

J.M.Burgerscentrum



Research School for Fluid Mechanics

**ALLES STROOMT IN
NEDERLAND
MET STROMINGSLEER OP
NAAR DE TOEKOMST**



Jos Benschop,
Corporate Vice President Technology,
ASML

Het begrijpen en beheersen van het gedrag van gas- en vloeistofstromingen is van vitaal belang voor talrijke aspecten binnen de industrie en voor ASML in het bijzonder. Vanaf de eerste tot de laatste generatie EUV-machines voor chipfabricage is het fundamentele begrip, voorspelling en controle van de vloeistofstromen in onze apparatuur van cruciaal belang gebleken voor het bereiken van hun topprestaties. Deze machines zijn ontwikkeld in nauwe samenwerking met onze academische en toeleveringspartners, vaak ook met steun vanuit de Nederlandse overheid. De waarde van een dergelijke infrastructuur voor onderzoek en innovatie is voor ASML van vitaal belang voor het realiseren van innovaties in de volgende generaties van onze machines.

Zoals uit dit rapport blijkt, mogen wij ons gelukkig prijzen dat wij in Nederland beschikken over een schat aan deskundigheid die aangewend kan worden bij de grote industriële en maatschappelijke uitdagingen.

Annemieke Nijhof,
CEO,
Deltares

Waterbeheer is van essentieel belang voor de ontwikkeling en instandhouding van de Nederlandse infrastructuur in het Deltagebied. Het fundamentele begrip van vloeistofstromen bij golven en getijden, rivier(beddingen) en afwateringssystemen stelt ons in staat om nieuwe duurzame infrastructuuro oplossingen te ontwikkelen. Zoals heel duidelijk geïllustreerd door de overstroming in Valkenburg in Limburg in 2021, kunnen vloeistofstromen door zware lokale regenval in combinatie met onvoldoende lokale afwateringscapaciteit leiden tot snel escalerende noodsituaties.

Bij Deltares combineren we numerieke vloeistofstroommodellen met laboratorium- en veldmetingen om de impact van vloeistofstromen te voorspellen. Verdere verbetering van en investeringen in de wetenschap en technologie van stromingsleer in Nederland zijn van vitaal belang om de milieuitdagingen van de toekomst het hoofd te bieden.



Stromingsleer is de wetenschap en technologie van bewegende vloeistoffen, gassen en deeltjes. Dit omvat het voorspellen, beheersen en meten van stromingen bij elke snelheid en op elke schaal, van nano- tot astrofysisch. Toepassingengebieden variëren van bloedstroming en landbouw tot lithografie en industriële processen, stroming in gebouwen, de atmosfeer, rivieren, oceanen en sterren.

SAMENVATTING

Vloeistofdynamica is overal om ons heen. Het vormt de basis van veel hedendaagse industriële toepassingen en is ook essentieel voor het oplossen van de maatschappelijke uitdagingen van morgen. Toch lijkt het belang van stromingsleer wat verborgen en onbekend. In dit rapport is voor het eerst de impact van de stromingsleer binnen Nederland gekwantificeerd, waardoor het belang van toekomstige investeringen in deze sleuteltechnologie voor onze toekomst duidelijk wordt.

Stromingsleer draagt jaarlijks 11,5 miljard euro bij aan de Nederlandse economie en is van cruciaal belang voor het oplossen van toekomstige maatschappelijke uitdagingen.

Nederland loopt al tientallen jaren voorop met onderzoek naar vloeistof- en gasdynamica. Het is van wereldklasse, zoals blijkt uit het J.M. Burgerscentrum, de nationale onderzoeksschool voor wetenschap en techniek op het gebied van stromingsleer. De industrie heeft deze expertise goed benut, en veel van de afgestudeerde en gepromoveerde stromingsleeronderzoekers in dienst genomen. Die industrie is divers, en omvat ondermeer hightech print-technieken, halfgeleidertechnologie, landbouw, chemische productie en waterbeheer.

De vele industriële investeringen hebben geleid tot een stromingsindustrie die jaarlijks 11,5 miljard euro aan Nederlandse inkomsten genereert en werk biedt aan 19000 mensen in meer dan 1100 bedrijven. Met een jaarlijkse bruto toegevoegde waarde aan de economie van €130 000 per werknemer is de stromingsleer één van de meest productieve sectoren in Nederland. Die werknemers behoren tot bedrijven met een omzet binnen Nederland van ~€ 125 miljard en wereldwijd nog veel meer. Het maatschappelijk bereik van stromingsleer is echter nog groter.

Stromingsleer is een vitaal element voor het begrip en de oplossingen voor alle grote toekomstige maatschappelijke uitdagingen:

Klimaatverandering. Voorspelling van de opwarming en de gevolgen van de uitstoot van broeikasgassen gerelateerd aan de oceanen, de zeespiegel en het weer.

Milieu. Hieronder valt het water-, rivier- en overstromingsbeheer met inbegrip van vervuiling en waterbehandeling. Maar ook koeling, verwarming en luchtbeheer in gebouwen.

Energietransitie en energiezekerheid. Dit omvat getijden- en windenergie, de waterstofeconomie en biobrandstoffen, maar ook de volgende generatie batterijen en een efficiënt weg-, water-, en luchtvervoer.

High-tech productie en high-tech materialen. Voorbeelden zijn halfgeleiders, additive manufacturing, 3D-printing en biocompatibele productie.

Gezondheidszorg. Denk aan aërosolverspreiding van virussen, geavanceerde micro-fluïdische diagnostiek tot gepersonaliseerde behandeling en geneesmiddelenproductie.

Landbouw en voedselproductie. Hiertoe behoren bijvoorbeeld de volgende generatie indoor vertical farming.

De stromingsleer zal dus cruciaal zijn voor de toekomst van de Nederlandse samenleving en haar economie. Het onderschatten van de rol van stromingsleer brengt risico's in de toekomst, en maakt ons onnodig kwetsbaar en afhankelijk van anderen voor het leveren van kritische stromingsleer expertise en innovatie. **Samen kunnen we de kracht van vloeistof- en gasdynamica inzetten voor een welvarende, gezonde en duurzame toekomst in Nederland.**

Nederland heeft dringend behoefte aan:

Nationale erkenning van de rol van stromingsleer als sleuteltechnologie.

Een op de industrie gerichte divisie binnen het nationale J.M. Burgerscentrum voor Stromingsleer.

Strategische samenwerking op het gebied van stromingsleer met platformfinanciering ter grootte van meer dan 500 miljoen euro over 5 jaar om het industriële concurrentievermogen te vergroten.

Uitbreiding van het onderzoek naar stromingen om het wetenschappelijk leiderschap op de lange termijn te waarborgen.

Uitbreiding van de opleidingen in stromingsleer op alle niveaus om de benodigde deskundigheid te blijven leveren.

Eppo Bruins

voormalige Tweede
kamerlid, Expert
wetenschap en
innovatie

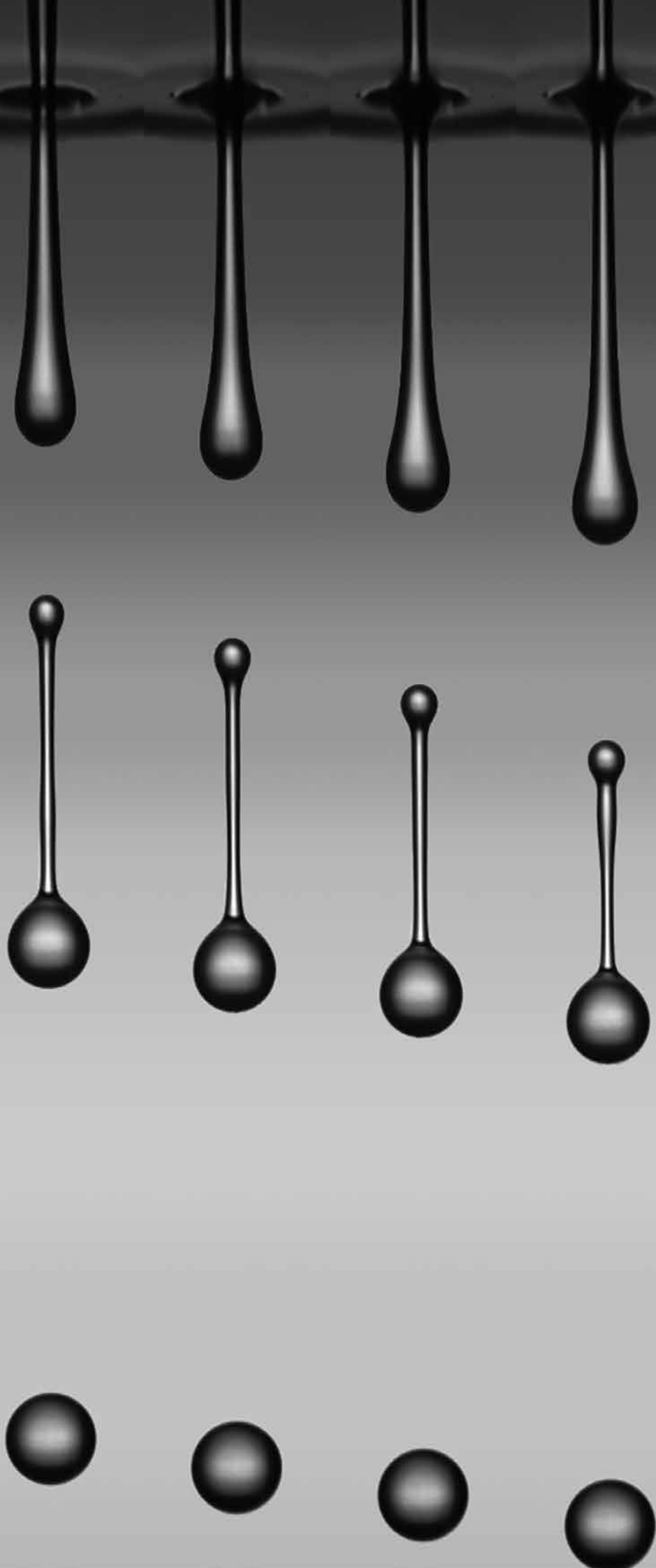


Stroming van vloeistoffen is al sinds de negentiende eeuw een van de meest uitdagende onderwerpen in de wetenschap. Het doet ons terugdenken aan grote geesten als Helmholtz, Kelvin en Rayleigh. Sinds die tijd is er enorme vooruitgang geboekt en tegenwoordig zien we dan ook technologische toepassingen van de stromingsleer in vele industriële sectoren.

Tot op de dag van vandaag behoren Nederlandse stromingsleeronderzoekers tot de top van de wetenschap. De uitdagingen in deze eeuw zijn immens, want stromingsleer is overal om ons heen. Turbulentie is overal, in water, in de lucht, in vogelzwermen en zelfs in mensenmassa's. Ook meerfasenstroming is overal: in rivieren en zeeën, in pijpleidingen en zelfs in onze eigen aderen. Alles stroomt. *Panta rhei*.

Ondanks de veelheid aan kennis en de enorme reeks toepassingen van stromingsleer, is de wetenschap van stromende vloeistoffen en gassen tegenwoordig relatief onzichtbaar. Het belang ervan kan echter niet worden onderschat. Dit rapport geeft een goed inzicht in het Nederlandse stromingsonderzoek, zowel in de omvang als in het potentieel. Het is tijd om het internationaal gewaardeerde Nederlandse toponderzoek en de vele bijdragen aan wetenschap en technologie te erkennen. "Alles stroomt in Nederland" doet dat op overtuigende wijze en richt zich daarbij op de rol van de stromingsleer bij het oplossen van de uitdagingen van de 21e eeuw.

Ik verwelkom dit rapport in de wetenschap dat er veel uitdagingen en innovaties nog voor ons liggen



INLEIDING

Vloeistofstromingen zijn alom aanwezig; het is een noodzakelijk onderdeel voor industriële innovatie en essentieel voor het oplossen van de maatschappelijke uitdagingen.

