Sectorplan Techniek II



februari 2023

TU Delft Delft University of Technology

TU/e EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH

UNIVERSITY OF TWENTE.

university of groningen



Inhoudsopgave

Deze inhoudsopgave is klikbaar, waardoor u direct naar de gewenste pagina kunt navigeren. Om weer eenvoudig terug te keren naar deze pagina, klikt u op dit symbool ≡, onderaan de pagina

1 Domeinbeschrijving 5

1.1 Positionering en organisatie van het techniekdomein 5
1.1.1 Sectoren en disciplines binnen het techniekdomein 5
1.1.2 Organisatie en afstemming 9

1.2 Knelpunten en uitdagingen voor de technische sector 11
1.2.1 Maatschappelijke uitdagingen 11
1.2.2 Inhoudelijke uitdagingen 12
1.2.3 Wat gebeurt er al? 13

1.3 Ambities en Doelstellingen 15

1.4 Gezamenlijke inspanningen om ambities te realiseren 17
1.4.1 Verdere versterking zelforganisatie 17
1.4.2 Vergroting instroom techniek in de gehele onderwijsketen 17
1.4.3 Onderwijsvernieuwing 19
1.4.4 Nieuwe opleidingen en macrodoelmatigheid 19
1.4.5 Aantrekken en behouden van divers talent 21

1.5 Aansluiting op andere nationale programma's 22

1.6 Monitoring en Evaluatie 23

1.7 Blik op de toekomst 24

2 Sectorplannen voor alle disciplines 25

2.1 Discipline Agrotechnologie en voedingswetenschappen (AGT&V) 26
2.2 Discipline Biomedische technologie (BMT) 32
2.3 Discipline Civiele techniek (CiT) 38
2.4 Discipline Elektrotechniek (ET) 46
2.5 Discipline Industrieel ontwerpen (IO) 54
2.6 Discipline Luchtvaart- en ruimtevaarttechniek (L&R) 60
2.7 Discipline Ontwerp van de gebouwde omgeving (OGO) 64
2.8 Discipline Technische bedrijfs- en bestuurskunde (TBB) 74
2.9 Discipline Werktuigbouwkunde (WB) 82

3 Totaal overzicht bestedingen per universiteit/faculteit 90

Apendix A 92
Relatie tussen afgesproken KPI's en onderliggende knelpunten, doelstellingen en maatregelen

Colofon en fotoverantwoording 96



1. Domeinbeschrijving

1.1 Positionering en organisatie van het techniekdomein

Het domein techniek is sterk gericht op grote maatschappelijke transities en vraagstukken waar Nederland en de wereld voor staan. Deze vraagstukken zijn ongekend in complexiteit en hangen met elkaar samen. Hoe versnellen we de energietransitie? Hoe kunnen we een groeiende wereldbevolking een veilige en leefbare woonomgeving bieden en van voldoende gezond voedsel voorzien zonder roofbouw te plegen op de aarde? Hoe kunnen ouderen en chronisch zieken langer zelfstandig thuis wonen? Hoe kunnen we voeding gebruiken om langer gezond te blijven? En hoe beschermen we onze in toenemende mate digitaal wordende elektriciteitscentrales, luchthavens en democratische processen tegen hackers? Kortom: energie, klimaat, zorg, digitalisering, veiligheid, duurzaamheid, mobiliteit, voedsel en huisvesting zijn allemaal maatschappelijke thema's waarin nieuwe technologieën èn mensen die hiervoor zijn opgeleid een essentiële rol spelen.

Dit sectorplan zet de funderende kennisontwikkeling van de techniekdisciplines en het opleiden van nieuwe generaties ingenieurs met nadruk in het licht van deze maatschappelijke transities. De complexiteit van en samenhang tussen deze transities vragen om een gecoördineerde inzet van verschillende disciplines vanuit een sterke basis. Daarnaast richten we ons op technologieën en methodologieën die een generieke rol hebben, de zogeheten sleuteltechnologieën en -methodologieën ('key enabling technologies' en 'key enabling methodologies') die essentieel zijn voor het economisch zeer belangrijke Nederlandse hightech ecosysteem.

1.1.1 Sectoren en disciplines binnen het techniekdomein

Binnen het wetenschappelijk onderwijs betreft het domein techniek de technische wetenschappen. Deze bevinden zich voor het overgrote deel bij de vier technische universiteiten van Nederland (TUD, TU/e, UT en WUR) en voor een klein deel bij de RUG die al sinds de jaren '60 een aantal ingenieursopleidingen aanbiedt[1]. De technische wetenschappen, die de sectoren 'construerende technische wetenschappen' en 'ontwerpende ingenieurswetenschappen' omvatten, initiëren innovaties en zijn de motor achter grote transities op het gebied van energie, voedsel, gezondheid en digitalisering. Binnen de twee sectoren in het techniekdomein onderscheiden we binnen dit sectorplan tien disciplines:

Sector	**Construerende technische wetenschappen**	**Ontwerpende ingenieurswetenschappen**
Discipline	• Agrotechnologie en voedingswetenschappen • Biomedische technologie • Civiele techniek • Elektrotechniek • Lucht- en ruimtevaarttechniek • Technische informatica[2] • Werktuigbouwkunde (incl. materiaalkunde en maritieme techniek)	• Industrieel ontwerpen • Ontwerp van de gebouwde omgeving • Technische bedrijfs- en bestuurskunde

Deze disciplines zijn in verschillende faculteiten ondergebracht, waarbij sommige faculteiten meer monodisciplinair en andere juist uitgesproken multidisciplinair van aard zijn. Voor een over-

[1] *Wanneer in dit plan in algemene zin over 'technische universiteiten' wordt gesproken, is dat in principe inclusief het engineering deel van de RUG.*

[2] *Voor de verdeling van sectorplanmiddelen wordt de discipline informatica tot het bèta-domein gerekend. Investeringen in technische informatica vallen onder het domein techniek. De plannen voor de gehele discipline informatica (bèta en techniek) zijn op verzoek van de Nationale Commissie Sectorplannen gezamenlijk opgenomen in een apart 'Sectorplan Informatica'.*

zicht, zie tabel 1. Voor iedere discipline zijn de aantallen studenten en wetenschappelijke staf (peildatum 1 oktober 2021) en de resulterende student-stafratio's weergegeven in tabel 2. Voor WUR is in tabel 2 alleen het totaal aantal studenten en wetenschappelijke staf, en de gemiddelde student-stafratio voor de universiteit als geheel opgenomen en gepresenteerd bij de discipline Agrotechnologie en voedingswetenschappen, omdat binnen WUR geen eenduidig onderscheid is te maken tussen de verschillende disciplines. Het sectorplan van WUR heeft wel betrekking op alle disciplines van het techniekdomein (met uitzondering van luchtvaart- en ruimtevaarttechniek), zoals te zien is in tabel 5 in paragraaf 2.1.

Waar de bètawetenschappen de grenzen van onze natuurwetenschappelijke kennis verleggen, verleggen de technische wetenschappen de grenzen van de technologische en ontwerp-methodologische kennis, en zetten die wetenschappelijke kennis om naar kunde, leidend tot producten, concepten en systemen op basis van een multidisciplinaire aanpak.
De construerende technische wetenschappen richten zich op de fundamenten van de technologie in samenhang met het ontwerp, terwijl de ontwerpende ingenieurswetenschappen zich richten op het ontwerpen van de technologie in een complex, reëel ecosysteem, bestaande uit gebruikers, industrie, en maatschappij. Met name de ontwerpende ingenieurswetenschappen vullen de technische mogelijkheden aan door producten en systemen te ontwerpen rekening houdend met de latere implementatie in industrie of maatschappij. Zij doen dit deels door toepassing van bestaande methodologie, maar ook op basis van nieuw te ontwikkelen methodologieën.

Juist het samenspel tussen de twee sectoren is van het grootste belang voor het vinden van oplossingen voor de grote industriële en maatschappelijke uitdagingen van deze tijd, en verdient daarmee versterking. Ditzelfde geldt voor de interactie met de andere domeinen (bèta/SSH/medisch). Er is een groot gebrek aan professionals die zowel geavanceerde systemen kunnen ontwikkelen, als ook verstand hebben van de effecten ervan op de mens/maatschappij. Op het moment zijn dit 'gescheiden' werelden. In het kader van dit sectorplan wordt niet alleen het technische onderzoek gedaan dat nodig is om deze stap te maken, maar worden ook jonge mensen opgeleid vanuit mens/maatschappij perspectief (multidisciplinair onderwijs gericht op zogenaamde 'T-shaped skills').



Tabel 1. Overzicht faculteiten en betreffende disciplines binnen het techniekdomein. Faculteiten die onder een ander domein vallen (bèta of SSH) zijn grijs gemarkeerd. Enkele daarvan (ASG, FEB, FRW) zijn voor een klein deel betrokken in dit Sectorplan Techniek. Legenda: 'x' wil zeggen: hoofddiscipline binnen een faculteit, '…' wil zeggen: een deel van deze discipline is ondergebracht in deze faculteit.

Sectorplan	**Techniek**									**Infor-matica**	*# tech-discipl p. faculteit*
Faculteiten (WUR: Departementen):	**AGT&V**	**BMT**	**CiT**	**ET**	**IO**	**L&R**	**OGO**	**TBB**	**WB**	**TI**	
TU Delft											
Aerospace Engineering (AE)						x			…		1+
Applied Science (AS)											
Architecture and Built Environment (ABE)							x				1
Civil Engineering and Geosciences (CEG)			x				…				1+
Electrical Engineering Mathematics and Computer Science (EEMCS)		…		x						x	2+
Industrial Design Engineering (IDE)					x						1
Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3ME)		x							x		2
Technology, Policy Management (TPM)								x			1
TU/e											
Applied Physics (AP)											
Biomedical Engineering (BME)		x		…					…	…	1+
Built Environment (BE)			x				x				2
Chemical Engineering and Chemistry (CE&C)											
Electrical Engineering (EE)				x							1
Industrial Design (ID)					x						1
Industrial Engineering and Innovation Sciences (IE&IS)					x			x			2
Mathematics and Computer Science (M&CS)										x	1
Mechanical Engineering (ME)									x		1
UT											
Behavioural, Management and Social Sciences (BMS)								x			1
Electrical Engineering Mathematics and Computer Science (EEMCS)		…		x						x	2+
Engineering Technology (ET)		x	x		x	…	x		x		5+
Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)											
Science & Technology (S&T)											
WUR											
Agrotechnology and Food Sciences Group (AFSG)	x			…	…				x	…	2+
Animal Sciences Group (ASG)											
Environmental Sciences Group (ESG)	…		x				x				2+
Plant Sciences Group (PSG)	x			…	…						1+
Social Sciences Group (SSG)	…							x			1+
RUG											
Economie & Bedrijfskunde (FEB)								…			0+
Ruimtelijke wetenschappen (FRW)							…				0+
Science and Engineering (FSE)		x						x	x	x	4
# faculteiten betrokken bij discipline:	**2+**	**4+**	**4**	**3+**	**4+**	**1+**	**4+**	**5+**	**5+**	**4+**	

Tabel 2. Aantallen studenten en wetenschappelijke staf (peildatum 1 oktober 2021) en de resulterende student-stafratio's per discipline[3].

Student-stafratio (SSR) per discipline	#studenten	fte wp	SSR	
Agrotechnologie en Voedingswetenschappen (AGT&V)				
WUR	13153	872	15,1	*gemiddelde voor de universiteit*
Biomedische Technologie (BMT)				
TU/e Biomedical Engineering (BME)	1141	37,1	30,8	
RUG - Science and Engineering (SE)	777	32,3	24,1	*gemiddelde (BMT, TBB, WB binnen SE)*
Civiele techniek (CiT)				
TUD - Civil Engineering and Geosciences (CEG)	3688	201	18,3	*gemiddelde (CiT en kleine bèta-discipl.)*
TU/e - Built Environment (BE)	1428	73,6	19,4	*gemiddelde (CiT, OGO)*
UT - Engineering Technology (ET)	2628	168	15,7	*gemiddelde (CiT, IO, OGO, WB)*
Elektrotechniek (ET)				
TUD - Electrical Engineering Mathematics and Computer Science (EEMCS)	1427	91,8	15,5	*alleen discipline Elektrotechniek (ET)*
TU/e - Electrical Engineering (EE)	1079	95,9	11,3	*exclusief 20% service-onderwijs, zie pag. 50*
UT - Electrical Engineering Mathematics and Computer Science (EEMCS)	3100	175	17,7	*gemiddelde voor de faculteit (EE, TI en beta-disciplines)*
Industrieel ontwerpen (IO)				
TUD - Industrial Design Engineering (IDE)	2157	126,2	17,1	
TU/e - Industrial Design (ID)	826	38,6	21,4	
UT - Engineering Technology (ET)	2628	168	15,7	*gemiddelde (CiT, IO, OGO, WB)*
Luchtvaart- en ruimtevaarttechniek (L&R)				
TUD - Aerospace Engineering (AE)	2971	120,8	24,6	
Ontwerp van de gebouwde omgeving (OGO)				
TUD - Architecture and Built Environment (ABE)	3215	224,9	14,3	
TU/e - Built Environment (BE)	1428	73,6	19,4	*gemiddelde (disciplines CiT, OGO)*
UT - Engineering Technology (ET)	2628	168	15,7	*gemiddelde (CiT, IO, OGO, WB)*
RUG - Ruimtelijke wetenschappen (RW)	572	20,2	28,3	*betreft afd. Planologie die 3 opleidingen met ontwerpcomponenten verzorgt*
Technische bedrijfs- en bestuurskunde (TBB)				
TUD - Technology, Policy Management (TPM)	2244	158,3	14,2	*exclusief 40% service-onderwijs*
TU/e - Industrial Engineering and Innovation Sciences (IE&IS)	2421	116,6	20,8	*gemiddelde voor de faculteit (TBB, IO) exclusief 15% service-onderwijs, zie pag. 78*
UT - Behavioural, Management and Social Sciences (BMS)	3922	244	16,1	*gemiddelde voor de faculteit (TBB + niet-technische disciplines)*
RUG - Science and Engineering (SE)	777	32,3	24,1	*gemiddelde voor disciplines BMT, TBB, WB binnen de faculteit SE*
RUG - Economie & Bedrijfskunde (EB)	377	11,9	31,7	*alleen discipline TBB*
Werktuigbouwkunde (WB)				
TUD - Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3ME)	5658	181,3	31,2	*gemiddelde (WB + deel discipl. BMT)*
TU/e - Mechanical Engineering (ME)	2095	71,3	29,4	*incl. 3 MSc-opleidingen die samen met EE verzorgd worden.*
UT - Engineering Technology (ET)	2628	168	15,7	*gemiddelde voor de faculteit (disciplines CiT, IO, OGO, WB)*
RUG - Science and Engineering (SE)	777	32,3	24,1	*gemiddelde voor disciplines BMT, TBB, WB binnen de faculteit SE*

[3] *Voor het bepalen van het aantal studenten hebben we alle ingeschreven BSc- en MSc-studenten geteld. Het aantal fte wetenschappelijk personeel (fte wp) is bepaald op basis van het aantal fte aan hoogleraren (HGL), universitair hoofddocenten (UHD), universitair docenten (UD) en docenten, waarbij ieders volledige aanstelling is meegenomen (we hebben geen onderscheid gemaakt in het aandeel van de aanstelling dat beschikbaar is voor onderwijs of onderzoek). WUR is alleen opgenomen bij AGT&V, zie opmerking op pagina 6.*



Hoewel dit sectorplan zich met name richt op de universitaire technologische wetenschappen, is het van groot belang om de gehele kennisketen te adresseren en de samenwerking en afstemming met het HBO en het MBO te versterken. De mensen die daar opgeleid worden spelen immers een cruciale rol bij het realiseren van de doorbraken en transities die onze maatschappij nodig heeft. Paragraaf 1.4.2 beschrijft gerichte plannen hiervoor.

1.1.2 Organisatie en afstemming

Door competitie te minimaliseren en samenwerking te maximaliseren halen de universiteiten in het technische domein het maximale rendement uit investeringen. Dat betekent dat de disciplines aan elke universiteit een duidelijke eigen signatuur hebben. Helemaal verschillend zijn ze evenwel niet: voor samenwerking is een gedeelde basis nodig, die onderdeel is van het succes.

Huidige zelforganisatie techniekdomein

Het techniekdomein in Nederland is van oudsher een overzichtelijke gemeenschap, aangezien technische wetenschappen voor het overgrote deel geconcentreerd zijn aan de vier technische universiteiten. De zelforganisatie binnen het techniekdomein is vanaf 2007 verder versterkt door de oprichting van de 3TU. Federatie, die in 2016 is uitgebreid tot de 4TU.Federatie door de toetreding van WUR.

