortere time-to-market en lagere ecologische voetprint. In paragraaf 3.2.4 worden de werkpakketten en fases verder toegelicht.

Resultaten van het project

Wanneer we dit totale proces met alle ontwikkelpartners met een positief resultaat hebben doorlopen, verwachten we onderstaande resultaten en impact te kunnen realiseren.

- Nieuw concept voor advanced packaging.
- Demonstratie en toepassing van het concept in use-cases.
- Implementatie van het concept in een first-of-a-kind highly automated factory.

Beoogde impact van het project

Impactdoel 1: Beheersen supply chain door eigen packaging productiefaciliteit

Nederland kan de gehele supply chain beheersen voor het produceren van chips voor kritische sectoren, zoals defensie, medical devices, automotive, telecom en energiesystemen. Hiermee zijn we in staat om het verdienvermogen van nieuwe technologie maximaal te benutten en invulling te geven aan de (Europese) wens om autonome halfgeleiderproductie in West-Europa op te bouwen.



Figuur 12: De voordelen van de ChipNL-oplossing afgezet tegen het productieproces van traditionele en advanced packaging.

Daarvoor werken we binnen deze pijler toe naar de oprichting van een nieuwe OSAT (Outsourced Assembly and Test-bedrijf) gericht op het packagen van kleinere series van uiteenlopende complexiteit en op middel-grote series (indicatief: tot 10 miljoen stuks per jaar) van geïntegreerde componenten. Deze OSAT wordt opgericht vanuit een samenwerkingsverband van kennisinstellingen en industriële ondernemingen. In het industriële deel zal plaats zijn voor de hele keten van technologieleveranciers, van ontwerpbureaus tot elektronica producenten en IDM's.

Met de oprichting van deze organisatie wordt invulling gegeven van aanbeveling 4 van het Pack4EU-project: **'Creation of Open Piloting Facilities for small and medium volume production as a seed for growing European Advanced Packaging capabilities'**.

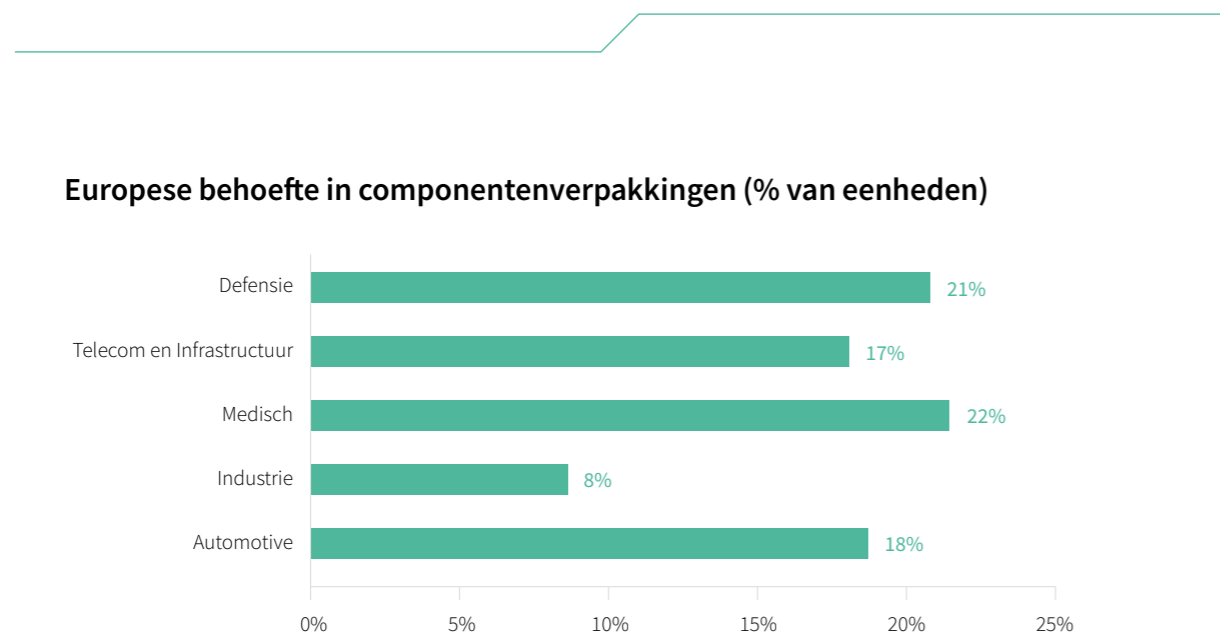
Het opstellen van een gedetailleerd plan van aanpak voor het opzetten van de OSAT is onderdeel van de activiteiten van fase 1, zie paragraaf 3.2.4. Een initiële schatting laat zien dat de kosten die hiermee gemoeid zijn circa € 40 miljoen bedragen en dat de doorlooptijd circa 18 maanden zal zijn. Het oprichten van een organisatie die deze dienstverlening zal gaan aanbieden, vraagt om nog eens een extra investering van € 50 miljoen.

Binnen Europa is vanuit de verschillende sectoren vraag naar het verpakken van componenten. Pack4EU becijferde de Europese behoefte van de verschillende sectoren

afgezet tegen de wereldwijde behoefte, te zien in onderstaande figuur 13, waarbij aangetekend dient te worden dat alleen Defensie hun packages laat produceren in Europa. De rest wordt in Azië geproduceerd.

Impactdoel 2: Unieke technologische positie door nieuw concept voor advanced packaging

Binnen de pijler packaging zetten we sterk in op het ontwikkelen van nieuwe technologie, door het combineren van advanced packaging en additive manufacturing. Een goed voorbeeld daarvan is FononTech, een Nederlands bedrijf dat een nieuwe methodiek voor het produceren van elektronica en displays in de markt wil zetten, gebaseerd op gepatenteerde Impuls Printing technologie. Zij ontwikkelen een innovatieve printer die een cruciale processtap (wire-bonding) vervangt door additive manufacturing. Deze technologie wordt door grote spelers in de industrie gezien als een oplossing voor kritische uitdagingen. De nieuwe kennis en de grote variatie aan use-cases in het validatieproces - die tevens de breedheid van toepassingsmogelijkheden laat zien -, levert Nederland een unieke positie op binnen het advanced package domein. We versterken hiermee eveneens onze positie als wereldleider in front-end (ASML, ASMI) en back-end (K&S, ITEC, BES) chiptechnologieën. De investeringen in oplossingen zoals benoemd in dit projectplan, kunnen leiden tot een nieuwe golf van technologische innovatie in Nederland, vergelijkbaar met de successen van ASML in de front-end chipindustrie.



Figuur 13: De Europese behoefte van packaging voor kritische industrieën (% in aantallen units), bron Pack4EU

Impactdoel 3: Economisch verdienvermogen omhoog door optimalisatie kostenstructuur

De nieuwe oplossing voorziet in een **reductie van maar liefst 44% productiekosten**. Dit is mogelijk door het vervangen van de langzame seriële processtappen door snelle batch-processen. Daarmee wordt een extreme kostenreductie gerealiseerd voor de packagekosten, nieuwe productintroducties (NPI) en de kapitaaluitgaven (-10% CapEx). We verwachten dat het verdienvermogen van bedrijven met applicatietoepassingen in onder meer de telecom, automotive en health hoger wordt, doordat ze sneller innovatieve oplossingen kunnen implementeren. Ook bedrijven in de HTSM-sector, zoals fotonische en quantumbedrijven met een focus op equipment en materialen profiteren van de lagere kosten. Tot slot kan het de concurrentiepositie van bedrijven als Nexperia en NXP verbeteren. Niet alleen kunnen zij verpakken tegen lagere kosten, ook zijn de equipmentbouwers nodig om nieuwe machines te ontwikkelen en daarmee nieuwe markten aan te boren. Bedrijven zoals ASML weten hoe ze de grenzen van het onmogelijke moeten pushen en zijn in staat om doorlopend een technologische voorsprong te creëren. Zij gebruiken de inlooptijd van anderen om nieuwe technologische ontwikkelingen op de markt te brengen. Dit principe willen we ook hanteren voor de advanced chip packaging in Nederland. Het levert het Nederlandse bedrijfsleven economisch verdienvermogen op door:

- Export en verkoop van individuele equipment en tooling voor advanced chip packaging. Deze equipment is geoptimaliseerd voor de door ons ontwikkelde advanced packaging-methode om de afstemming tussen front- en back-end te optimaliseren.
- Export en verkoop van het volledig geïntegreerde highly automated factory-concept voor advanced chip packaging, gebruikmakend van additive technologieën.

Impactdoel 4: Sterke reductie vervuilend packaging-proces

Met de nieuwe manier van advanced packaging zijn we met dit plan in staat een sterke reductie te realiseren op het bestaande, vervuilende packaging-proces. De nieuwe manier van packaging richt zich op de volgende resultaten:

- Eliminatie van zeer vervuilende processtappen door het voorkomen van strippen en het etsen van koper. Door toepassing van additive manufacturing kunnen we 100% van het materiaal gebruiken.
- Eliminatie van het gebruik van de toxische materialen Pb-soldeer (mengsel van tin en lood) en PFAS.

3.2.4 Voorgestelde plan

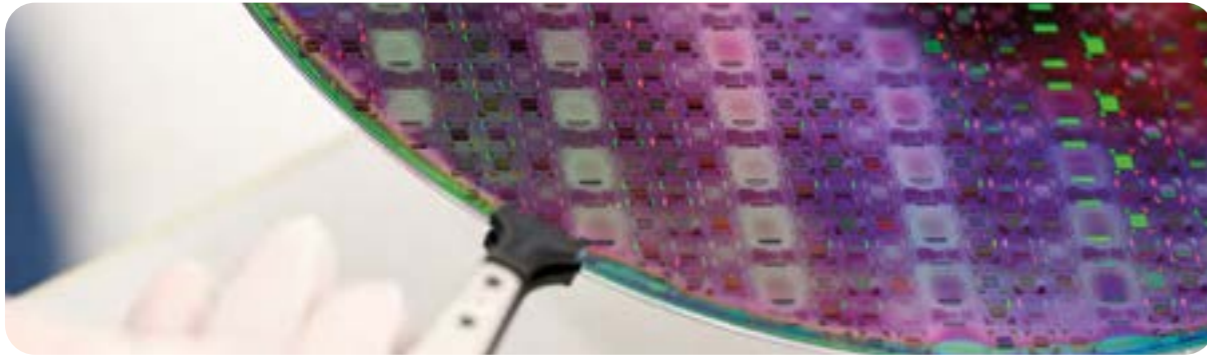
Om bovenstaande positie over 5 tot 10 jaar daadwerkelijk gerealiseerd te hebben, heeft een groep packaging experts uit de industrie een uitgekende aanpak ontwikkeld, bestaande uit verschillende fases. Binnen die fases wordt toegewerkt naar een eigen OSAT via technologieontwikkeling, validatie middels use-cases en valorisatie.

Fase 1 omvat de uitvoering van een viertal werkpakketten en richt zich vooral op procesontwikkeling:

1. Het opstellen van de specificaties van de use-cases en het daaruit afleiden van voorwaarden, waaraan dragers, verbindingen en behuizingen moeten voldoen, alsmede het in kaart brengen van de grootste technische risico's en plan van aanpak om die te managen in het ontwikkeltraject.
2. Het ontwikkelen van de technologieën die nodig zijn voor het packagen.
3. Het combineren van de technologieën tot één proces en het implementeren van dit nieuwe productieproces in een demonstratielijn passend bij de use-cases.
4. Het valideren van dit proces aan de hand van een aantal use-cases.

De demonstratielijn wordt gerealiseerd bij Neways en vormt een combinatie van reeds bestaande productie-equipment die in het traditionele proces wordt gebruikt en nieuwe apparatuur voor de additieve processen.

De ontwikkeling van een nieuw proces kan niet zonder dit proces te valideren aan de hand van praktijkvoorbeelden. Om het gebruik van het nieuwe proces maximaal te stimuleren, hebben we voorbeelden gekozen die ook daadwerkelijk een verschil in de markt kunnen maken en, ten minste binnen het toepassingsgebied van de use-case, ook een economische impact hebben. Voor de ene toepassing (bijvoorbeeld de radar) zal dat beperkt zijn maar voor andere use-cases, zoals de lampmodule, zal de impact zeer groot zijn.



Fase 2 richt zich op **valorisatie** van de opgedane technologieontwikkeling en kennis. Het benutten van het extra verdienvermogen dat met dit project wordt gerealiseerd, vindt plaats op 4 verschillende manieren:

- **Productie OEM's:** De partners in het project die op dit moment al beschikken over eigen capaciteiten voor packaging (Nexperia, Signify), zullen deze faciliteiten (op graduele wijze) upgraden met het nieuwe proces.
- **Kennispartners:** De kennispartners (CITC, ITEC en TNO) zullen hun kennis inzetten om externe OEM's te helpen bij het implementeren van de nieuwe packaging-technologie.
- **Technologieleveranciers:** De technologiepartners zullen in de gelegenheid zijn om een positie op te bouwen dan wel uit te breiden als leverancier van productieapparatuur, support daarvan en verbruiksmaterialen voor het packaging-proces tegen zeer gunstige tarieven vanwege ontbrekende concurrentie.
- **OSAT:** Deze nieuwe OSAT richt zich op het packagen van kleinere series van uiteenlopende complexiteit en op middelgrote series (indicatief: tot 10 miljoen stuks per jaar) van geïntegreerde componenten waarvoor het nieuwe packaging-proces optimaal tot haar recht komt.

3.2.5 Kennisvragen

Het innovatieplan is een industriegedreven plan, waarbij de samenwerking gezocht dient te worden met kennisinstellingen. Voor het uitvoeren van de activiteiten voor packaging zijn de volgende kennisvragen geformuleerd.

Afstemming ontwerp en productie

Om tot een produceerbaar ontwerp te komen, moet het ontwerp afgestemd zijn op de mogelijkheden in productie c.q. de karakteristieken en randvoorwaarden van de package. Deze afstemming moet vastgelegd worden in een set design rules die niet afhankelijk is van een specifieke ontwerptool of productiemiddel. Een nauwe afstemming tussen de pijlers Design en Packaging is daarbij nodig.

Kennisvraag is:

- Hoe vertalen de productiekenmerken zich in ontwerprichtlijnen?

Materiaaleigenschappen

Sterk bepalend voor de eigenschappen van het eindcomponent zijn de eigenschappen van de materialen die voor het packagen worden gebruikt. Een adequate karakterisatie van deze materialen is dan ook essentieel voor het project. Bij de karakterisatie dient rekening gehouden te worden met het eventueel veranderen van de eigenschappen gedurende de levensduur van de component.

Kennisvraag is:

- Hoe kan de karakterisatie efficiënt worden gerealiseerd, rekening houdend met een grote variëteit aan materialen en materiaalvarianten?
- Achterliggende vraag is: in hoeverre we kunnen bouwen op materiaalmodellen om de karakteristieken van varianten te kunnen voorspellen?

Modellering en simulatie

Op basis van ontwerp en materiaaleigenschappen kan een model van de component worden opgebouwd, waarna het kan worden gesimuleerd om te beoordelen of de functionaliteit zal gaan voldoen voor de toepassing.

Kennisvraag is:

- Welke generieke basismodellen zijn te ontwikkelen voor de nieuwe technologie (1 of meerdere modellen)?

Validatie

Het valideren van de nieuwe technologie is toepassingsafhankelijk en is voor industrieel gebruik duidelijk anders dan bijvoorbeeld gebruik in de automobiellindustrie of in een medische toepassing.

Kennisvraag is:

- Hoe kunnen we op de kortst mogelijke termijn tot een validatie komen van deze nieuwe technologie in de genoemde markten?
- Achterliggende vraag is dan: welke testprotocollen en gereedschappen zijn hiervoor noodzakelijk?