Vloeistof- en gasstromingen maken deel uit van veel industriële processen, maar je vindt ze ook in huis, in het ziekenhuis en binnen ieder denkbaar ecosysteem. Het begrijpen, voorspellen en controleren van deze stromingen is absoluut nodig om de industriële impact te maximaliseren, burgers veiligheid te bieden, onze levenskwaliteit te verbeteren en om onze toekomst duurzaam te beschermen. Water en lucht zijn de basiselementen van ons leven. Hoe ze worden behandeld en ingezet is daarom essentieel voor onze toekomst. De overgang naar een duurzame economie vereist een verschuiving van het inzetten van koolwaterstoffen naar duurzaam gebruik van water, wind en zon. Ook bij het efficiënt leveren van voedsel aan meer mensen is het juiste gebruik van vloeistoffen essentieel.

De impact van klimaatverandering wordt verklaard aan de hand van vloeistofdynamica in weermodellen. Ook het beperken van stijgende waterstanden en overstromingen is gebaseerd op de mechanica van vloeistoffen. De recente COVID-19 pandemie heeft ons geleerd dat het virus wordt verspreid door aerosolen (wolken van vloeistofdruppels) en dat de veilige afstand wordt bepaald door de wetten van de vloeistofdynamica. Ook in het menselijk lichaam vormt de stroming van bloed de kern van ons cardiovasculaire systeem. Microfluidica zullen een belangrijke rol vervullen in een toekomst met betaalbare gepersonaliseerde diagnostiek en zorg.

Inzicht in vloeistofdynamica is essentieel voor een breed spectrum van de huidige industrie en in toenemende mate voor de nieuwe industrieën van morgen om de maatschappelijke uitdagingen van

deze tijd aan te gaan. Desondanks is deze zo cruciale wetenschappelijke kennis en technologie veelal aan het oog onttrokken en wordt het vaak als vanzelfsprekend beschouwd.

Het doel van dit rapport is om het belang van stromingsdynamica voor de Nederlandse samenleving en haar economie te benadrukken, nu en in de toekomst. Deze eerste kwantificering van de omvang van de stromingsdynamica sector in Nederland geeft een helder inzicht in de huidige economische impact. De geraadpleegde deskundigen hebben de maatschappelijke uitdagingen benoemd die het meest afhankelijk zijn van ontwikkelingen in de stromingsdynamica. Zij hebben de relatieve sterktes van de impact van stromingsleer in de industrie geïdentificeerd. Prognoses van toekomstige investeringen en groei zijn verkregen uit een enquête onder afgevaardigden in Nederland.

De analyse is gebaseerd op een beproefde methodologie, die eerder internationaal is gebruikt om de impact te kwantificeren van technologieën.

De conclusies in dit rapport leiden tot vijf heldere aanbevelingen om de stromingsleersector in Nederland naar een hoger plan te tillen. Het zal tezamen zorgen voor een grote positieve maatschappelijke en economische impact op de weg naar een veilige toekomst. Nederland is wereldleider in de toepassing van stromingsleer in traditionele en nieuwe industrieën. Het opvolgen van de aanbevelingen uit dit rapport zal van cruciaal belang zijn om ervoor te zorgen dat dit vermogen ten volle wordt benut voor de economie van morgen.

MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN AANGAAN MET VLOEISTOFDYNAMICA

Het oplossen van maatschappelijke uitdagingen is afhankelijk van de kracht van de vloeistofdynamica.

Het besef dat het noodzakelijk is om vloeistofdynamica te begrijpen, te voorspellen en te beheersen zou vanzelfsprekend moeten zijn voor een land dat een groot deel van zijn gebied onder zeeniveau heeft en voorop wil lopen bij de overgang naar een duurzame economie.

Vloeistofdynamica speelt een vitale rol in drie van de vier grote maatschappelijke thema's en missies die door de Nederlandse regering zijn vastgesteld en het is een sleuteltechnologie die nodig is voor duurzame groei (Kennis- en Innovatieconvenant 2020-2023, Den Haag 11 november 2019).

Energietransitie en duurzaamheid

De overgang naar duurzame energiebronnen vereist een goed begrip van stromingen. Het voorspellen van luchtstromen boven windparken en wolken boven zonneparken zal een aanzienlijke meerwaarde leveren voor de energieopbrengst en dus voor het elektriciteitsnet. Met de geplande uitbreiding van het aandeel duurzame energiebronnen zal modellering van stromingsdynamica voor het voorspellen en beheren van de opbrengst essentieel zijn voor de stabiliteit van het Nederlandse energienet.

Voor meer traditionele energiebronnen speelt de vloeistofdynamica een essentiële rol, zoals blijkt uit de abrupte overgang in 2022 van het vervoer van gas via pijpleidingen naar vloeibaar aardgas (LNG) in Europa, waarvoor een fundamenteel begrip van de vloeistofdynamica bij de verwerking van LNG van vitaal belang was. Bij de overgang naar duurzame energie

is de converteerbaarheid van de LNG- infrastructuur voor later gebruik met hernieuwbare energiedragers, zoals waterstof, ammoniak of biobrandstoffen, van bijzonder belang en afhankelijk van een gedetailleerd begrip van vloeistofdynamica en van een sterke lokale industrie voor vloeistofbeheer.

Landbouw, water, voedsel en geavanceerde productie

Het hele waterbeheersysteem, van kustgebieden tot rivieren en meren, vereist een fundamenteel nieuwe aanpak om deze beter bestand te maken tegen klimaatverandering en extreme weersomstandigheden. Duurzaam waterbeheer blijft het uitgangspunt en zal de kernfuncties zoetwatervoorziening, watertransport, veiligheid en biodiversiteit efficiënt moeten vervullen.

Nederland is pionier op het gebied van landbouw met een hoge dichtheid en hoge efficiëntie. Dit zijn vaardigheden die steeds belangrijker worden voor de voedselzekerheid en die afhankelijk zijn van nauwkeurig beheer van vloeistoffen.

De wateren in de Nederlandse Delta kunnen een belangrijke rol spelen bij de nieuwe uitdagingen waar Nederland voor staat, zoals energievoorziening, voedselvoorziening, verbetering van de ruimtelijke kwaliteit of klimaatadaptatie. Vloeistofstroommetingen en modellering met Computational Fluid Dynamics (CFD) zullen van cruciaal belang zijn voor het waterbeheer in het licht van de klimaatverandering.

Geavanceerde fabricagetechnieken zullen bepalend zijn voor het vinden van oplossingen voor deze

uitdagingen. Vloeistofdynamica speelt hier een kernrol, die sturing geeft aan een efficiënte fabricage van een veelheid van producten, variërend van geavanceerde halfgeleiders tot chemicaliën, farmaceutische producten, traditionele materialen zoals staal en geavanceerde 3D-printing productietechnieken.

Gezondheid en gezondheidszorg

Een van de belangrijkste missies in de kennis- en innovatieagenda voor gezondheid en gezondheidszorg is dat er tegen 2030 50% meer zorg wordt verleend in de persoonlijke leefomgeving van de burger. Point-of-care diagnostiek zal van vitaal belang zijn voor het bereiken van deze missie, waarvoor vaak lichaamsvloeistoffen ter plaatse moeten worden onderzocht, zoals de COVID-19 pandemie heeft aangetoond.

Wetenschap en technologie op het gebied van vloeistofstromen zullen de volgende generatie van geïndividualiseerde zorg mogelijk maken. Dit omvat bijvoorbeeld het beschikbaar zijn van gepersonaliseerde geneesmiddelen en het gebruik van stamcellen in een gepersonaliseerde testbank voor nieuwe geneesmiddelen.

Inzicht in vloeistoffen is essentieel om de grote Nederlandse uitdagingen aan te pakken. Nederland heeft een unieke onderzoeksinfrastructuur, met een toonaangevende wetenschappelijke kennisbasis en een levendige industrie op het gebied van stromingsleer, die volledig aangesproken moeten worden om alle toekomstige maatschappelijke uitdagingen aan te pakken.



Impact van stromingsleer op drie van de grote maatschappelijke thema's en missies (oranje gemarkeerd) voor de toekomst die door de Nederlandse regering zijn vastgesteld.

GEAVANCEERDE SYSTEMEN MET VLOEISTOFDYNAMICA

Stromingsleer bij ASML voor Lithografie.

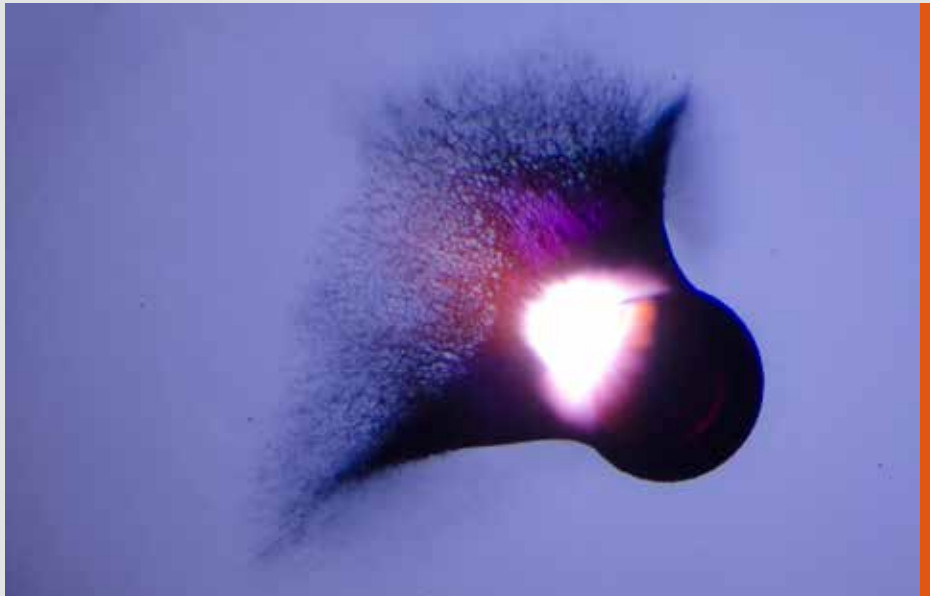


ASML-lithografiemachine met detail van vloeistof in de immersielens

De micro-elektronica industrie volgt al tientallen jaren de groeilijn volgens de Wet van Moore: elke twee jaar verdubbelt het aantal transistors per chip. Optische lithografie is hiervoor de belangrijkste bouwsteen, waarbij smallere lijnen worden ge-etst door een combinatie van het reduceren van de golflengte van het gebruikte licht en het vergroten van de opening van de lens die wordt toegepast om dat licht op de patronen op de halfgeleider te richten. Vloeistofdynamica speelt een belangrijke rol in de prestaties van ASML-lithografieapparatuur en is een van de belangrijkste technieken gebleken voor het behalen van concurrentievoordelen door het bedrijf.

Bij microscopisten is het bekend dat het toevoegen van een vloeistof tussen het laatste lenselement en een object de resolutie verhoogt. De lithografische industrie benutte deze toepassing van vloeistoffen bij onderdompelingstechnologie in het begin van de jaren 2000 om een hogere dichtheid in waferpatronen te bereiken. Het onderdompelen van lithografische optiek met een snel bewegende wafer in vloeistof brengt echter aanzienlijke vloeistofdynamische uitdagingen met zich mee.

Met een bijdrage van Nederlandse onderzoeksgelden ontwikkelde ASML samen met partners uit de industrie en universiteiten een systeem dat gebaseerd is op het gedeeltelijk bevochtigen van de wafer onder de lens, terwijl de vloeistof tijdens het fabricageproces voortdurend wordt ververs. Het toepassen van dit principe bij lithografie vereiste het vinden van een oplossing om water onder de lens te houden terwijl de gedeeltelijk bevochtigde wafer snel beweegt (> 0,5 m/s) en snel versnelt (> 1 g). Terwijl het consortium onder leiding van ASML in 2003 de eerste commerciële scanners kon introduceren, duurde het nog twee jaar voordat de enige overgebleven Japanse concurrent een minder



goed presterende immersiescanner introduceerde. Deze vertraging stelde ASML in staat een marktaandeel van ongeveer 70% te bereiken. Dit is tot op heden alleen maar toegenomen, waardoor ASML is uitgegroeid tot een bedrijf met een jaarlijkse omzet van orde € 20 miljard en een van de meest vooraanstaande leveranciers van halfgeleiderapparatuur ter wereld.

Immersiegebaseerde scanners vormen vandaag de dag de ruggengraat van de productie van geïntegreerde circuits. ASML verscheepte 68 immersiescanners in 2020 en 81 in 2021. Er zijn lopende onderzoeksprogramma's om de wafersnelheid van immersiescanners verder te verhogen, hetgeen nog meer stromingsgerelateerde uitdagingen met zich mee zal brengen.