De 4TU.Federatie is niet alleen een samenwerking op bestuurlijk instellingsniveau, maar kent ook allerlei samenwerkingen op het niveau van faculteiten en thema's / disciplines, onder andere via 4TU.Centres. Deze centres hebben allemaal een budget om samenwerking te faciliteren, dat oorspronkelijk afkomstig was uit het Sectorplan Technologie 2011-2015. Sindsdien wordt dit budget (9,6 M€/jaar) door de TU's beschikbaar gesteld om samenwerking blijvend te stimuleren. Bovendien is recent een start gemaakt met een structurele samenwerking tussen de RUG en een aantal van deze centres.

Daarnaast vinden samenwerking en afstemming plaats in verschillende onderzoeksscholen en landelijke consortia, in sommige gevallen samen met het bètadomein. Sinds de totstandkoming van het eerste Sectorplan Techniek bestaat er een techniekdecanenoverleg met vertegenwoordigers uit de vier TU's en RUG. Inmiddels zijn beide sectoren uit het techniekdomein daarin betrokken. Bij het tot stand komen van het huidige sectorplan hebben vertegenwoordigers van beide sectoren veelvuldig gezamenlijk overleg gehad. Ook vindt er inmiddels jaarlijks in de week voor de aanvang van het nieuwe academische jaar een landelijke techniekdecanendag plaats, waarvoor alle decanen van de technische wetenschappen worden uitgenodigd.

Bovendien zijn recent disciplineraden voor civiele techniek, werktuigbouwkunde en elektrotechniek opgericht. Tabel 3 geeft een overzicht van de zelforganisatie van het techniekdomein.

Tabel 3. Overzicht zelforganisatie techniekdomein

Bestuurlijke afstemming instellingsniveau (vertegenwoordiging door CvB-leden)

- 4TU. Algemeen Bestuur (voltallige CvB's)
- 4TU.Dagelijks Bestuur (voorzitters)
- 4TU.Onderzoek (rectoren)
- 4TU.Onderwijs ((vice-)rectoren)
- 4TU.Valorisatie (portefeuillehouders valorisatie)

Bestuurlijke afstemming facultair niveau (vertegenwoordiging door decanen)

- Techniekdecanenoverleg (één decaan per instelling, 4TU + RUG)
- Landelijke techniekdecanendag (alle decanen 4TU + RUG_FSE)
- Boards 4TU.Centres

Inhoudelijke afstemming: thematisch / disciplinair (vertegenwoordiging door wetenschappers)

Thematische 4TU centra

- 4TU.CEE (Centre for Engineering Education), samenwerking met RUG wordt verkend
- 4TU.AMI (Applied Mathematics), samenwerking met RUG wordt verkend
- 4TU.Built Environment
- 4TU.Design United
- 4TU.Energy, samenwerking met RUG wordt verkend
- 4TU.Ethics & Technology
- 4TU.Health
- 4TU.HTM (High Tech Materials), samenwerking met RUG opgezet
- 4TU.NIRICT (ICT), samenwerking met RUG opgezet
- 4TU.Resilience Engineering
- 4TU.Research Data
- 4TU.SAI (Engineering Doctorate programmes), samenwerking met RUG wordt verkend

Disciplineraden/platforms

- Civiele Techniek
- Elektrotechniek
- Informatica Platform Nederland (samen met bèta)
- Werktuigbouwkunde

Onderzoeksscholen over meerdere instellingen (niet uitputtend)

- Beta (Operations Management and Logistics)
- Burgerscentrum (Fluid Dynamics)
- DISC (Dutch Institute of Systems and Control)
- Engineering Mechanics
- TRAIL (Transport, infrastructuur en logistiek)

Landelijke consortia (niet uitputtend)

- AINED
- NanoLab NL
- PhotonDelta



1.2 Knelpunten en uitdagingen voor de technische sector

De technische sector kent een aantal grote uitdagingen, zowel in maatschappelijk als in inhoudelijk opzicht.

1.2.1 Maatschappelijke uitdagingen

Het groeiend tekort aan ingenieurs

Nederland heeft al jaren een tekort aan ingenieurs. Dat tekort groeit nog steeds. De grootste tekorten lagen voorheen vooral bij werktuigbouwkunde, elektrotechniek en informatica, maar deze manifesteren zich inmiddels over de hele linie, zoals te lezen valt in het recent verschenen SEO ROA rapport over arbeidsmarktkrapte voor technici[4] en geïllustreerd wordt aan de hand van de 'Indicator Toekomstige Knelpunten Beroepen' (ITKB). Het rapport laat zien dat over de volle breedte van academische technische beroepen de huidige en verwachte knelpunten groot tot zeer groot zijn:

Toekomstige knelpunten voor technische beroepen

Beroepsgroep	ITKB*	Knelpunt typering
Biologen en natuurwetenschappers	0,817	Groot
Ingenieurs (geen elektrotechniek)	0,742	Zeer groot
Elektrotechnisch ingenieurs	0,726	Zeer groot
Architecten	0,782	Zeer groot
Technici bouwkunde en natuur	0,786	Zeer groot
Productieleiders industrie en bouw	0,843	Groot
Software- en applicatieontwikkelaars	0,803	Groot
Databank- en netwerkspecialisten	0,833	Groot

** ITKB = Indicator Toekomstige Knelpunten Beroepen.*
ITKB is een getal tussen 0 en 1; hoe lager de ITKB, hoe groter de knelpunten.

De kennisinstellingen willen graag oplossingen leveren om deze nood te lenigen. Beperkingen in onderwijscapaciteit leiden echter tot numeri fixi, bijvoorbeeld op het gebied van informatica, werktuigbouwkunde en industrieel ontwerpen. Dit sectorplan is een noodzakelijke stap om de capaciteit en de instroom te vergroten. Het uiteindelijke doel is om opleidingen met een grote arbeidsmarktvraag te laten groeien in omvang en numeri fixi voor deze opleidingen op te heffen. Hoewel de investeringen vanuit dit sectorplan onvoldoende zijn om dit doel volledig te realiseren, vormen ze wel een belangrijke stap hierin.

De wereldwijde strijd om talent

Door de grote vraag naar technici en naar personeel in het algemeen staan de technische universiteiten voor een grote uitdaging als het gaat om het aantrekken en behouden van talent. De eerste voorwaarde voor een goede concurrentiepositie voor ons land is dat de technische wetenschappen in Nederland van excellent niveau zijn. De koppeling tussen onderzoek en onderwijs is hierbij van het grootste belang. Studenten moeten in contact komen met recente wetenschappelijke inzichten, moeten leren over de laatste stand van de techniek, en moeten ervaring kunnen opdoen met de meest up-to-date faciliteiten. Hiervoor zijn investeringen vanuit dit sectorplan en een gerichte focus per faculteit cruciaal.

De financiering van essentiële onderzoeksfaciliteiten

Met een slinkende basisfinanciering is de investeringsruimte voor zowel basisfaciliteiten als voor grote wetenschappelijke infrastructuur kleiner geworden. Faciliteiten worden steeds vaker bekostigd uit (de marges van) tweede- en derdegeldstroomprojecten. Zo er al financieringsprogramma's bestaan voor wetenschappelijke infrastructuur, dan richten die zich maar ten dele op de behoeftes van de technische sector. Met name als het gaat om ontwikkelfaciliteiten, faciliteiten om geïntegreerde systemen te testen, living labs, prototyping en demonstratiefaciliteiten zijn er weinig mogelijkheden. Ook is het meefinancieren van technici voor de labs momenteel een groot probleem. Dit heeft niet alleen een grote invloed op het onderzoek, maar nadrukkelijk ook op het onderwijs dat universiteiten kunnen verzorgen. Studenten komen hierdoor minder in aanraking met state-of-the-art faciliteiten en de mogelijkheden voor het verrichten van hoogwaardig onderzoek tijdens de masterfase worden ernstig beperkt.

[4] *https://open.overheid.nl/repository/ronl-af0ebc75631154997a2046eee3f82ce64c5240d1/1/pdf/rapport-arbeidsmarktkrapte-technici.pdf*

Hoge werkdruk en aanvraagdruk

De werkdruk binnen de technische wetenschappen is zeer hoog. Dit heeft ten eerste te maken met de hoge studentenaantallen en het feit dat veel van het technisch onderwijs noodzakelijkerwijs in kleine groepen gedaan moet worden. De student-stafratio is door de investeringen vanuit het eerste sectorplan, het sectorplan onderwijs en de studievoorschotmiddelen weliswaar afgenomen, maar nog niet voldoende om de hoge werkdruk en de numeri fixi op te kunnen heffen. Daarnaast is de aanvraagdruk bij het verwerven van externe financiering voor bijvoorbeeld promotieonderzoeken zeer hoog.

1.2.2 Inhoudelijke uitdagingen

Doorbraken in de fundamenten

Grote maatschappelijke vraagstukken vragen om wetenschappelijke doorbraken in de fundamenten van de technische wetenschappen: nieuwe materialen, concepten, processen en methodieken. Daarnaast speelt digitalisering in vrijwel elke maatschappelijke sector een cruciale rol, waarbij kwetsbaarheid voor criminele of vijandige inmenging een punt van grote zorg is. Versterking van technische informatica is een belangrijk onderdeel van het domein techniek. De behoefte hieraan – samen met de behoefte aan versterking van de algemene informatica vanuit het bètadomein – beschreven in het aparte Sectorplan Informatica.

Voorbeelden

Zwaartepunt	Positie
Elektrotechniek Electronic Components, circuits and Systems: Unconventional computing	*Edge/neuromorphic computing (TUD)* We moeten op zoek naar compleet nieuwe computerarchitecturen, gebaseerd op nieuwe technologieën, die in staat zijn significante verbeteringen te realiseren in termen van rekenkracht en/of energieverbruik. Te denken valt aan edge computing, waarbij berekeningen niet op een centrale plaats gedaan worden maar gedistribueerd, en aan neuromorphic computing dat is geïnspireerd op de werking van de hersenen.
Industrieel ontwerpen Ontwerp voor gezondheid en Welzijn	*Data-gebaseerd ontwerpen voor gezondheid en welzijn (TU/e)* Door gebruik te maken van gegevens die zijn verzameld via wearables en sensoren in alledaagse contexten kunnen AI-ondersteunde systemen in hoge mate adaptief en gepersonaliseerd worden. Data-enabled Design biedt een methodologie om mensen actief te betrekken bij het interpreteren van en het ontwerpen met data. Betrokken stakeholders kunnen op een iteratieve en hands-on manier vanuit hun eigen context samen vorm geven aan toekomstige gezondheidszorg en welzijnsdiensten.

Inzetten van funderende kennis voor de ontwikkeling van vernieuwende oplossingen

In de technische wetenschappen wordt kennis uit de natuur-, ingenieurs- en medische wetenschappen ingezet voor de ontwikkeling van vernieuwende technologieën, processen en oplossingen voor bijvoorbeeld duurzaam transport, voedselvoorziening, productie van duurzame chemicaliën en brandstoffen, medische instrumentatie en autonome systemen zoals robotica. Hier vindt ook de vertaalslag en schaalvergroting plaats van laboratorium naar product.

Voorbeelden

Zwaartepunt	Positie
Agrotechnologie en voedingswetenschappen	*Duurzame voedselproductie (WUR)* De overgang van de huidige manier van voedselproductie naar een circulaire vorm vergt doorbraken in de primaire productie, het ontwerpen van levensmiddelen met een gezondheidseffect, en de acceptatie daarvan binnen de maatschappij in de breedste zin van het woord.
Werktuigbouwkunde Mechanical design & manufacturing	*Medical device design (RUG)* Door minimaal invasief te behandelen hoeft minder schade te worden hersteld en kunnen patiënten sneller naar huis. Deze transitie vereist innovatieve ondersteuningssystemen zoals orthesen ter ondersteuning van organen en orgaansystemen, implantaten met sensoren, en ontwikkelingen in de soft robotics om de interactie van een hulpmiddel met het menselijk lichaam te verbeteren.

Mensgericht ontwerpen en ontwerpen voor maatschappelijke transformaties
Nieuwe technologieën zijn alleen succesvol als deze ook daadwerkelijk hun weg kunnen vinden naar de gebruiker, de industrie of de maatschappij. Technologieën moeten dan ook ontworpen worden voor een reële, complexe context, passend bij het gedrag van mensen en/of in industriële ecosystemen. Methodologieën voor mensgericht ontwerpen en ontwerpen voor maatschappelijke transformaties zijn daarvoor cruciaal. Dat geldt ook voor het aanpassen van (digitale) technologie voor de toepassing in een complexe context.

Voorbeelden

Zwaartepunt	Positie
Technische Bedrijfs- en bestuurskunde Slimme industrie en duurzaamheid	*Mens-gecentreerde planning van productiesystemen en zorgorganisaties (UT)* De coronacrisis heeft laten zien dat zorglogistiek cruciaal is. Met behulp van kunstmatige intelligentie en Operational Research kan de operationele planning van productie- en zorgprocessen worden verbeterd ter ondersteuning van en/of in symbiose met planners, en rekening houdend met menselijk gedrag in organisaties.
Industrieel ontwerpen Mensgerichte Artificiële Intelligentie	*AI in het ontwerpproces (TUD)* De vooruitgang op het gebied van digitale technologieën en kunstmatige intelligentie biedt kansen om de aard van ontwerpinstrumenten fundamenteel te herzien. Hoe kunnen we de creatieve en analytische krachten van mensen en machines combineren om ontwerpuitdagingen aan te gaan die mens noch machine alleen kan aangaan?

Systeemintegratie
Voor het gehele domein techniek is het integreren van nieuwe kennis en technologieën op systeemniveau een belangrijke uitdaging. Door de focus te leggen op het systeem als geheel in plaats van op de onderdelen ervan, ontstaan nieuwe perspectieven voor technologische doorbraken, nieuwe groepen van toepassingen, en nieuwe maatschappelijke oplossingen die inherent passend zijn. Deze ‘systems engineering’ methodiek speelt dan ook een belangrijke rol in het hele sectorplan.