3.3 Pijler Equipment

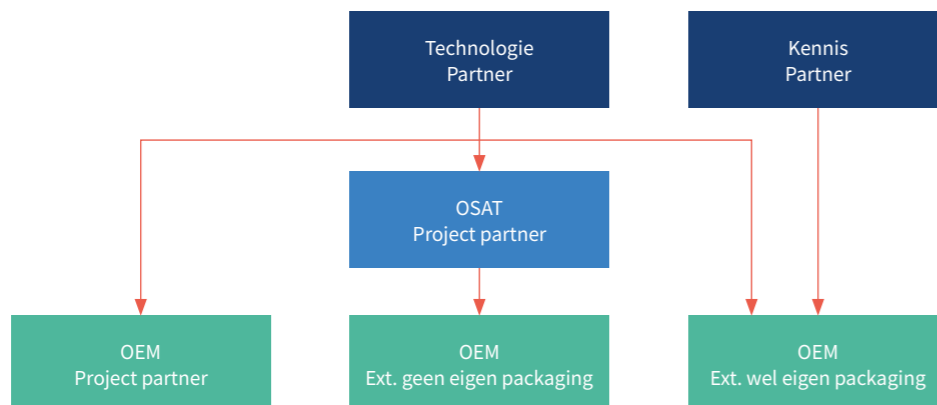
3.3.1 Nederlandse sector halfgeleider-equipment

De Nederlandse sector voor halfgeleiderapparatuur vormt een hoeksteen van de wereldwijde halfgeleiderindustrie en staat bekend om haar innovatie, geavanceerde technologie en robuuste ecosysteem. Deze sector genereert jaarlijks bijna € 30 miljard en biedt werk aan ongeveer 60.000 mensen, waarmee het een belangrijke bijdrage levert aan de Nederlandse economie¹.

De kern van deze sector wordt gevormd door toonaangevende bedrijven zoals ASML, ASM International en BESI, die de vooruitgang in lithografie, atomic layer deposition en geavanceerde packagingoplossingen voortdrijven. ASML is een wereldleider in Extreme Ultra Violet (EUV) lithografie, een cruciale technologie voor de productie van de meest geavanceerde chips.

De kracht van Nederland ligt niet alleen in de toonaangevende bedrijven, maar ook in het levendige ecosysteem van toeleveranciers, onderzoeksorganisaties en universiteiten. Deze samenwerkingsomgeving maakt voortdurende innovatie mogelijk en ondersteunt een uitgebreide waardeketen van onderzoek en ontwikkeling tot productie en testen.

De wereldwijde markt voor halfgeleiderapparatuur kan worden opgesplitst in drie domeinen: Wafer-fabricage apparatuur, Assemblageapparatuur en Testapparatuur. Figuur 14 geeft de wereldmarkt voor halfgeleider-equipment weer, op basis van de marktgegevens van TechInsights van mei 2023. De totale markt voor Wafer-fabricage apparatuur is in 2022 verreweg het grootste segment van de totale markt (in NL bediend door onder andere ASML, ASM, Thermo Fisher Scientific en Nearfield Instruments met hun ecosystemen), gevolgd door Testapparatuur die een factor 12 kleiner is (zonder grote Nederlandse spelers), en door Assemblageapparatuur (factor 20 kleiner, in NL bediend door onder andere BESI, ITEC, Boschman en Sempro).



Semiconductor Manufacturing Equipment		
2022: \$ 111,5 miljard (M)		2027: \$ 146,7 miljard
Wafer-Fabricage Equipment	AssemblyEquipment	Test Equipment
2022: \$ 97,7 M (87.6%) 2027: \$129,4 M	2022: \$ 5,0 M (5.0%) 2027: \$ 7,0 M	2022: \$ 8,2 M (7.4%) 2027: \$ 10,4 M

Figuur 14: Wereldmarkten voor halfgeleiderproductieapparatuur²

¹ Semicon in NL, PwC, mei 2024

² TechInsights, May 2023

<https://www.techinsights.com/blog/techinsights-semiconductor-equipment-report>



Wafer-Fabricage Equipment

Nederland heeft een leidende positie in de wereldwijde markt voor wafer fabricage-apparatuur, voornamelijk door zijn toonaangevende bedrijven en levendige ecosysteem van leveranciers. De grote spelers zijn:

- **ASML:** is een wereldleider in lithografische apparatuur en heeft een marktaandeel van 100% in EUV-lithografische scanners (Extreme UV). In 2022 bedroeg de omzet van ASML ongeveer \$ 22,6 miljard, wat overeenkomt met ongeveer een kwart van deze wereldwijde markt.
- **ASM:** is een marktleider op het gebied van Atomic Layer Deposition (ALD)-technologie. In 2022 bedroeg de omzet van ASM ongeveer \$ 2,6 miljard, goed voor ongeveer 2,7% van de wereldmarkt. ASM's ALD-producten zijn cruciaal voor geavanceerde halfgeleiderproductie.
- **Thermo Fisher Scientific:** Hoewel het hoofdkantoor van Thermo Scientific in de VS staat, heeft het bedrijf een belangrijke R&D- en productie-eenheid in Eindhoven, die zich richt op high-end transmissie-elektronenmicroscopen (TEM) voor de halfgeleiderindustrie.
- **Nearfield Instruments:** is gespecialiseerd in meet- en inspectieoplossingen voor de productie van halfgeleiders, waarbij gebruik wordt gemaakt van high-throughput atomic force microscopy (AFM).
- **Ecosysteem van leveranciers:** Nederland heeft een robuust ecosysteem van leveranciers van modules, waaronder VDL-ETG, NTS Group, Frencken, DEMCON, Prodrive en Sioux. Deze leveranciers ondersteunen grote internationale halfgeleiderfabrikanten en dragen bij aan de kracht van de Nederlandse halfgeleiderindustrie.

Ontwikkelingen in de halfgeleidermarkt genereren groeikansen voor alle partijen in het wafer fabricage ecosysteem. De voorhoede van wafer fabricage halfgeleider equipment wordt momenteel toegepast op Logic and High-Performance Memory chips die voornamelijk worden gebruikt in draagbare apparaten en geavanceerde cloud computing (inclusief AI) en dataopslagplatforms. Momenteel worden dubbele, drievoudige en viervoudige patronen gebruikt met immersielithografie (DUV) in combinatie met depositie van geavanceerde materialen (onder leiding van respectievelijk ASML en ASM), daarbovenop wordt EUV-lithografie met enkel patroon (ASML als enige leverancier) gebruikt om lijnbreedtes van minder dan ~14 nm te realiseren voor chip nodes van 5 nm en kleiner en 3D NAND-geheugen met 128 lagen en meer. Het maken van een baanbrekende chip is tegenwoordig een proces dat bestaat uit honderden afzonderlijke stappen. Een geavanceerde chipfabriek past meestal EUV toe voor de kritische patroonlagen en iDUV (immersion Deep UV) voor de minder kritische lagen, met een mix-and-match van EUV- en iDUV-apparatuur om de juiste relatieve plaatsing (Overlay) van elke laag te garanderen met een nauwkeurigheid van 2,5 nm.

Hoge resolutie, nauwkeurige, betrouwbare en geautomatiseerde analyse van de resultaten van lithografie- en depositiestappen is vereist, waarbij TEM-oplossingen van Thermo Fisher Scientific een kritieke techniek zijn die in fabrieken wordt gebruikt, vaak met meerdere systemen, tijdens R&D van de processen en het opstarten van de productie om te zorgen voor de juiste selectie van procesparameter en een hoge opbrengst van de wafer-fabriek. Vanaf 2024 zullen marktleiders Intel, TSMC en Samsung, dankzij de huidige gereedschappen voor depositie, lithografie, etsen, verwerking, analyse en metrologie - waarvan een aanzienlijk deel geleverd wordt door Nederlandse leveranciers - en hun prestaties, het 2 nm-technologiegebied opvoeren en oplossingen voor 1,4 nm verder onderzoeken.

Assembly Equipment

Volgens TechInsight bedroeg de wereldmarkt voor assemblageapparatuur in 2022 \$ 5 miljard en bestaat deze uit assemblage-inspectieapparatuur, dicing, bonding, verpakking en geïntegreerde assemblagesystemen. In Nederland zijn meerdere bedrijven actief in deze markt:

- **BESI:** is een belangrijke speler op de markt voor assemblageapparatuur. In 2022 bedroeg de omzet van BESI € 723 miljoen, wat de sterke positie in deze sector weerspiegelt.
- **ITEC:** ontwikkelt geavanceerde pick & place-apparatuur voor hoogvolume, hoge precisie en prijs-competitieve productie. Sinds ITEC in 2021 een zelfstandig bedrijf werd, wil het de omzet in assemblage- en testapparatuur de komende vijf jaar laten groeien tot € 150 miljoen.
- **Andere bedrijven:** Nederland is de thuisbasis van diverse belangrijke bedrijven in de markt voor assemblageapparatuur, zoals Boschman en K&S (dat een deel van zijn R&D in Nederland heeft ondanks het feit dat het hoofdkantoor in Singapore is gevestigd), evenals ASMPT.

Trends

De belangrijkste trends in de ontwikkeling van assemblageapparatuur zijn gericht op het maximaliseren van de voordelen van geïntegreerde circuits (IC's) die gemaakt zijn voor IC-nodes van 7 nm en minder. Dit omvat de overgang van het eenvoudige wirebonding naar Ball Grid Array (BGA) en Flip Chip-technologieën, de overstap naar (Fan-Out) Wafer Level Packaging zonder substraat interposers en de ontwikkeling van complexe 3D-structuren met Through Silicon Vertical Interconnect Accesses (TSVIA), microbumps en dunne dies. Bovendien wordt wafer-to-wafer bonding gebruikt om de productie van 3D IC's te versnellen.

Een andere belangrijke trend is de heterogene integratie van diverse technologieën, waarbij digitale elektronica de analoge wereld kruist. Dit wordt bereikt door geavanceerde assemblage en verpakking van heterogene stukjes chips (chipllets), maar ook door de integratie van chips, sensoren en slimme antennecomponenten. Deze trends zijn nauw verwant aan die in front-end wafer-fabricage apparatuur, zoals het creëren van silicium vias en backside power distribution networks.

Er is ook een voortdurende focus op het verbeteren van de functionaliteit van heterogene systemen door traditionele halfgeleiders te combineren met geïntegreerde fotonica-componenten of chipllets. Deze trend wordt grotendeels gedreven door aanzienlijke investeringen via de projecten van het Nationaal Groeifonds (Quantum Delta NL, PhotonDelta en NXTGEN Hightech) en andere publiek-private projecten en samenwerkingsverbanden.

3.3.2 Probleemstelling

Ten eerste moet de **efficiëntie** van de binnenlandse toeleveringsketen worden verbeterd om een toekomstige marktpositie in een snelgroeiende markt veilig te stellen. Chipfabrikanten zullen voldoende apparatuur nodig hebben. Om in de markt te blijven, zullen equipmentproducenten en hun waardeketen moeten leveren en dus de productie aanzienlijk moeten verhogen om hun klanten te bedienen. In deze 'winner-takes-all'-markt zal de binnenlandse toeleveringsketen moeten groeien, anders zal het snel zijn marktpositie verliezen. Deze groei is zowel een economische kans als een existentiële bedreiging.

Ten tweede moet de groei **duurzaam** zijn. De equipmentsector heeft twee verantwoordelijkheden: de ecologische voetafdruk van zijn eigen productieprocessen verkleinen en apparatuur ontwerpen die een duurzamere chipproductie bij chipproducenten mogelijk maakt. Het verbeteren van de duurzaamheid van de halfgeleiderindustrie zal op de lange termijn de concurrentiepositie van OEM's verbeteren. Gezien de verwachte groei zullen chipfabrikanten hun lokale en wereldwijde milieu-impact in het komende decennium moeten verminderen. Nu al stuit de chipproductie op lokale milieugrenzen¹. Chipfabrikanten zullen duurzame oplossingen vragen van fabrikanten van apparatuur. De marktvraag voor duurzamere producten loopt nog achter en grote technologische stappen zijn nodig. Dit leidt mogelijk tot transitiefalen.

¹ Climate Planning Could Doom TSMC Arizona Expansion:

<https://foreignpolicy.com/2023/08/04/tsmc-taiwan-arizona-semiconductors-climate-canada-labor-water/>

² Merk op dat groei beide nodig heeft: voldoende opgeleide mensen en een verhoogde productiviteit. Alleen door beide strategieën aan te pakken kan de halfgeleiderindustrie gedijen. De talentvraag wordt aangepakt in het talentenprogramma ('Project Beethoven'). Het Innovatieprogramma richt zich op de productiviteit van de mensen die we binnen het talentenplan opleiden. Verhoogde productiviteit werkt als een multiplier op het beschikbare personeelsbestand; innovatie versterkt het microchip-talentprogramma.

Tot slot is de halfgeleidersector zeer dynamisch en vraagt om nieuwe **waardecreatie** in een hoger tempo. Het Nederlandse ecosysteem kan de competitie alleen voorblijven door sneller dan ooit te vernieuwen en te innoveren. Het ecosysteem heeft jonge equipmentproducenten en nieuwe technologieën nodig om zich te ontwikkelen tot toekomstige grote bedrijven. Deze nieuwe producten, startups en scale-ups hebben ruimte nodig om te groeien evenals toegang tot kennis, faciliteiten en de toeleveringsketen. Door gebruik te maken van het vruchtbare ecosysteem kan Nederland sterke equipmentposities innemen in opkomende halfgeleidermarkten, zoals metrologie en heterogene integratie. Nu investeren zal leiden tot sterke economische posities in de toekomst en de stabiliteit van de uitgebreide hightech toeleveringsketen waarborgen.

Dit innovatieprogramma gaat in op de uitdaging om de productiviteit binnen de toeleveringsketen te verhogen. Op deze manier kan een substantieel deel van de groei komen uit een hogere output per medewerker, in plaats van alleen uit een toename van het aantal fulltime equivalenten (fte's)². Deze strategie kan een belangrijke bijdrage leveren aan een minder harde toename van de vraag naar talent en kan het beschikbare talent zich optimaal richten op nieuwe productontwikkeling en zo het verdienvermogen van Nederland vergroten en de economische groei bevorderen door het verhogen van de productiviteit in een van de grootste binnenlandse industriële sectoren.

3.3.3 Gewenste positie van de sector 5-10 jaar

Gezien het cruciale belang voor de Nederlandse economie en veiligheid is er een duidelijke geopolitieke en strategische wens om de positie van de Nederlandse equipmentproducenten te behouden en te versterken, zowel binnen Europa als wereldwijd. De kracht van de Nederlandse equipmentsector ligt in de sterke samenwerking in de toeleveringsketen. Deze samenwerking is diepgeworteld in de cultuur en biedt een concurrentievoordeel. Dit plan is gericht op het versterken, stabiliseren en verder verankeren van de sector in het nationale hightech ecosysteem door het bevorderen van sterkere samenwerking langs en tussen de verschillende toeleveringsketens van halfgeleiderapparatuur.