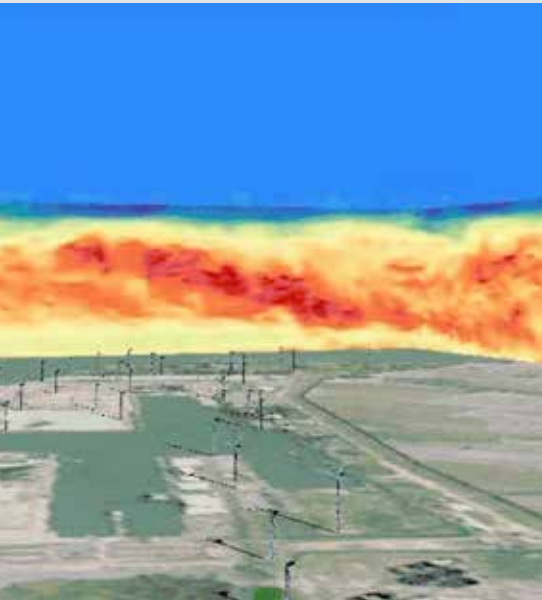
De nieuwste lithografieapparatuur van ASML is gebaseerd op Extreme Ultra Violet (EUV) technologie voor de allerkleinste 3 nanometer lijnen. EUV-scanners bevatten ook veel vloeistofdynamische fysica, aangezien de EUV-bron is gebaseerd op het verdampen van 50000 tindruppels per seconde om het licht te genereren dat nodig is voor de patronen.

“ Een state-of-the-art vloeistofdynamica-infrastructuur is nu en in de toekomst essentieel voor ASML om te voldoen aan de onverzadigbare behoefte van de samenleving aan lithografietechnologie ter ondersteuning van de wereldwijde digitale economie.”

Jos Benschop
Corporate Vice President Technology,
ASML

VLOEISTOFDYNAMICA VOOR DE ENERGIETRANSITIE

Stromingsleer bij Whiffle.



“In het huidige tijdperk van milieu- en energietransformaties is het begrijpen en voorspellen van geavanceerde atmosferische stromingen van essentieel belang voor de samenleving en dit is een unieke troef van Whiffle.”

Harm Jonker
CEO Whiffle

Met de crisis van 2022 in fossiele energie is de noodzaak om snel over te schakelen op een energiesysteem gebaseerd op hernieuwbare bronnen nog urgenter geworden. Aangezien de atmosfeer een van onze primaire energiebronnen aan het worden is, is het begrijpen van de atmosferische luchtstroom door windmolenparken een zaak van groot economisch en maatschappelijk belang geworden.

Whiffle beschikt over unieke wetenschappelijke kennis voor het nauwkeurig voorspellen van lokale weerspatronen en atmosferische stromingen bij wind- en zonneparken. Deze kleine Nederlandse onderneming werd in 2015 opgericht als spin-out vanuit de Technische Universiteit Delft. Ze gebruiken geavanceerde 3D-modellen met weerparameters om lokale omstandigheden op microschaal te voorspellen met een resolutie van 100 meter of fijner.

De unieke technologie van Whiffle is gebaseerd op “Large Eddy Simulatie”, wat sinds de jaren tachtig in de academische wereld wordt gebruikt om wolken en turbulentie te onderzoeken. Deze complexe simulaties van stromingsdynamica vereisen extreem veel rekenkracht, zelfs meer dan wat supercomputers kunnen bieden. Whiffle onderzocht de mogelijkheden om het simulatiemodel te laten werken op Graphical Processing Units (GPUs). De voorspellingsnauwkeurigheid van de intern ontwikkelde Computational Fluid Dynamics (CFD) software is verbazingwekkend en wordt nu ruim 100 keer sneller verkregen op de grafische kaarten dan met reguliere supercomputers.

Windturbines zijn ontworpen met een belangrijk doel: het onttrekken van bewegingsenergie aan de atmosfeer en dit omzetten in elektrische energie. Ze doen dit zeer efficiënt en daarom bevindt zich achter een windturbine een zogebied met een aanzienlijke verminderde windsnelheid. Een van de uitdagingen bij het begrijpen van de stromingsfysica van windparken is de koppeling tussen de microschaal (zeg op het niveau van de turbine van orde 100 m) en de mesoschaal (100 km of meer) die relevant is voor atmosferische processen.

Het belangrijkste verschil is de ultrahoge resolutie die Whiffle gebruikt in de modellen. Dit maakt een nauwkeurige en natuurlijke weergave mogelijk van kleinschalige stromingsprocessen zoals turbulentie, oppervlakte-interacties, wolkenvorming en neerslag op een bepaalde plaats en tijd. Dit alles met een ongekend detail in de ruimte en tijd. Voor windparken levert dit zeer nauwkeurige voorspellingen op over de productie van windenergie. Ook kan de indeling van nieuwe windparken worden geoptimaliseerd door het rendement van windparken en de interactie van windturbines zelf met de wind in het park te berekenen.

De detailbeschrijving van stromingen is niet alleen relevant voor windturbineparken, maar kan ook worden gebruikt voor vele andere milieutoepassingen. Bijvoorbeeld het nauwkeurig vastleggen van de verspreiding van luchtverontreinigende stoffen door de atmosfeer, rekening houdend met de invloed van turbulentie, obstakels, wind, weersverschijnselen en land-zeeovergangen op de verspreiding van deeltjes.

Voor meer informatie: www.whiffle.nl



EEN DRIJFVEER VAN DE ECONOMIE: DE NEDERLANDSE STROMINGSLEERINDUSTRIE

11,5 miljard euro aan op vloeistofdynamica gebaseerde goederen en diensten werd in 2021 vanuit Nederland geleverd door meer dan 1100 bedrijven.



HERNIEUWBARE ENERGIE



TOPSPORT



METEOROLOGIE EN KLIMAAT



FARMACIE EN DIAGNOSTIEK



LANDBOUW



GEZONDHEIDSZORG



ELECTRICITEITS-OPWEKKING



CHEMISCHE INDUSTRIE



GEBOUWDE OMGEVING



WATER MANAGEMENT



LUCHTVAART & RUIMTEVAART, EN DEFENSIE



VOEDSEL-PRODUCTIE



OLIE EN GAS



SIMULATIE EN MODELERING



HIGH-TECH FABRICAGE



STROMINGS-CONTROLE

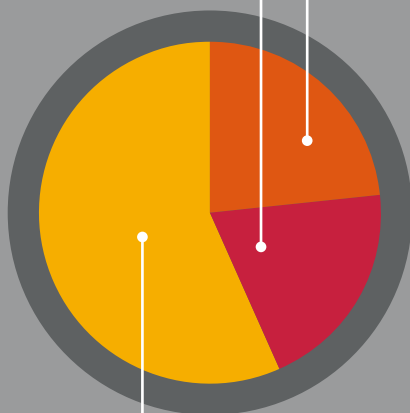


MARITIEM

Aandeel binnen stromingsleer bestemd voor export

>75%
EXPORT

20-75%
EXPORT



<20%
EXPORT

De Nederlandse stromingsleerindustrie genereerde in 2021 een opbrengst van 11,5 miljard euro door meer dan 1100 bedrijven met meer dan 19000 werknemers werkend aan stromingen. De bruto toegevoegde waarde van deze sector voor de economie wordt geschat op €2,4 miljard per jaar, wat neerkomt op €130 000 bruto toegevoegde waarde per werknemer. Meer dan 75% van de industrie exporteert producten en diensten op het gebied van stromingsdynamica naar buiten Nederland, waarbij een kwart meer dan 75% van zijn productie exporteert.

Het gebruik van vloeistofdynamica is terug te vinden in een breed scala aan bedrijven. De totale Nederlandse omzet van bedrijven waar vloeistoffen een deel van de activiteit uitmaken bedraagt meer dan 125 miljard euro en deze bedrijven bieden samen werk aan meer dan 200 duizend mensen. Het aandeel van de stromingsleer in veel bedrijven is dus beperkt, maar

is wel van cruciaal belang om een veel grotere economische activiteit mogelijk te maken. De totale impact is dus aanzienlijk groter dan de directe productie met stromingsleer.

Deze brede impact van stromingsleer kan verder geïllustreerd worden door de veelheid aan industrieën die stromingsleer omvatten. Voorbeelden zijn industrieën voor traditionele en hernieuwbare energie, geneesmiddelen- en chemische productie, high-tech productie, maritiem ontwerp, milieuvoorspelling/ bescherming, en bouw.

Nederlandse multinationals maken ook gebruik van de stromingsleerkennis in Nederland om waarde toe te voegen aan hun wereldwijde activiteiten. Dit impliceert dat de totale economische impact veel groter is dan wat hier wordt toegeschreven aan alleen hun Nederlandse activiteiten met stromingsleer.



€11,5
MILJARD OMZET



19 000
WERKNEMERS



1100
BEDRIJVEN



€130 000
BRUTO TOEGEVOEGDE WAARDE
PER WERKNEMER



> €2,4
MILJARD TOTALE BRUTO TOEGEVOEGDE WAARDE



SELECTIE VAN DE GROOTSTE NEDERLANDSE BEDRIJVEN DIE WAARDE TOEVOEGEN MET STROMINGSLEER

Akzo Nobel N.V.

ASML Nederland B.V.

Boskalis Nederland B.V.

Canon Europa N.V.

Chemours Nederland B.V.

DAF Trucks N.V.

Dow Benelux B.V.

DSM N.V.

Eneco N.V.

Eriks B.V.

ExxonMobil Chemical
Holland B.V.

Flowserve B.V.

FrieslandCampina
Nederland B.V.

Fugro N.V.

Heineken N.V.

Lyondell Chemie
Nederland B.V.

Nobian Industrial
Chemicals B.V.

OCI N.V.

Philips N.V.

Schlumberger B.V.

Sensata Technologies
Holland B.V.

Shell Nederland B.V.

Stork B.V.

Teijin Aramid B.V.

Tata Steel Nederland B.V.

Unilever Nederland B.V.

Vattenfall B.V.

VOORTDURENDE TOEKOMSTIGE GROEI

De Nederlandse stromingsleerindustrie investeert jaarlijks 670 miljoen euro en groeit vijf keer sneller dan de rest van de economie.

De sterke vraag van klanten en de introductie van nieuwe producten blijven de groei in het gebruik van stromingsleer stimuleren

De cruciale rol die stromingsdynamica speelt bij het oplossen van maatschappelijke uitdagingen betekent dat de industrie een sterke groei doormaakt. Driekwart van de industriële respondenten in ons onderzoek voorspelt een industriële groei van meer dan 5% per jaar voor de komende 3 jaar, wat neerkomt op tot 5 keer de verwachte groei op korte termijn voor de gehele Nederlandse economie (OESO november 2022).

De respondenten uit de industrie beschrijven een sterke vraag van klanten en de introductie van nieuwe producten als de belangrijkste drijfveren voor die groei, wat de kracht van de markt voor meer innovatie op het gebied van vloeistofdynamica illustreert. Meer dan de helft van de respondenten geeft ook aan dat overheidsfinanciering die groei mede mogelijk zal maken.

Er is vooral behoefte aan extra personeel op academisch niveau (PhD / MSc) en/of aan personeel met meer dan vijf jaar ervaring om de groei te ondersteunen. Dit weerspiegelt de sleutelrol die stromingsdynamica speelt bij het ontwerpen van producten en processen in een breed scala aan toepassingen. Het opbouwen van ervaring vergt tijd en er is behoefte aan een langetermijnstrategie voor het leveren van vaardigheden op het gebied van vloeistofdynamica in Nederland.

Bedrijven die met vloeistofdynamica waarde toevoegen zijn belangrijke investeerders. Meer dan de helft van de onderzochte organisaties die stromingsleer gebruiken investeert meer dan 5% van hun omzet in onderzoek en ontwikkeling, en een derde zelfs meer dan 10%. Gezien de omvang van deze industrie, wijst

dit op een jaarlijkse investering in Onderzoek & Ontwikkeling van meer dan € 670 miljoen door bedrijven die in Nederland gebruik maken van stromingsleerkennis. Dit is een persistente investering op lange termijn, met weinig verandering tussen de investeringen van de afgelopen drie jaar en de prognoses voor de komende drie jaar.