Voorbeelden

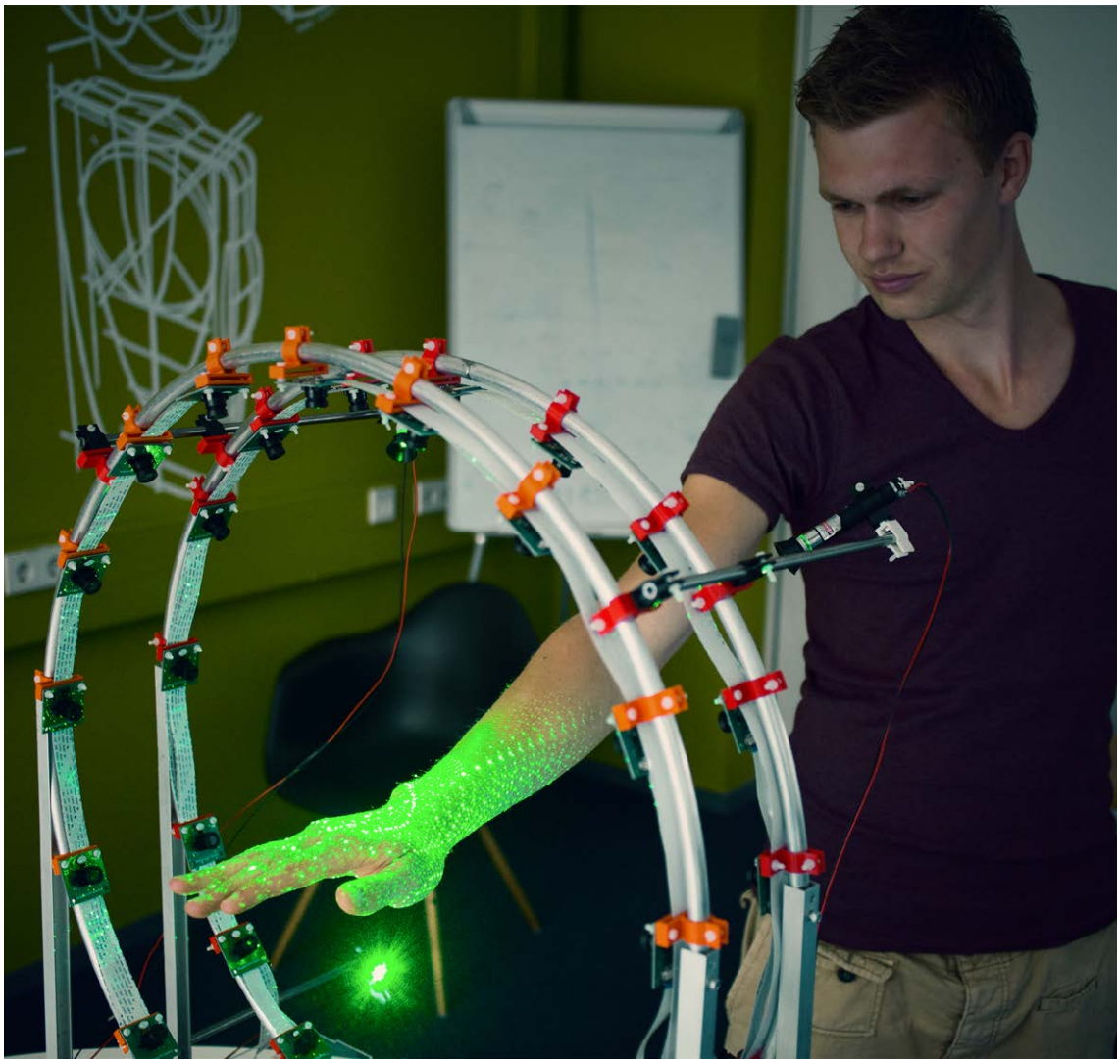
Zwaartepunt	Positie
Luchtvaart- en ruimtevaartechniek Duurzame luchtvaart	*Duurzame luchtvaart (TUD)* De overstap naar waterstof als alternatieve energiedrager vereist doorbraken op materiaalgebied (veilige cryogene opslag), conversie (brandstofcellen of verbranding), de bijbehorende voorstuwingssystemen (elektrisch of turbine), de thermische huishouding, en het algehele vliegtuigontwerp. Daarnaast moet er gekeken worden naar de totale klimaatimpact inclusief niet-CO_2 effecten, naar de impact op infrastructuur, en naar gebruikersacceptatie.
Werktuigbouwkunde en elektrotechniek System and control engineering	*Systems Engineering for Cyber-Physical Systems (TU/e)* Het ontwerp op hoog niveau van hoogtechnologische systemen vereist intelligente combinaties van verschillende monodisciplines zoals mechanica, chemie, en fysica met meerdere informatielagen in de vorm van controle-, communicatie- en reken-infrastructuur. Dit zwaartepunt is gericht op het ontwerp van deze zogeheten cyber-fysische systemen op basis van integratie van technieken voor meerdere domeinen en interoperabiliteit van instrumenten om afwegingen op systeemniveau te maken.

1.2.3 Wat gebeurt er al?
Enkele al lopende initiatieven leveren een eerste bijdrage aan het oplossen van deze knelpunten: de kwaliteitsafspraken (studievoorschotmiddelen), het Sectorplan Bèta & Techniek (2019), en het Sectorplan Onderwijs Bètatechniek (2020). De technische universiteiten streven ernaar om de synergie tussen deze instrumenten en het eigen beleid te maximaliseren.

Het Sectorplan Bèta & Techniek 2019 heeft extra capaciteit gecreëerd en door de afstemming over zwaartepunten de samenwerking tussen universiteiten/faculteiten sterk verbeterd. De aandacht voor een betere genderbalans in dit sectorplan heeft daarnaast een flinke impuls gegeven aan het beleid op dit vlak binnen de universiteiten. Met de kwaliteitsafspraken en het Sectorplan Onderwijs Bètatechniek is eveneens extra capaciteit vrijgemaakt voor onderwijs, waardoor de student-stafratio is verbeterd. Ook is met het

Sectorplan Onderwijs Bètatechniek flink geïnvesteerd in onderwijsvernieuwing en worden gezamenlijke projecten ondernomen om studiesucces en aansluiting op de arbeidsmarkt te verbeteren. De forse inzet op de digitalisering van het onderwijs is één van de succesfactoren geweest waardoor het onderwijs in de coronaperiode doorgang heeft kunnen vinden.
Zowel het Sectorplan Bèta & Techniek 2019 als het Sectorplan Onderwijs Bètatechniek hebben zich vooral gericht op een aantal technische disciplines waar op dat moment de grootste knelpunten waren (werktuigbouwkunde, elektrotechniek, informatica en een deel van civiele techniek). Deze disciplines maken ook een belangrijk onderdeel uit van het huidige Sectorplan Techniek II. De recente onderzoeken naar verwachte krapte op de arbeidsmarkt en de transities waar Nederland voor staat maken het essentieel om nu ook te investeren in de andere technische disciplines, waaronder de ontwerpende ingenieurswetenschappen.

De succesvolle investeringen vanuit de vorige plannen hebben geleid tot een significante toename in onderzoeks- en onderwijscapaciteit. Tegelijk moeten we constateren dat méér nodig is voor het loslaten van de numeri fixi en voor het realiseren van een capaciteitsgroei bij opleidingen waar grote behoefte aan bestaat bij een verder groeiende arbeidsmarkt – het uiteindelijke doel. Met dit sectorplan wordt daarin een volgende stap gezet.



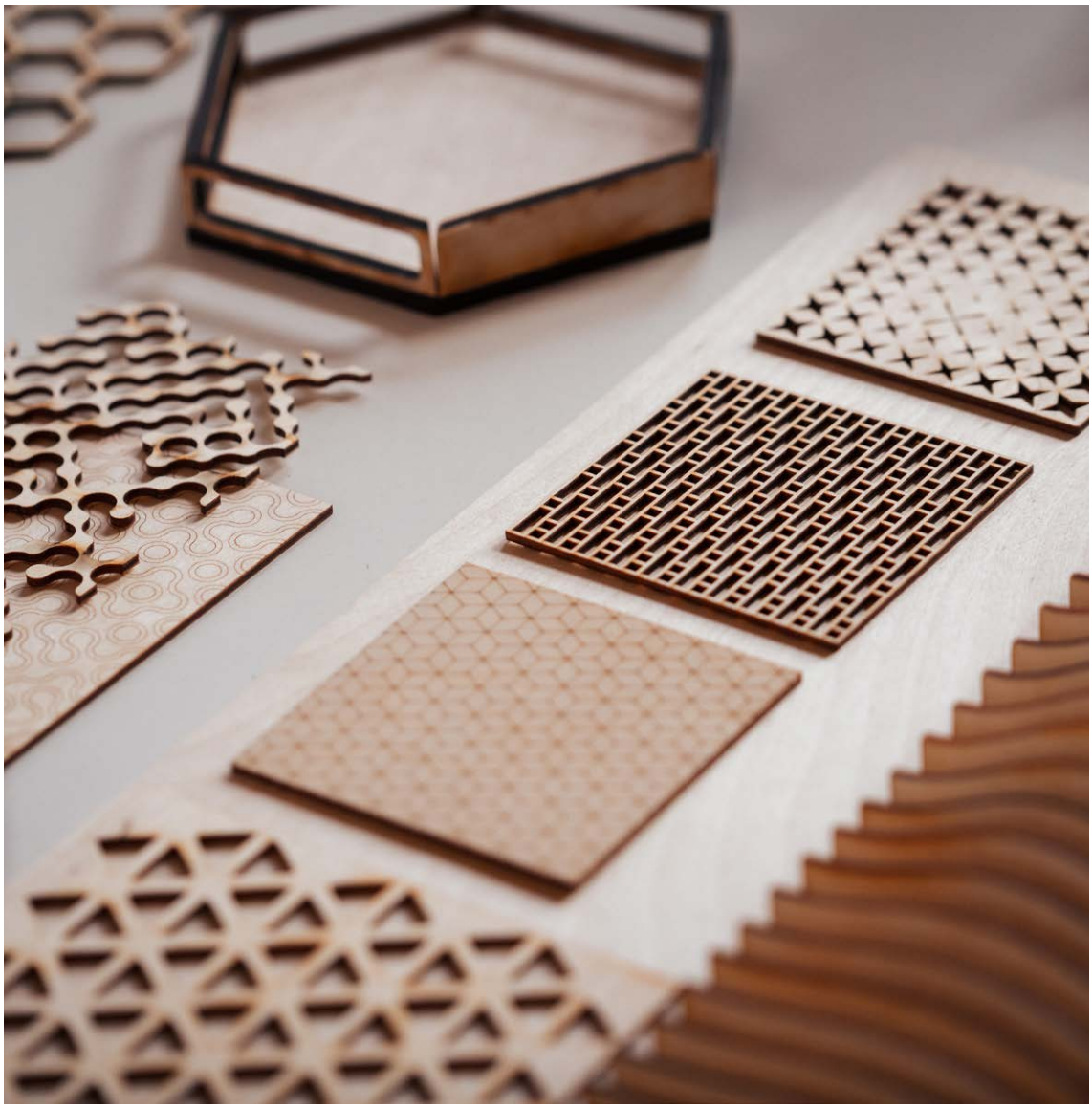
1.3 Ambities en doelstellingen

De technische disciplines hebben in het kader van dit sectorplan de volgende ambities:

Het verder versterken van de samenwerking en het maken van gezamenlijke, scherpe keuzes tussen en binnen universiteiten over taakverdeling en profilering (onderwijs en onderzoek).
Per discipline hebben we een landelijk plan gemaakt voor versterking van specifieke zwaartepunten bij de verschillende universiteiten/faculteiten (zie hoofdstuk 2). Alleen al de afstemming over de plannen stimuleert de samenwerking die nodig is voor succesvolle kennisontwikkeling en voor het leveren van een bijdrage aan de noodzakelijke transities en andere maatschappelijke uitdagingen die een multidisciplinaire aanpak vereisen. Door de uitvoering van de plannen krijgt deze samenwerking verder vorm.

Creëren van rust & ruimte
Dit doen we door disciplines gericht te versterken en specifieke knelpunten te adresseren. De faculteiten/disciplines hebben plannen ontwikkeld om de zwaartepunten te versterken op een wijze die toegesneden is op de knelpunten zoals die lokaal worden gevoeld. Dit betreft zowel het onderwijs als het onderzoek, die niet los van elkaar gezien kunnen worden. Zo kan een faculteit die een budget ter beschikking heeft van 2 M€ dit bijvoorbeeld verdelen over vier tenure track-posities (totaal 480 k€/jaar), een HGL-positie (200 k€/jaar), vier starterspakketten (PhD kandidaten) voor tenure trackers (totaal 280 k€/jaar), twee docenten met accent op het ontwikkelen van nieuwe onderwijsprogramma's (totaal 240 k€/jaar), twee (gepromoveerde) labtechnici voor ondersteuning van onderzoek of begeleiding van practica (totaal 185 k€/jaar),en infrastructuur voor laboratoria en practica (615 k€/jaar). De disciplines/faculteiten laten in de plannen zien welke specifieke keuzes ze daarin hebben gemaakt.
Eén element in het creëren van rust en ruimte is de student-stafratio, die we over de breedte van de technische wetenschappen willen verlagen. We streven echter ook naar een verhoging van het aantal afgestudeerde ingenieurs om te voldoen aan de vraag vanuit de maatschappij. Door het sectorplan zal de omvang van de staf maximaal met ongeveer 10% toenemen. Een groei van 10% in de instroom is echter onvoldoende om aan de vraag naar ingenieurs te voldoen. Met alleen de middelen vanuit het sectorplan zal het dus niet in alle disciplines mogelijk zijn om de student-stafratio te verlagen. Wel zullen we deze monitoren (samen met het totaal aantal studenten, en de fte wetenschappelijke staf) om inzicht te krijgen in de ontwikkelingen.

Het aantrekken van divers talent
Voor een goed werkklimaat en optimale productiviteit is diversiteit binnen de staf van groot belang. Dit geldt evenzeer voor de studentenpopulatie. Gender is één aspect van diversiteit, maar ook nationaliteit, culturele achtergrond en diversiteit in competenties zijn belangrijke aspecten. Wat gender betreft is er in de afgelopen jaren flinke vooruitgang geboekt. Er is echter nog geen sprake van balans in de verhouding man/vrouw in de technische wetenschappen. Daarbij speelt dat in een flink aantal disciplines het aandeel vrouwelijke studenten onder de 20% ligt. Voor alle disciplines streven we naar een aandeel van minimaal 33% vrouwelijke studenten. Voor de disciplines waar dit nog niet het geval is, streven we voor de nieuwe posities naar een aandeel van 33% vrouwelijk talent. Voor disciplines waar vrouwen vanaf de studiefase sterker vertegenwoordigd zijn, streven we naar een aandeel van 50% vrouwelijk talent in de nieuwe posities. Deze streefcijfers gelden ook voor promovendi, om de toekomstige aanwas van vrouwelijk talent op stafposities makkelijker te maken.
Ook op andere aspecten streven we naar het verhogen van de diversiteit. Dat betekent voor sommige disciplines het stimuleren van Nederlandse studenten om voor technische studies te kiezen en voor sommige disciplines het streven om meer Nederlandse wetenschappelijke staf aan te nemen. We kiezen ervoor om geen streefwaarden op te nemen over aantallen Nederlandse en internationale studenten of aantallen Nederlandse of internationale staf. Wat betreft studenten ontbreekt vooralsnog het juiste instrumentarium voor effectieve sturing.
In het kader van Erkennen en Waarderen zullen diversiteit in competenties, mogelijkheden voor diverse loopbaanpaden en waardering van diverse prestaties veel aandacht krijgen. Het belang van en de erkenning voor uitmuntend onderwijs willen we duidelijker tot uitdrukking laten komen, onder meer blijkend uit het carrièrebeleid. Dit impliceert concreet dat docenten en universitair docenten die uitblinken in het geven en



ontwikkelen van hoogstaand onderwijs een bevorderingsbeleid moeten ervaren dat overeenkomt met dat van hun collega's die met name met excellent onderzoek hun sporen hebben verdiend.

Aantal afgestudeerden van ingenieursopleidingen verhogen

Vanwege de grote vraag vanuit de maatschappij streven we naar een verhoging van het aantal afgestudeerde ingenieurs. Eén manier om dat te realiseren is een verhoging van de instroom. Dit creëert echter wel een tegenstelling met de doelstelling ten aanzien van meer rust en ruimte en het verlagen van de student-stafratio. Andere maatregelen kunnen daarom belangrijk zijn zoals het gericht verhogen van de masterinstroom gecombineerd met het verhogen van de 'stay-rate' van afgestudeerde internationale studenten, zodat ze behouden blijven voor de Nederlandse arbeidsmarkt. Bij techniek is deze stay-rate met 40% nog relatief hoog[5], maar hier ligt nog een flink potentieel om het aantal afgestudeerde ingenieurs voor Nederland te vergroten. Daarnaast is het voorkomen van 'weglek' van afgestudeerde ingenieurs naar andere sectoren van belang. Deze weglek is bij techniek hoog ten opzichte van andere domeinen[6], dus hier is veel te winnen. Universiteiten hebben hier overigens maar ten dele invloed op.

[5] *https://www.nuffic.nl/en/subjects/facts-and-figures/stayrates-of-international-graduates*

[6] *https://open.overheid.nl/repository/ronl-af0ebc75631154997a2046eee3f82ce64c5240d1/1/pdf/rapport-arbeidsmarktkrapte-technici.pdf*

1.4 Gezamenlijke inspanningen om ambities te realiseren

1.4.1 Verdere versterking zelforganisatie

Ondanks de grote mate van zelforganisatie binnen het techniekdomein onderschrijft het gezamenlijk veld van techniekdecanen dat de organisatie voor de buitenwereld niet altijd duidelijk en herkenbaar is, waardoor er voor bepaalde onderwerpen niet altijd een duidelijk inhoudelijk aanspreekpunt is. Bovendien gaat de onderlinge afstemming verder dan wat er bijvoorbeeld in 4TU.centres en onderzoeksscholen besproken wordt. Dit laatste heeft ook te maken met de toenemende behoefte aan interdisciplinaire samenwerking.
Het techniekdecanenoverleg speelt reeds een coördinerende rol. We willen dit techniekdecanenoverleg verder professionaliseren en omvormen tot een Raad voor Techniek, die nog sterker een agenderende en sturende rol zal gaan spelen bij de toekomstige ontwikkeling van het techniekdomein in Nederland. Dit zullen we in de beginfase van Sectorplan Techniek II oppakken. Hierbij zullen we kritisch kijken naar de samenstelling en werkwijze om ervoor te zorgen dat deze raad voldoende representatief is voor het brede domein van de techniek. We zullen zo snel mogelijk starten met het werven van een secretaris voor deze Raad voor Techniek. Vanuit de sectorplanmiddelen reserveren we 100 k€/jaar voor het aanstellen van deze secretaris en voor het ondersteunen van activiteiten van de Raad voor Techniek (website, bijeenkomsten, evenementen, et cetera).
Om de inhoudelijke afstemming verder te versterken, zullen de reeds ontstane disciplineraden voor civiele techniek, werktuigbouwkunde en elektrotechniek versterkt worden en zullen we voor de andere disciplines raden oprichten in een vorm die past bij de verschillende disciplines. Zo zullen sommige disciplines wellicht aansluiten bij een bestaande disciplineraad (bijvoorbeeld luchtvaart- en ruimtevaarttechniek en agrotechnologie bij werktuigbouwkunde) en hebben andere disciplines meer behoefte aan een onderzoeksschool die ook de rol van disciplineraad op zich neemt (bijvoorbeeld industrieel ontwerpen). Deze disciplineraden hebben een agenderende en sturende rol[9] in de ontwikkeling van de disciplines. Vanuit de sectorplanmiddelen reserveren we 300 k€/jaar[8] voor het ondersteunen van deze raden (bijvoorbeeld voor het aanstellen van een secretaris en het organiseren van bijeenkomsten of evenementen).