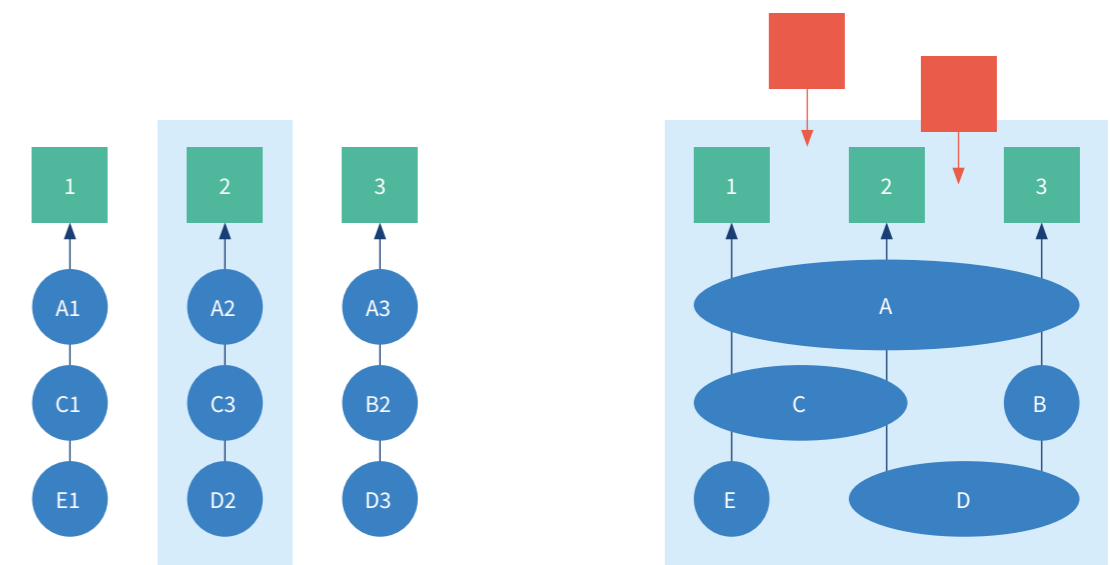
Figuur 15 illustreert de beoogde overgang. Links is de huidige situatie afgebeeld, met sterke verticale banden langs specifieke toeleveringsketens. Rechts is de toekomstige situatie te zien, met ontwikkelde horizontale banden. De projecten in deze pijler ondersteunen deze industriële transitie door een sterkere verstrengeling van toeleveringsketens en een verbeterde horizontale samenwerking te bevorderen op basis van het verbeteren van 'common denominators', zoals ontwikkelingsmethodologie en harmonisatie van specificaties.

De equipmentsector zal naar verwachting meer dan verdubbelen. Deze groei zal het resultaat zijn van gevestigde spelers die hun state-of-the-art productie in Nederland behouden en tegelijkertijd de volumes verhogen, en van nieuwe snelgroeiende bedrijven die de markt betreden met innovatieve producten die essentieel zijn voor de toekomstige massaproductie van chips.

Wereldwijde chipfabrikanten zullen onder existentiële druk komen te staan om hun processen te verduurzamen, nog versterkt door de groei en de geopolitieke verplaatsing van productie naar de VS en Europa. Het Nederlandse ecosysteem kan een concurrentievoordeel behalen door tijdig te investeren in duurzame apparatuur. Daarnaast zal de ecologische voetafdruk in Nederland worden verkleind door circulariteit te implementeren in de toeleveringsketen.

Ten slotte zal de pijlpijn van technologieën en OEM's in verschillende stadia van volwassenheid gezond zijn: volwassen OEM's en scale-ups zullen gedijen in een sterke toeleveringsketen en hun productie laten groeien, terwijl nieuwe startups zullen ontstaan om nieuwe technologie-markten te bedienen met nieuwe innovaties.

Deze pijler heeft drie hoofddoelstellingen: Duurzaamheid, Efficiëntie en Waardecreatie. Deze doelstellingen pakken de meest urgente technologische uitdagingen aan via specifieke werkpakketten en taken.



Figuur 15 Links: Huidige supply chain waar iedere leverancier te maken heeft met specifieke klantgerelateerde aspecten, zoals de methode van meten, communicatie en specificaties van generieke karakteristieken die voor iedere klant anders zijn. Rechts: Na harmonisatie van generieke specificaties en ontwikkeling van gedeelde methodieken waarbij generieke klantspecifieke aspecten komen te vervallen en het makkelijker wordt voor nieuwe OEM's om bediend te worden.

3.3.4 Voorgesteld plan

Het voorgestelde plan bevat verschillende werkpakketten en bijbehorende activiteiten en taken.

3.3.4.0 Joint facilities

De pijler equipment versterkt de Nederlandse sector voor halfgeleiderequipment door bredere samenwerking tussen verschillende toeleveringsketens. In dit werkpakket wordt de benodigde gezamenlijke infrastructuur gebouwd. In deze gezamenlijke faciliteiten combineren we gezamenlijke technologische en wetenschappelijke roadmaps en de fysieke gedeelde infrastructuur om de roadmaps te realiseren.

De infrastructuur zal een centrale rol spelen in de samenwerking tussen de verschillende OEM's en toeleveringsketens in de sector van halfgeleiderequipment. Bovendien zal het een broedplaats zijn voor nieuwe technologieën en startups binnen deze sector. Tot slot zal het spillovers en synergie naar andere sectoren - zoals ruimtevaart en defensie - mogelijk maken, waardoor het resultaat van de technologische kracht uit deze sector voor Nederland wordt geoptimaliseerd.

Voor deze nieuwe samenwerkingsvorm is het ten eerste nodig dat de bestaande R&D-infrastructuur bij TNO en de universiteiten gemakkelijk te vinden is voor alle partners. Ten tweede moeten de nieuwe samenwerkingslijnen worden opgewerkt en verdiept door een sterke technologische orkestratie. Ten derde moet er speciale aanvullende fysieke infrastructuur (laboratoria, cleanrooms, opstellingen, experimenteeruimtes) worden gebouwd om gedeelde R&D voor toekomstige technologieën mogelijk te maken.

In het opzetten van de agenda's en faciliteiten zal er ook naar Europa gekeken worden. Het profiel van het Nederlandse kennisecosysteem is op equipmentgebied al zeer uniek, met sterke focus in equipmentontwikkeling. Daartegenover richten andere landen zich met name op chipproductie en procestechologie, met als belangrijkste voorbeeld Vlaanderen, dat met imec al een uitstekend instituut voor procesontwikkeling heeft. Nederland zal zich hierin complementair richten op de bestaande krachten van ontwerp en productie van equipment. Dit bestaat in Europa nog niet.

Deze focus wordt ook onderschreven door de NTS, waarbij Opto-mechatronica, Optische systemen, Beeldvormingstechnologie en Halfgeleiders vier van de tien prioriteiten omvatten. De beschreven faciliteiten kunnen voor deze sleuteltechnologieën ook breder ingezet worden.

In dit werkpakket zullen we de gezamenlijke R&D-agenda's uitdiepen en faciliteiten bouwen die nodig zijn in dit programma. Deze hebben betrekking op:

- (Opto-)mechatronica
- Controle op vervuiling en vacuümtechnologie
- Detectie en gegevensverzameling voor digitale hulpmiddelen
- Materialen en metrologie

De joint facilities zullen een open karakter hebben naar partijen die nu niet in dit innovatieplan zitten. De activiteiten in de gezamenlijke ontwikkelingsagenda zullen gericht zijn op de vragen van de industriepartners. Tegelijkertijd is er enorme potentie voor spillovers die ook verzilverd moet kunnen worden en zal de gegenereerde kennis in andere 'fields of use' toegankelijk zijn.

Voor de stap naar waardecreatie bij bedrijven is echter ook bescherming nodig. In de agendavorming zal zorgvuldig de gezamenlijke R&D opgenomen worden, terwijl productgerichte ontwikkeling afgesplitst wordt naar één-op-één werk met bedrijven. Dit één-op-één werk kan binnen of buiten dit programma geïnitieerd worden en zal in een gesloten setting plaatsvinden.

Door de Nederlandse faciliteiten virtueel samen te brengen in gedeelde agendavorming, kunnen we de Nederlandse infrastructuur beter gebruiken en ook beter inzetten voor de verschillende partijen in het ecosysteem.

Hier werken de partners samen aan de ontwikkeling van gedeelde methodologieën voor hergebruik van componenten en materialen in apparatuur voor halfgeleiderfabricage, op zo'n manier dat de industrie nog steeds aan de extreme kwaliteitsnormen kan voldoen.

Ontwerp en implementatie van een circulaire toeleveringsketen

Het doel van deze deeltaak is het ontwikkelen en implementeren van een circulair ecosysteem van diensten en activiteiten gericht op circulair ontwerp, levensduurverlenging en hergebruik individueel en tussen alle bedrijven in de huidige (lineaire) productieketen en tussen eerstelijns leveranciers, zodat een goed geolied ecosysteem ontstaat van circulaire diensten en bedrijfsactiviteiten. De activiteiten omvatten het ontwikkelen van een circulaire toeleveringscyclus, tools, trainings- en bewustwordingsprogramma's, kwaliteitsnormen en controlerichtlijnen en een circulariteitscentrum en pilot line gericht op opschaling.

Datamanagementsysteem voor circulariteit

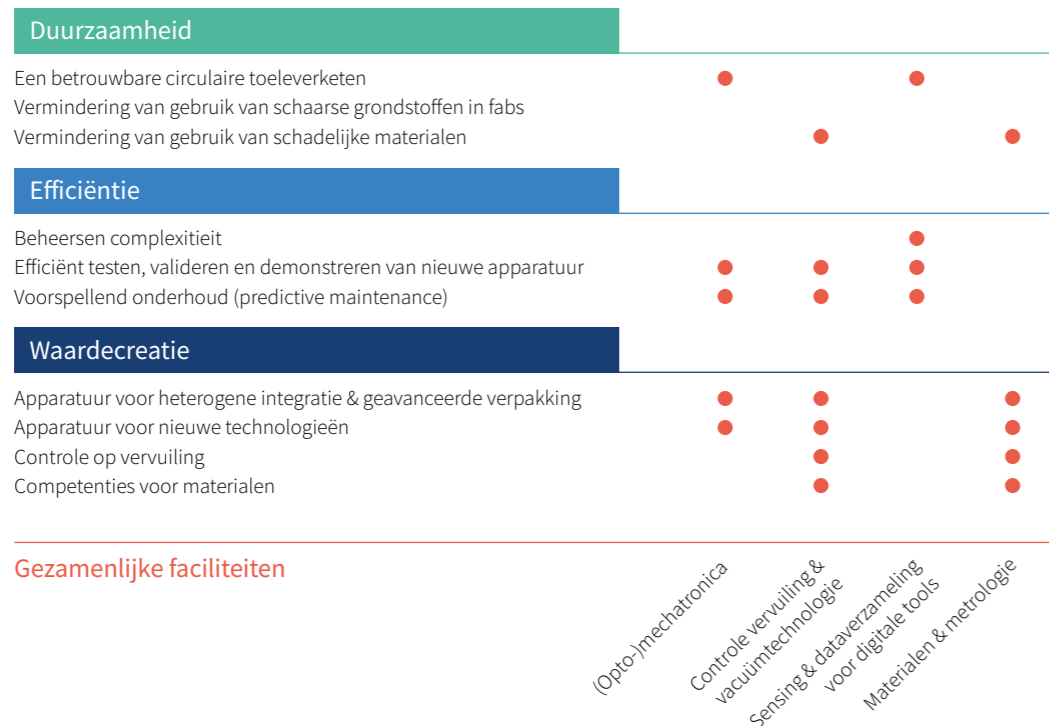
Het doel van dit werkpakket is het ontwikkelen van een omgeving voor het delen van gegevens voor circulariteit binnen het toeleveringsnetwerk. Er zijn nieuwe gedeelde datamodellen nodig om interoperabiliteit in het netwerk te bereiken, waardoor gegevens van het ene bedrijf door het andere geïnterpreteerd kunnen worden. Dit zal bedrijven in staat stellen om hun digitale productpaspoorten te delen met partners in de toeleveringsketen. Een oplossing in deze context is niet alleen een technische oplossing: het vereist ook vooruitgang in ontwerp- en toeleveringsketenprocessen aan zowel klant- als leverancierszijde binnen elke schakel van het netwerk. Een reeks van deze processen vormt een gezamenlijk digitaal netwerk voor re-manufacturing.

De activiteiten omvatten de ontwikkeling van digital twins voor voorspellend onderhoud, de ontwikkeling van een circulair enterprise resource planningssysteem en het opzetten van een slim verbonden circulair leveranciersnetwerk.

3.3.4.1 Duurzaamheid

3.3.4.1.1 Een betrouwbare circulaire toeleveringsketen

Onder invloed van materiaalschaarste en duurzaamheidsdoelstellingen wordt hergebruik van kritieke (grond)stoffen steeds populairder. Dit geldt ook voor de halfgeleiderindustrie, maar de overgang naar circulaire praktijken vergt tijd en inspanning. Vanwege de extreem hoge kosten van (onvoorspelbare) downtime is betrouwbaarheid van circulaire systemen van het grootste belang. Daarom zullen methodologieën voor circulaire oplossingen alleen door de industrie worden geaccepteerd als ze op betrouwbare wijze kunnen worden getest en gekwalificeerd. Het creëren van deze nieuwe methodologieën vereist onderzoek en de oplossingen zullen moeten voldoen aan de hoge kwaliteitseisen van de industrie.



Figuur 16: De opzet van de equipmentpijler. Onder de hoofdoelen Duurzaamheid, Efficiëntie en Waardecreatie zijn de projectonderwerpen opgenomen. Op de horizontale as zijn de technologische speerpunten voor gezamenlijke faciliteiten weergegeven. De Joint Facilities dragen bij aan de projectonderwerpen zoals weergegeven met oranje bollen.

Circulaire bedrijfsmodellen

Een circulair bedrijfsmodel beschrijft de logica waarmee een organisatie waarde creëert en levert aan de meest uiteenlopende belanghebbenden, terwijl de milieu- en sociale kosten tot een minimum worden beperkt. Terwijl traditionele bedrijven zich richten op het maximaliseren van winst of het verlagen van kosten door middel van grotere efficiëntie in toeleveringsketens, fabrieken en operaties als bedrijfsdoel, richten circulaire bedrijven zich in plaats daarvan op het herontwerpen en herstructureren van product- en servicesystemen om de toekomstige levensvatbaarheid van het bedrijf en het concurrentievermogen in de markt te waarborgen. Het doel van deze deeltaak is het definiëren, ontwerpen en ontwikkelen van een bedrijfsmodel dat waarde creëert en bijdraagt aan duurzame uitdagingen die we nu en in de toekomst willen aangaan. De activiteiten omvatten het ontwerpen van een praktisch bedrijfsmodel en beoordelingskader voor meervoudige waarde, het ontwikkelen van bedrijfsstrategieën voor levensduurverlenging en het ontwikkelen en implementeren van instrumenten voor impactmeting en rapportage.

Design voor duurzaamheid

Het doel is om de prestaties van halfgeleiderapparatuur te optimaliseren en de impact op het milieu te minimaliseren door te ontwerpen voor duurzaamheid. Strategieën zoals eco-efficiëntie, gebruikersoptimalisatie en levensduurverlenging worden geïntegreerd met duurzame ontwerpprincipes. Deze omvatten materiaalkeuzes, energie-efficiëntie, optimalisatie van de locatie, minimaliseren van niet-hernieuwbaar energiegebruik, gebruik van milieuvriendelijke producten, waterbesparing, verbetering van de luchtkwaliteit en verbetering van werking en onderhoud. Bij deze benadering worden kosten, milieu, sociale en menselijke voordelen met elkaar in evenwicht gebracht om aan de missiedoelstellingen en gebruikersbehoeften te voldoen. De activiteiten omvatten het ontwerpen voor levensduurverlenging, het ontwerpen van processen voor hergebruik en reparatie en het ontwerpen van processen voor herfabricage.