Het belang van stromingsleer bij de ondersteuning van grensverleggende innovatie wordt onderstreept door de uitkomst van de enquête, waaruit blijkt dat een derde van degenen die meer dan 5% in Onderzoek & Ontwikkeling investeren, de komende drie jaar meer dan de helft van die investering in stromingsleer zullen doen. Dit komt neer op directe investeringen in vloeistofdynamica door de Nederlandse industrie van ten minste ~100 miljoen euro per jaar.

De industrie geeft aan dat de bron van deze investeringen voor het overgrote deel bestaat uit ingehouden winst en externe bedrijfsinvesteringen.

Dit ondersteunt de duurzaamheid van investeringen omdat ze worden gefinancierd uit de verkoop van bestaande producten. Het gebruik van ingehouden winst wijst er ook op dat de stromingsleer binnen gevestigde bedrijven sterk wordt beïnvloed door de reële vraag van klanten. Investeringen in durfkapitaal werden genoemd als minder relevant. Een bredere steekproef kan wellicht een ander inzicht geven, of het kan erop wijzen dat de durfkapitaal investeerders zich minder bewust zijn van de onderliggende aard van stromingsleer en het rendement dat het kan opleveren, wat mogelijkheden biedt om meer investeringen aan te trekken.

Investering in Onderzoek & Ontwikkeling

Verdeling van de totale investeringen in Onderzoek & Ontwikkeling door bedrijven in Nederland die waarde toevoegen met stromingsdynamica, naar percentage van de geïnvesteerde omzet



Totale Onderzoek & Ontwikkeling investeringen in de afgelopen drie jaar

Totale Onderzoek & Ontwikkeling investeringen in de komende drie jaar



Aandeel van stromingsleer in de investering van bedrijven in Onderzoek & Ontwikkeling

0-25%

26-50%

51-75%

76-100%

Bron van investeringsfinanciering gebruikt door bedrijven die waarde toevoegen met stromingsdynamica



Ingehouden winsten

Durfskapitaal

Externe directe bedrijfsinvesteringen

Publieke middelen / subsidies (exclusief Covid-19 ondersteuningsmaatregelen)

Kapitaalmarkt (bijvoorbeeld aandelenemissies)

WATERBEHEER

Stromingsleer bij Deltares



Sinds de grote overstroming van 1953 vertrouwen wij op vloeistofdynamica. De ramp toonde aan hoe belangrijk het is Nederland adequaat te beschermen tegen overstromingen. Op basis van vloeistofdynamische modellen werden strengere veiligheidsnormen vastgesteld voor waterkeringen. De keringen werden verhoogd tot de minimale hoogte (de zogenaamde Deltahoogte zoals voorgeschreven in de Deltawet) die nodig is om Nederland te beschermen tegen stormvloed.

Beeld met dank aan Staartjes Fotografie Deventer

Expertise in vloeistofmechanica is essentieel om het leven in de Nederlandse Delta veilig en duurzaam te maken, zowel nu als in de toekomst. Inzicht in het stromingsgedrag heeft het mogelijk gemaakt de veelheid aan waterconstructies te bouwen.

De Deltawerken zijn daar een goed voorbeeld van, evenals de onlangs voltooide (2022) Zeesluis van IJmuiden, die een complex evenwicht tussen zoet en zout water in stand houdt. Deze gespecialiseerde kennis is ook belangrijk voor het ontwerp van waterbouwkundige constructies die bijdragen aan de versterking van het ecosysteem, ook wel natuurinclusief ontwerp genoemd. Vaak kan vloeistofmechanica helpen bij het vinden van een optimale oplossing tussen ecologische impact, constructie en waterkwaliteitsaspecten.

Deltares heeft bijna 100 jaar ervaring in het ontwerpen van innovatieve oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen. Essentieel hierbij is hun expertise op het gebied van water en ondergrond. De kennis van vloeistofmechanica maakt deel uit van deze expertise. In het verleden gebruikten zij voornamelijk grote fysieke schaalmodellen om stromingen te meten. Tegenwoordig gebruiken zij zowel fysieke schaalmodellen als numerieke modellen. Deze modellen van complexe stromingen geven inzicht in de effecten van stromingen op het milieu. Voorbeelden zijn het voorspellen van wereldwijde overstromingen, de (zee)bodem

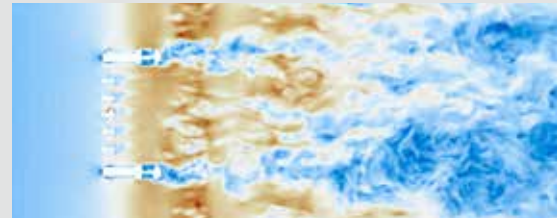
morfyndynamica, het voorspellen van (zee)bodemveranderingen, en erosie rond offshore windfundaties.

Een goed begrip van stromingen is ook essentieel voor het vinden van oplossingen voor problemen als gevolg van de verzilting van grondwater, veroorzaakt door klimaatverandering en zeespiegelstijging. Er zijn nieuwe meettechnieken en simulaties nodig om de zoutwaterindringing bij dammen, sluisen en stormvloedkeringen tot een minimum te beperken en het ontwerp te optimaliseren.

Hiervoor zijn goed opgeleide vloeistofmechanici nodig. Ook het begrip van de vloeistofmechanica in (door getijden beïnvloede) havens moet nog verder vergroot worden. De sedimentbalans en vervormingen in de rivierbedding zijn belangrijk voor de scheepvaart en de veiligheid van schepen, en voor het optimaliseren van baggerwerkzaamheden om het evenwicht op een natuurinclusieve manier te herstellen.

Technologische ontwikkelingen - zoals de robotisering van (optische) fysische metingen, vrije oppervlakte meetmethoden, autonome schepen voor onderzoek, en de voortdurende ontwikkeling en validatie van numerieke modellen van vrije oppervlakte stromingen rond constructies - maken deel uit van de strategie van Deltares voor een toekomst met stromingen.

Voor meer informatie: www.deltares.nl



Stromingspatronen van getijdenenergieturbines in de Oosterscheldekering

“Expertise in vloeistofmechanica is essentieel voor het ontwerp van een flexibele, duurzame en klimaatbestendige infrastructuur voor de komende decennia.”

Annemieke Nijhof
CEO
Deltares

STROMINGSLEER BIJ DE ENERGIETRANSITIE

Belang van stromingen voor Shell

“Nederland is ontstaan en ontwikkeld door het benutten van wind en het beheren van water gedurende vele eeuwen. Dit gaat door tot in de toekomst. Het is in de kern een stromingsland. Expertise van wereldklasse op het gebied van wetenschap en technologie vanuit de stromingsleer biedt een geweldige kans om overheden, industrieën en samenlevingen te ondersteunen met de vereiste kennis om de transitie op het gebied van energie en circulariteit te realiseren, in binnen- en buitenland. Voor Nederland is stromingstechnologie een sterk exportproduct.”

Yuri Sebregts

Executive Vice President Technology en Chief Technology Officer, Shell

De architectuur van het landschap en het water binnen Nederland bewijst dat Nederland wereldleider is in de wetenschap en techniek van stromingen. We herkennen allemaal de historische windmolens en hun rol bij het droogleggen van land.

Dezelfde stromingsprincipes worden ook toegepast in de procesindustrie van Shell, waar gassen, vloeistoffen en vaste stoffen worden getransporteerd en omgezet via complexe processen binnen pijpleidingen, separatoren, pompen, compressoren en reactoren.

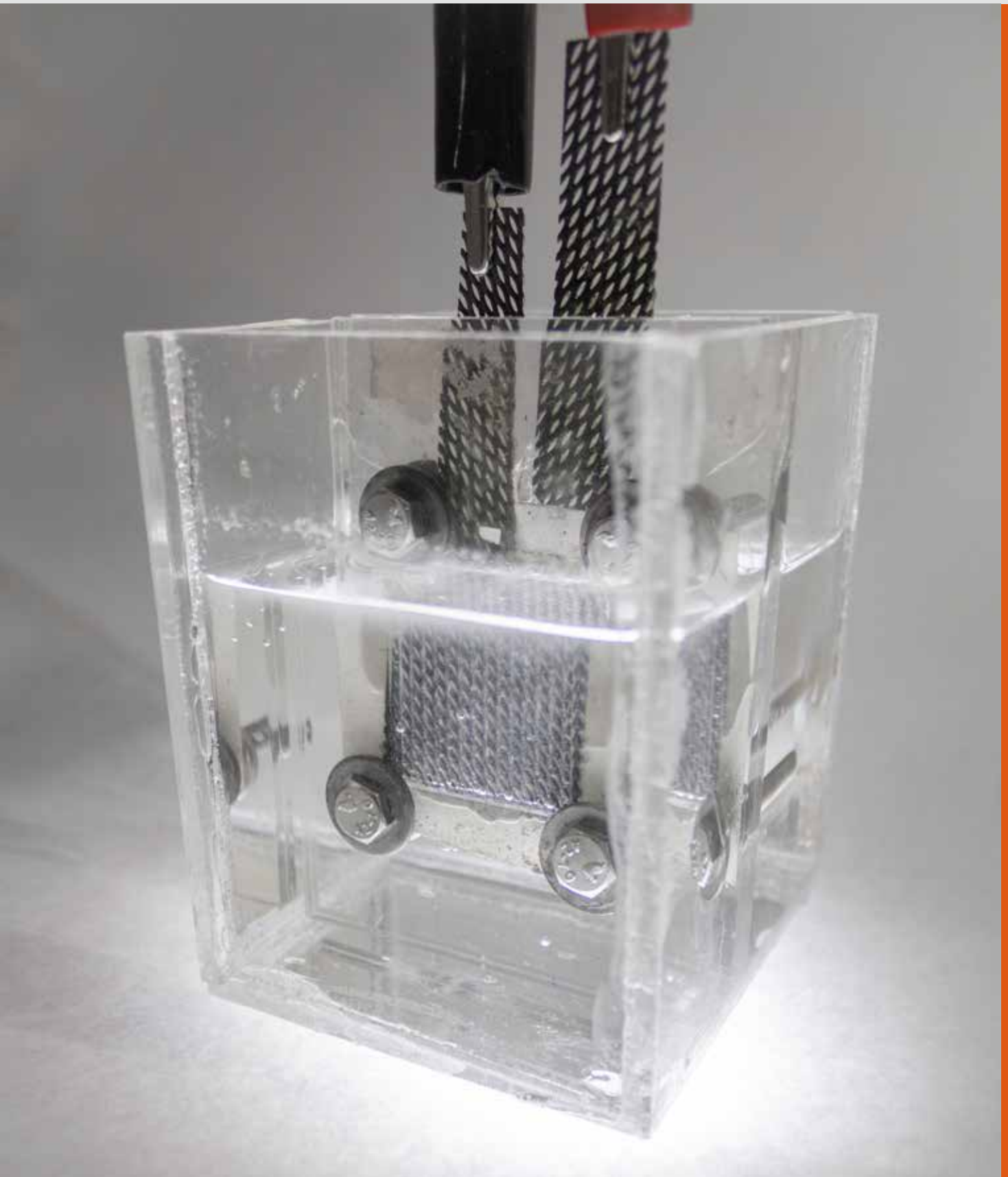
Aangezien het tijd is voor verandering, is samenwerking tussen alle belanghebbenden vereist om de kennis en kunde te ontwikkelen om tot een wereldwijd schoon en duurzaam energiesysteem te komen.

Stromingsprocessen vormen de kern van de waardeketen van waterstof (productie, vervoer en gebruik), de productie van synthetische brandstoffen (zoals kerosine voor vliegtuigen) en de afvang en opslag van koolstofdioxide.

Shell ziet een grote toekomst voor waterstofproductie. Elektrolyse van water om waterstof te maken is een bekend principe, met veel mogelijkheden voor verdere optimalisatie. Het elektrochemische

proces in een elektrolyser bij lage temperatuur genereert een stroom van waterstof- en zuurstofbellen in de wateroplossing tussen de elektroden. Wat is het optimale ontwerp van de stromingsconfiguratie die minimale energieverliezen geeft? En hoe kunnen de laboratoriumproeven worden omgezet in ijktesten, en opgeschaald naar industriële afmetingen, inclusief opslag en transport? De fundamentele kennis op het raakvlak van materialen, elektrochemie en vloeistofstroming is nodig voor nieuwe doorbraken zoals hogetemperatuur-hogedrukelektrolyse.