Communicatie met en medezeggenschap van het werkveld

Het doel is om de communicatie over de ontwikkeling van het domein met de gehele wetenschappelijke staf te verbeteren. Hier dienen de betrokken faculteiten een belangrijke rol te pakken. Daarbij vinden we het ook van groot belang de betrokkenheid en medezeggenschap van jonge wetenschappers bij het opstellen van toekomstige onderzoeksrichtingen te vergroten. Dat willen we expliciet organiseren. Daarom willen we hen nadrukkelijk een rol geven in de Raad voor Techniek en de disciplineraden, bijvoorbeeld via de op verschillende plekken opgerichte Young Academies.

1.4.2 Vergroting instroom techniek in de gehele onderwijsketen

Primair en voortgezet onderwijs

Vanwege de grote arbeidsmarkttekorten in de techniek is het doel om op termijn de opleidingscapaciteit te verhogen. Daarbij streven we ernaar om de Nederlandse instroom te maximaliseren, door een toename van het aantal scholieren met N&T- en N&G-profielen in het voortgezet onderwijs en een toename van het aantal scholieren dat kiest voor techniek in het vervolgonderwijs.
Om dit te bewerkstelligen, moet er nadrukkelijk meer aandacht komen voor techniek in het primair en het voortgezet onderwijs. Het aanwakkeren van interesse in techniek moet op jonge leeftijd gebeuren, omdat rond het zevende levensjaar al beroepsbeelden worden gevormd[9] en omdat scholieren al vroeg in hun schoolcarrière moeten kiezen voor een profiel. Techniek maakt echter niet per definitie onderdeel uit van het curriculum van het primair en voortgezet onderwijs. Daarom willen we aansluiten bij allerlei initiatieven om jonge mensen vroeg te enthousiasmeren voor bètatechniek en deze initiatieven verder versterken. We denken daarbij aan het aansluiten bij plannen voor ‘Sterk Techniek Onderwijs’ op het primair onderwijs, zoals benoemd in het Aanvalsplan Techniek[10], het gezamenlijk opschalen van activi-

---

[7] *De rol van de verschillende raden blijft altijd een adviserende en geen besluitvormende, aangezien de wettelijke bevoegdheid – inclusief formele medezeggenschap – over de richting van het wetenschappelijk onderwijs en onderzoek bij de faculteiten ligt. De meerwaarde van het advies vanuit de raden is vooral het landelijk overleg en de afstemming hierover.*

[8] *De budgetten voor de verschillende raden zijn dermate klein dat ze niet apart in de bestedingstabellen zijn opgenomen. De decanen doen hierbij echter de toezegging dat ze naar rato bijdragen aan de ondersteuning van de disciplineraden en de Raad voor Techniek.*

[9] *Gottfredson, 1981, 1996; Lapan & Jingeleski, 1992*

teiten die onze studenten uitvoeren voor de pre-university organisaties van onze universiteiten op het voortgezet onderwijs, en het op grotere schaal ontwikkelen van onderwijsmodules voor het voortgezet onderwijs op gebied van bètatechniek zoals nu al gedaan wordt door de pre-university organisaties van de TU's en zoals dat recent gezamenlijk is opgepakt in het 4TU.VO platform[11]. Vanuit de 4TU.Federatie is reeds budget gereserveerd voor de hierboven genoemde activiteiten (250 k€/jaar voor het 4TU.VO platform en ongeveer 200 k€/jaar voor het opschalen en gezamenlijk oppakken van outreach-activiteiten door de pre-university organisaties). Bovendien zijn we aangesloten bij de Groeifondsaanvraag 'Investeren in het talent van de toekomst; impuls voor meer talent in (natuur)wetenschap, bètatechniek en ict' die in januari is ingediend door het Platform Talent voor Technologie.

Om de keuze voor techniek onder scholieren te stimuleren, is het ook belangrijk dat er voldoende goed gekwalificeerde en inspirerende leraren in het voortgezet onderwijs zijn voor de bètavakken. Voor techniek is het belangrijk dat dit niet alleen leraren zijn met een pure bèta-achtergrond, maar dat er ook leraren zijn met een achtergrond in techniek. Ook nu al kiezen studenten van alle verschillende studies binnen de TU's voor een opleiding tot leraar. De aantallen zijn echter beperkt. Gezamenlijk willen we deze aantallen verhogen door de opleidingsmogelijkheden te vergroten, bijvoorbeeld via het aanbieden van minors waar dit nog niet gebeurt. Daarnaast willen we meer techniekstudenten enthousiasmeren voor een carrière in het onderwijs.

Aanvullend op de investeringen vanuit de 4TU.Federatie reserveren we vanuit de sectorplanmiddelen een budget van ongeveer 300k€/jaar om in deze verschillende initiatieven te investeren.

Internationalisering

Binnen het techniekdomein is de instroom van internationale studenten van groot belang om te kunnen voldoen aan de vraag naar afgestudeerde ingenieurs. Bedrijven in Nederland zijn daarbij zeer geïnteresseerd in mensen die een flink deel van hun opleiding (bijvoorbeeld in ieder geval de master) in Nederland hebben gevolgd. Binnen het techniekdomein is de 'stay-rate' van internationale studenten relatief hoog (40% t.o.v 15-25% in niet-bètatechnische domeinen[12]). Voor universiteiten is het echter belangrijk om de internationale instroom beheersbaar te kunnen houden. Voor de Nederlandse arbeidsmarkt is het bovendien belangrijk dat de instroom van internationale studenten niet leidt tot verdringing van Nederlandse studenten (waarvan een veel groter deel in Nederland blijft werken), zoals soms het geval is bij opleidingen met een numerus fixus.

Samenwerking met HBO

Het eerder genoemde SEO ROA rapport laat zien dat de tekorten niet alleen groot zijn in het WO, maar nadrukkelijk ook in het HBO en MBO. We willen stappen zetten in een betere afstemming met HBO's om elkaar te helpen bij het aantrekken van studenten en dus ook het afleveren van mensen voor de arbeidsmarkt: zonder voldoende HBO'ers en MBO'ers op de arbeidsmarkt heeft het opleiden van WO'ers weinig zin. Algemene afstemming tussen WO en HBO gebeurt op het niveau van UNL al met de Vereniging Hogescholen, maar wij willen specifiek op het gebied van techniek ook onderlinge samenwerking en afstemming verder organiseren, veelal op regionaal niveau.

Onder andere naar aanleiding van het eerste sectorplan zijn al verschillende initiatieven in gang gezet. Zo heeft RUG samen met andere kennisinstellingen in de noordelijke regio recentelijk de Universiteit van het Noorden opgericht. Samen met de HBO's en het UMCG zetten zij hun gezamenlijke expertise in voor brede welvaart in Noord-Nederland en werken ze samen om voldoende gekwalificeerd personeel voor de regio op te leiden.

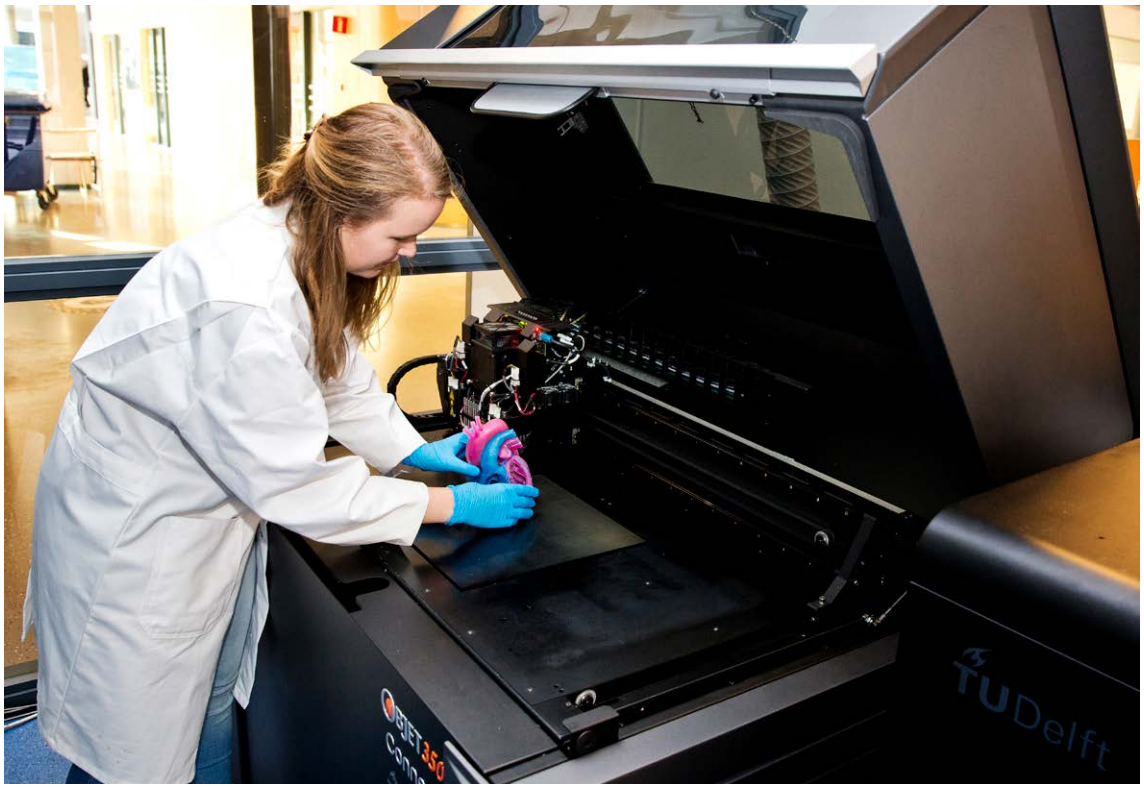
Nieuwe plannen voor samenwerking met HBO die worden uitgewerkt omvatten afstemming van onderwijscurricula; delen van onderwijsmateriaal, 'best practices', en waar mogelijk faciliteiten; en het onderzoeken van mogelijkheden voor samenwerking tussen HBO- en WO-studenten (deelprojecten, practica). We zullen daarbij ook aansluiting zoeken bij de learning communities (technohubs) zoals die ontwikkeld worden in het kader van Groeifondsvoorstellen op het gebied van Leven Lang Ontwikkelen en het Aanvalsplan techniek, waarbinnen mogelijk ook faciliteiten gedeeld kunnen worden.

---

[10] *https://www.vno-ncw.nl/sites/default/files/aanvalsplan_techniek_versie_voor_website.pdf*

[11] *https://www.4tu.nl/vo/*

[12] *https://www.nuffic.nl/en/subjects/facts-and-figures/stayrates-of-international-graduates*



1.4.3 Onderwijsvernieuwing

De technische opleidingen ontwikkelen zich voortdurend qua inhoud, waarbij tevens nieuwe onderwijsvormen worden ontwikkeld. De vernieuwing van het aanbod vindt primair plaats binnen de huidige opleidingen. Op alle technische universiteiten speelt challenge-based learning (CBL) een belangrijke rol. In deze vorm van onderwijs worden uitdagingen van de maatschappij gekoppeld aan innovatieve onderwijsvormen, waarbij – indien nodig – meerdere disciplines worden samengebracht en ook externe partijen een rol kunnen krijgen in het leerproces van de studenten. Hierdoor kunnen opleidingen flexibel inspelen op specifieke toepassingen van de disciplines en bekwamen studenten zich tevens in de essentiële competenties van het zelf nieuwe kennis ontwikkelen, die nieuwe kennis betekenisvol toepassen en op basis daarvan nieuwe oplossingen creëren.

Binnen het 4TU.Centre for Engineering Education (4TU.CEE) werken alle vier de technische universiteiten samen aan het versterken en vernieuwen van ingenieursonderwijs. Bovendien wordt op dit moment verkend of een structurele samenwerking met RUG binnen dit centre opgestart kan worden. Speerpunten van 4TU.CEE voor de komende jaren zijn: i) ethische aspecten en verantwoordelijksheidszin voor ingenieurs, ii) (academisch) ondernemerschap en ondernemerschapsonderwijs, iii) challenge-based learning, iv) excellentie in ingenieursonderwijs en diversificatie van wetenschappelijke carrièrepaden en v) door ICT versterkt onderwijs en de digitaal geschoolde ingenieur.

1.4.4 Nieuwe opleidingen en macrodoelmatigheid

Recent gestarte / binnenkort startende opleidingen (macrodoelmatigheid reeds getoetst)

De laatste jaren is een aantal nieuwe opleidingen gestart, of zal zeer binnenkort starten, die goed passen binnen de ideeën die onderliggend zijn aan het huidige Sectorplan Techniek II. In sommige gevallen gaat het om een nevenvestiging van een bestaande opleiding, omdat gebleken is dat in bepaalde regio's minder studenten voor techniek kiezen als er geen technische studie aanwezig is, zoals in Noord-Holland. Afgestudeerden van deze opleidingen zullen pas binnenkort of zelfs over enkele jaren beschikbaar komen voor de arbeidsmarkt. Toch vinden we het belangrijk ze hier te noemen, zodat helder is welke ontwikkelingen al gaande zijn. Voor de opleidingen die nog zullen starten is of wordt de macrodoelmatigheid reeds getoetst. Het gaat om de volgende opleidingen:

TUD	
MSc Robotics	sinds 2020
MSc Environmental Engineering	sinds 2022
Quantum Information Science & Technology (joint degree) Delft University of Technology and Leiden University	start 2023
Applied Geophysics (joint degree) ETH Zurich en RWTH Aachen University	start 2023
MSc Data Science and Artificial Intelligence Technology	start 2024
TU/e	
MSc-opleiding AI and Engineering Systems	sinds 2022
UT	
BSc-opleiding Mechanical Engineering aan de VU	sinds 2020
MSc-opleiding Robotics (inclusief AI), interfacultaire opleiding tussen EEMCS en ET	sinds 2022
BSc-opleiding Creative Technology aan de VU (bestaat al langer aan de UT)	start 2023
MSc-opleiding Humanitarian Engineering, interfacultaire opleiding tussen BMS, ITC en ET (wordt momenteel getoetst op macrodoelmatigheid)	start 2023
WUR	
MSc Data Science for Food and Health	sinds 2022
Engineering Doctorate opleiding (EngD)	start januari 2023
RUG	
MSc-opleiding Mechanical Engineering	sinds 2019
BSc-opleiding Biomedical Engineering	sinds 2020
MSc-opleiding Systems & Control	start 2023

Nieuwe tracks/specialisaties binnen bestaande opleidingen

De afgelopen jaren heeft het techniekdomein al ingezet op het ontwikkelen van nieuwe tracks binnen bestaande opleidingen om daarmee meer of ander talent aan te trekken. Zo wordt steeds duidelijker dat er meer meisjes geïnteresseerd zijn in technische opleidingen als we niet alleen laten zien wat de fundamenten van de discipline zijn, maar als we ook duidelijk maken in welke toepassingsgebieden de discipline een rol speelt, met welke andere disciplines wordt samengewerkt, en welke maatschappelijke problemen hiermee opgelost kunnen worden. Om in de termen van het Bèta&TechMentality model[13] te spreken moeten meer 'ontdekkers' en 'maatschappelijke toepassers' aangetrokken worden, naast 'creatieve makers' en 'vernieuwers'. Ook laat onderzoek door het Centre of Expertise Tech Your Future[14] zien dat vrouwen vaker voor snijvlakopleidingen kiezen dan voor opleidingen die tot de kern van bètatechniek behoren[15].