3.3.4.1.2 Vermindering van het gebruik van schaarse middelen in chipfabrieken

In deze taak werken de partners samen om het gebruik van schaarse materialen en energie te verminderen. Naarmate de industrie zich uitbreidt en de schaarste aan materialen en energie toeneemt, wordt het steeds moeilijker om aan de vraag te voldoen. Het verminderen van materiaal- en energiegebruik is niet alleen essentieel om aan de vraag

te kunnen voldoen, maar het kan ook de kosten van de productie van zowel apparatuur als microchips te verlagen.

Daarnaast is het ook van strategisch belang, omdat het de afhankelijkheid van kritische materialen vermindert en zo bijdraagt aan een robuustere en duurzamere industrie. De reductie-inspanningen zijn gericht op verschillende niveaus: 1) Huidige processen (materiaal- en gasverbruik), 2) In de apparatuur (wat zit erin) en 3) Nutsvoorzieningen (elektriciteit, water). Deze activiteiten zijn in lijn met de Nationale grondstoffenstrategie (NGS¹), die gericht is op een veilige, duurzame en stabiele toegang tot grondstoffen en het verminderen van afhankelijkheden op nationaal niveau, en de European Critical Raw Materials Act², die zich richt op het bevorderen van de veerkracht van de kritieke grondstoffen op Europees niveau.

3.3.4.1.3 Vermindering van het gebruik van schadelijke materialen

Het is noodzakelijk voor de Nederlandse halfgeleiderindustrie om af te stappen van het gebruik van schadelijke materialen om hun license to operate te behouden en om bij te blijven met de (aankomende) wetgeving. De partners zullen individueel, samen met de toeleveringsketen, werken aan het elimineren van schadelijke materialen en stoffen in hun apparatuur. De rol van apparatuurfabrikanten is om 1) het gebruik van schadelijke materialen in hun eigen apparatuurproductie te voorkomen en 2) de overgang naar minder schadelijke materialen in de chipproductie mogelijk te maken door apparatuur compatibel te maken met nieuwe processen. Daarnaast kan het langetermijnszicht in het veranderende politieke landschap worden gebruikt in de ontwikkelingscycli van apparatuur van de volgende generatie, waardoor de industrie op de lange termijn concurrerend blijft.

Exploratie van schadelijke materialen

Het doel van deze deeltaak is om impactvolle gebruikssituaties te identificeren en een beter begrip te krijgen van wat er nodig is om over te stappen op het elimineren van schadelijke materialen uit de gebruikte apparatuur en processen. Daarom zal een studie worden uitgevoerd door een onafhankelijke consultant om te bepalen welke materialen als schadelijk worden beschouwd, welke prioriteit moeten krijgen, hoe de overgang naar veiligere alternatieven kan worden gemaakt en hoe men zich kan voorbereiden op (toekomstige) wetgeving. Gezamenlijk moeten bedrijven een duidelijk inzicht hebben in het veranderende politieke landschap als het gaat om wetgeving over schadelijke materialen.

¹ Kamerstuk 'Grondstoffen voor de grote transitie', 9 december 2022.

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/12/09/bijlage-nationale-grondstoffenstrategie>

² European Critical Raw Materials Act, Europese Commissie, 16 maart 2023 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_en



Eliminatie van schadelijke materialen (zoals PFAS)

In deze subtaak werken partners samen aan de vervanging van schadelijke materialen en hun licence to operate. De rol van equipmentfabrikanten is om het gebruik van schadelijke materialen in hun eigen apparatuurproductie te voorkomen. Op dit moment zijn PFAS, SF6 en chroom de belangrijkste die moeten worden aangepakt. Ook zullen de partners samenwerken met de toeleveringsketen om specifieke gebruikssituaties te identificeren en nieuwe alternatieven te onderzoeken, te testen en te implementeren. Dit werk zal de weg vrijmaken voor het terugdringen van andere schadelijke materialen, zoals waaronder Bisfenol A (BPA). Dit wordt gebruikt in lijmen met toepassingen binnen de halfgeleiderindustrie, maar er bestaat zorgen over de mogelijke gezondheidsrisico's.

3.3.4.2 Efficiëntie

3.3.4.2.1 Mastering Complexity

In deze taak werken de partners (alle grote Nederlandse OEM's en de toeleveringsketen) samen om de toenemende complexiteit van de apparatuur en hun toeleveringsketen te beheersen. Omdat transistoren steeds kleiner worden, wordt de equipment die nodig is voor de productie steeds groter en complexer. Dit betekent een enorme uitdaging voor zowel de fabrikanten van de equipment als de toeleveringsketen om deze complexiteit te beheersen. Individueel betekent dit voor OEM's het identificeren van use cases/modules binnen hun apparatuur die, samen met de toeleveringsketen, vereenvoudigd of geautomatiseerd kunnen worden. Op collectief niveau moeten bedrijven zich verdiepen in ontwerpmethodologieën, zoals Model Based Systems Engineering en het ontwikkelen/aankopen van EDA-achtige tools voor apparatuur om tools en processen te vereenvoudigen.

Het verbinden van tools

Hightech equipment levert extreme systeemprestaties op het gebied van nauwkeurigheid en productiviteit, onder extreem goed gecontroleerde, fysieke omstandigheden, zoals atmosfeer, temperatuur en geometrie. Het ontwerp van deze systemen is zeer heterogeen of multidisciplinair en omvat verschillende wetenschappelijke en technische domeinen: mechanische en elektronische hardware, software, communicatienetwerken en diepgaande fysisch-chemische processen die nauw met elkaar verbonden zijn en elkaar beïnvloeden. Deze heterogeniteit is verantwoordelijk voor de complexiteit van dergelijke systemen, met een snel toenemende complexiteit in de loop der tijd. De verschillende domeinen van wetenschap- en engineering worden ondersteund door verschillende en vaak incompatibele tools, wat de effectieve en efficiënte

specificatie, ontwerp, implementatie, optimalisatie, verificatie en validatie van deze systemen belemmert. Deze subtaak is gericht op het verbeteren van de interoperabiliteit van tools, waardoor naadloze, door tools ondersteunde ontwikkelingsstromen ontstaan. Dit zal leiden tot efficiëntere ontwikkelingsprocessen en betere systeemprestaties tegen lagere kosten.

Automatisering van de ontwerpflow

Om de escalerende complexiteit van de apparatuur en hun toeleveringsketen te beheersen, heeft deze subtaak tot doel de efficiëntie en nauwkeurigheid van fabrikanten van chipapparatuur in Nederland te verbeteren door de ontwerpflow te automatiseren via geavanceerde modellering en ontwerp, geïntegreerde simulaties, generatie en integratie van Reduced Order Models. We streven ernaar zowel de besluitvorming op hoog niveau als de ontwerp-taken op laag niveau te stroomlijnen. Generatieve AI zal ingenieurs helpen bij het uitvoeren van repetitieve taken en hen in staat stellen zich te concentreren op strategische keuzes op hoog niveau, ondersteund door natuurlijke taalgestuurde AI voor verbeterde documentatie en maakbaarheid.

Life Cycle Management (Legacy)

Met de toenemende complexiteit van halfgeleiderproductieapparatuur, neemt de inspanning voor levenscyclusbeheer exponentieel toe in de tijd. Bovendien wordt de levenscyclus van elektronische componenten en softwarepakketten korter, met frequentere wijzigingen/veroudering en updates die aanzienlijke inspanningen vereisen in de hele waardeketen, waardoor de vereiste inspanningen in de (nabije) toekomst mogelijk toenemen. Als een software- of hardware-onderdeel in een deel van de apparatuur wordt gewijzigd, moet meestal een volledig validatieplan worden gevolgd om het onderdeel (en de apparatuur) opnieuw vrij te geven. Hiervoor zijn hoogopgeleide ingenieurs nodig, die middelen in beslag nemen die aan innovatie en ontwikkeling zouden kunnen worden besteed.

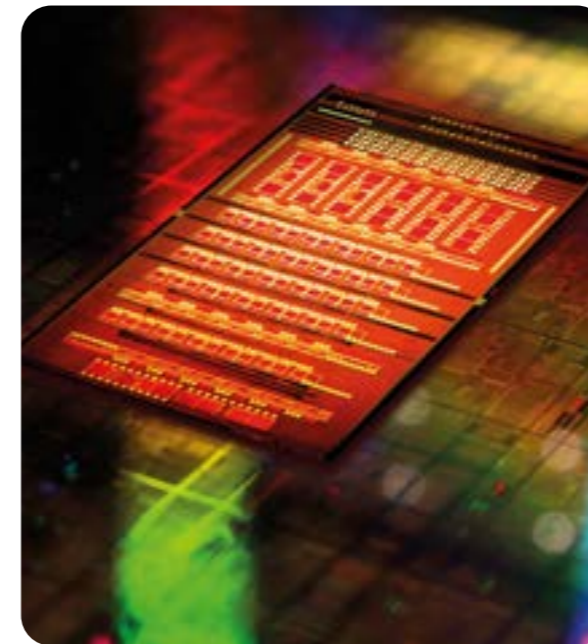
Het doel van deze deeltaak is om het ontwerp en het levenscyclusbeheer van apparatuur voor halfgeleiderfabricage te vereenvoudigen door een nieuwe klasse van modulaire apparatuur voor halfgeleiderfabricage te creëren die kan worden ontworpen, gefabriceerd en onderhouden gedurende de levensduur met minder inspanning en kosten. Dit omvat zowel het beheer van huidige halfgeleiderapparatuur als het toepassen van de lessen op toekomstige ontwerpen van halfgeleiderapparatuur.

Digital Twin

Dit werkpakket is gericht op het versnellen en verbeteren van het ontwerpproces door het gebruik van een virtuele representatie van een fysieke asset, oftewel: digital twin. Als de waardeketen van de Nederlandse halfgeleiderindustrie betere modellen en betere feedbackloops heeft van de realiteit naar de virtuele wereld, bouwt dit verder op de reeds strategische capaciteiten die het Nederlandse halfgeleider-ecosysteem kenmerken. Dit zijn snellere innovatie, time-to-market, meer samenwerking in het ecosysteem, minder ontwerpiteraties en op maat gemaakte klantoplossingen.

Het voorstel is gericht op het verder avanceren van modellen die het gedrag van producten en systemen tijdens de ontwerpfase weergeven. Het doel is om de geavanceerdheid van digital twins/virtuele representaties/modellen te vergroten door middel van terugkoppeling van gegevens van echte producten en systemen of fysieke fenomenen naar de virtuele wereld.

- **Speciaal gebouwde testopstellingen:** Om multifysische modellen te ontwikkelen, realistische gegevens te verkrijgen en te kalibreren, stellen we voor om speciaal gebouwde testopstellingen te bouwen om fysieke fenomenen vast te leggen (bijvoorbeeld stromingen, thermiek, plasma, elektrostatica, deeltjesvorming, dynamica, optica, vermogen, elektronica) en in het bijzonder de relaties tussen deze fenomenen.



- **Gemeenschappelijk en gedeeld data-ecosysteem:** Om het niveau waarop bestaande en nieuwe modellen de werkelijkheid weergeven verder te verbeteren (om de voorspelbaarheid van systeemgedrag tijdens de ontwerpfase te vergroten), moet informatie uit bestaande gegevensbronnen in de waardeketen beschikbaar worden gemaakt en worden teruggekoppeld naar de modellen/digital twins. We stellen voor om een gemeenschappelijk en gedeeld data-ecosysteem op te bouwen om gegevens te verkrijgen, te delen en toegankelijk te maken voor modellen/digital twins.

3.3.4.2.2 Leren van apparatuur in het veld

Deze taak draait om het verkrijgen van inzicht in de prestaties van apparatuur in het veld in de loop van de tijd, op basis van metingen van apparatuurparameters in het veld. Het delen van informatie uit de productieketen voor foutanalyse is een van de uitdagingen.

3.3.4.2.3 Efficiënt testen, valideren en demonstreren van nieuwe apparatuur

De snelheid van R&D is van het grootste belang en wordt nu belemmerd door de relatief trage test- en validatie feedbackloops tijdens de productontwikkeling in de toeleveringsketen. In veel gevallen doet de OEM het testen zelf, voor alle modules die in de toeleveringsketen worden geleverd en ontwikkeld. Er kan efficiëntie worden gewonnen als modules eerder in de toeleveringsketen worden getest en gevalideerd.

Hiervoor moeten testoplossingen en methoden voor testen en gegevensuitwisseling (/IP) worden ontwikkeld. Een ander deel van deze taak betreft de voorbereidingen voor het opzetten van een gemeenschappelijke testfaciliteit. Door testfaciliteiten te delen wordt het mogelijk om geavanceerde test- en cleanroomfaciliteiten te creëren voor het demonstreren van nieuwe apparatuur of het uitvoeren van fundamentele experimenten die anders niet mogelijk zouden zijn voor de deelnemende partijen, zie paragraaf 3.3.4.0 Joint Facilities.

Validatie @ leverancier

De leveranciers in de Nederlandse halfgeleiderindustrie moeten veranderingen aanbrengen in test- en integratiestrategieën om modules te valideren die uiteindelijk deel zullen uitmaken van een full-size systeem. De drijfveer voor veranderingen komt voort uit de voortdurende toename van complexiteit en prijs voor halfgeleidersystemen in een veeleisende markt die vraagt om hogere kwaliteit en vertrouwen.

Op basis van een beter begrip van integratieprincipes is het doel om een efficiëntere aanpak te ontwikkelen in de ontwerpvalidatiecyclus, waardoor een slimmer eco-systeem van leveranciers in heel Nederland ontstaat. Bovendien zorgen kortere feedbackcycli voor minder materiaal- en energievervalsing door herontwerpen en voor een hogere kwaliteit van het eindproduct. Deze activiteit zal de verschillende partijen, de Nederlandse fabrikanten van halfgeleiderapparatuur en hun toeleveringsketen, aanspreken en ontwikkelen om een uniforme en overeengekomen methodologie te hebben als het gaat om moduleontwikkeling, validatie en het correleren van fysieke gegevens met virtuele modellen.

Het doel van dit voorstel is dat de leveranciers in de toeleveringsketen hun kennis van integratiestrategieën en -principes vergroten. Daarmee worden ze in staat gesteld om de kwalificatie- en integratiecycli te ondersteunen en kortere cycli van ontwerpupdates en hardware-modificaties te creëren. Door technologie voor het verzamelen van modulegegevens, bediening op afstand, veiligheid en beveiliging toe te voegen, wordt het mogelijk om het testen van module-integratie naar de gebouwen van de leverancier te verplaatsen. Als de leveranciers eenmaal bekend zijn met de principes en deze in hun processen beginnen te verankeren, kunnen de Nederlandse en internationale OEM's hun krachten richten op de ontwikkeling en levering van complete systemen aan de klanten.

3.3.4.2.5 Platform co-design

Deze taak is gericht op het verkorten van de ontwikkelingscyclus. Door systemen en subsystemen op te delen in modules met goed gedefinieerde overgangen of grenzen, kunnen leveranciers van apparatuur een zogenaamde 'division of concerns' creëren, die opeenvolgende ontwikkelingsstappen en de evaluatie van prestaties aan de systeemgrenzen mogelijk maakt. In deze taak realiseren de projectpartners de methodologie en een gemeenschappelijk platform voor modulair ontwerp en richten ze zich op het verbeteren van de ontwerpefficiëntie op basis van automatisering.

3.3.4.2.6 Predictive Maintenance

Predictive Maintenance, of het voorspellen van onderhoud op basis van gegevens van apparatuur, wordt gezien als zeer belangrijk voor het concurrentievermogen van de equipmentsector. Het verlaagt de eigendomskosten voor klanten van apparatuur en verlaagt de onderhoudskosten en verloren productiekosten door stilstand. Hierbij wordt gebruik gemaakt van digitale hulpmiddelen zoals digital twinning en AI. De partners zullen samenwerken aan gedeelde raamwerken en individueel, met de toeleveringsketen, werken aan use-cases voor specifieke apparatuur en/of modules van apparatuur.