Naast de enorme potentie van waterstof is het afvangen, transporteren en opslaan van CO₂ op grote schaal onderdeel van de strategie om netto nul uitstoot te bereiken in overeenstemming met de het Klimaatakkoord van Parijs. Hoe kan CO₂ het meest efficiënt worden afgevangen uit de lucht, uit water, uit procesgassen? Enkelefasen transport en meerfasen transport, meestal onder turbulente stromingscondities, vormen een bekend kennisgebied voor vele soorten vloeistoffen. Maar de complexe thermodynamische eigenschappen van CO₂ hebben de aanzet gegeven tot nieuw Shell-onderzoek, met laboratoriumtests, computersimulaties, en veldtests om al de mogelijkheden van CO₂-opslag in de nabije toekomst volledig te doorgronden.



NEDERLANDSE STROMINGSLEER IN DE WERELD

Het nationale en wereldwijde belang van stromingsleer

“Het is duidelijk dat Nederland wereldwijd tot de leiders behoort op het gebied van fundamenteel en toegepast stromingsleeronderzoek. Het aantal subsidies vanuit de European Research Council en internationale onderscheidingen bewijzen bijvoorbeeld het aanzienlijke succes van de vloeistofmechanica-gemeenschap in Nederland.”

Professor Howard A. Stone
Lid van het internationale
evaluatiepanel 2021, Burgerscentrum

Professor in Mechanical and
Aerospace Engineering aan de
Universiteit van Princeton University

De Nederlandse stromingsleerindustrie is wereldwijd van groot belang. Met een jaaromzet van 11,5 miljard euro is de Nederlandse stromingsleerindustrie gelijk aan driekwart van de omvang van de vergelijkbare Britse industrie en tweemaal zo groot bij schaling naar het relatieve Bruto Binnenlands Product van beide landen.

Hoewel er geen schattingen zijn van de wereldwijde omvang van de stromingsdynamica-industrie, zou de stromingsleer, op schaal van andere ontsluitende technologieën (bijvoorbeeld fotonica), een Europese industrie zijn van 65-130 miljard euro en meer dan 400-800 miljard euro wereldwijd. Dit zou betekenen dat Nederland 9-18% van de wereldwijde stromingsleerindustrie uitmaakt.

Kijkend naar de belangrijkste vloeistofdynamische bedrijfssegmenten, bedroeg de wereldwijde markt voor vloeistofstroomregelapparatuur alleen al in 2021 een bedrag van 47 miljard euro, met een verwachte stijging tot 67 miljard euro in 2027 (Global Pumps and Valves Market, Maximize Market Research, 2022), ongeveer gelijk verdeeld over landbouw, bouwen, metaal, olie en gas, mijnbouw en energieopwekking. De bloei van industrieën die worden gedreven door vloeistofdynamica blijkt ook uit eerdere rapporten waarbij Nederland voor meer dan 1 miljard euro aan kleppen exporteerde en de vijfde grootste importeur van kleppen in Europa is (CBI, 2016).

Stromingsdynamische bedrijven, of de stromingsleerdivisie van grotere bedrijven, kunnen voor het overgrote deel aangemerkt worden als kleine tot middelgrote ondernemingen (KMOs). Het deel dat kan worden beschouwd als grotere bedrijven, met meer dan 250 personeelsleden die zich rechtstreeks bezighouden met stromingsleer, is ongeveer 2%.

Hoewel de stromingsleersector voornamelijk bestaat uit KMOs, is het grootste deel van de inkomsten en de werkgelegenheid afkomstig van het kleine aantal grotere bedrijven. Dit is een algemeen kenmerk van de meeste verwerkende industrieën. De verdeling van werkgelegenheid en inkomsten naar bedrijfsgrootte verschilt inderdaad nauwelijks van die van de stromingsleersector in het Verenigd Koninkrijk, en is hetzelfde als gevonden in industrieën als fotonica en akoestiek. (Our Fluid Nation 2021).

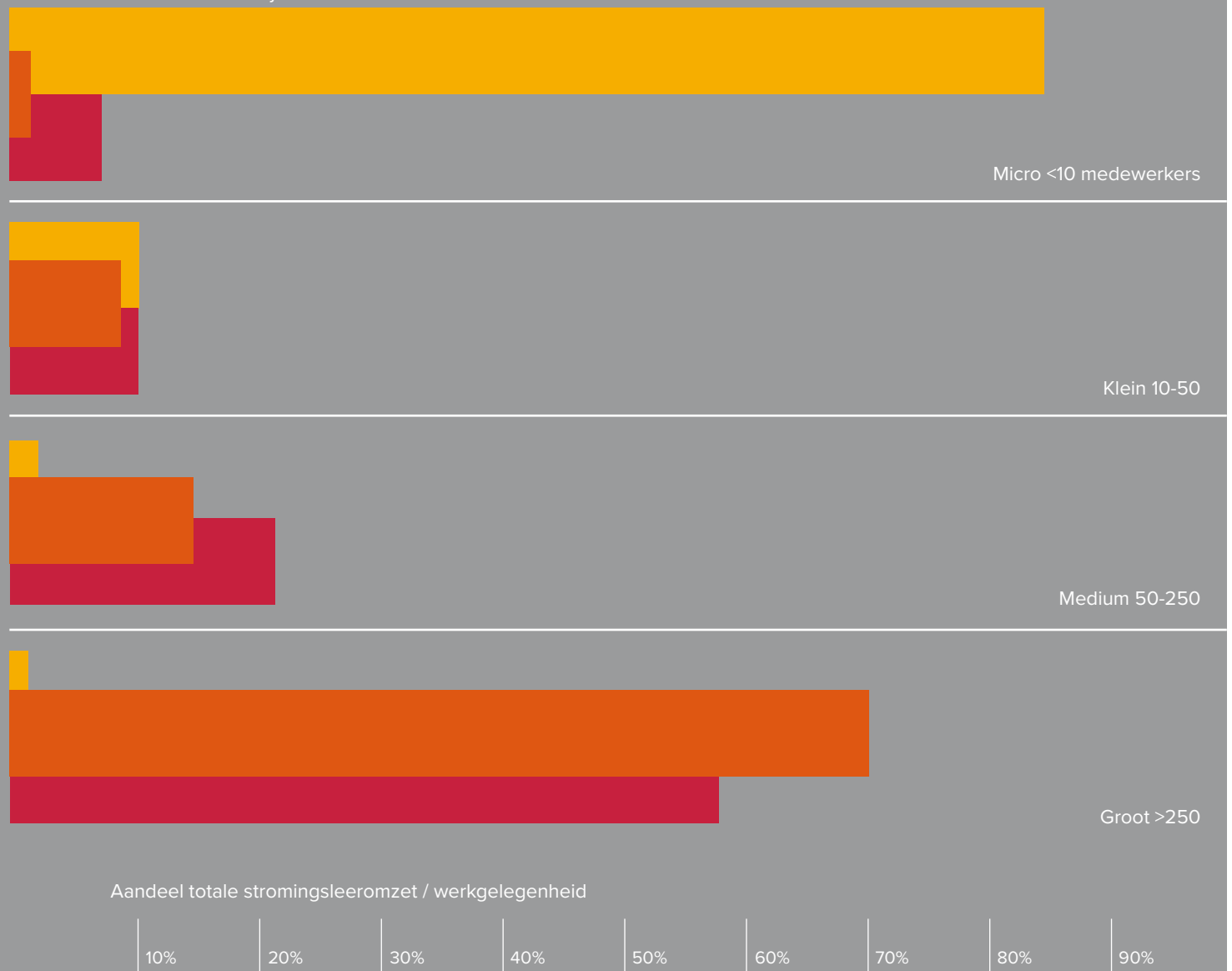
In vergelijking met andere belangrijke industrieën levert de vloeistofdynamica ook een belangrijke bijdrage aan de Nederlandse economie. De Nederlandse fotonica-industrie bijvoorbeeld, een andere sleuteltechnologie, bestaat uit ~ 200 bedrijven met een jaarlijkse omzet van ~ 5,5 miljard euro. Twee grote fotonische spelers, Philips en ASML, zijn samen goed voor ongeveer 70% van deze omzet.

Het belang van de stromingsleersector blijkt ook uit een vergelijking met de automobielenindustrie in Nederland. Met bedrijven als DAF en VDL heeft de automobielenindustrie een totale jaaromzet van 20 miljard euro, minder dan het dubbele van de stromingsleerindustrie in Nederland.

De Nederlandse luchtvaartindustrie heeft een jaarlijkse investering van ongeveer 50 miljoen euro, inclusief investeringen van de belangrijkste publieke belanghebbenden zoals NLR, TNO en universiteiten die samen ongeveer 40% van dit bedrag vertegenwoordigen (Topsector HTSM, routekaart Luchtvaart 2020-2025). De geschatte investering van alleen de Nederlandse industrie in stromingsleer van ongeveer 100 miljoen euro toont het grote belang van deze technologie voor zowel de industrie als de maatschappij in het algemeen.

Bron van inkomsten en werkgelegenheid per bedrijfsomvang

Aandeel van bedrijven



Aandeel totale stromingsleeromzet / werkgelegenheid

10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90%

- Bedrijfsomvang
- Bijdrage in omzet totale industrie
- Werkgelegenheidsverdeling

NEDERLAND KENNISBANK

Kracht, diepte en diversiteit in onderzoekskennis ter ondersteuning van de industrie

Nederland is al lange tijd toonaangevend op het gebied van onderzoek naar stromingen. Al 30 jaar bestaat het J.M. Burgerscentrum (JMBC) als de nationale onderzoeksschool voor stromingsleer, met zo'n 250 onderzoekersmedewerkers, 350 PhD-studenten en 40 postdocs in multidisciplinaire onderzoeksgroepen op het gebied van vloeistof- en gasstroming aan de universiteiten van Delft, Eindhoven, Twente, Wageningen, Groningen, Amsterdam en Utrecht. De JMBC-partners leveren jaarlijks meer dan 650 gekwaliceerde tijdschriftpublicaties en hebben een wereldwijde reputatie voor uitmuntend fundamenteel en toegepast stromingsonderzoek. Als geheel publiceerden Nederlandse auteurs bijna evenveel artikelen (77% in 2022) als heel Duitsland in het Journal of Fluid Mechanics, het toonaangevende academische tijdschrift op stromingsleergebied.

Het onderzoek naar stromingsdynamica in Nederland bestrijkt het volledige spectrum van grondbeginselen en toepassingen. Computational Fluid Dynamics vormt de kern van het onderzoek en levert de belangrijkste simulatie-instrumenten voor het voorspellen van vloeistofgedrag. De nieuwe generatie toepassingen in microfluidica en hernieuwbare energiebronnen vormen uiteraard een focus voor onderzoek. Gezien de sterke positie van de Nederlandse chemische industrie staat het onderzoek naar industriële vloeistof-, poeder-, gas- en luchtstromen hoog in het vaandel. Dit geldt ook voor de grote uitdagingen bij het begrijpen van meerfasenstromingen, dus wanneer vloeistoffen en gassen worden samengebracht. Aerodynamica is ook een belangrijk onderzoeksgebied,

dat het belang weerspiegelt van efficiënt vervoer, hernieuwbare energieopwekking en topsport.