Voorbeelden van dit soort tracks zijn een minor en/of MSc-track Health Systems binnen de faculteit TBM van TUD; ideeën voor een gezamenlijke Research School Industrieel Ontwerpen voor promovendi-onderwijs; diverse nieuwe tracks bij TU/e om nieuwe doelgroepen te trekken; nieuwe werktuigbouwkundige doorstroomtracks binnen de Industrial Engineering and Management opleiding van de RUG, gerelateerd aan sustainability, energy en smart industry; een MSc-track Sustainability and Circular Economy en versterking van MSc-track Healthcare Management bij de faculteit BMS van de UT; verschillende MSc-tracks binnen de social science opleidingen van de WUR (Governance of Sustainability Transformations, Sustainable Business and Innovation, Supply Chain Analytics); een specialisatie cellulaire landbouw binnen biotechnologie; future food design binnen levensmiddelentechnologie; Nutrition and Dietetics binnen voedingswetenschappen; een minor healthy aging binnen voedingswetenschappen; en een nieuw programma Managing public space voor studenten en professionals in een mixed classroom setting (gerund door WU en Wageningen Academy).

[13] *Platform Talent voor Technologie: https://ptvt.nl/kennisbank/onderzoek-betatechmentality-engelstalig/*

[14] *https://www.techyourfuture.nl/*

[15] *Deelrapportage onderzoeksproject 'Mind the Gap!' – De doorstroom van bètastudenten naar de technische arbeidsmarkt. Maart 2018. Auteurs: Ruth van Veelen, Maaike Endedijk, Randy Möwes, Natascha van Hattum - Janssen en Mirte Disberg - van Geloven*



Nieuwe opleidingen

Een volledig nieuwe opleiding wordt vooral gestart als een nieuw thema zo groot wordt dat het een aparte opleiding rechtvaardigt, zoals bijvoorbeeld Artificial Intelligence en de recent gestarte opleiding AI and Engineering Systems op de TU/e. Over alle hieronder genoemde nieuwe opleidingen heeft onderlinge afstemming plaatsgevonden. Ze komen voort uit de grote behoefte vanuit de maatschappij/arbeidsmarkt naar afgestudeerden in deze richtingen. We hebben echter nog niet in detail de macrodoelmatigheidsparagraaf uitgeschreven. Dit zullen we uiterlijk voor de zomer van 2023 doen.

TUD
Vernieuwing van MSc opleidingen Industrieel Ontwerpen, beoogde namen: • MSc Product Futures • MSc Strategic Design for Ecosystem Innovation • MSc Design for Human-World Relations
TU/e
BSc- en MSc-opleiding Technische Geneeskunde
MSc-opleiding Optics
MSc-opleiding Semiconductor Technologies
WUR
BSc: Data Science
RUG
Engineering Doctorate opleidingen Autonomous Systems en Sustainable Process Design

1.4.5 Aantrekken en behouden van divers talent

Op meerdere manieren werken we aan het effectiever en succesvoller werven en behouden van talent. Dit versterken we door:

- Meer gezamenlijk op te trekken in het kenbaar maken van vacante posities, elkaar te informeren over vacanteposities,beloftevollekandidatendienietgeselecteerdwordenvooreenbepaaldepositiedoorteverwijzen naar collega's, via collega's mogelijkheden te creëren voor partners van kandidaten, et cetera.
- Het verhogen van onze aantrekkingskracht voor nieuw talent en bestaand talent. Hierbij speelt ***Erkennen & Waarderen*** een cruciale rol. Dit komt bijvoorbeeld tot uiting in het bieden van mogelijkheden voor diverse loopbaanpaden, zoals meer gericht op onderwijs of op het creëren van maatschappelijke impact. Daarnaast willen we onder andere mogelijkheden voor en waardering van Team Science benadrukken, eerder besluiten over een vast contract, starterspakketten voor nieuwe posities aanbieden, budget reserveren voor promovendi of lab-infrastructuur voor zittend personeel, en budget reserveren om talentvolle afstudeerders een promotieplek aan te kunnen bieden.

1.5 Aansluiting op andere nationale programma's

Het Sectorplan Techniek II kent een rijke context in de nationale tweedegeldstroomprogramma's (NWA, NWA-KIC, Zwaartekracht, en het SUMMIT programma dat binnenkort van start gaat), de derdegeldstroomprogramma's (EU, Topsectoren, Groeifonds) en de nieuwe investeringen in starters- en stimuleringsbeurzen en de NWO-talentlijn. De zwaartepunten van het Sectorplan Bèta & Techniek komen bijvoorbeeld ruimschoots naar voren in de Zwaartekrachtprogramma's, zoals Building a Synthetic Cell, Nanophotonics en Ethics of Socially Disruptive Technologies. Daarnaast bewijzen de Groeifondsprogramma's Groenvermogen, AINED, QuantumDelta, Luchtvaart in Transitie en vrijwel alle thematische projecten uit de tweede ronde zoals Crop-XR, Duurzame materialen, Zelfdenkende Moleculen, PhotonDelta, en Next Gen High Tech dat er veel vraag is naar de competenties van de technische wetenschappen. In deze programma's ligt de nadruk op toepassing en verdienvermogen, en is er ruimte voor academisch onderzoek; primair via tijdelijke posities die de onderwijscapaciteit niet direct vergroten. Hiervoor is het hoog nodig dat het sectorplan vaste posities financiert om deze tijdelijke posities te kunnen begeleiden. Daarnaast zijn er aansluitingen mogelijk bij de Groeifondsvoorstellen in de pijler kennisontwikkeling (Digitaliseringsimpuls NL, Nationale LLO Katalysator).

Het is onze ambitie om op de benoemde zwaartepunten de ontwikkeling door te zetten en internationale wetenschappelijke toonaangevende projecten te starten. Tegelijk willen we ervoor waken dat nieuw aangestelde wetenschappers al direct externe financiering moeten aanvragen. Ook hier geldt: rust en ruimte als basis voor excellentie. De starters- en stimuleringsbeurzen spelen hier een belangrijke rol in. Het is gebleken dat het budget voor starters- en stimuleringsbeurzen onvoldoende is om iedereen die daarvoor in aanmerking komt een dergelijke beurs te geven. Daarom hebben we ervoor gekozen om ook vanuit de sectorplanmiddelen budget beschikbaar te maken voor starterspakketten voor nieuwe posities.



1.6 Monitoring en Evaluatie

De universiteiten hechten sterk aan een effectieve en efficiënte monitoring. Onderstaande KPI's hebben we afgestemd met de commissie van Duijn, die verantwoordelijk is voor de monitoring van de vorige sectorplannen en ook de monitoring van dit huidige sectorplan uit zal voeren. Deze KPI's sluiten daarom goed aan bij die van het vorige Sectorplan Techniek, maar met minder gedetailleerde data die veel handwerk vragen. Zo zullen er geen rapportages per zwaartepunt opgeleverd worden, maar per discipline (of als dit vanwege de organisatorische structuur niet kan, per faculteit of andere relevante beheerseenheid). Op basis van de doelstellingen en ambities hebben we onderstaande KPI's gedefinieerd. Appendix A *(pagina 93)* presenteert de relatie tussen deze afgesproken KPI's en de onderliggende knelpunten, doelstellingen en maatregelen.

Lokale KPI's (per discipline, of - als dit niet kan - per faculteit/departement):

- Rapportage over de bestedingen vanuit het sectorplan
  - Financiële voortgangsrapportage
  - Aantal en aard van ingevulde posities (UD/TT, UHD, HGL, ondersteunende staf, promovendi uit starterspakketten etcetera)
- Instroom in BSc- en MSc-opleidingen en aantal afgestudeerden van BSc- en MSc-opleidingen, met onderscheid naar gender en naar herkomst (NL, EER, non-EER)
- Student-stafratio's (+ aantal studenten en fte wp) en duiding
  Streven: verlaging (echter door ambitie groei afgestudeerden waarschijnlijk niet haalbaar)
- Aandeel vrouwelijk talent in sectorplanaanstellingen per faculteit
  Streven: - minimaal 33% (voor disciplines met laag aandeel vrouwelijke studenten, i.e. < 20%)
  - minimaal 50% (voor overige disciplines)
- Aandeel vrouwelijk talent in totale wp per faculteit
  Streven: toename (ook buiten de nieuwe sectorplanposities gerekend)

Landelijke KPI's (per discipline):

- Narratief over ontwikkeling op gebied van onderzoek. Hierin zal iedere discipline gezamenlijk verslag doen van:
  De ontwikkeling van de zwaartepunten van het vakgebied en de landelijke taakverdeling
  - De voortgang op de gezamenlijke ambities
  - De status van de disciplineraden en hoe die hun agenderende en sturende rol in de discipline hebben gehad, bijvoorbeeld via input die ze hebben geleverd voor Grootschalige Wetenschappelijke Infrastructuur, samenwerkingsprogramma's, etcetera.
- Narratief over landelijke onderwijsontwikkeling. Hierin zal iedere discipline gezamenlijk verslag doen van en reflecteren op:
  - De ontwikkelingen op gebied van onderwijs (nieuwe opleidingen, onderwijsvernieuwing)
  - De ontwikkeling van het aantal studenten en de student-stafratio
- Narratief over impact. Hierin zal iedere discipline gezamenlijk verslag doen van de impact van de discipline, bijvoorbeeld met goede landelijke voorbeelden van 2e- en 3e-geldstroomprojecten die binnen de discipline gerealiseerd zijn.

Landelijke KPI's (voor domein als geheel):

- rapportage over bijdrage vanuit techniek aan opleiden bètaleraren
- rapportage gezamenlijke inspanningen m.b.t. outreach

1.7 Blik op de toekomst

Met dit sectorplan kan opnieuw een stap worden gezet in het verder versterken van zwaartepunten van disciplines, in onderlinge afstemming, en in de samenwerking tussen universiteiten, waarbij tevens meer rust en ruimte wordt gecreëerd. Dit laatste met name ook door het aantrekken van extra wetenschappelijke staf ten behoeve van onderzoek en onderwijs. Ook de starters- en stimuleringsbeurzen helpen bij het vergroten van rust en ruimte.
Het techniekdomein is dan ook blij met de recente en geplande investeringen vanuit het eerste en het voorliggende tweede sectorplan. Deze middelen worden met name ingezet voor wetenschappelijke posities, lab-ondersteuning en in beperkte mate voor kleinschalige infrastructuur.

Dankzij dit tweede Sectorplan Techniek kan de omvang van de wetenschappelijke staf met ongeveer 5-10% worden uitgebreid, afhankelijk van de faculteit/discipline. De toename in de vraag naar ingenieurs vanuit de arbeidsmarkt is echter vele malen groter. Het recente SEO ROA rapport over arbeidskrapte in de techniek[16] laat zien dat over de hele linie van techniek de verwachte tekorten zeer groot zijn (de 'Indicator Toekomstige Knelpunten Beroepen' (ITKB) varieert van 0.726 voor elektrotechnisch ingenieurs, tot 0,742 voor andere ingenieurs en 0,782 voor architecten; waarmee de knelpunten binnen techniek zich voor alle disciplines in de range 'zeer groot' bevinden). Dit heeft onder meer te maken met de sterke toename van het aantal banen in de techniekssector ten gevolge van aantrekkende economie en maatschappelijke opgaven zoals de energietransitie. Naast deze uitbreidingsvraag is er een grote vervangingsvraag ten gevolge van de huidige vergrijzing van het personeelsbestand. Dit geldt zowel voor MBO, HBO als WO.
Om de noodzakelijke transities te kunnen realiseren, moeten we kunnen voldoen aan de zeer grote vraag naar ingenieurs. Dit impliceert voor het WO dat de opleidingscapaciteit in het techniekdomein nog veel verder zou moeten groeien dan er de afgelopen twee decennia reeds is gebeurd; en wel over de gehele breedte van het domein. Zonder additionele middelen bovenop de sectorplannen is de noodzakelijke groei niet te realiseren. Indien - dankzij de sectorplannen - de studentenaantallen nog harder stijgen dan de gerealiseerde groei in staf, zullen de student-staf verhoudingen weer tot onacceptabele hoogte stijgen en zal er van rust en ruimte geen sprake meer zijn. Zowel het hoogstaand Nederlands onderzoek als het onderwijs zullen dan enorm inboeten in kwaliteit.
Daarnaast lopen praktisch alle faculteiten reeds nu aan tegen de grenzen van hun beschikbare infrastructuur. Om de noodzakelijke groei te kunnen realiseren is dan ook een zeer significante investering in (nieuwe) gebouwen en noodzakelijke onderwijsvoorzieningen, zoals collegezalen, labfaciliteiten voor practica en ateliers voor ontwerponderwijs cruciaal.

[15] *https://open.overheid.nl/repository/ronl-af0ebc75631154997a2046eee3f82ce64c5240d1/1/pdf/rapport-arbeidsmarktkrapte-technici.pdf*





2. Sectorplannen voor alle disciplines

2.1 Discipline Agrotechnologie en voedingswetenschappen (AGT&V)

Nederland is de tweede voedselproducent in de wereld. De basis voor die positie ligt in de combinatie van kennisontwikkeling, innovatie in landbouw, tuinbouw en ondernemerschap. Op het gebied van kennisontwikkeling in het domein van agrotechnologie neemt Wageningen Universiteit en Research een zeer centrale positie in binnen Nederland, en een vooraanstaande positie wereldwijd. De kwaliteit van het onderwijs en onderzoek binnen deze discipline is vooral gestoeld op excellentie binnen deelgebieden. Dit heeft onder andere geleid tot het verhogen van opbrengst middels slimme kweek- en productiemethoden.

Het Sectorplan Techniek II richt zich wat betreft agrotechnologie en voedingswetenschappen op het ultiem bij elkaar brengen van technische disciplines en het creëren van de impact die nodig is om op een duurzame manier voldoende gezond voedsel te produceren. Vanwege de centrale positie van WUR in deze discipline neemt WUR hiervoor binnen het kader van het sectorplan landelijk het initiatief.

Binnen de discipline agrotechnologie en voedingswetenschappen is met afstand de grootste uitdaging om een groeiende wereldbevolking te voorzien van voldoende gezond voedsel. Dit gaat verder dan alleen maar het produceren van grote hoeveelheden voedsel. Van belang is ook om dit te doen op een circulaire manier die ook rekening houdt met de omgeving, en die door de samenleving wordt geaccepteerd. Binnen het sectorplan is daarom gekozen om de nadruk te leggen op levensmiddelen/voeding vanuit inclusieve perspectieven. Dit houdt in dat vooral de levensmiddelentechnologie, voeding van de mens, milieukunde, omgevingsinclusief ontwerp, datagedreven systemen, en duurzame ketens worden geadresseerd binnen het sectorplan, en dat de chemisch, biologisch, en microbieel georiënteerde richtingen buiten dit sectorplan vallen.

Ondersteunend aan de gekozen gebieden zijn de ontwikkeling van robotica, medische technologie, elektrificatie en technische informatica / artificiële intelligentie. Deze thema's zijn gedeelde interesses met de verschillende universiteiten zoals ook aangegeven in tabel 4. Rondom deze thema's liggen dan ook goede mogelijkheden tot verdere versterking van de samenwerking tussen WUR, de overige technische universiteiten en de RUG.



Tabel 4. Inzet van de universiteiten op de focusgebieden binnen agrotechnologie en voedingswetenschappen

Agrotechnologie en voeding	Focusgebied	TU/e	TUD	UT	WUR
Levensmiddelen-technologie en milieukunde	Duurzame voedsel-productie	Internet-of-Things (IoT) Verpakkingen 3D Food printing	Micro-technologie	Verpakkingen	Voedsel structuring Procesontwikkeling (o.a. alternatieve eiwitten)
	Circulaire processen	Soft matter Robotica	Flexibele energie systemen		Elektificatie van processen Robotica Autonome systemen
Voeding van de mens	Multi-schaal fysiologische analyse			Medische technologie	Geavanceerde infor-matica, sensoriek
	Voedings-patronen				Geavanceerde infor-matica voor duurzame keuzes
Omgevings-inclusief ontwerp	Hydrologie	Hydrologie	Grondfluïdica Alternatieve energie-systemen		Grondfluïdica Robuust en natuurinclusief ontwerp
	Milieukunde	Precisie-landbouw			Geavanceerde meet- en regelsystemen
Datagedreven systemen	Geavanceerde informatica	Groene sensoren	Informatica ketenanalyse		Primaire productie processen
	Sensoriek	Sensor-ontwik-keling		Medische sensoren	
Duurzame ketens	Bedrijvigheid				Ketenanalyse, technische bedrijvigheid
	Maatschappij		Geavanceerd design		Governance structuren Acceptatie innovatieve technologie

Wageningen Universiteit en Research

Voor een duurzame toekomst is het noodzakelijk om naar een circulaire aanpak te gaan die gedragen wordt door zowel de gehele productieketen, als ook door de maatschappij in zijn geheel.