Om dit te kunnen doen, moeten gegevens over de hele waardeketen worden gedeeld. Dit betekent zowel informatie uit de toeleveringsketen (inclusief procesgegevens van foundries) als procesgegevens uit de productieomgeving. Het delen van gegevens is een gevoelig onderwerp in deze sector en daarom is er een gedeeld belang in het ontwikkelen/gebruiken van gedeelde tools en (digitale) standaarden die veilig en betrouwbaar zijn voor gegevensuitwisseling.

Informatie uit chipfabrieken

Het doel van dit voorstel is het in twee richtingen delen van relevante informatie mogelijk te maken tussen fabrikanten van halfgeleiderapparatuur en de chipfabriek waar die apparatuur wordt gebruikt. Fabrikanten van apparatuur willen toegang tot gegevens om de beste ondersteuning te kunnen geven aan hun machines en relevante informatie te krijgen voor toekomstige ontwikkelingen. De chipfabrieken die deze machines gebruiken willen zoveel mogelijk informatie en toegang tot digital twins, zodat ze virtuele tools kunnen gebruiken om de productie te optimaliseren. De uitwisseling van informatie tussen de fabrikant van de apparatuur en de chipfabrieken die deze apparatuur gebruiken, is echter vaak moeilijk van de grond te krijgen vanwege de geheimzinnigheid aan beide kanten.

De activiteiten omvatten het identificeren van use-cases, standaarden en raamwerkselectie om een beheersbare end-to-end pijplijn te implementeren, die een veilige en vertrouwde data-uitwisseling tussen partijen mogelijk maakt.

Predictive diagnostics

Het doel is om een hoge uptime, hoge doorvoer, betrouwbaarheid en voorspelbaarheid te bereiken met behulp van gegevensgestuurde inzichten. Het doel is om de ongeplande stilstandtijd tot nul te reduceren en betrouwbare, overdraagbare en voorspellende apparatuur en processen te hebben. Om dit te bereiken is het nodig om alle failure modes van de hardware, software en andere actoren (omgeving, operator) in de workflow van de klant volledig te begrijpen en meetbare indicatoren te creëren voor de status van de machine, de kwaliteit van de machineprestaties, de kwaliteit van het proces en het resultaat voor de klant.

Data-ecosysteem

Het doel van deze subtaak is om een gedeeld data-ecosysteem te bieden voor fabrikanten van apparatuur en chipfabrieken. Om een efficiënte werking van de fabriek te garanderen, is het nodig om een onderscheid te maken tussen real-time ruwe gegevens (doel: geen wijzigingen) en historische, gearchiveerde gegevens (doel: verkrijgen met nieuwe gegevens, heterogene gegevens op elkaar afstemmen = brandstof voor nieuwe slimme toepassingen). Een dergelijke scheiding kan helpen om de noodzakelijke verbetering van de datakwaliteit te versnellen om de algehele IT-architectuur naar een hoger niveau te tillen. Om ervoor te zorgen dat alle partijen toegang krijgen tot betrouwbare, relevante informatie uit het data-ecosysteem, moet er een goed compartimenterings- en autorisatiesysteem aanwezig zijn. Dit betekent dat alle partijen gegevens en modellen kunnen delen zonder zich zorgen te hoeven maken over IP en concurrentiegevoeligheid. De activiteiten richten zich op het ontwikkelen van deze systemen.

3.3.4.3 Waardecreatie

3.3.4.3.1 Equipment voor heterogene integratie en advanced packaging

Heterogene integratie is een belangrijke ontwikkeling om de mogelijkheden van halfgeleiders en chipsystemen te vergroten. Het integreren van meer functionaliteit in een kleinere ruimte vereist een lego-achtige aanpak om afzonderlijk gefabriceerde componenten (dies) te integreren in een assemblage op een hoger niveau (System-in-Package, multi-chip modules, enzovoorts). Nieuwe assemblageapparatuur is nodig, die processen biedt voor deze steeds complexere en veranderende bouw- en integratiebenaderingen. De vraag naar deze procesmogelijkheden wordt in de toekomst steeds groter en gaat veel verder dan de huidige mogelijkheden.

Deze vraag vereist een fundamentele sprong voorwaarts. Deze sprong vormt een uitdaging voor de ontwikkeling van apparatuur, aangezien conceptuele veranderingen risico's met zich meebrengen en de processen nog niet volledig worden begrepen.

Het doel hierbij is om de eerdergenoemde sprong in proces- en machineontwikkeling te maken door proces- en machinetechnologie-onderzoek voor toekomstige heterogene integratieprocessen. Daarnaast is het grijpen en versterken van de toekomstige positie van Nederlandse OEM's in apparatuur voor heterogene integratie doel van deze activiteit.

Procesidentificatie en -ontwikkeling

Bij de productie van heterogeen geïntegreerde devices ontstaan nieuwe niveaus van complexiteit: co-design van behuizingen, interfaces tussen dies, thermisch beheer, testen, betrouwbaarheid en failure analyse. Hiermee worden de procesmogelijkheden uitgebreid, veel verder dan de huidige mogelijkheden. Deze taak koppelt OEM's aan RTO's om nieuwe en te verwachten procesbehoeften te identificeren en deze processen te ontwikkelen.

De activiteiten omvatten het identificeren - voor specifieke use-cases - van de procesuitdagingen en -behoeften, en het onderzoeken van benaderingen en methoden om significante verbeteringen te realiseren: > 10x.

Equipmentcreatie

Om een technologische sprong voorwaarts mogelijk te maken en nieuwe geïdentificeerde processen te ontwikkelen, moeten concepten worden vertaald naar equipment. Dit vormt een uitdaging voor de ontwikkeling van equipment, omdat conceptuele veranderingen risico's met zich meebrengen en processen nog niet worden begrepen. Daarom is er testapparatuur nodig, evenals analytical equipment voor onder meer de toekomstige generatie chips en advanced packaging. Hiervoor zullen OEM's hun expertise gebruiken om equipment te maken. Dit kan in de vorm van testopstellingen, (cyber)fysieke of digitale ontwerpmodellen of aanpassing van bestaande apparatuur.

Integratie van processen en apparatuur

Het doel is hier om het ontwikkelde proces te integreren in prototype-apparatuur. De kloof overbruggen van conceptuele en voorlopig geteste concepten naar echte prototype-machines is een pad met een groot aantal uitdagingen. Door de inspanningen en het leren van eerdere taken te combineren, richten OEM's zich in deze taak op het maken van prototype-apparatuur.



3.3.4.3.3 Controle op verontreiniging

Het onder controle houden van verontreiniging tijdens de productie van chips is een belangrijke competentie. In front-end apparatuur kunnen verontreinigingen de opbrengst van productieprocessen verminderen en daarom is het essentieel om ze te controleren met het oog op de productiviteit van het systeem. Bovendien kan vervuiling de levensduur van apparatuursystemen verkorten. Vanwege de relevantie voor (met name EUV) lithografie en andere FEOL-apparatuur heeft Nederland een unieke kennispositie opgebouwd.

Met de toenemende technologische complexiteit en de kleinere afmetingen van mid- en back-end apparatuur, wordt contaminatiecontrole steeds belangrijker voor bedrijven die zich op dergelijke processen richten. Back-end apparatuur verplaatst zich ook naar cleanroomomgevingen, wat nieuwe en strenge eisen met zich meebrengt. We zullen gebruikmaken van de uitstekende kennispositie van het ecosysteem en specifieke kennis ontwikkelen voor back-endproductie. Ook voor de front-end ontstaan nieuwe vragen. We zullen onze kennispositie hier verder uitbreiden.

Harmonisatie van reinheidsnormen

Het doel van deze subtaak is om te komen tot geharmoniseerde normen voor reinheid. Op dit moment worstelen leveranciers met verschillende kaders voor reinheid van verschillende klanten (OEM's). Deze verschillende normen maken het voor leveranciers moeilijker om voor verschillende OEM's te werken. Het veroorzaakt aanzienlijke inefficiënties in productie en R&D. Nederland is goed gepositioneerd om standaarden op dit gebied vast te stellen en dit zal ook een concurrentievoordeel opleveren.

Ons doel is om een algemeen kader voor deeltjes- en moleculaire reinheid te verkrijgen dat beschikbaar is voor de industrie van halfgeleiderequipment en de toeleveringsketen, opties te genereren en indien haalbaar te implementeren om de reinheidsnormen uit te breiden naar onderdelen voor hergebruik, het kennisniveau met betrekking tot de vereiste reinheidsniveaus te verhogen tot het laagste n-tier, de best known methods met betrekking tot verificatie, reiniging en reinigbaarheid vast te stellen (basisniveau) en trainingsmateriaal te leveren voor de industrie en universiteiten. Het werk is onderverdeeld in de volgende activiteiten:

- Overeenstemmen en uitrol van het zuiverheidskader.
- Opstellen van trainingsmateriaal (gebaseerd op bestaande kennis).
- Ontwikkeling en uitrol van BKM (best known methods) (nieuwe onderzoeken om kennisniveau te verhogen).
- Geven van training aan de industrie en onderwijs aan studenten.

Begrip van deeltjes en moleculaire contaminatie fysica en chemie

Controle op vervuiling is een belangrijke kracht van het Nederlandse ecosysteem. OEM's en hun toeleveringsketens en kennisecosysteem hebben de afgelopen decennia veel kennis opgebouwd. Deze kennis op het gebied van contaminatiebeheersing kan en moet nog verder worden verdiept, omdat rendement, uptime, productiviteit en levensduur van systemen nog steeds belangrijke concurrentievoordelen zijn. Bovendien kan de kennis uit het ecosysteem worden gebruikt om nieuwe producten te creëren die nodig zijn in de back-end productie, waar contamination control steeds belangrijker wordt. Vooral bij het wafer-die bonden, bijvoorbeeld bij heterogene integratie, wordt de controle op vervuiling aan de back-end een uitdaging, vergelijkbaar met front-end processen.

Het doel van de activiteit is om het begrip te vergroten en kennis te benutten voor de toekomstige ontwikkeling van apparatuur. De gekozen aanpak is om een gemeenschappelijke testaanpak voor contaminatiebeheersing voor de halfgeleiderindustrie mogelijk te maken. Deze gemeenschappelijke aanpak moet onderzoek en ontwikkeling stimuleren, de doorlooptijd en kosten verminderen en samenwerking stimuleren.

De activiteiten gaan over moleculaire contaminatie en deeltjescontaminatie. Voor beide onderwerpen zal er gewerkt worden aan contaminatiemetrologie: het kostbare/tijdrovende meten van de verschillende soorten contaminanten vertraagt het leerproces en bemoeilijkt bovendien de detectie en preventie tijdens het productieproces. Voor moleculaire verontreiniging zal een gedeelde vingerafdrukdatabase worden gecreëerd. Deze database zal verschillende soorten moleculaire vervuiling identificeren, waardoor problemen sneller kunnen worden opgespoord, ook in het veld, wat leidt tot hogere up-times en een langere levensduur van de equipment.

3.3.4.3.4 Materiaalcompetenties

In deze taak werken de partners samen op het gebied van materiaalonderzoek. Materiaalonderzoek is belangrijk voor de ontwikkeling van nieuwe functionaliteiten voor equipment, prestatieverbetering en voor het behalen van bijvoorbeeld duurzaamheidsdoelstellingen. OEM's en leveranciers moeten specifieke gebruikssituaties identificeren waarvoor nieuwe materialen of functionaliteiten nodig zijn. Gezamenlijk zouden partners kunnen kijken naar het gebruik van voorspellend en generatief AI-gedreven onderzoek, dat kan worden toegepast op verschillende use-cases.

Chipgerelateerde materialen

Het doel is om de toepasbaarheid van halfgeleider-equipment en fabricagemethoden te vergroten door de elektrische prestaties, betrouwbaarheid en het verbruik van bestaande en nieuwe chipgerelateerde materialen te onderzoeken, te ontwikkelen en te verbeteren, van materialen die gebruikt worden als substraat, op apparaat-niveau (transistor, condensator, enzovoorts), interconnectie tot pakketniveau (chiplet).

Hiervoor moeten nieuwe materialen ontwikkeld worden, die gebruikt worden bij de productie van halfgeleiders en om deze te begrijpen, hetgeen de elektrische prestaties, betrouwbaarheid en het energieverbruik van een chip ten goede komt.

De activiteiten zullen bestaan uit PPS-projecten, waarin nieuwe materialen, processen en toepassingen worden onderzocht, met een focus op de volgende aandachtsgebieden:

- Advanced packaging en heterogene integratie
- AI-gestuurd materiaalonderzoek
- Wide-bandgap materialen
- Powerelectronics
- Nanomaterialen

Materialen voor Equipment

Het doel is om materialen en productietechnologieën te ontwikkelen die de prestaties van halfgeleiderapparatuur op systeemniveau verbeteren door rekening te houden met verbeteringen van de materiaaleigenschappen op componentniveau. Deze verbeteringen kunnen bijvoorbeeld gevonden worden in bulkeigenschappen, in oppervlakte-eigenschappen en in materiaal-materiaal en materiaal-proces interacties. Ook moeten ze overwogen worden voor de productie, de toepassingsfase en elke andere fase van de levenscyclus van het product. Om dit te bereiken is het cruciaal om gegevens te verzamelen over materiaaleigenschappen en productietechnologieën om structurele verbeteringen te identificeren en te implementeren. Dit kan ook de identificatie en/of ontwikkeling van materiaalanalyseapparatuur vereisen.



3.3.5 Kennisvragen

In de equipmentpijler zijn de belangrijkste kennisvragen die in het project een antwoord moeten krijgen, voor:

Duurzaamheid

- Circulaire productietechnologie en hulpmiddelen voor het geautomatiseerd verbinden en verwijderen van onderdelen. (3.3.4.1.1 Een vertrouwde circulaire supply chain)
- Technologie voor het zuiveren van materialen zoals tin, maar ook restmaterialen uit verspaningsprocessen voor hergebruik. (3.3.4.1.2 Vermindering van het gebruik van schaarse middelen)
- Onderzoek naar schadelijke materialen: Wat zijn de toekomstige materialen die momenteel in de industrie worden gebruikt en die als schadelijk worden beschouwd. Deze moeten prioriteit krijgen op basis van de impact en komende regelgeving, en hoe moet de industrie overstappen op veiliger alternatieven in overeenstemming met de evoluerende regelgeving? (3.3.4.1.3 Vermindering van het gebruik van schadelijke middelen in chipfabrieken)
- Het vinden van alternatieve materialen en oplossingen ter vervanging van PFAS-houdende materialen, maar ook andere schadelijke materialen, zoals SF6 en andere die we in de toekomst tegen gaan komen. (3.3.4.1.3 Vermindering van het gebruik van schadelijke materialen)
- Bedrijfskunde:
 - Hoe ontwikkel en valideer je nieuwe circulaire business cases en een afwegingskader voor remanufacturing in de HTSM-sector? Niet alleen economisch, financieel, maar meervoudig, dus ook de impact op duurzaamheid, grondstoffen en CO2.
 - Hoe zet je product met services opnieuw in de markt (marketing, communicatie, klantvraag) met een verdienmodel gebaseerd op het resultaat bijvoorbeeld als dienst ('as a service') met een lange levensduur.
 - Hoe organiseer je vanuit re-use een leerloop terug naar productontwikkeling van nieuwe generaties producten.