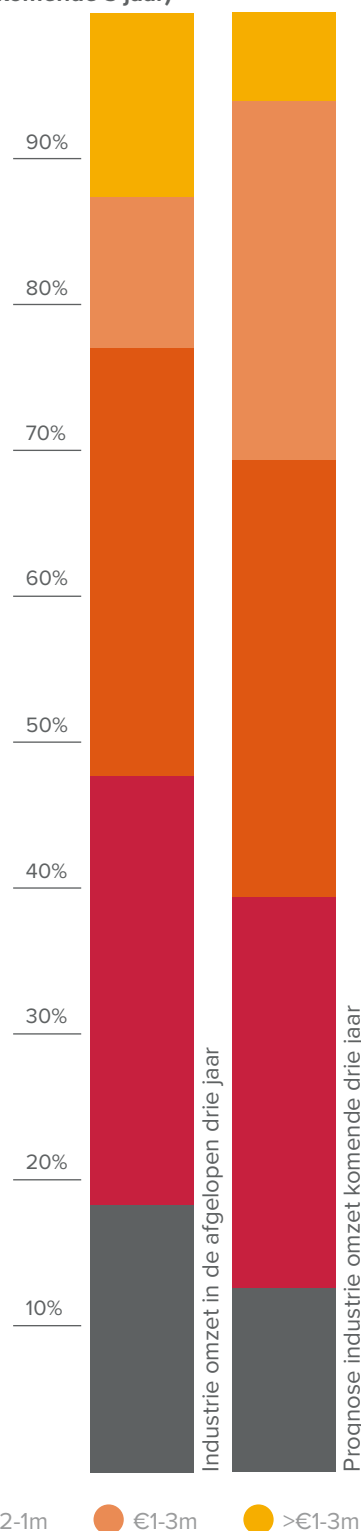
Het stromingsleeronderzoek wordt gefinancierd door een combinatie van Nederlandse en Europese onderzoeksfondsen en aanzienlijke industriële steun. Meer dan 45% van de Nederlandse academici meldt dat zij projecten uitvoeren die rechtstreeks door de industrie worden gefinancierd, 50% heeft industriële steun gehad voor PhD studenten en 85% geeft aan dat de industrie een partner was bij hun publiek gefinancierde onderzoek. Minder dan 20% van de academici meldt dat zij geen steun vanuit de industrie hebben ontvangen.

Ook de industriële steun zal naar verwachting toenemen. In de komende drie jaar is het deel van de academici dat voorspelt dat ze ten minste 1 miljoen euro aan industriële steun zullen ontvangen, groter dan het deel dat in de afgelopen drie jaar een dergelijk bedrag ontving.

Tweederde van de Nederlandse academici heeft gebruik gemaakt van overheidsfinanciering van NWO. Hun internationale status blijkt ook uit het feit dat de helft van de onderzoekers gebruik maakt van financiering door de European Research Council.

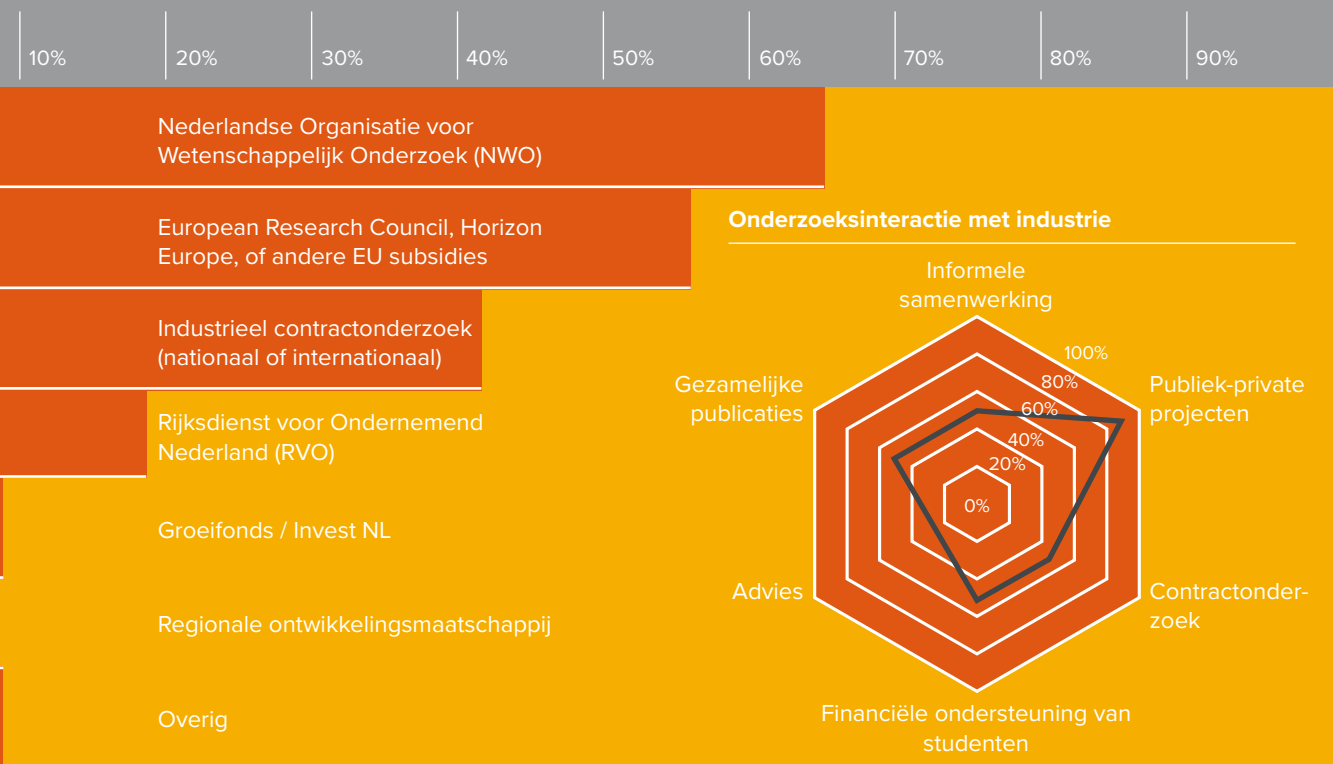
Er zijn sterke belemmeringen voor onderzoek naar vloeistof- en gasdynamica in Nederland. 60% van de onderzoekers noemt een tekort aan financieringsprogramma's en instrumenten die relevant zijn voor vloeistofdynamica en een laag slagingspercentage voor aanvragen. Deze bedenkingen worden versterkt door de inspanningen die nodig zijn om uitgebreide consortia bijeen te brengen.

Omzet vanuit de industrie bij Onderzoeks- en Technologie Organisaties (in afgelopen en komende 3 jaar)

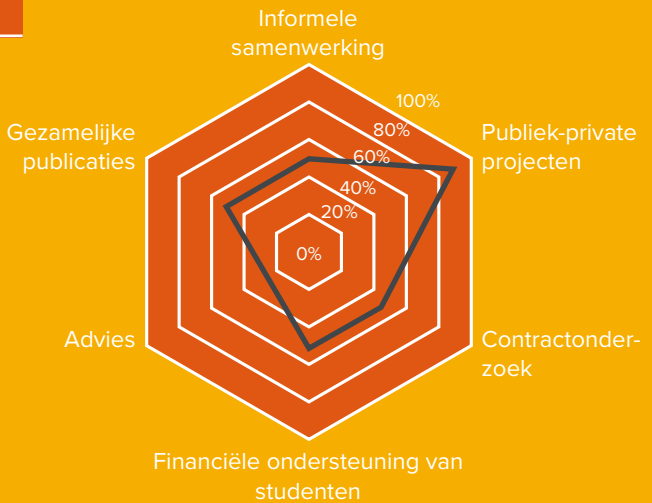


● None ● <€0,2m ● €0,2-1m ● €1-3m ● >€1-3m

Belangrijkste bron van subsidies voor onderzoeks- en kennisinstellingen



Onderzoeksinteractie met industrie



Stromingsleeronderzoek



SAMENVATTING METHODOLOGIE

Het systematisch kwantificeren van sleuteltechnologieën.

Er is een grote diversiteit aan bedrijven die actief gebruik maken van stromingsleer. Er is niet één industrie classificatiecode (SBI, SIC of NACE) verbonden aan de stromingsleer en de statistieken op basis van classificatiecodes zijn geen bruikbare methode om de omvang van de sector te bepalen.

Om de stromingsleerindustrie in Nederland nauwkeurig te kwantificeren is gebruik gemaakt van een methode die eerder is toegepast op de fotonica-, akoestiek- en stromingsindustrie in het Verenigd Koninkrijk. Het proces bestaat uit de volgende acht belangrijke stappen (verder uitgewerkt aan het eind van dit rapport):

1. Ontwikkel een duidelijke definitie van stromingsleer en een taxonomie van gemeenschappelijke termen waarmee bedrijven die waarde toevoegen met stromingsleer zichzelf beschrijven.
2. Stel een lijst met kandidaatbedrijven samen door het zoeken op internet met behulp van bovenstaande gemeenschappelijke termen. Extraheer de gegevens over bedrijfslocatie en bedrijfstype.
3. Identificeer de relevante bedrijfstypen, bijv. "onderdelen-fabrikant". Filter de lijst door irrelevante types en duplicaten te verwijderen. Wijs de bedrijven toe aan een of meer subsectoren op basis van de herkomst van de zoekopdracht. Op deze manier werden 1100 bedrijven in Nederland geïdentificeerd die met stromingsleer waarde toevoegen aan producten en diensten.

4. De jaarlijkse omzet-, winst- en werkgelegenheidscijfers voor deze bedrijven zijn afkomstig van het internationale kredietagentschap Dun and Bradstreet. Wanneer globale financiële cijfers werden vermeld, bijvoorbeeld voor grote multinationals, werd een deel van de bedrijfsactiviteiten aan Nederland toegeschreven op basis van de relatieve capaciteit (bijvoorbeeld in de energiesector) of werkgelegenheid.

5. Voor de grootste en meest gediverseerde bedrijven en belangrijke subsectoren werd een panel van deskundigen uit de sector gevraagd een fractie van de productie van dergelijke bedrijven toe te wijzen aan de stromingsdynamica, overeenkomstig de waarde die volgens hen door de stromingsdynamica wordt toegevoegd.

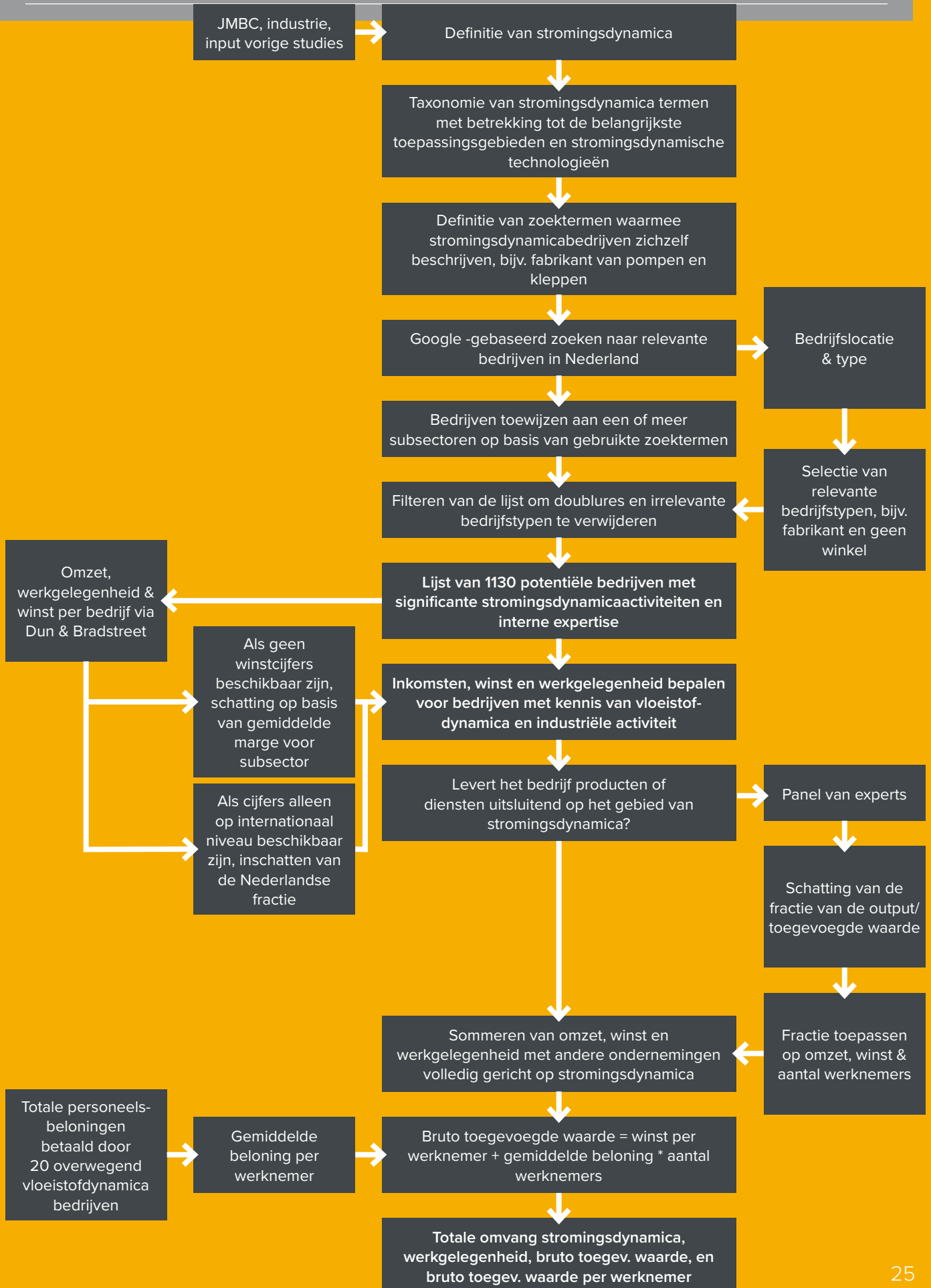
6. Deze toegewezen fractie werd toegepast op de inkomsten, de winst en de werkgelegenheid, wat de overeenkomstige cijfers opleverde die rechtstreeks zijn toe te schrijven aan de stromingsdynamica.