Binnen het sectorplan wordt agrotechnologie en voeding bekeken vanuit inclusieve perspectieven (met inbegrip van milieu/omgeving en maatschappij) met duurzaamheid als drijfveer. Deze thema's zijn ultiem Wagenings, en zullen dan ook aan WUR onderzocht worden. Hierbij is het verre van triviaal om de kennis die hiervoor nodig is, en die uit de alfa-, bèta- en gammawetenschappen komt, te combineren in de opleidingen en het onderzoek. De nieuwe functies die binnen deze discipline vallen, zullen cross-overs zijn tussen onder andere werktuigbouwkunde, civiele techniek, elektrotechniek, technische informatica, biomedische techniek, en de ontwerpende ingenieurswetenschappen. Vanwege de specifieke engineering elementen liggen er uitstekende kansen voor cross-overs met andere technische universiteiten en ook binnen WUR, zoals blijkt uit tabel 4. Bijvoorbeeld voor gebruik van robotica liggen er kansen voor een cross-over met TU/e, op het terrein van de geavanceerde informatietechnologie voor voedselproductie liggen er kansen voor een cross-over met TUD, en voor medisch-technologische aspecten liggen die kansen bij UT.

Binnen het eerste sectorplan was de discipline agrotechnologie en voedingswetenschappen nog niet aanwezig, al hebben de zes posities die binnen het eerste sectorplan in Wageningen zijn gecreëerd wel een link met het huidige plan. De middelen uit de kwaliteitsafspraken en de Van Rijn-middelen zijn ingezet om onderwijsknelpunten op te lossen en om de kleinschaligheid van het onderwijs in Wageningen ook voor de nabije toekomst te kunnen waarborgen. Daarbij is generiek een bedrag aan leerstoelgroepen toegekend en zijn via maatwerk onderwijsknelpunten opgelost.

Onderwijs

Zoals aangegeven, richt het huidige sectorplan zich op voeding/gezondheid en levensmiddelen-technologie. Beide zijn velden die veel studenten trekken, waar een hoge student-stafratio aanwezig is en waar ook het aantal promovendi ten opzichte van academische staf hoog is. Daarnaast is juist in deze velden de behoefte zeer hoog aan technische hoogopgeleide mensen die de grote maatschappelijke uitdaging van het produceren van voldoende gezond voedsel aan kunnen. In het bijzonder gaat het om mensen die niet alleen binnen dit multidisciplinaire speelveld goed uit de voeten kunnen, maar die ook de verbinding kunnen leggen tussen techniek en maatschappij, en zo de maatschappij mee kunnen nemen in die ontwikkelingen en de maatschappij hierin een plaats kunnen geven (multidisciplinair onderwijs gericht op zogenaamde 'T-shaped skills'). Het vormgeven van een cross-over tussen de meer construerende ingenieurswetenschappen en de ontwerpende ingenieurswetenschappen is voor dit vraagstuk zeer relevant.

Om dit te realiseren is het noodzakelijk om de opleidingen zoals we die nu kennen tegen het licht te houden en dusdanig in te steken dat de professionals die we in de toekomst nodig hebben nu opgeleid worden. Als onderdeel daarvan zullen nieuwe minoren en tracks gestart worden (onder andere future food design, en verschillende studies die het gebruik van data als onderwerp hebben) en is er de intentie van de food-groepen in Wageningen om hun strategische investeringsprogramma in te zetten voor de sectorplanposities ('food lab of the future'). Dit komt bovenop de investering via het sectorplan.

Verder is er grote wetenschappelijke infrastructuur op het gebied van precisiefermentatie beschikbaar gekomen vanuit een GWI-project op dit onderwerp. Deze wordt ingebracht binnen het gehele sectorplan, om zo bij te dragen aan de overall aanpak die het sectorplan voorstaat; het borgen van een duurzame toekomst die gedragen wordt door voldoende technische mensen. Dit geldt niet alleen voor universitaire opleidingen maar ook voor HBO, en andere opleidingen. Reeds meer dan tien jaar hebben van Hall Larenstein (HBO) en WUR gezamenlijke onderwijsfaciliteiten, hebben VHL-studenten toegang tot minoren, en is er een gestage doorstroom van HBO naar WUR die gefaciliteerd wordt door afspraken over curricula. Binnen dit sectorplan zijn met name biotechnologie, levensmiddelentechnologie, landschapsarchitectuur, en internationaal land- en watermanagement van belang.

Investeringen vanuit sectorplan en impact

WUR heeft in de afgelopen jaren sterk geïnvesteerd in docentposities. Dit heeft meegeholpen om de druk op het onderwijs te verminderen. De druk op het onderzoek blijft echter onveranderd hoog. Vandaar dat er binnen het sectorplan vooral ingezet wordt op wetenschappelijk personeel betrokken bij onderzoeksprojecten (20 UD's , 2 UHD's, 4 technici, 3 docenten, 23 promovendi). De investeringen vanuit het sectorplan zijn als volgt verdeeld: levensmiddelentechnologie (1.2 M€/jaar), milieukunde (0.7 M€/jaar), voedingswetenschappen (1.2 M€/jaar), omgevingsinclusief ontwerp (0.7 M€/jaar), datagedreven systemen en primaire productie (0.9 M€/jaar), duurzame ketens en sociale aspecten van technologie (1.2 M€/jaar). Vanuit de andere universiteiten zullen tenure trackers vanuit hun eigen disciplines (werktuigbouwkunde, elektrotechniek, civiele techniek, technische informatica et cetera) bijdragen aan de discipline. Naar schatting gaat het in totaal over 5 posities bij de andere universiteiten.

Voor de voedingstransitie is een multidisciplinaire aanpak nodig. Door in dit sectorplan te kiezen voor levensmiddelen/voeding vanuit inclusieve perspectieven stimuleren we deze multidisciplinariteit. De posities zijn zo gekozen dat over de hele keten impact gemaakt wordt in gezamenlijkheid. Verder zijn de nieuwe aanstellingen vaak zo gepositioneerd dat cross-disciplinair en interuniversitair wordt gewerkt; dit is met name van belang voor de samenwerking tussen disciplines die in eerste instantie getypeerd zijn als OIW en CTW. Alle posities die vanuit dit sectorplan binnen WUR worden gefinancierd zijn opgenomen in de discipline agrotechnologie en voedingswetenschappen. Tabel 5 laat zien welke disciplines betrokken zijn bij de verschillende posities.



Tabel 5. Verdeling van posities over de verschillende departementen en disciplines.

		Disciplines								
Departement	**Positie**	**AGT&V**	**BMT**	**CiT**	**ET**	**IO**	**OGO**	**TBB**	**WB**	**Omschrijving positie**
Agro-technology and Food Sciences	1	x			x				x	Production and separation of sustainable (protein) ingredients using electrically driven systems
	2	x								Data driven quantification of properties of complex structured ingredients and foods
	3	x				x				Generate an understanding of the impact of food texture and matrix on flavour release perception, and the impact of this on food choice and health
	4	x			x					Electrically driven catalytic processes for biomaterials (0,5 fte)
	5					x				The effect of internet information and internet-based nutrition advice on eating behaviour and disease prevention
	6	x	x			x				Design of new methodologies to study the relationship between sustainability and health
	7	x	x			x				Novel sensing, imaging and computing technologies to study elements of dietary components, as well as their impact on human health and disease
	8		x							Design of new methods to integrate data on physical activity, dietary intake, behavioral parameters, and biological measurements (0,5 fte)
	9	x				x				Sustainable food packaging (0,5 fte)
	10	x				x			x	Structure - food property relations for formulation flexibility with sustainable ingredients
	11	x						x	x	Algae protein production systems
	12								x	Flavor formation in next generation sustainable foods
	13				x				x	Electrical systems for environment
	14			x						Fresh water systems (0,5 fte)
	15					x				Biodegradable pacakging
Animal Sciences	16	x	x			x				Novel sensing, imaging and computing technologies to study elements of dietary components, as well as their impact on human health and disease (0,5 fte)
Plant Sciences	17	x			x				x	Sensor based semantic planning, coordination and control of (multiple) robotic systems in the agri-food domain
	18	x			x				x	Physical and mechanical aspects of interaction between robots/grippers and organic tissue in agri-food systems (with special focus on fruits and vegetables)
	19	x							x	Knowledge and data-driven modelling and signal processing of quality and growth of crops in controlled environment.
Environmental Sciences	20			x			x			Robust and nature inclusive water-controlling delta landscapes (0,5 fte)
	21					x	x			Participation and co-creation toward conservation and design of landscape elements in a societal context
Social Sciences	22							x		Design of government arrangements to make chains more sustainable, resilient and fair
	23	x						x		Sustainable distribution and retail networks in relation to social, environmental, and economic prowess, and resilience
	24							x		Distribution and upscaling of the use of innovative technical knowledge by technical entrepreneurship
	25					x		x		Linking technology to society and acceptance of innovation

Resultaat over 5 jaar

Het sectorplan legt de basis voor het behoud van de kennispositie en kwaliteit van onderwijs en onderzoek op de middellange termijn. Die versterking zal langs een aantal lijnen zichtbaar zijn, die wij ook de komende jaren zullen volgen en waar we zo mogelijk op willen bijsturen.

Inhoudelijk zijn de genoemde cross-overs van belang. De komende jaren geven we deze vorm, zowel binnen als tussen universiteiten. Dit kan door gezamenlijk publiceren, het invullen van PhD-posities op cross-over onderwerpen en door in het onderwijs aandacht aan de cross-overs te geven en studies op deze gebieden te ontwikkelen. Belangrijk is de vraag naar de relatie tot gezondheid en voeding. Wanneer gezondheidsoverwegingen als uitgangspunt genomen worden bij food design, dan is daar potentieel veel gezondheidswinst te halen. Een dergelijke ontwikkeling is echter niet binnen de termijn van 5 jaar te realiseren. Een realistische start is wel de versterking van de relatie tussen voeding en de productie daarvan, en de medische wetenschappen. De beschreven ontwikkelingen kunnen tot uiting komen in gezamenlijke publicaties, seminars (ook gericht op het algemene publiek), en dissertaties, of gezamenlijk ontwikkelde onderzoeksaanvragen (EU/NWO).

Om te waarborgen dat de kwaliteit van onderwijs en onderzoek gehandhaafd blijft, is het noodzakelijk dat de student-stafratio en de PhD-stafratio voor opleidingen en promoties binnen het domein agrotechnologie en voedingswetenschappen niet verder oploopt, en bij voorkeur verbetert. De instroom van studenten is niet begrensd, er is geen numerus fixus. Op aantallen promovendi is wel enigszins te sturen. De investeringen met sectorplanmiddelen in vaste staf vormen de belangrijkste impuls om beide ratio's te beheersen. De talenten die binnen de posities gaan werken zullen via Erkennen en Waarderen de mogelijkheid hebben om meer flexibiliteit te geven aan de progressie binnen een van de in Erkennen en Waarderen onderscheiden tracks (onderzoek, onderwijs, of het traditionele 'tenure track'), of ook te wisselen tussen deze kolommen. Dit geeft de mensen de mogelijkheid om hun posities zo in te vullen dat deze recht doen aan hun persoonlijke voorkeur en situatie. Zo kunnen deze posities ten volle bijdragen aan het sectorplan, niet alleen binnen een universiteit maar ook binnen de beschreven cross-overs tussen disciplines en universiteiten.





2.2 Biomedische technologie (BMT)

(Bio)medische technologie (BMT) is een multidisciplinair onderzoeksgebied op het raakvlak van de ingenieurswetenschappen (met name werktuigbouwkunde, elektrotechniek), natuurwetenschappen en medische wetenschappen. Biomedische technologie en verwante opleidingen zoals technische geneeskunde zijn zo'n 20 jaar geleden aan verschillende universiteiten ontstaan uit samenwerkingen tussen bestaande technische disciplines. In Eindhoven heeft dit geleid tot een aparte faculteit biomedische technologie, terwijl BMT elders onderdeel is van grotere faculteiten, zoals FSE in Groningen, of verspreid is over verschillende faculteiten, met name werktuigbouwkunde en elektrotechniek in Delft en Twente. Daarnaast hebben alle opleidingen sterke strategische samenwerkingen met één of meer (academische) ziekenhuizen, zowel in onderwijs als onderzoek. Vanwege haar multidisciplinaire karakter is BMT nog niet duidelijk vertegenwoordigd in verschillende landelijke overlegorganen, terwijl zowel onderzoek als onderwijs in deze discipline de afgelopen jaren een grote vlucht hebben genomen. Jaarlijks starten aan de (bio)medische technologie-opleidingen circa 900 bachelorstudenten en circa 700 masterstudenten. Hiervan is meer dan de helft vrouw.

Ondanks het ontbreken van een landelijke organisatie hebben de verschillende universiteiten hun eigen duidelijke onderzoeksfocus. Biomedische technologie in Eindhoven kenmerkt zich door een sterkere verbinding met de moleculaire wetenschappen (chemische biologie, biomaterialen) en regeneratieve geneeskunde, terwijl onderzoek in Delft zich concentreert rond biomechanica en bioelektronica. Twente richt zich met name op medische robotica en biomedische sensoren, terwijl Groningen inzet op medical devices en biomaterialen. Medische beeldvorming en analyse is een onderwerp dat overal een belangrijke rol vervult, waarbij BMT een cruciale rol speelt in zowel onderzoek als het opleiden van medische ingenieurs voor de (academische) ziekenhuizen. Belangrijke toekomstige maatschappelijke uitdagingen liggen met name in het betaalbaar en toegankelijk houden van goede zorg bij de toenemende vergrijzing.

Vanwege de populariteit van de opleidingen en de relatief grote onderwijsinspanning kent een aantal opleidingen een numerus fixus (bachelor BMT Groningen, bachelors technische geneeskunde UT en TUD, verschillende masters). Verschillende opleidingen willen de sectorplanmiddelen gebruiken om een verdere groei van het aantal studenten mede mogelijk te maken (verhoging numerus fixus in Delft, opheffen in Groningen). TU/e onderzoekt in samenwerking met lokale ziekenhuizen en het UMC Utrecht de mogelijkheden om nieuwe bachelor- en masteropleidingen technische geneeskunde te starten (bachelor 100 studenten, master 50 studenten). De BMT-opleidingen spelen daarmee een centrale rol in de toenemende behoefte aan meer technisch opgeleide professionals in de gezondheidszorg.

Biomedische technologie heeft maar in beperkte mate geprofiteerd van financiering uit eerdere sectorplannen, voornamelijk als onderdeel van zwaartepunten binnen de sectorplannen werktuigbouwkunde en elektrotechniek. Ondanks het aannemen van extra wetenschappelijke staf is de student-stafratio nog steeds erg hoog (31:1 in Eindhoven, 30:1 in Delft). Ook zijn investeringen in de voor BMT noodzakelijke laboratoriumfaciliteiten achtergebleven. De nieuwe sectorplangelden zullen daarom niet alleen worden besteed aan het versterken van specifieke onderzoeksgebieden, maar voor zover mogelijk ook aan basislaboratoriumfaciliteiten voor onderwijs en onderzoek, inclusief technische ondersteuning en ondersteuning door docenten.

Een verdere invulling van de beoogde activiteiten en prioriteiten en de inzet van sectorplanmiddelen op gebied van onderzoek en onderwijs voor de TU/e volgt in deze paragraaf. Voor de andere universiteiten worden deze besproken als onderdeel van de sectorplannen werktuigbouwkunde (sectie 2.9), elektrotechniek (sectie 2.4) en informatica (separaat Sectorplan Informatica). Hier is echter voor elke universiteit wel kort beschreven hoe het onderwijs en onderzoek op het gebied van biomedische technologie zijn ingebed.

Tabel 6. Verdeling van zwaartepunten binnen biomedische technologie (zwaartepunten die versterkt worden met middelen uit Sectorplan Techniek II zijn cursief bold weergegeven).