- ICT:
 - Hoe organiseer en implementeer je nieuwe circulaire bedrijfsprocessen in de bestaande ICT-, software- en datasystemen (met name ERP en shopfloor software), zowel voor remanufacturing, levensduurverlenging als circulair herontwerp. Met aandacht voor retourlogistiek, waardebeoordeling, artikelbeheer en bill of materials.
 - Welke door wetgeving afgedwongen datadeelstandaarden, zoals duurzaamheidsimpactrapportages, CO2-certificaten, Digitaal Product Paspoort en Bill of Materials dienen geïmplementeerd te worden en hoe doe je dat in welk ICT-systeem?
 - Hoe data te verzamelen en in te zetten voor verdienmodel tijdens de hele levensduur van het product (ontwerp: beginning of life, levensduur: middle of life, re-use: end of life) via intelligent assets?

Efficiëntie

- Technologie en methodologie die de interoperabiliteit van tools in de ontwerp flow voor apparatuur verbeteren. (3.3.4.2.1 Beheersing van complexiteit)
- Modellen, methodieken en tools voor platform based design automation. (3.3.4.2.1 Beheersing van complexiteit)
- Ontwikkeling van modellen, simulatie en analysemethoden voor life cycle management. (3.3.4.2.1 Beheersing van complexiteit)
- Data- en modelgebaseerde methodologie voor predictive maintenance. (3.3.4.2.6 Predictive maintenance)

Waardecreatie

- Ontwikkeling van equipment voor analyse & productie voor zowel integratie als toekomstige generatie/architectuur chips. De vragen zijn dan aan welke eisen moeten processen en equipment voldoen, welke materialen/structuren moeten worden geanalyseerd en wat zijn de eisen. (3.3.4.3.1 Equipment voor heterogene integratie)
- Inzicht in de fysica en chemie van deeltjes en moleculaire contaminatie. (3.3.4.3.3 Contaminatiebeheersing)
- Nieuwe materialen voor nieuwe functionaliteit, betere eigenschappen en duurzaamheid. (3.3.4.3.4 Materiaalkennis en kunde)

4

Financiële kaders

4.1 Begroting

Om de activiteiten uit de werkpakketten van de pijlers uit te kunnen voeren, is een kostenberekening gemaakt op basis van loonkosten, materiaal, apparatuur en kosten derden.

De bedrijven weergegeven na de 'Inleiding' zijn meegenomen in onderstaande begroting. Elke partij heeft op basis van de ingeschatte bijdrage aan ChipNL een begroting gemaakt. In het uiteindelijke budget is een reservering gemaakt van 10% voor aanvullende MKB-deelname, 10% voor aanvullende deelname van kennisinstellingen en 5% voor projectmanagement.

De totale investering bedraagt € 735 miljoen, waarvan € 420 miljoen subsidie. Dit komt neer op op een investering van € 105 miljoen per jaar. Gezien de verschillende faseringen en benodigd kapitaal per fase binnen de pijlers, is de benodigde jaarlijkse investering gelijkmatig verspreid over de looptijd van het totale project.

Begroting	
Kostenposten	Bedrag incl. subsidie
Loonkosten	€ 510.000.000
Materialen	€ 65.000.000
Apparatuur	€ 95.000.000
Derden	€ 65.000.000
Totale investering	€ 735.000.000

Toelichting tabel

De opgevoerde loonkosten en kosten voor apparatuur, materiaal en derden zijn inclusief subsidiebedragen en cofinanciering. In dit plan hebben we gerekend met 50% subsidie voor private partners. Dit is in overeenstemming met de gebruikelijke RVO-percentages.

Omdat we in deze fase geen zicht hebben onder welke regeling het ChipNL-programma gaat vallen, is bovenstaande begroting aan veranderingen onderhevig. Daarnaast zijn de activiteiten binnen de werkpakketten aan veranderingen onderhevig door diverse externe factoren. Tijdstip van beschikbare investeringen, marktdynamiek en type subsidieregelingen zijn allemaal van invloed op zowel de hoogte van de diverse kostenposten alsook voor de daadwerkelijke realisatiekans van de activiteiten.



4.2 Return on Investment

Op basis van de bovenstaande investeringen en de te verwachten opbrengsten, zoals omschreven in hoofdstuk 2.1 Economisch vermogen, is een berekening gedaan voor de te verwachten Return on Investment (ROI).

Deze berekening is gevisualiseerd in tabel 2. Deze tabel laat de cumulatieve extra toegevoegde waarde van het ChipNL-scenario zien. Uit deze berekening komt dat ChipNL tot 2032 een verwacht cumulatief vermogen van € 4,6 miljard kan genereren.

Vanaf 2032 wordt er jaarlijks minimaal €1,6 miljard additionele toegevoegde waarde gegenereerd door ChipNL-activiteiten. Het effect van ChipNL op het huidige BBP is hierdoor per 2032 ten minste 0,16% (exclusief correctie inflatie en exclusief stijging huidig BBP).

Over de looptijd van dit programma (7 jaar), wordt € 4,8 miljard extra toegevoegde waarde gegenereerd. Dit zorgt voor een Return on Investment van 550% na acht jaar (tot 2032). Dit betekent dat iedere uitgegeven euro met een factor 5,5 terugkomt.

Toelichting rekeningmethodiek

Het vermogen van een innovatie of ecosysteem wordt uitgedrukt in de Toegevoegde Waarde, bijdrage aan

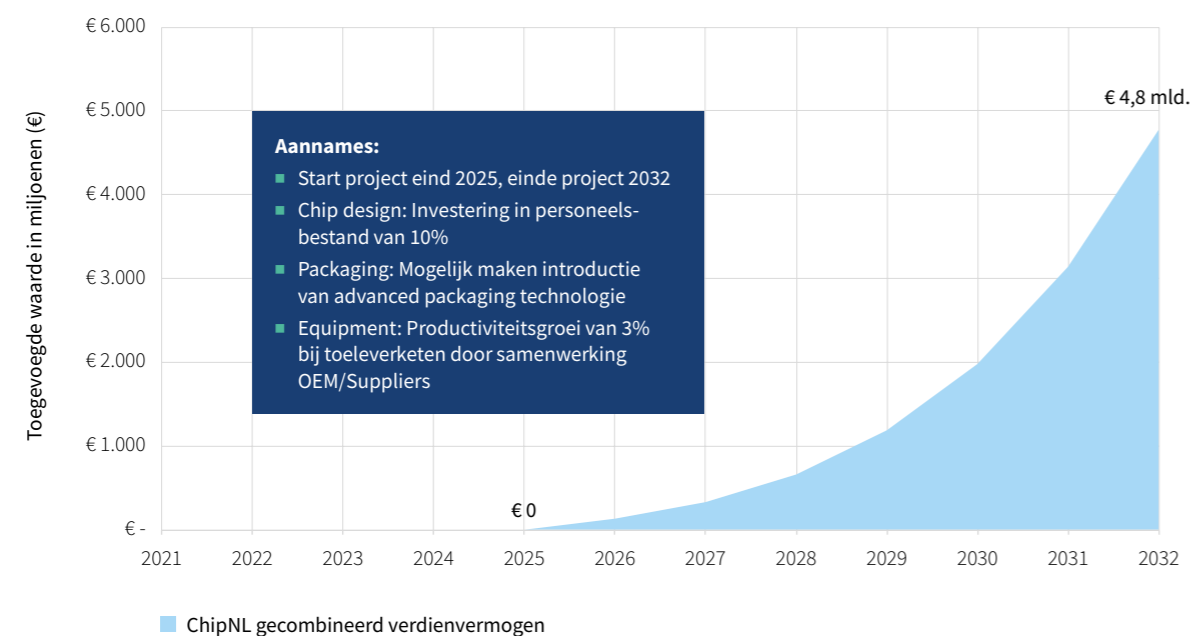
de economie. Dit is uit te drukken in een aandeel van de omzet of per FTE. Dit is verder te specificeren in terugverdiendtijd van de investering in jaren en het effect op het BBP tot of in een periode in % [BBP EFFECT].

Semicon-breed beschikt Brainport Development over veel data over de Nederlandse omvang/groei en andere factoren. Hieruit is een goede prognose te maken op basis van autonome groei en marktverwachtingen. Afhankelijk van beslissingen, investeringen of gebeurtenissen in de sector zal er een ander scenario volgen. Voor de Nederlandse semicon-brede industrie geldt dat 1 FTE gemiddeld € 500 duizend toegevoegde waarde heeft en dat 81% van de omzet mag worden toegerekend als toegevoegde waarde. Dit is berekend volgens onderstaande formule met financiële gegevens van beursgenoteerde bedrijven:

$$\text{Contribution to GDP (financial report format)} = \frac{(\text{Net Sales} - \text{Cost of Sales}) + \text{SG\&A Expenses} + \text{Taxes Paid} + \text{Investments and R\&D}}{\text{Total Revenue}}$$

Iedere activiteit binnen de halfgeleiderindustrie heeft een andere toegevoegde waarde-factor. Op basis van aangeleverde groeicijfers van de deelnemende bedrijven van dit plan, is een groeiprognose ontstaan, zoals te zien is in hoofdstuk 2.1. Dit vormt, samen met de benodigde investeringen, de input voor bovenstaande ROI.

Cumulatief vermogen ChipNL



Tabel 2: Verwacht cumulatief vermogen ChipNL Innovatieprogramma



Bijlage 1 Flankerend beleid en innovatieprogramma's

Algemeen industrie- en innovatiebeleid Nederland en Europa

Binnen het nationale landschap is het ChipNL Innovatieprogramma afgestemd op en draagt bij aan onder andere de Nationale Technologiestrategie (NTS), diverse roadmaps, agenda's en instrumentarium en Nationale Groeifondsen (NGF). Parallel aan de bijdragen aan de diverse beleidsagenda's en -strategieën is het ChipNL Innovatieprogramma afgestemd op diverse Europese en nationale projecten en programma's. Relevant beleid is opgenomen in onderstaand overzicht.

Beleidskader, agenda's & regelingen	Doel	Relevantie ChipNL Innovatieprogramma
EU Chips Act	Het versterken van het halfgeleider-ecosysteem in de EU, waarborgen van de veerkracht van toeleveringsketens en verminderen van externe afhankelijkheid.	Dit plan ligt volledig in lijn met de EU Chips Act, met name het opbouwen van capaciteit op chip design, packaging en productie, en het versterken van technologisch leiderschap.
IPCEI Micro-elektronica en Communicatie-technologie	Financiert strategische projecten op het gebied van micro- en nano-elektronica en communicatie-technologie. De strategische doelstelling is om digitale en groene transitie te stimuleren en tegelijkertijd het concurrentievermogen van Europa in belangrijke sectoren te verbeteren.	De focus op het bredere halfgeleider-ecosysteem sluit naadloos aan bij de integrale benadering van chip design, equipment en packaging in dit ChipNL Innovatieprogramma. De inzet op dit brede spectrum van materialen en chipontwerpen tot productieprocessen en applicatieontwikkeling, gecombineerd met de focus op het helpen van bedrijven op de groene en digitale transitie, maakt dat we goed aansluiten bij de doelstellingen van dit programma. Focusgebieden die aansluiten zijn met name chip design, chipproductie en packaging-activiteiten.
Eureka: Xecs voor micro- en nano-elektronica	Het tempo van duurzame industriële innovatie in de Electronics Components & Systems (ECS)-community versnellen via internationale samenwerking om daarmee grote maatschappelijke en economische impact te realiseren. Het programma ondersteunt projecten die bijdragen aan de technologische soevereiniteit van Europa, met een focus op samenwerking tussen EU-lidstaten en bedrijven die actief zijn in strategische waardeketens.	Xecs biedt mogelijkheden om te focussen en is voor kleinschaligere projecten. Xecs stimuleert internationale samenwerking, waardoor Nederlandse bedrijven, onderzoeksinstituten en universiteiten in consortia kunnen samenwerken met partners uit andere Eureka-landen, zoals Frankrijk, Duitsland en België.
Horizon Europe	Ondersteunt onderzoek en innovatie, van concept tot marktintroductie voor onderzoekers, bedrijven en instellingen in de EU. Relevant voor met name laag TRL R&D projecten, gericht op halfgeleiders.	De halfgeleiderindustrie valt binnen diverse sleutelgebieden van Horizon Europe, zoals digitalisering, industriële technologieën en sleuteltechnologieën, waardoor het goed aansluit bij de doelstellingen van de EU.
Pack4EU	Beoogt een robuuste infrastructuur voor geavanceerde chip packaging op te bouwen, om zo de leveringszekerheid en technologische onafhankelijkheid van Europa te vergroten.	In dit plan zetten we in op het ontwikkelen en introduceren van een compleet nieuwe methode voor het packagen van elektronica met als resultaat een fully automated factory (OSAT). Dit sluit naadloos aan bij de volgende aanbeveling uit het Pack4EU: Creation of Open Piloting Facilities for small and medium volume production as a seed for growing European Advanced Packaging capabilities.

Beleidskader, agenda's & regelingen	Doel	Relevantie ChipNL Innovatieprogramma
Nationale Technologiestrategie	De Nationale Technologiestrategie (NTS) prioriteert 10 sleuteltechnologieën die: 1) significant bijdragen aan ons verdienvermogen, 2) cruciaal zijn voor maatschappelijke uitdagingen, 3) belangrijk zijn voor de nationale veiligheid, 4) Nederlands technologisch leiderschap mogelijk maken.	Semicon Technologies is een van de 10 sleuteltechnologieën waarvoor actie-agenda's opgesteld dienen te worden. Dit plan geeft daar handen en voeten aan. Daarnaast heeft dit plan sterke raakvlakken met onder andere Mechatronics and Optomechatronics. De meeste van de 10 prioriteiten binnen de Nationale Technologiestrategie hebben een directe of indirecte verbinding met de halfgeleiderindustrie.
Eurostars	Eurostars is een programma onder het Eureka-netwerk dat specifiek is gericht op het ondersteunen van kleine en middelgrote ondernemingen (mkb's) die aan R&D werken. Het programma financiert internationale samenwerkingsprojecten die gericht zijn op het ontwikkelen van innovatieve producten, processen of diensten en die bijdragen aan technologische vooruitgang en concurrentievermogen op internationaal niveau	Dit programma is geschikt voor Nederlandse mkb's in de halfgeleiderindustrie, die samen met internationale partners kunnen werken aan R&D-activiteiten, bijvoorbeeld op het gebied van geavanceerde halfgeleiders en AI-toepassingen. Ook kunnen consortia gevormd worden met grotere bedrijven en kennisinstellingen, wat de kans vergroot op succesvolle ontwikkeling en commercialisatie van nieuwe technologieën.
Digital Europe	Digital Europe is een EU-programma dat zich richt op het versnellen van de digitale transitie in Europa en ondersteunt projecten op het gebied van onder andere kunstmatige intelligentie, cyberveiligheid, en geavanceerde digitale vaardigheden. Het programma voorziet in middelen voor groot-schalige projecten die strategisch bijdragen aan Europese technologische autonomie en digitale infrastructuur.	Digital Europe biedt financiering voor projecten die een directe bijdrage leveren aan de opbouw van kritieke digitale technologieën binnen Europa, zoals halfgeleiders, die essentieel zijn voor de ontwikkeling van digitale infrastructuur en strategische technologieën. Projecten binnen de halfgeleiderindustrie kunnen gefinancierd worden als zij bijdragen aan digitale innovaties die cruciaal zijn voor andere sectoren, zoals AI, cyberveiligheid en de groene transitie.
EIT Digital	Stuurt de digitale transitie van Europa aan door innovatie en ondernemerschap te stimuleren via een pan-Europees ecosysteem van topbedrijven, het MKB, startups, universiteiten en onderzoeksinstituten. Het programma biedt ondersteuning aan projecten die bijdragen aan strategische technologische doelstellingen, zoals digitale infrastructuur, cyberveiligheid, en kunstmatige intelligentie.	EIT Digital biedt niet alleen financiering, maar ook toegang tot een breed netwerk van Europese partners. Met de ondersteuning van EIT Digital kan de Nederlandse halfgeleiderindustrie haar positie versterken binnen de Europese digitale waardeketen, waarbij er zowel financiële als strategische ondersteuning is om hoogwaardige digitale technologieën en toepassingen te ontwikkelen en te commercialiseren in een competitieve, internationale markt.
NWO	Financiert zowel fundamenteel als toegepast onderzoek, waardoor nieuwe kennis en innovaties worden ontwikkeld die bijdragen aan maatschappelijke en economische vraagstukken. Daarnaast stimuleert NWO samenwerking tussen universiteiten, onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven.	NWO-subsidies maken het mogelijk om fundamenteel onderzoek in micro-elektronica en halfgeleidermaterialen te verrichten, wat essentieel is voor nieuwe chipontwerpen en productieprocessen.
EFRO	Stimuleert innovatie, economische groei en werkgelegenheid door te investeren in projecten die de concurrentiepositie van regio's verbeteren. Dit fonds financiert onder andere initiatieven op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, het bevorderen van een koolstofarme economie en het ondersteunen van mkb.	De industrie kan profiteren van investeringen voor ontwikkeling van geavanceerde fabricagetechnieken, energie-efficiënte chips en innovatieve materialen. Daardoor kunnen ze processen optimaliseren, kosten verlagen en producten van hogere kwaliteit leveren. Bovendien stimuleert het fonds samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven, wat leidt tot nieuwe toepassingen en versterking van regionale technologische ecosystemen.