7. Het gemiddelde van € 61300 salaris per werknemer werd als schatting gevonden op basis van de gerapporteerde totale betaalde salarissen en werkgelegenheidscijfers vanuit een steekproef van 8 bedrijven die met stromingsleer werken en samen in totaal meer dan 84000 mensen in dienst hebben. De bruto toegevoegde waarde voor de sector werd berekend op basis van de winst plus de totaal betaalde salarissen aan werknemers.

8. Aanvullende gegevens met een toekomstverwachting werden verzameld via een enquête die werd gehouden in het vierde kwartaal van 2022. De industrie werd om input gevraagd over groei, groeistimulansen, export, investeringen en financieringsbronnen in de afgelopen drie jaar en prognoses voor de komende drie jaar. Los daarvan werd academici gevraagd naar financieringsbronnen, samenwerking en de mate van financiering door de industrie.

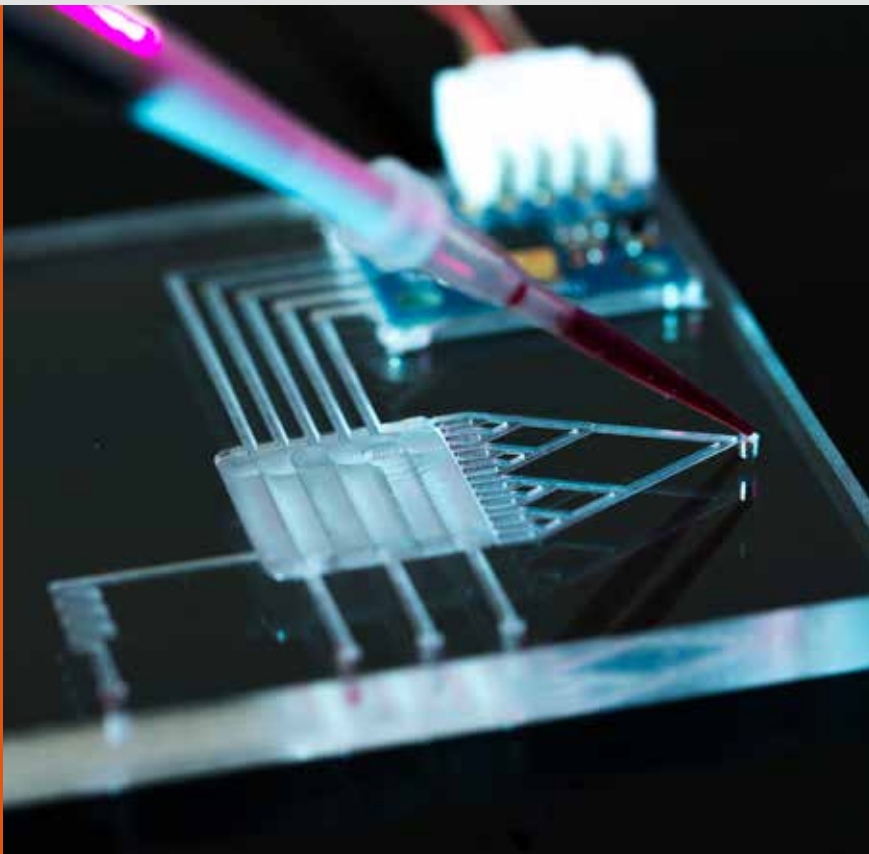
Door de overheid gefinancierde onderzoekinstellingen werden niet in de analyse betrokken, want de focus was alleen gericht op de bijdrage van de private industrie aan de economie. Maar de door de overheid gefinancierde onderzoekinstellingen zijn wel een belangrijke bron van extra werkgelegenheid. De toekenning van inkomsten vanuit de stromingsleer bij Nederlandse multinationals is een conservatieve schatting, aangezien de stromingsleer-expertise bij in Nederland gevestigde bedrijfsonderdelen ook de wereldwijde business bedient en dus een veel grotere impact op de inkomsten heeft dan die berekend is op de fractie van de in Nederland gevestigde werknemers.

Samenvatting methodologie



STROMINGSLEER VOOR DE GEZONDHEIDSZORG

Lab-on-a-Chip diagnostiek bij de Universiteit Twente



“Vloeistofdynamica speelt een essentiële rol bij de ontwikkeling van nieuwe methoden die uiteindelijk kunnen worden toegepast in massale screeningprogramma’s voor long-, blaas-, darm- en baarmoederkanker.”

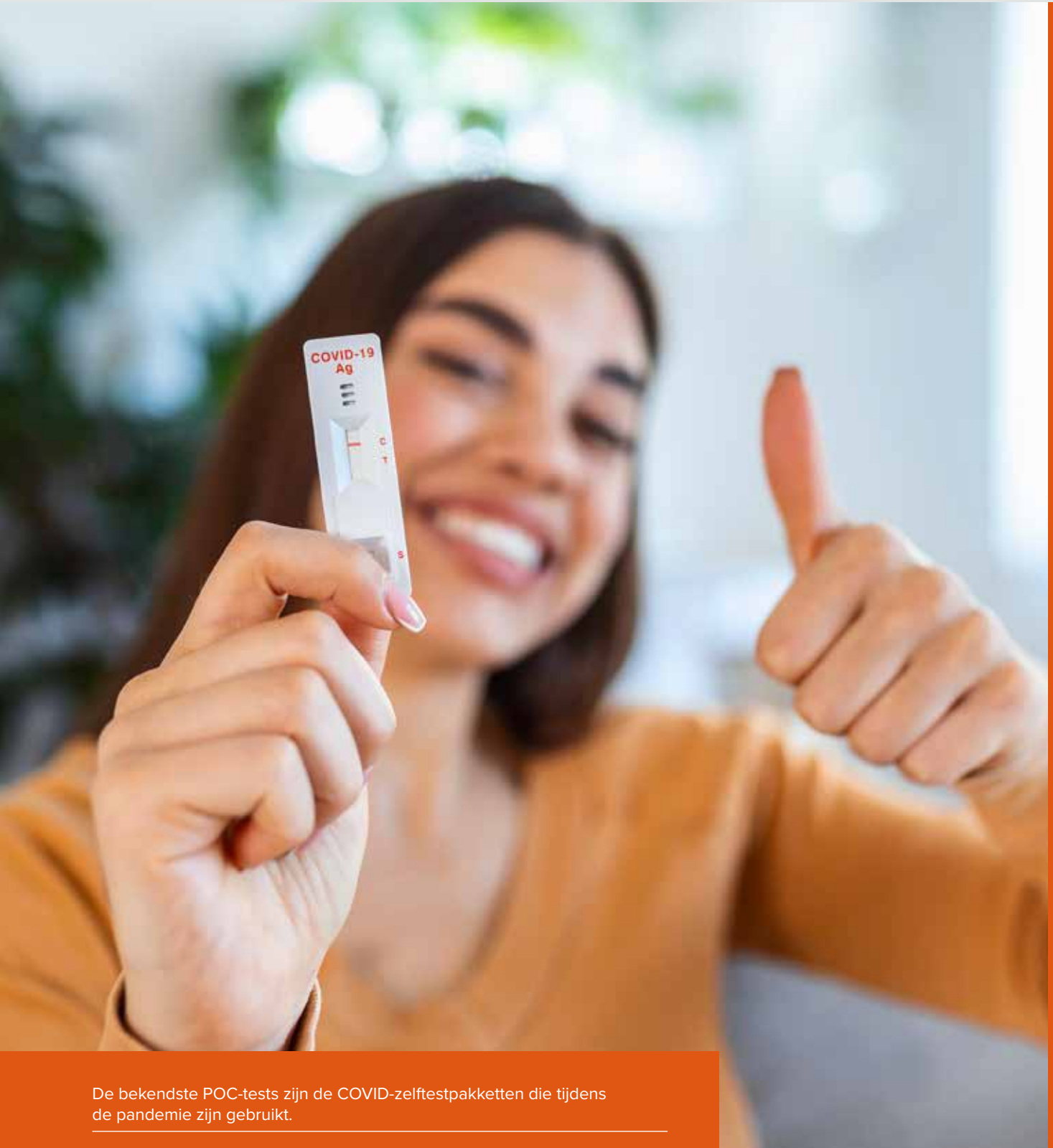
Professor Loes Segerink

Point-of-Care (POC) tests in de gezondheidszorg maken een snelle ontwikkeling door in de klinische diagnostiek en zullen naar verwachting de toekomst van de diagnostiek in de gezondheidszorg bepalen. De bekendste POC-tests zijn de COVID-zelftestpakketten die tijdens de pandemie zijn gebruikt. Ze zijn een krachtig hulpmiddel gebleken bij de uitbraakbestrijding, ondanks dat ze niet altijd nauwkeurig waren.

Vloeistofdynamica speelt een essentiële rol bij POC-tests, aangezien daarbij lichaamsvloeistoffen worden onderzocht in een kleine gebruiksvriendelijke omgeving, variërend van eenvoudige apparaten voor het opvangen van vloeistoffen tot microfluidemanagement voor lab-on-a-chip POC-tests.

POC-sensoren zoals de draagbare glucosesensoren voor diabetespatiënten zijn algemeen bekend, maar de snelle ontwikkeling realiseert nu ook sensoren voor het detecteren van eiwitten, kleine (anorganische) moleculen en nucleïnezuren. Toegang tot snelle en betrouwbare detectiemethoden voor nucleïnezuren is van cruciaal belang op vele gebieden, zoals biowetenschappen, milieubewaking, biotechnologie, en misschien wel het belangrijkste, de gezondheidszorg. Het opsporen van ziekteverwekkers op basis van hun genetische informatie, bijvoorbeeld door het monitoren van circulerende celvrije DNA/RNA-deeltjes in verband met diverse (kanker) ziekten, maakt vroegtijdige diagnose en behandeling mogelijk. Dit hangt echter af van de beschikbaarheid van methoden waarmee ultralage concentraties van nucleïnezuren met hoge gevoeligheid en specificiteit kunnen worden opgespoord, in dit geval uit urinemonsters.

De Universiteit Twente richt zich op de ontwikkeling van nieuwe technieken die deze ultralage concentraties van nucleïnezuren in urine kunnen meten. Hoewel het volume van de urine niet de beperkende factor is, vormen de doorvoer en het volume van een microfluidische chip een technologische uitdaging. In het geval van oppervlaktegebonden sensoren kan de urine over de sensor worden geleid, maar de hoge doorvoer van deze volumes zal een uitdaging vormen voor microfluidische toepassingen. Bovendien hangt de kans dat alle moleculen aan het oppervlak binden ook af van de reactiekinetiek tussen het testmateriaal en de sonde en het massatransport naar de sensor, waardoor de tijd die de sensor nodig heeft om een evenwicht te bereiken wordt beïnvloed.



De bekendste POC-tests zijn de COVID-zelftestpakketten die tijdens de pandemie zijn gebruikt.

SAMENVATTING EN AANBEVELINGEN

Bij een grote inzet van de stromingsleer heeft Nederland een geweldige positie om de urgente maatschappelijke uitdagingen aan te pakken.

Aanbevelingen:

Nationale erkenning van de rol van stromingsleer als sleuteltechnologie.

Een op de industrie gerichte divisie binnen het nationale J.M. Burgerscentrum voor Stromingsleer.