Zwaartepunten	TU/e	TUD	UT	RUG
Medische beeldvorming	Image analysis, ultrasound	Medical imaging		Navigatie- en imagingtechnologie, Automated diagnostics, Protonentherapie
Medische robotica		Soft robotics, ***Precision Biomechatronics***	Wearable robotics, surgical systems	***Bio-robotics/ Biomedical device design***
Medische data en modelering	***Clinical decision support, hybrid modeling***	Biomechanical modelling, ***AI for health***	Modeling movement signaalverwerking	
Medische sensoren		Biosensors, organ-an-a-chip	Ambulant systems e-health	MEMS/NEMS, smart sensors, wearables
Biomoleculaire engineering	Chemische biologie, bio(nano)materials			bio (nano) materials, nanopore sensors
Biomaterialen en medische implantaten	***Regenerative medicine***	Biomaterials, ***Bioelectronics***	Implant biomechanics	Biomaterialen, Regenerative medicine, ***Smart implants, Biomechanica***

Technische Universiteit Eindhoven

BMT binnen Eindhoven is een sterk onderzoeksgedreven faculteit. Het onderzoek is georganiseerd in drie clusters rond chemische biologie, regeneratieve geneeskunde en materialen, en biomedische imaging en modellering. Veel nieuwe gebieden op het grensvlak van engineering en de medische levenswetenschappen zijn vertegenwoordigd: immuno-engineering; synthetische en systeembiologie; en de toepassing van AI in moleculair ontwerp, beeldanalyse en medische beslismodellen. Recent is vanuit BMT ook een aantal succesvolle nieuwe bedrijven en incubators ontstaan dat bijdraagt aan de vorming van biomedisch/technologisch ecosysteem in de regio. Door de groei van het aantal studenten is het praktisch onderwijs in vooral de bachelorfase de afgelopen jaren onder druk komen te staan. Directe begeleiding van masterstudenten vindt veelal plaats door PhD-studenten en postdocs, waardoor er een directe relatie is tussen onderzoekscapaciteit, het aantrekken van externe financiering, en de capaciteit om masterstudenten op te leiden.

Middelen uit het vorige sectorplan (4 tenure track UD's) zijn samen met aanvullende eerstegeldstroommiddelen gebruikt om de groei van de student-stafratio te stoppen en licht te laten dalen. Een gedeelte van de nieuwe sectorplanmiddelen (450 k€) zet BMT in voor de aanstelling van een beperkt aantal meer senior (UHD/HGL) stafleden om het onderzoek op het gebied van medical decision support/digital twinning uit te breiden. Hierbij richten we ons op onderzoek dat de relatie met de ziekenhuizen kan versterken, maar dat ook goed aansluit op bestaande sterktes van de faculteit. Daarnaast willen we onze onderzoeksterktes op het gebied van regeneratieve geneeskunde/smart biomaterials en AI voor biomoleculair ontwerp versterken met een tenure track UD.

De beperkte overige financiering (300 k€) zal voornamelijk worden ingezet voor startpakketten voor de nieuw aan te stellen staf (PhD-studenten) en in beperkte mate voor financiering van labfaciliteiten, als bijdrage aan een facultair fonds voor basisinfrastructuur. De faculteit wil de startpakketten onderdeel uit laten maken van een facultair PhD fonds waarin ook de starters- en stimuleringsbeurzen zullen worden meegenomen. De studievoorschotmiddelen die vanaf 2025 structureel beschikbaar komen wil de faculteit inzetten voor meer praktisch en projectmatig onderwijs en het structureel verlagen van de student-stafratio van 31:1 naar 27:1. Dit onderwijsinvesteringsplan voorziet in de aanstelling van 6 toegevoegde docenten (waarvan 3 vast), financiering voor uitbreiding van AIO-contracten (5-jarige PhD-studenten met extra onderwijsinzet) en een beperkte investering in practicumapparatuur.

Omdat de belangstelling onder middelbare scholieren voor biomedische technologie relatief groot is, blijft de (volledig Nederlandse) instroom in de bachelor vooralsnog op peil (200-250; geen numerus fixus). Het verwezenlijken van nieuwe onderwijsprogramma's op het gebied van technische geneeskunde in samenwerking met lokale ziekenhuizen en UMC Utrecht wordt op dit moment onderzocht. Dit zal een extra (voor) financiering vragen voor investeringen in zowel mensen (wetenschappelijke staf, ondersteunende onderwijsstaf) als in huisvesting en onderzoeksinfrastructuur.

Technische Universiteit Delft

Het maatschappelijke thema gezondheid heeft een prominente rol binnen de TU Delft en is een essentieel thema bij meerdere faculteiten. Binnen de TU Delft is biomedisch onderzoek en onderwijs verweven met de fundamentele disciplines, zoals elektrotechniek (sectie 2.4) en werktuigbouwkunde (sectie 2.9), en heeft ook raakvlakken met industrieel ontwerpen (sectie 2.5) en technische bedrijfs- en bestuurskunde (sectie 2.8). TUDelft | Health Initiative brengt onderzoekers die betrokken zijn bij gezondheidsonderzoek en innovatie samen om de expertise van de TU Delft te bundelen en bij te dragen aan baanbrekende gezondheidstechnologieën binnen relevante (inter)nationale onderzoeksprogramma's. Regionaal is het biomedische onderzoek stevig verankerd in de Medical Delta (samenwerking met Erasmus MC en LUMC) en Convergence (verdergaande samenwerking met Erasmus MC).

Bijdragen vanuit de discipline elektrotechniek:
Binnen EE speelt biomedische technologie een belangrijke rol. Op onderwijsgebied is de faculteit betrokken bij de interfacultaire opleidingen MSc Biomedical Engineering en MSc Technical Medicine, met circa 25 afstudeerders per jaar. Bovendien zijn er binnen de MSc-EE opleiding profielen rond Health and Wellbeing, gekoppeld aan de disciplines signaalbewerking, micro-electronics, en wireless communication/sensing (gezamenlijk circa 50 afstudeerders per jaar).

Ook op onderzoeksgebied is BMT een belangrijk thema voor EE, met circa 80 onderzoekers. Op hoofdlijnen betreft het hier signaalbewerking voor biomedische beeldvorming en analyse (MRI, echoscopie, remote sensing), en data-analyse (cardiac, neuroscience, audio), en de ontwikkeling van biomedische elektronica (bijvoorbeeld actieve medische implantaten voor neuromodulatie en brein-machine interfaces, probes en katheters voor echoscopie) en bio-compatibele elektronische materialen (biosensors, bio-MEMS en organ-on-chip technologie).

Vanuit het Sectorplan Techniek II worden binnen de discipline elektrotechniek middelen gealloceerd voor nieuw onderzoek en onderwijs rond BMT, bijvoorbeeld op het terrein van injecteerbare elektronica (zie sectie 2.4 voor meer details).

Bijdragen vanuit de discipline werktuigbouwkunde:
De faculteit 3mE is penvoerder van de BSc-opleiding Klinische Technologie (numerus fixus van 100 studenten per jaar) en de aansluitende MSc-opleiding 'Technical Medicine' (circa 65 studenten per jaar). Deze opleidingen worden gezamenlijk met het LUMC en EMC verzorgd met inbreng van meerdere Delftse faculteiten. Daarnaast biedt 3mE de interfacultaire opleiding 'Biomedical Engineering' (circa 130 studenten per jaar) aan, en een track 'Biomedical Design' binnen de MSc Mechanical Engineering (circa 70 studenten per jaar). Ook vanuit de meer klassieke werktuigbouwkunde wordt met studenten intensief aan biomedische toepassingen gewerkt, voorbeelden zijn biosensoren en hulpmiddelen voor diagnostiek.

In het onderzoek wordt door vrijwel alle disciplines binnen de 3mE faculteit aan biomedische toepassingen gewerkt. Op kleine schaal gaat dit bijvoorbeeld om detectie van virussen en bacteriën, bio-interfaces en micro- en nano-sensoren, op grotere schaal zijn er activiteiten rondom implantaten en instrumenten. Op nog grotere schaal wordt onder meer gewerkt aan exoskeletten en revalidatierobots.

Vanuit Sectorplan Techniek II zal bij 3mE de link met AI voor biomedische toepassingen, het onderzoek op diagnostische systemen, flexibele robots en biomedische interfaces worden versterkt (4 posities). Voorts zullen de links tussen de biomedische en de fundamentele werktuigbouwkunde worden versterkt (zie sectie 2.9 voor meer details).

Universiteit Twente

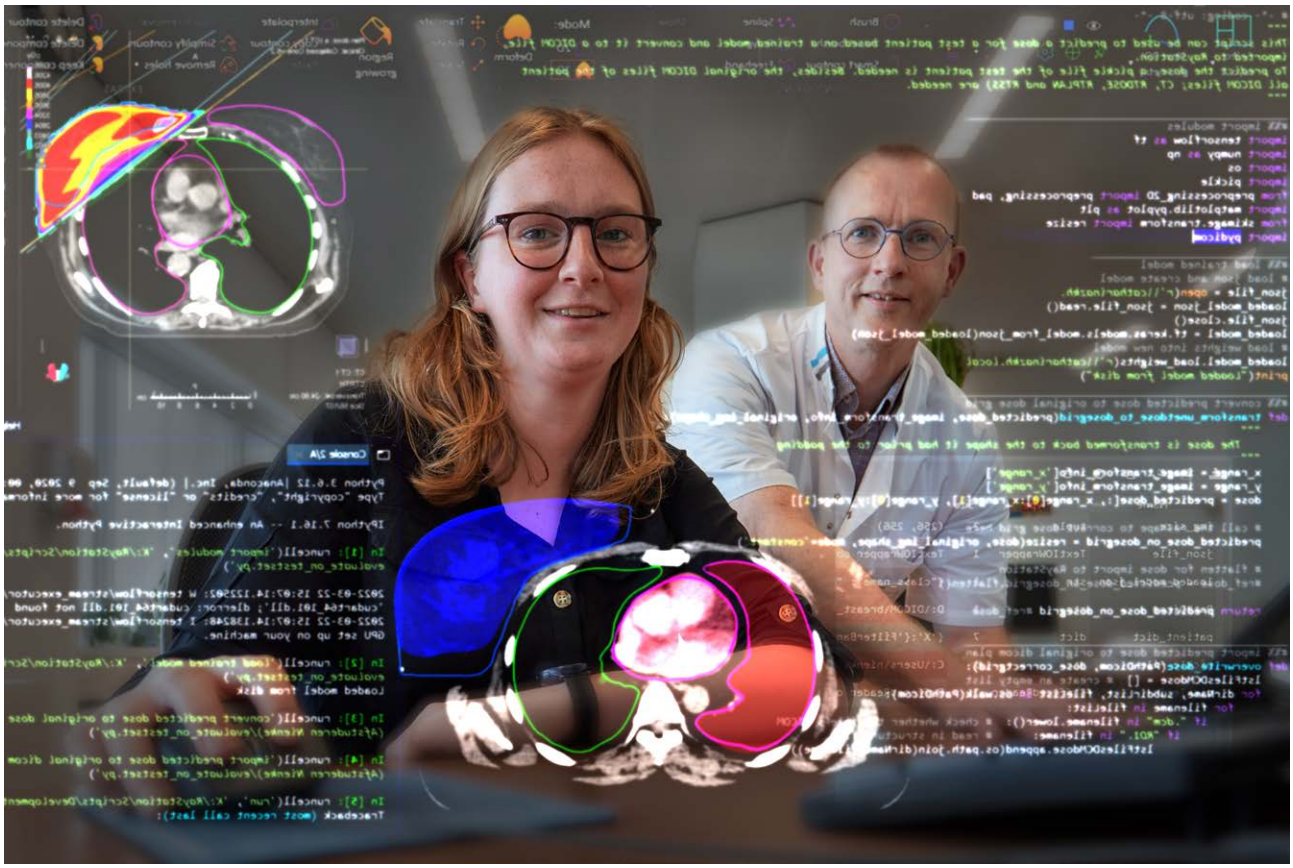
De Universiteit Twente (UT) richt zich met haar ‘hightech – human touch’ profiel op het creëren van maatschappelijke impact op basis van haar technologische expertise. Als prioriteitsgebieden voor maatschappelijke impact kiest UT voor gezondheid, (cyber)security, en klimaat/energie. Het onderwijs en onderzoek op gebied van gezondheid wordt door de faculteiten gezamenlijk gerealiseerd en gecoördineerd vanuit het TechMed Centre. Penvoering vindt plaats vanuit de faculteit Science and Technology. Ongeveer 40% van het UT-onderzoek is gerelateerd aan biomedische toepassingen; elke faculteit heeft wel één of meerdere groepen die zich er specifiek op richten. Dit sectorplan heeft vooral betrekking op de bijdragen vanuit de faculteiten ET (werktuigbouwkunde) en EEMCS (elektrotechniek en informatica). Voor ontwikkelingen op het gebied van onderwijs en de doelstellingen van de faculteiten zie respectievelijk sectie 2.9, sectie 2.4 en het separate Sectorplan Informatica.

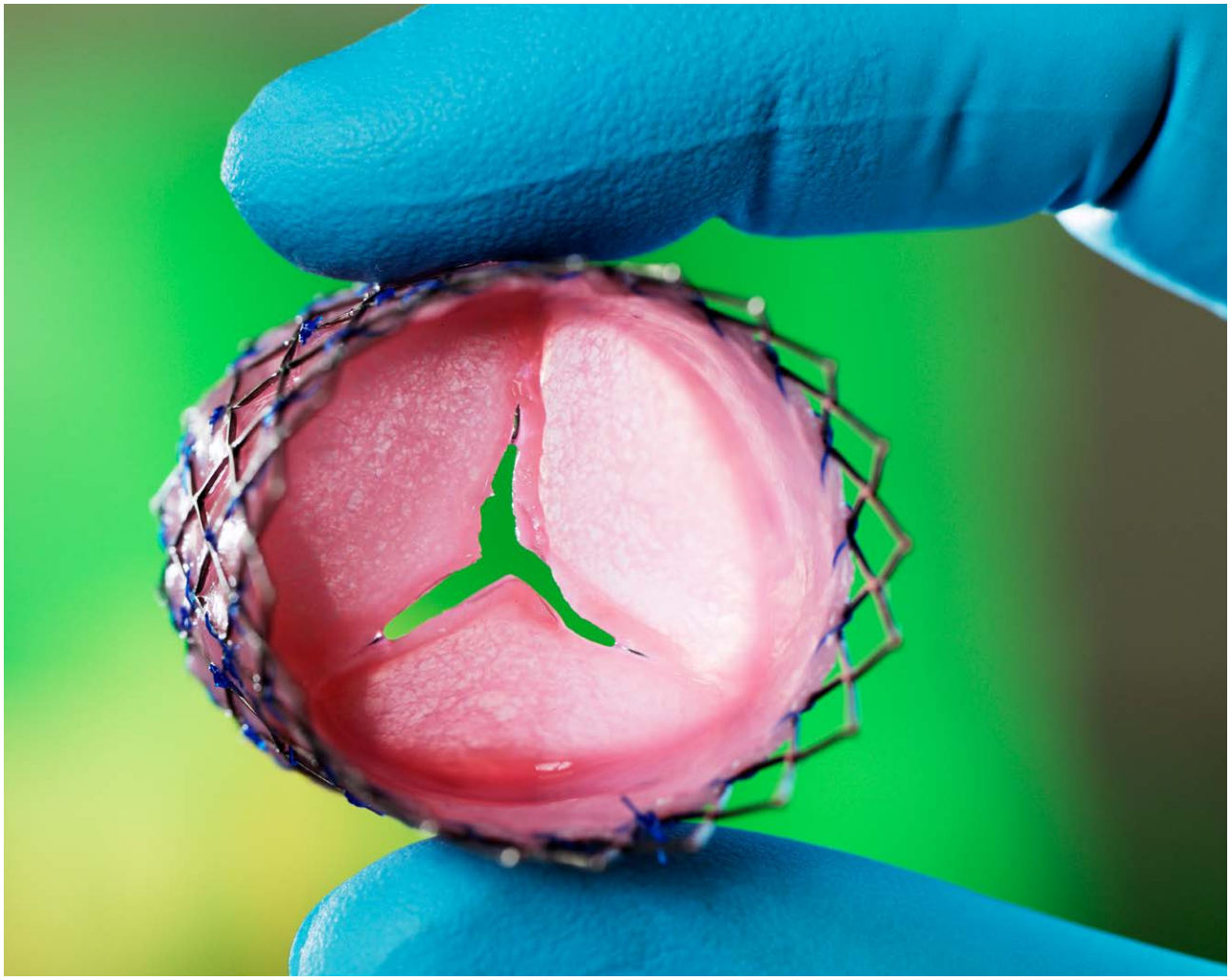
De disciplines werktuigbouwkunde en elektrotechniek vormen vanaf het ontstaan van de UT essentiële pijlers van dit multidisciplinaire gebied. De belangrijke bijdrage vanuit technische informatica is recenter. De structurele en essentiële bijdrage op gebied van biomedisch technologisch onderzoek vanuit werktuigbouwkunde, elektrotechniek en technische informatica gaat met name om multidisciplinair onderzoek op het gebied van medische robotica en beeldvorming, en biomedische sensing, signaalverwerking en stimulatie. De sectorplanmiddelen worden vooral ingezet in de richting van de biorobotica, onder andere door artificial intelligence (AI) en neuromechanische modelleringen toe te passen om de interactie van mens met wearable robotics verder te ontwikkelen. Daarnaast wordt er vooral ingezet op het grensgebied tussen elektrotechniek, (bio)informatica en (gedeeltelijk) werktuigbouwkunde, onder andere voor het ontwikkelen van innovatieve diagnostische sensoren die gekoppeld aan e-health en AI-technieken kunnen bijdragen aan vroegere diagnostiek dan wel coaching op afstand.