Beleidskader, agenda's & regelingen	Doel	Relevantie ChipNL Innovatieprogramma
Interreg	Financiert projecten die de uitwisseling van kennis, innovatie en duurzame ontwikkeling bevordert, om zo gezamenlijke uitdagingen op het gebied van bijvoorbeeld infrastructuur, milieu en economie aan te pakken.	De halfgeleiderindustrie kan via Interreg profiteren van grensoverschrijdende samenwerking, die essentieel is voor kennisuitwisseling en technologische innovatie.
MIT-subsidie	Bevordert samenwerking tussen mkb-bedrijven en kennisinstellingen en stimuleert innovatie binnen specifieke topsectoren, zoals technologie, energie en logistiek. Deze subsidie helpt bedrijven om nieuwe producten, diensten en processen te ontwikkelen	Door haalbaarheidsstudies en R&D-projecten te financieren, kan de halfgeleiderindustrie sneller inspelen op technologische ontwikkelingen en markt vraag.
Roadmap HTSM	De routekaart identificeert prioritaire thema's en technologische uitdagingen, zoals halfgeleider-technologieën, fotonica, kwantumtechnologie, slimme materialen en cyberbeveiliging. Het stimuleert samenwerking tussen bedrijven, kennisinstellingen en overheden om te investeren in onderzoek, ontwikkeling en implementatie van nieuwe technologieën. Doel: voorop blijven lopen in Nederland en economische groei bevorderen.	De roadmap is een leidraad voor strategische investeringen en innovatie-inspanningen binnen de HTSM-sector. Het ChipNL Innovatieprogramma kan de samenwerking tussen bedrijven en kennisinstellingen binnen de HTSM-sector stimuleren en het economisch vermogen van diverse sectoren veiligstellen door innovatie, kennisoverdracht en ecosysteemvorming.
Semiconductor Manufacturing Equipment Roadmap	Geeft richting aan de toekomstige ontwikkeling van productietechnologieën in de halfgeleiderindustrie. Het doel van deze roadmap is om innovaties te stimuleren die nodig zijn voor de productie van steeds geavanceerdere halfgeleiders, zoals krachtigere, snellere en energiezuinigere chips.	Het ChipNL Innovatieprogramma ligt volledig in lijn met deze roadmap.
Elektronica Roadmap	Bevordert de technologische ontwikkeling en innovatie in de elektronica-sector in Nederland en stimuleert onderzoek en investeringen in geavanceerde elektronica, zoals halfgeleiders, sensoren en chiptechnologie, die essentieel zijn voor toepassingen als kunstmatige intelligentie, duurzame energie, en slimme mobiliteit.	Het ChipNL Innovatieprogramma ligt volledig in lijn met deze roadmap.
Groeimarktstrategie	Ondersteunt Nederlandse bedrijven bij hun groei in markten met hoog potentieel, zoals de digitale economie, duurzame energie en technologische innovatie. Door gerichte investeringen, samenwerking met internationale partners en beleidsondersteuning wil Nederland zijn concurrentievermogen vergroten en zijn exportpositie versterken.	Het biedt de halfgeleiderindustrie kansen om te floreren in internationale markten met hoge groei en technologische vraag. Dit helpt hen om hun technologieën en producten wereldwijd te introduceren en in te spelen op de stijgende vraag naar geavanceerde chips en apparatuur. Met de focus op duurzame en digitale transitie versterkt de strategie ook de ontwikkeling van energie-efficiënte productiemethoden in de sector.

Lopende innovatie- en versterkingsprogramma's

Programma	Doel	Relevantie ChipNL Innovatieprogramma
Nationaal Versterkings-plan Microchip-talent	Binnen dit interdepartementale beleidsplan wordt er gewerkt aan het versterken van het vestigings- en investeringsklimaat van de halfgeleidersector, onder meer door het opleiden van meer talent, een positief en stabiel fiscaal klimaat, en het voornemen tot het opstellen van een nationale Semicon Sectoragenda.	Dit ChipNL Innovatieprogramma is complementair aan Project Beethoven. Belangrijke aanvulling is de productiviteitsverhoging die we in de volle breedte voor ogen hebben. Meer doen met minder mensen.
PhotonDelta (NGF)	Het doel van PhotonDelta is het verder opbouwen van een waardeketen voor fotonische chips. PhotonDelta richt zich op het uitbreiden van de productie van fotonische chips, het aantrekken en opleiden van talent en het creëren van nieuwe markten.	De kennis van het ChipNL Innovatieprogramma draagt bij aan integratie van fotonica met analoge en digitale technologieën. Deze integratie is essentieel om gedane investeringen te laten renderen.
Quantum Delta NL (NGF)	Quantum Delta NL is een programma om Nederland te positioneren als internationaal toonaangevend centrum en hub voor kwantumtechnologie. De ambitie is om in zeven jaar een toonaangevend Europees kenniscluster te ontwikkelen, dat € 5 tot € 7 miljard bijdraagt aan het BBP en op de lange termijn 30.000 hoogwaardige Nederlandse banen creëert.	De kennis van het ChipNL Innovatieprogramma draagt bij aan integratie van quantum en fotonica met analoge en digitale technologieën. Deze integratie is essentieel om gedane investeringen te laten renderen en om quantum technologieën een kans te geven tot commercieel wasdom te komen.
POLARIS (NGF)	Het doel van POLARIS is het realiseren van een nieuwe generatie technologie om ervoor te zorgen dat Nederland voorop blijft lopen bij het maken van complexe micro-elektronische Radio-Frequentie (RF) systemen. Het project richt zich op drie belangrijke economische productclusters: 1) MRI-scanners (Philips Medical Systems), 2) radar (Thales Nederland) en 3) telecommunicatie (NXP Semiconductors).	De kennis van het ChipNL Innovatieprogramma draagt bij aan integratie van analoge en digitale technologieën die nodig zijn voor radicale innovaties in RF-technologie, waaronder de ontwikkeling van nieuwe chips.
NEXTGEN HighTech (NGF)	Om Nederland toekomstbestendig te maken en maatschappelijke uitdagingen aan te gaan, is een nieuwe generatie hightech apparatuur nodig, zoals ultraprecieze, hightech machines en apparatuur voor medicijnontwikkeling, productie van medische instrumenten, datacommunicatie, productiesystemen, halfgeleiderproductie en diverse andere markten.	Binnen NEXTGEN HighTech zijn diverse projecten in het halfgeleiderdomein actief. Er is een intensieve focus op verschillende soorten apparatuur, die aanvullend zijn aan het ChipNL Innovatieprogramma. Zo hebben de activiteiten binnen de chip design werkpakketten voor onder meer het ontwerpen van energie-efficiënte chips een relatie met de te ontwikkelen equipment daarvoor. De focus van dit plan ligt meer op lage TRL innovatie en productiviteitsgroei.
6G toekomstige netwerkdiensten (NGF)	Ultramoderne mobiele netwerken zijn een sterke motor achter de snelle digitalisering van onze samenleving en de groei van onze verdien-capaciteit in alle sectoren van de economie. Momenteel wordt wereldwijd begonnen met de voorbereidingen voor 6G, de volgende generatie mobiele data die naar verwachting in 2030 beschikbaar zal zijn.	De kennis van het ChipNL Innovatieprogramma draagt bij aan het creëren van een sterke positie in 6G. De focus van dit NGF-programma ligt op intelligente radiocomponenten en antennes, intelligente netwerken en toonaangevende toepassingen in maatschappelijk belangrijke sectoren. De integratie met analoge en digitale technologieën is een essentiële voorwaarde voor succes.

Toelichting relevantie Nationale Technologiestrategie (NTS)

De halfgeleiderindustrie speelt een cruciale rol in het succes van de 10 sleuteltechnologieën van de Nationale Technologiestrategie door innovatie te bevorderen in verschillende technologische gebieden. Hieronder worden per sleuteltechnologie belangrijke innovaties binnen de halfgeleiderindustrie beschreven die bijdragen aan hun ontwikkeling:

- **Optische systemen en geïntegreerde fotonica:** Verbetering van fotonische halfgeleiders die licht gebruiken in plaats van elektronen voor datatransmissie, wat hogere snelheden en lagere energieconsumptie mogelijk maakt.
- **Quantumtechnologieën:** Ontwikkeling van kwantumgeschikte halfgeleiders, zoals materialen voor stabiele qubits, cruciaal voor de bouw van kwantumcomputers en beveiligde communicatienetwerken.
- **Procesttechnologie, inclusief procesintensivering:** Innovaties in halfgeleiderproductiemethoden (zoals EUV-lithografie) om chips met meer precisie, energie-efficiëntie en snelheid te fabriceren, noodzakelijk voor intensieve industriële processen.
- **Biomoleculaire en celtechnologieën:** Halfgeleidergebaseerde biosensoren en micro-elektromechanische systemen (MEMS) voor nauwkeurige analyse, diagnostiek en controle in biotechnologische toepassingen.
- **Imaging-technologieën:** Ontwikkeling van geavanceerde beeldsensoren en verwerkingseenheden, essentieel voor hoge-resolutie beeldvorming in medische en industriële toepassingen.

- **Mechatronica en optomechatronica:** Precisiehalfgeleiders die nodig zijn voor nauwkeurige, geïntegreerde bewegingscontrole en optische feedbacksystemen in robots en productiemachines.
- **Kunstmatige intelligentie en data science:** Ontwikkeling van gespecialiseerde AI-chips en neuromorfe chips die data-intensieve AI-modellen efficiënt kunnen verwerken.
- **Energiematerialen:** Efficiënte halfgeleiders voor duurzame energieoplossingen, zoals zonnepanelen, batterijen, en elektrische stroomconversiesystemen.
- **Halfgeleidertechnologieën:** Vooruitgang in materiaalkunde en productieprocessen die energiezuinige, kleinere en snellere chips mogelijk maken, met behoud van hoge betrouwbaarheid.
- **Cybersecurity-technologieën:** Ontwikkeling van beveiligde halfgeleiders die hardwarematige beveiligingslagen bieden voor veilige dataverwerking en communicatie, inclusief versleutelde opslag en hardwarematige authenticatie.

Innovaties in de halfgeleiderindustrie vormen de kern voor het succes van deze sleuteltechnologieën, omdat ze zorgen voor betrouwbaarheid, snelheid, energie-efficiëntie en schaalbaarheid. Het ChipNL Innovatieprogramma zet op veel van de bovengenoemde innovaties in.

Bijlage 2 Maatschappelijke impact halfgeleiderindustrie

De halfgeleiderindustrie heeft een overkoepelende maatschappelijke impact die veel verder reikt dan alleen de productie van technologieën. Als sector die wereldwijd leidend is in innovatie, creëert de halfgeleiderindustrie in Nederland zowel directe als indirecte werkgelegenheid. Directe werkgelegenheid komt voort uit de banen bij bedrijven die chips en andere halfgeleidermaterialen ontwikkelen en produceren. Indirect zorgt de sector voor werkgelegenheid in tal van aanverwante sectoren, zoals de machinebouw, logistiek en dienstverlening. Bovendien is de halfgeleiderindustrie in Nederland de sector met de grootste private bijdrage aan de nationale innovatiekracht. Met investeringen in onderzoek en ontwikkeling stimuleert deze industrie technologische vooruitgang in andere domeinen, waaronder gezondheidszorg, duurzame energie en mobiliteit. Zo draagt de halfgeleiderindustrie niet alleen bij aan economische groei, maar ook aan de maatschappelijke vooruitgang en het versterken van Nederland als kennis- en innovatieland.

De Nederlandse halfgeleiderindustrie is bij uitstek geschikt om de uitdagingen en kansen van maatschappelijke transitie en andere sectoren te adresseren. Uniek in de wereld, heeft Nederland een zeer brede halfgeleiderindustrie binnen de landsgrenzen. Innovaties binnen de Nederlandse halfgeleiderindustrie dragen dus volop bij aan uitdagingen in de maatschappij. Hieronder een kort, en zeker niet uitputtend, overzicht van de actuele en toekomstige toepassingen.

Gezondheid en zorg

Door onder andere de vergrijzing groeit de zorgvraag sneller dan de beschikbare middelen en het benodigde zorgpersoneel. Om deze uitdagingen het hoofd te bieden, is het nodig om in te zetten op preventie, de zorg dichtbij huis te organiseren en technologie in te zetten. Chiptechnologie is een bron van veel innovaties in de zorgsector. Slimme medische apparaten en draagbare sensoren stellen mensen in staat hun gezondheid realtime te monitoren, en geven zorgverleners de informatie die ze nodig hebben om sneller en nauwkeuriger te handelen. Van thuistests met één druppel bloed tot draagbare hartmonitors, chips dragen in belangrijke mate bij om de zorg toegankelijk, beheersbaar én betaalbaar te houden.

In Nederland spelen NXP en Philips een sleutelrol in de ontwikkeling van medische sensoren voor draagbare apparaten en medische toepassingen. Daarnaast werkt Prodrive Technologies aan chip-systemen voor geavanceerde diagnostische apparatuur en werken startups en scale-ups als Sencure op het snijvlak van chip design en medical wearables.

Landbouw, voedselzekerheid en water

De toepassing van chiptechnologie in de landbouw draagt bij aan productiviteit, vermindering van de milieu-impact en verminderde afhankelijkheid van laaggeschoolde arbeidsmigranten. Chips monitoren waterkwaliteit, gewassen en vee, sturen precisie-irrigatie aan en zorgen voor slimme plukrobots die continu en efficiënt werken. Behandelingen en bestrijdingen kunnen op dier- en plantniveau geoptimaliseerd worden, waardoor de milieu-impact vermindert.

Nederland heeft door haar lange traditie in hightech machinebouw en excellente kennis bij uitstek een sterke uitgangspositie om met digitale technieken en robotisering de agro- en foodsector van de 21ste eeuw te bepalen. SMART Photonics heeft met hun geïntegreerde fotonica-technologie toepassingen voor geavanceerde sensortechnologie ontwikkeld die een bijdrage kunnen gaan leveren aan precisielandbouw en Signify (voorheen Philips Lightning) heeft slimme LED-verlichtingstechnologie bedacht die de groeiomstandigheden van gewassen optimaliseert. Een bedrijf als Van der Hoeven speelt met hun geavanceerde sensoren en chipgestuurde systemen een sleutelrol in de automatisering van klimaatbeheersing in kassen.