Strategische samenwerking op het gebied van stromingsleer met platformfinanciering ter grootte van meer dan 500 miljoen euro over 5 jaar om het industriële concurrentievermogen te vergroten.

Uitbreiding van het onderzoek naar stromingen om het wetenschappelijk leiderschap op de lange termijn te waarborgen.

Uitbreiding van de opleidingen in stromingsleer op alle niveaus om de benodigde deskundigheid te blijven leveren.

Stromingsleer is een vitale, maar doorgaans wat onbekende technologie die kan worden ingezet bij het oplossen van alle grote maatschappelijke uitdagingen die de toekomst in Nederland bepalen. Sinds de grote overstroming van 1953 en de daaropvolgende Deltawerken vertrouwen wij op vloeistofdynamica bij het beheersen van de waterstroming op macroniveau. Maar ook op microniveau beïnvloedt de stromingsleer ons dagelijks leven. Voor het eerst is de invloed en impact van stromingsleer in Nederland in kaart gebracht. De uitgebreide industrie die gebruik maakt van stromingsleer is benoemd, en het belang van voortdurende investeringen in de wetenschap & technologie en noodzaak tot uitbreiding van deze discipline voor de vele toepassingen is aangetoond.

Nederland loopt al tientallen jaren voorop met wereldwijd toonaangevend onderzoek op het gebied van vloeistof- en gasdynamica, mede door het bestaan van het J.M. Burgerscentrum als nationale onderzoeksschool voor wetenschap en techniek in de stromingsleer. De industrie heeft deze expertise ruimschoots ingezet door de afgestudeerde stromingsleerexperts in dienst te nemen. De kennis van de stromingsleer wordt benut in veel soorten industrieën, variërend van drukkerijen en halfgeleiderverwerking tot landbouw en chemische productie, maar ook waterbeheer. De voortdurende industriële investeringen en toepassingen van stromingsleer hebben geleid tot een industrie met een jaarlijkse waarde van 11,5 miljard euro voor de Nederlandse economie, die werk biedt aan 19000 mensen in meer dan 1100 bedrijven.

Stromingsleer is de drijvende kracht achter veel van de grote maatschappelijke uitdagingen zoals die door de Nederlandse regering als prioriteit zijn aangemerkt. De dringend noodzakelijke transitie naar duurzame energie vereist meer gedetailleerde klimaat- en weerskennis, van geavanceerde simulaties van windparken en atmosferische stromingsmodellen tot het ontwerp van nieuwe turbines voor getijdenenergie. Op gezondheidsgebied heeft de COVID-19-pandemie duidelijk aangetoond dat het noodzakelijk is de verspreiding van virale aerosolen en snelle (zelf) tests te begrijpen, te voorspellen en te beheersen. In de toekomst is voor meer gezondheidsproblemen kennis over vloeistofstromen nodig, van geavanceerde lab-on-chip instrumenten voor Point-of-Care diagnostiek van ziekten, tot de productie van gepersonaliseerde geneesmiddelen en het printen van op stamcellen gebaseerde organoïden als persoonlijke testbanken voor de ontdekking van geneesmiddelen.

Stromingsleertechnologie heeft de potentie om maatschappelijke uitdagingen te helpen oplossen, maar door haar complexiteit en verborgen aanwezigheid is zij relatief onbekend bij het grote publiek en beleidsmakers. Het is essentieel om meer zichtbaarheid te creëren en nationale erkenning te krijgen voor stromingsleer als een sleuteltechnologie om belangrijke maatschappelijke problemen aan te pakken.

Om onze toekomst veilig te stellen en de economie verder te laten groeien, is het van vitaal belang om over strategische financiering voor onderzoek en innovatie (>€500 miljoen over 5 jaar) voor stromingsleer te beschikken. Daarbij moet het netwerk van het J.M. Burgerscentrum benut worden bij het uitvoeren van nieuwe publiek-private projecten met een belangrijke industrieel-maatschappelijke focus. Dit zal het Nederlandse wetenschappelijke leiderschap op het gebied van stromingsleer op lange termijn waarborgen en de samenwerking tussen de industrie en de academische wereld bevorderen, terwijl de opleiding in stromingsleer op alle niveaus wordt gestimuleerd, wat essentieel is voor uitgebreide industriële toepassing van dit vakgebied.



Valkenburg Aan De Geul, Nederland. Schade door extreme overstromingen op 15 juli 2021 in Valkenburg, Nederland. Hevige regenval heeft die nacht meerdere plaatsen in de provincie Limburg onder water gezet.

BIJLAGE: VOLLEDIGE METHODOLOGIE

De methodologie die is toegepast om de impact van de stromingsleer in Nederland te kwantificeren heeft vier hoofdcomponenten:

- Het kwantificeren van de huidige directe economische impact van de bestaande stromingsleer-industrie in Nederland.
- Inzicht in het effect op toekomstige maatschappelijke uitdagingen.
- Inzicht in de omvang en de drijvende krachten achter de toekomstige groei.
- Het vastleggen van representatieve voorbeeld studies om de impact nu en in de toekomst te illustreren.

Het kwantificeren van maat en schaal

Het voorgaande stroomschema illustreert het achtstappenproces voor het kwantificeren van de huidige omvang van de Nederlandse stromingsleerindustrie. Het is gebaseerd op het principe om gerapporteerde bekende gegevens over financiële resultaten, werkgelegenheid en bruto toegevoegde waarde te nemen en een deel daarvan toe te wijzen aan de stromingsleer op basis van de input van een panel van deskundigen.

Het proces is afhankelijk van een aantal kritische factoren. Ten eerste, het identificeren van de juiste bedrijven. Door middel van zoektermen werden in Nederland gevestigde bedrijven geïdentificeerd; termen die vaak gekoppeld zijn aan producten die gericht zijn op vloeistofdynamica, zoals pompen, kleppen, afdichtingen of HVAC-fabrikanten, of verticale markten die gebruik maken van op vloeistof of gas gebaseerde input, zoals windenergie en chemische verwerking. Een selectie op bedrijfstype, bijv. productieorganisaties, was nodig voor het filteren op organisaties met een directe economische impact.

De nauwkeurigheid van de financiële gegevens werd gewaarborgd door gebruik te maken van erkende schattingen van Dun and Bradstreet, zorgvuldig gewogen om ervoor te zorgen dat de cijfers alleen betrekking hadden op Nederlandse en niet op wereldwijde bedrijfsresultaten. De toegepaste financiële gegevens waren één tot twee jaar oud, vanuit referentie boekjaar 2021. Het is dan ook waarschijnlijk dat variaties in de industriële herstelpercentages van de COVID-19 pandemie van invloed zijn. De cijfers zouden echter ook niet beïnvloed mogen zijn door de stijgingen van de energieprijzen in 2022. Gezien de centrale rol van stromingsdynamica in energieopwekking en intensieve verbruiksindustrieën zijn de gepresenteerde cijfers waarschijnlijk zeer conservatief.

Een relevante toewijzing aan de stromingsleersector is essentieel voor de nauwkeurigheid van de gepresenteerde cijfers. Daarom werd de consensusopvatting van een panel van deskundigen op het gebied van stromingsleer gebruikt om een fractie van de bedrijfsactiviteit toe te wijzen aan stromingsleer. Op sommige gebieden werden aanzienlijke verschillen in de mening van de deskundigen vastgesteld. Dit was het grootst wanneer de huidige productie van een industrie sterk afhankelijk is van historisch toegepaste stromingsleer expertise en/of empirische kennis.

De toewijzing van een gemeenschappelijk aandeel van de stromingsleer in de output (omzet), werkgelegenheid en winst en een enkel representatief verhullen enigszins de aanwezigheid van de sterke diversiteit in hoogwaardige banen in de stromingsdynamica, bijvoorbeeld met betrekking tot hogere salarissen met bonuspakketten. De cijfers voor de bruto toegevoegde waarde kunnen daarom als bijzonder conservatief worden beschouwd.

Enquête

Hoewel de bovenstaande methodologie essentiële informatie verschaft over de omvang en de directe economische impact van de stromingsleer industrie in Nederland op dit moment, verschaft zij geen informatie over de toekomstperspectieven voor de industrie, of over belangrijke maatstaven zoals investeringen.

Daarom werd een enquête gebruikt om deze aanvullende informatie te verzamelen.

De belangrijkste vragen voor de industrie waren:

- Welke sectoren zie je als de belangrijkste toepassingsgebieden voor je bedrijf?
- Wat zal volgens jou de samengestelde jaarlijkse groei (of daling) zijn in de stromingsleer discipline in jouw bedrijf in de komende 3 jaar?
- Welke invloed zullen de volgende factoren hebben op de groei van het op stromingsdynamica gebaseerde deel van jouw bedrijf in de komende 3 jaar?
- Waar heb je extra personeel en vaardigheden nodig om de groei van het bedrijf in de komende 3 jaar in stand te houden en/of te ondersteunen?
- Kan je aangeven welk deel van de productie (producten of diensten) op het gebied van stromingsdynamica van je organisatie normaal gesproken wordt geëxporteerd en naar welke exportregio?
- Kan je bij benadering de totale waarde aangeven van de investeringen in Onderzoek & Ontwikkeling in de afgelopen 3 jaar en de prognose voor de komende 3 jaar als percentage van de omzet?
- Welk deel van de totale Onderzoek & Ontwikkeling-investeringen heeft betrekking op stromingsdynamica?

De enquête was onderverdeeld naar het type organisatie dat de respondenten hadden gekozen: industrieel of academisch. De volgende vragen werden voorgelegd aan academische respondenten:

- Wat zijn de belangrijkste aandachtsgebieden van jouw onderzoek naar stromingsdynamica?
- Wat zijn jouw belangrijkste financieringsbronnen voor onderzoek?
- Hoe heeft jouw onderzoeksgroep samengewerkt met de industrie of externe organisaties?

Hoeveel financiering heeft jouw onderzoeksgroep de afgelopen 3 jaar van de industrie ontvangen en wat is de prognose voor de komende 3 jaar?

Wat zijn de belangrijkste barrières die je tegenkomt bij het verkrijgen van onderzoeksfinanciering voor vloeistofdynamica in Nederland?

Er werd ook gevraagd naar het soort organisaties, de omvang (micro, klein en middelgroot) en de geografische locaties.

Alle antwoorden op de enquête waren anoniem: er werden geen identificatiegegevens van personen of organisaties gevraagd en alle vragen waren facultatief. Dit bevordert de deelname aan de enquête met het risico dat er meer dan één antwoord wordt ontvangen van dezelfde organisatie. De antwoorden werden gegeven in de vorm van een selectie uit een gegeven lijst van opties in brede groepen, bv. 20-49%, 50-75%, wat de anonimiteit en de analyse ten goede komt.

Het totale aantal ontvangen antwoorden op de enquête was minder dan ideaal (<100 in totaal). De onzekerheid in sommige op de enquête gebaseerde conclusies, bijvoorbeeld over de export, is daarom relatief groot. Vervolgenquêtes met een grotere respons en gericht op de belangrijkste Nederlandse toepassingssectoren voor stromingsdynamica worden daarom aanbevolen.

In het algemeen is de methode bedoeld om brede schattingen te verkrijgen die een economisch inzicht verschaffen. De nauwkeurigheid ervan berust op het gemiddelde van een groot aantal bedrijven en antwoorden. De kwantitatieve impact van elke afzonderlijke organisatie, subsector of toepassing op een specifieke maatschappelijke uitdaging zou baat hebben bij verdere analyse.

Professor dr. Detlef Lohse

Universiteit Twente
Faculteit Wetenschap & Technologie,
Fysica van vloeistoffen, en Max Planck
Centrum Twente voor complexe
vloeistofdynamica.

Professor dr. ir. Ruud Henkes

J.M. Burgerscentrum
Technische Universiteit Delft

Dr John Lincoln

Harlin Ltd

Rob Wullems

Eroobe

Wij zijn erkentelijk voor de bijdrage van vele industriële en academische leiders die op de enquête hebben gereageerd en bedrijven en sectoren hebben voorgesteld om in de enquête te worden opgenomen.



Contact:

Als je geïnteresseerd bent in meer informatie over de Stromingsleer in Nederland en de impact ervan neem dan contact op met: jmburgerscentrum@tudelft.nl

www.tudelft.nl/jmburgerscentrum