Energie en klimaat

Chips zijn de onzichtbare helden achter slimme energie-netwerken en elektrische apparaten. Denk aan zonnepanelen die zonlicht efficiënt omzetten in stroom of smart grids die energie slim verdelen.

Innovaties in materiaaleigenschappen en combinaties van materialen heeft een directe impact op de energie-efficiëntie van elektrische apparatuur. De kwaliteit van een silicium-carbide laagje in een chip kan de actieradius van een elektrische auto met procenten bepalen. In Nederland draagt ASM International bij met baanbrekende materiaal-innovaties, zoals Silicium-Carbide (SiC) en Atomic Layer Deposition (ALD), die cruciaal zijn voor de ontwikkeling van vermogenschips. Bedrijven als BESI en ITEC leveren innovatieve chipverpakkingsoplossingen om de prestaties van energiebeheer te verbeteren. En chips van Nexperia managen de elektrische stroom en voltages in huis-tuin-en-keukenapparaten en (elektrische) auto's, maar ook in bijvoorbeeld omvormers en laadpalen.

Defensie en veiligheid

Defensiesystemen worden steeds geavanceerder door de inzet van halfgeleiders. Van slimme drones en radar-installaties tot geavanceerde communicatienetwerken en cyberbeveiliging, chips zijn de ruggengraat van elke moderne militaire operatie. Autonome systemen als zelfnavigerende voertuigen die zelfstandig beslissingen kunnen nemen en het vroegtijdig detecteren van aanvallen vormen steeds meer het dagelijkse werkveld van defensie. Ook het inzetten van simulatie- en trainingssystemen om realistische scenario's na te bootsen worden door chiptechnologie mogelijk gemaakt.

Nederlandse bedrijven, zoals Thales Nederland, ontwikkelen geavanceerde radar- en detectiesystemen, ondersteund door precisiechips. NXP levert halfgeleiders die essentieel zijn voor veilige militaire communicatienetwerken en cyberbeveiliging en een bedrijf als Neways levert de geavanceerde micro-elektronica en high-end kabelassemblages die essentieel zijn voor de werking van radarsystemen.

Armoedebestrijding & sociale leefbaarheid

Chips spelen een cruciale rol in het toegankelijk maken van digitale voorzieningen en financiële diensten. Van mobiele betalingen tot betrouwbare internetverbindingen in afgelegen gebieden, chiptechnologie zorgt ervoor dat mensen toegang hebben tot basisvoorzieningen, ongeacht hun locatie. Het heeft een enorm emanciperend effect.

Bedrijven als NXP en Philips spelen een belangrijke rol in het emanciperend vermogen. Zo ontwikkelt NXP chips voor mobiele betalingssystemen en identiteitsverificatie, zodat financiële diensten voor iedereen toegankelijk gemaakt kunnen worden. En Philips ontwikkelt medische apparatuur voor thuisgebruik die de toegang tot basisvoorzieningen makkelijk maakt.

Wonen

Slimme woningen staan voor de deur, letterlijk. Chips in zelfregelende thermostaten, slimme meters en beveiligingssystemen maken huizen comfortabeler en energiezuiniger. Slimme deurbellen, spraakgestuurde verlichting en centrale beheersystemen zijn nog maar het begin van wat ons te wachten staat. Wat dacht je van koelkasten die detecteren hoe het met je houdbare voorraad staat en je recepten stuurt op basis van de inhoud?

In Nederland levert Landis+Gyr slimme meters die het energieverbruik en kostenbesparingen monitoren. Sioux Technologies werkt aan domoticasystemen voor veiligheids- en energiesystemen die op basis van sensorgegevens zelfstandig kunnen handelen. En een van de laatste innovaties van Signify is verlichting die een forse energiebesparing oplevert ten opzichte van andere LED-verlichting.

Migratie

Chiptechnologie speelt een tweeledige rol in het aanpakken van migratieproblemen. Enerzijds helpen innovaties bij het verbeteren van grensbeveiliging en het beheer van migratiestromen, anderzijds zorgen innovaties voor een verminderde behoefte aan laaggeschoolde arbeidsmigranten. Zo kunnen chips in biometrische paspoorten en identiteitskaarten de verificatie van migranten versnellen en de administratieve lasten verminderen. Overheden zijn daarmee in staat om een humane en georganiseerde aanpak van migratie te realiseren. Innovaties als automatisering en robotisering, aangestuurd door geavanceerde chips, zorgen juist voor een verminderde behoefte aan migranten, doordat robots zwaar werk overnemen in onder meer de landbouw en logistiek.

Nederlandse bedrijven zoals Van der Hoeven automatiseren het kassenbeheer met geavanceerde sensoren en slimme besturingssystemen, waardoor minder arbeidskracht nodig is. NXP ontwikkelt geavanceerde beveiligingschips voor biometrische identiteitskaarten en de machines van ASML maken de productie van geavanceerde chips voor diverse beveiligings- en communicatietoepassingen mogelijk.

Onderwijs

Chiptechnologie opent nieuwe werelden in het onderwijs. Virtuele klaslokalen, interactieve lessen en Augmented Reality maken leren boeiender en toegankelijker. En AI-gestuurde educatieve platforms analyseren leerdata om gepersonaliseerde feedback en ondersteuning te bieden aan studenten. Chips vormen de kern van deze nieuwe leermethoden en stellen studenten in staat om complexe vaardigheden op een praktische manier te leren.

Nederlandse chip design-bedrijven als Ampleon, Bruco IC en SystematIC zijn sterk in het ontwerpen van RF-chips die zijn weg vinden naar toepassingen in het onderwijs. Zo kunnen de draadloze communicatie- en netwerkoplossingen van Ampleon ingezet worden voor verbeterde connectiviteit en toegang tot digitale leermiddelen. Ook een bedrijf als Prodrive ontwikkelt elektronische en mechatronische oplossingen voor toepassing in onder andere slimme klaslokalen.

Mobiliteit en logistiek

Gedreven door veiligheidseisen, automatisering en elektrificering neemt de toepassing van chiptechnologie in de automobiellindustrie enorm toe. Recente innovaties zijn dodehoekdetectie, 'lane keeping assist' en 'adaptive cruise control'. Daarnaast zijn chips van belang bij energievermogensbeheer in elektrische auto's; oftewel het controleren van elektriciteitsstromen. Een sprekend voorbeeld zijn de autonome elektrische auto's van de toekomst. In dergelijke auto's zorgen chips voor het energievermogensbeheer van de accu's, het in kaart brengen van de omgeving van de auto en het verwerken van alle bijkomende datastromen. De verschuiving van brandstof naar elektrische auto's vertaalde zich al in een verdubbeling in chips per auto. Autonome elektrische auto's verdubbelen de toepassing nog eens.

Nederlandse chipdesignbedrijven, zoals Bruco IC en marktleider van automobiellchips NXP, leveren de cruciale chiptechnologie voor de automobiellindustrie. Met de groeiende logistieke sector, is Nederland ook een perfecte proeftuin voor concepten als 'Smart Mobility'. Vrachtwagens gaan mogelijk in de toekomst gecontroleerd en geautomatiseerd in treintjes over de snelweg rijden – een door TNO mede ontwikkelde technologie die als 'platooning' bekend staat. Fabrikanten zoals VDL werken aan elektrische bussen waarbij vermogenschips een cruciale rol spelen bij het optimaliseren van batterijbeheer en energie-efficiëntie.

Tot slot

Nevenstaande is slechts een greep uit de vele voorbeelden. Andere sprekende voorbeelden zijn autonome systemen in de maakindustrie, geavanceerde gegevensverificatie voor belastingsystemen, veilige en transparante transacties voor retail en het bankwezen en het monitoren van onderhoud aan gebouwen, wegen en bruggen. Zonder betrouwbare, veilige, duurzame en efficiënte chips, ontworpen en geproduceerd door de halfgeleiderindustrie is de moderne wereld kansloos.

Bijlage 3 Literatuurlijst

De volgende referenties zijn geraadpleegd bij de totstandkoming van het ChipNL Innovatieprogramma.

Bloomberg, South Korea lays out 470 billion plan to build chipmaking hub (15 januari 2024).

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-01-15/south-korea-lays-out-470-billion-plan-to-build-chipmaking-hub>

Brainport Development, Business Intelligence databronnen:

Brainport Development, RVO en VentureIQ; Jaarverslagen van een sample bedrijven (n>9); en databases van ORBIS, Dun & Bradstreet.

Centraal Bureau voor de Statistiek. 5. Welke bedrijfstakken droegen het meest bij aan de groeivertraging? (16 oktober 2024).

<https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/de-nederlandse-economie/2024/achtergrond-bij-de-daling-van-de-arbeids-productiviteitsgroei-van-nederland/5-welke-bedrijfstakken-droegen-het-meest-bij-aan-de-groeivertraging->

Draghi, Mario.

The future of European competitiveness. (September 2024)

EPoSS Task force, & Pack4EU associated partners. Gromala, P., Lust, L., (2024).

Accelerating the Lab-to-Fab transfer for Advanced Packaging: A proposal for Chips4EU Call 2025.

European Commission. European Chips Act. (n.d.).

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_en

European Commission. European Critical Raw Materials Act. (16 maart 2023). European Commission.

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_en

Focus Taiwan. Taiwan IC suppliers to invest US\$210 billion over 5 years. (25 november 2023).

<https://focustaiwan.tw/business/202311250006>

Foreign Policy. Ferrari, M., & Khanna, P. (4 augustus 2023). No water, No workers, No chips.

<https://foreignpolicy.com/2023/08/04/tsmc-taiwan-arizona-semiconductors-climate-canada-labor-water/>

Gartner & Boston Consultancy Group (2022).

Outlook on Semiconductor Strategy in Europe.

Holland High Tech. Technologieën. (n.d.).

<https://hollandhightech.nl/innovatie/technologieen>

Internationalisering van Chip Ontwerp, Iwan van Vijfeijken & Steve Stoffels, Science & Technology, mei 2024

https://www.hightechnl.nl/wp-content/uploads/2024/05/dutchchipdesign_publicierapport.pdf

The Lens - Free & Open Patent and Scholarly Search. (n.d.).

<https://lens.org/>

McKinsey & Company. Burkacky, O., Dragon, J., & Lehmann, N. The semiconductor decade: A trillion-dollar industry.

(1 april 2022).

<https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/the-semiconductor-decade-a-trillion-dollar-industry#/>

Ministerie van Algemene Zaken. Grondstoffen voor de grote transities. (9 december 2022).

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/12/09/bijlage-nationale-grondstoffenstrategie>

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Kamerbrief over Nederlandse inzet ter versterking van halfgeleiderecosysteem in geopolitiek uitdagende tijden. (21 december 2023).

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/12/21/de-nederlandse-inzet-ter-versterking-van-het-halfgeleiderecosysteem-in-geopolitiek-uitdagende-tijden>

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. De nationale technologiestrategie. (22 januari 2024).

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2024/01/19/de-nationale-technologiestrategie>

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Kamerbrief met bijbehorende beslisnota Investerings in ondernemingsklimaat microchipsector. (28 maart 2024).

<https://open.overheid.nl/documenten/05abab5e-6d77-4226-8f49-631d9ba91f40/file>

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Nederland investeert € 2,5 miljard in sterk ondernemingsklimaat voor microchipsector Brainport Eindhoven. (28 maart 2024).

<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2024/03/28/nederland-investeert-25-miljard-euro-in-sterk-ondernemingsklimaat-voor-microchipsector-brainport-eindhoven>

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Dutch Semiconductor Industry - Value chain Overview. (19 juni 2023).

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/06/19/bijlage-report-nl-semiconductor-industry-value-chain-overview>

Pack4EU. Final report on policy recommendations. (Juni 2024).

https://pack4eu.eu/wp-content/uploads/2024/10/Pack4Eu_Final-report-on-Policy-Recommendations-Public-version.pdf

Pack4EU. Recommendations for the implementation of advanced packaging capabilities in Europe. (18 juni 2024).

https://pack4eu.eu/?page_id=577

PricewaterhouseCoopers. 'Ecosysteem semiconductor-industrie staat nu al op het spel.' (30 mei 2024).'

<https://www.pwc.nl/nl/actueel-en-publicaties/diensten-en-sectoren/technologie/ecosysteem-semiconductor-industrie-staat-nu-al-op-het-spel.html>

PwC Strategy&. Semicon in NL. (Mei 2024).

<https://www.pwc.nl/nl/actueel-publicaties/assets/pdfs/pwc-semicon-in-nl.pdf>

Reuters. Julie Zhu, Kevin Huang, Yelin Mo and Roxanne Liu. Exclusive: China to launch \$40 billion state fund to boost chip industry. (5 september 2023).

<https://www.reuters.com/technology/china-launch-new-40-bln-state-fund-boost-chip-industry-sources-say-2023-09-05/>

Reuters. David Shepardson, White House touts \$11 billion US semiconductor R&D program. (9 februari 2024).

<https://www.reuters.com/technology/us-announces-over-5-bln-investments-semiconductor-related-research-development-2024-02-09/>

Reuters. Dutch Economy Minister pushes for European chip industry coalition. (10 oktober 2024).

<https://www.reuters.com/technology/dutch-economy-minister-pushes-european-chip-industry-coalition-2024-10-10/>

Science & Technology. Van Vijfeijken, I., Stoffels, S. (2024).

Internationalisering van Chip Ontwerp.

TechInsights. TechInsights' Semiconductor Equipment Report. (Mei 2024).

<https://www.techinsights.com/blog/techinsights-semiconductor-equipment-report>

Bijlage 4 Technologische afkortingen:

ADAS: Advanced Driver Assistance Systems

ADC: Analog-to-Digital Converter

AFM: Atomic Force Microscopy

AI: Artificial Intelligence

ALD: Atomic Layer Deposition

AP: Advanced Packaging

ASIC: Application-Specific Integrated Circuits

BPA: Bisfenol A

BGA: Ball Grid Array

CMOS: Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

CPU: Central Processing Unit

Dfi: Design for Inspection

DfR: Design for Reliability

DfT: Design for Test

DUV en iDUV: Deep Ultraviolet en Immersion
Deep Ultraviolet

EDA: Electronic Design Automation

ECS: Electronics Components & Systems

EMS: Electronic Manufacturing Services

ERP: Enterprise Resource Planning

EUV: Extreme Ultraviolet

FEOL: Front-End of Line

FinFET: Fin Field-Effect Transistor

High-NA EUV: High Numerical Aperture
(volgende generatie EUV-lithografiemachines)

HMLV: High-mix, low-volume

HTSM: High Tech Systems and Materials

IC design: Integrated Circuit design

IDM: Integrated Device Manufacturer

InP: Indium Phosphide

IoE: Internet of Everything

IoT: Internet of Things

IP: Intellectual Property

IVD: In Vitro Diagnostic

MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems

ML: Machine Learning

NAND: Not and

Nm: Nanometer

NRE: Non-Recurring Engineering

ODM: Original Design Manufacturers

OEM: Original Equipment Manufacturer

OSAT: Outsourced Semiconductor Assembly and Test

PCB: Printed Circuit Board

PDK: Process Design Kit

PFAS: Per- en polyfluoralkylstoffen

PIC: Photonic Integrated Circuit

R&D: Research & Development

RF: Radio Frequency

SF6: Sulfur Hexafluoride

SiC: Silicium-Carbide

TEM: Transmissie-elektronenmicroscopen

TSVIA: Through Silicon Vertical Interconnect Accesses

WBG: Wide Bandgap