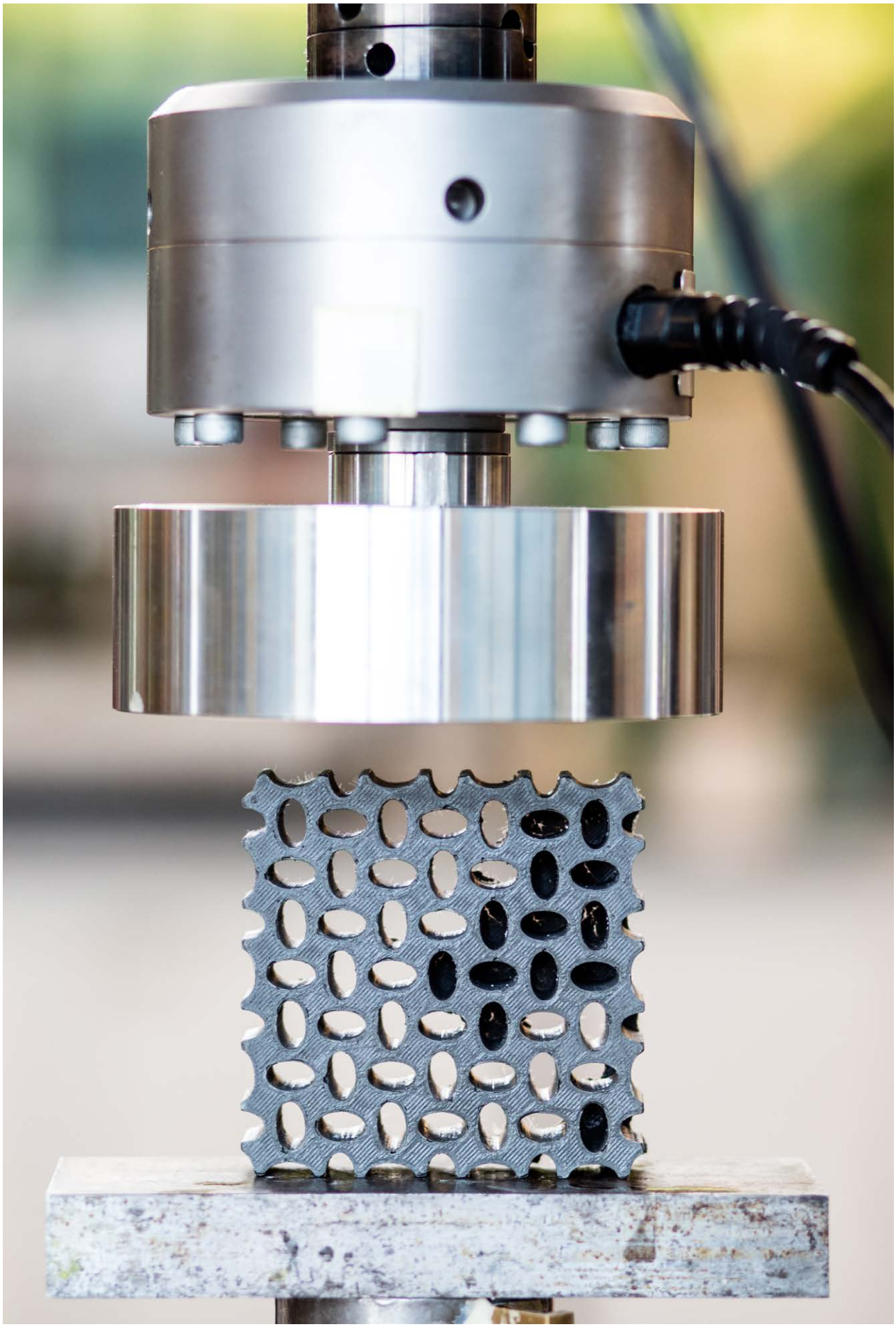
Rijksuniversiteit Groningen

De technische wetenschappen van de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) zijn ingebed in een brede, algemene universiteit waardoor er een sterke interactie is tussen de technische disciplines en fundamentele aanpalende wetenschappen. Het onderwijs en onderzoek op het terrein van biomedische technologie vindt grotendeels plaats binnen de faculteit Science and Engineering (FSE). Binnen FSE is biomedische technologie een van de multidisciplinaire vakgebieden binnen het werktuigbouwkundedomein. Speerpunten zijn biomaterialen en implantaten, sensorsystemen en robotica, en navigatie-, imaging- en computertechnologie. Samen met het UMCG, verschillende HBO-instellingen en de bedrijven vanuit de Life cooperative is FSE actief binnen het ecosysteem van het Health Technology Research and Innovation Cluster (HTRIC).

De ambities van de FSE voor wat betreft de besteding van de sectorplanmiddelen staan beschreven onder de discipline werktuigbouwkunde. Specifiek voor biomedische technologie speelt dat de bacheloropleiding Biomedical engineering (start 2020) onverwacht populair bleek en er een numerus fixus moest worden ingesteld. Via het Sectorplan Techniek II wil FSE de student-stafratio van 24,1:1 verbeteren door het aanstellen van twee extra stafleden. Daarnaast wordt geïnvesteerd in technisch-ondersteunende staf.







2.3 Discipline Civiele techniek (CiT)

De civiele techniek is de toegepaste wetenschap die zich richt op het ontwerp, de bouw, het (her)gebruik, het onderhoud en het beheer van de infrastructuur van het land zoals bruggen, tunnels, sluizen, dijken, wegen, windmolens, leidingen en riolen. De discipline heeft als doel om de functionaliteit van de infrastructuur op land, zee en in de ondiepe ondergrond optimaal en toekomstbestendig af te stemmen op wat de maatschappij nodig heeft, steunend op en voorwaardelijk voor de economie en welvaart van Nederland.

Op dit moment staat ons land voor een aantal complexe en urgente uitdagingen. Deze zijn onder andere het gevolg van een geleidelijk verouderende infrastructuur, klimaatverandering (denk aan de stijgende zeespiegel, ruimte voor de rivier), en de energietransitie. Daarnaast zijn er uitdagingen ten aanzien van mobiliteit en leefbaarheid in de context van doorgaande verstedelijking, ook in relatie tot voedselvoorziening. Het Nederlands Plan Bureau noemt de combinatie van deze uitdagingen treffend ‘de grote verbouwing van Nederland’. Duurzaamheid en circulariteit zijn bij deze bouwopgave essentieel om de planeet niet uit te putten.

De grote bouw- en onderhoudsopgaven vragen in de context van deze complexe maatschappelijke transities om een enorme verhoging van de productiviteit van de sector en om professionals die diepgaande technische kennis combineren met andere competenties en andere disciplines. Om aan deze grote opgaven te voldoen moeten daarom niet alleen meer civiele ingenieurs opgeleid worden, maar ook met een ander (multidisciplinair en divers) profiel. Daarnaast is digitalisering van de sector noodzakelijk om aan de gevraagde productiviteitsverhoging te kunnen voldoen, alleen al vanwege de vergrijzende samenleving. De zwaartepunten voor het onderzoek binnen de discipline landen evident ook in de onderwijsprogramma’s voor de opleiding van de civiele ingenieurs van de toekomst.

De uitdagingen voor de betrokken universiteiten zijn:

- Opleidingscapaciteit vergroten: er is een grote vraag om meer afgestudeerde civiele ingenieurs. Daarnaast zijn er ook ingenieurs met een ander profiel nodig; ingenieurs die in staat zijn om het land toekomstbestendig te maken en de complexe uitdagingen integraal te adresseren. Dit betekent structurele aanpassingen van het onderwijsprogramma, gevoed vanuit het onderzoek.
- Onderzoeksprofielen aanscherpen: de transities vragen om versterking/uitbreiding van de onderzoekscapaciteit om antwoord te kunnen blijven geven op de veranderende maatschappelijke en wetenschappelijke civieltechnische vragen, en recht te doen aan de urgentie van de maatschappelijke uitdagingen;
- Onderzoeksfaciliteiten actualiseren: de veranderende omvang en profiel vragen structureel om vernieuwing van de experimentele faciliteiten en versterking van de technische staf om ook internationaal voorop te kunnen blijven lopen in het veranderende vakgebied; dit vraagt strategische voorinvesteringen in experimentele infrastructuur, die veelal niet of slechts beperkt uit NWO-middelen kunnen worden gefinancierd.

Met de middelen van het sectorplan wordt dan ook de focus gelegd op:

- Ontwikkeling van nieuwe onderzoeksvelden en onderwijsprogramma’s en uitbreiden van de wetenschappelijke staf in vaste dienst, met aandacht voor diversiteit en een gezonde balans tussen senioriteit enerzijds en de ontwikkeling van jong talent anderzijds. Dat betekent investeren in zowel docenten als in wetenschappelijke staf.
- EngD-, PhD- en postdocposities om doelgericht een versnelling te geven aan nieuwe gebieden en aan integratie van bestaande gebieden. Dit kan vorm krijgen als onderdeel van startpakketten voor nieuw aangesteld wetenschappelijk personeel, of strategisch in worden gezet om gericht groepen te versterken, bijvoorbeeld daar waar de mogelijkheden voor externe financiering klein zijn, maar de balans binnen een faculteit hier om vraagt.
- Eerste investeringen in specialistische apparatuur, materialen en technisch-ondersteunende staf.

Civiele techniek omvat een aantal subdisciplines *(zie tabel 7)* waarbinnen aan de vier technische universiteiten in Nederland internationaal hoogstaande expertise is opgebouwd. Deze subdisciplines omvatten onder andere expertise op het gebied van waterbouwkunde en offshore-techniek, waterbeheer en hydro-

logie, milieutechniek, geotechniek, verkeer en transport, materiaalkunde en bouwfysica, grond-/vloeistof-/vastestofmechanica, constructieleer, bouwprocessen en integraal ontwerpen. Tussen de betrokken faculteiten vindt landelijke afstemming over onderwijs en onderzoek plaats in 4TU.Bouw-verband, via de Raad Civiele Techniek en in het overleg met OCIB (Stichting Onderwijs Civiel-Ingenieur voor Bedrijfsleven en Overheid).

In grote lijnen is de verdeling van de zwaartepunten binnen die subdisciplines over de universiteiten zoals weergegeven in tabel 7[17]. Vanuit de facultaire sterktes wordt nadrukkelijk over de grenzen van de (sub) disciplines samengewerkt om te komen tot een geïntegreerde aanpak.

Tabel 7. Verdeling van zwaartepunten binnen subdisciplines van civiele techniek (zwaartepunten die versterkt worden met middelen uit Sectorplan Techniek II zijn cursief bold weergegeven).

Zwaartepunten CiT	**TUD**	**TU/e**	**UT**	**WUR**
Fluid mechanics	***Water, safety and management***		Water, safety and management	
	Wind engineering			
		Urban physics		
Soil mechanics	***soft soil and soil-infrastructure interaction (incl. climate change)***		***soft soil and soil-infrastructure interaction (incl. climate change)***	
	Sediment based coastal infrastructure		Sediment based coastal infrastructure	
	Geothermal energy		Geothermal energy	
				Robust and nature inclusive water controlling delta landscape
Physics of CiT materials	High performance (meta)material systems			
	Sustainable materials and circularity			
	Digital fabrication processes			
Mechanics of structures	Multiscale and multi-physical modelling of safe and sustainable structures			
		Structural health monitoring		
Infrastructure	***Safe, sustainable and resilient infrastructure for mobility***			
		Infrastructure for water and energy		
			Construction, maintenance and asset management of asphalt road infrastructure	

De discipline civiele techniek in Nederland omvat de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft, de faculteit Built Environment van de TU Eindhoven, de afdeling Civiele Techniek en Management van de faculteit Engineering Technology van de Universiteit Twente en het Environmental Research Institute van Wageningen Universiteit en Research. De TU Delft is allround op bovengenoemde kerndisciplines. De TU Eindhoven richt zich op bouwfysica, materiaalkunde, mechanica en integraal ontwerpen. De Universiteit Twente focust op proces/maakbaarheid van transities op het gebied van watermanagement, bouwprocessen en verkeer en transport. Wageningen Universiteit en Research richt zich op milieutechniek, waterbeheer en hydrologie vanuit haar basis die ligt in agrotechnologie en voedingsweten-

[17] *Weergave van kerndisciplines zoals geformuleerd in het nationaal Sectorbeeld Technische Wetenschappen (2018), met toevoeging van 'infrastructure for mobility' als vervolg op landelijke afstemming in de voorbereiding van dit plan.*



schappen. Civiele techniek past daar binnen de integrale aanpak die nodig is om tot duurzame voedselproductie te komen. Investeringen op dit terrein zijn beschreven in sectie 2.1.

In 4TU-verband verzorgen de universiteiten van Delft, Twente en Eindhoven gezamenlijk de nationale MSc-opleiding Construction Management and Engineering. Plannen voor nieuwe tracks en opleidingen worden besproken en afgestemd [a] in het 4TU.Bouw decanen overleg, [b] in de het overleg met de stichting OCIB, en [c] voor de 4TU MSc CME in het onderlinge opleidingsdirecteurenoverleg. Daarnaast vindt afstemming over onderwijsaanbod plaats via de nationale Onderzoekscholen TRAIL (Transport, Infrastructuur en Logistiek), Engineering Mechanics (solid mechanics) en het J.M. Burgerscentrum (fluid mechanics).

Het eerste Sectorplan Techniek heeft significant bijgedragen aan (i) het versterken van de basisdisciplines vloeistofmechanica, grondmechanica, constructiemechanica en materiaalkunde, (ii) het verbeteren van de genderdiversiteit op het niveau van junior staf, (iii) een verlaging van de werkdruk in het onderwijs en (iv) de start van een landelijke afstemming van activiteiten tussen de TU Delft, de TU Eindhoven en de Universiteit Twente in de Raad Civiele Techniek.

Technische Universiteit Delft

De faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft dekt alle civiele kerndisciplines af. De faculteit heeft als ambitie om toekomstbestendige oplossingen te genereren voor de grote maatschappelijke uitdagingen gerelateerd aan klimaatverandering, de energietransitie, veiligheid, de infrastructurele vervangingsopgave, doorgaande verstedelijking en de mobiliteitsproblematiek. Een van de belangrijke onderwerpen is waterveiligheid als gevolg van zeespiegelstijging, extreme neerslag en rivierafvoer. Duurzame oplossingen, probabilistische analyses en ‘building with nature’ spelen hierbij een rol. Tevens is er veel aandacht voor het ontwikkelen van slimme, civiele constructies met ingebedde sensoring en 3D-geprinte, zelfhelende en adaptieve materiaalsystemen. Circulaire bouwconcepten en het gebruik van robotica, remote sensing en andere geavanceerde digitale technieken spelen hierbij een rol. Ook op gebied van multimodaal transport, waterbeheer en hydrologie is de faculteit zeer actief. Op deze onderwerpen wordt ingezet in het Sectorplan Techniek II.

In dit Sectorplan Techniek II zijn de toe te kennen posities niet mono-, maar interdisciplinair gedefinieerd om een betere en essentiële bijdrage te leveren aan de oplossingen voor eerder genoemde complexe

maatschappelijke vraagstukken. De nieuwe docent- en onderzoeksposities zullen bijdragen aan een verdere afname van de onderwijsdruk en het verbeteren van de diversiteit van de staf door een doelgericht selectieproces (70% van de beschikbare middelen voor onderwijs- en onderzoeksposities). Dit moet gepaard gaan met het verhogen van de opleidingscapaciteit om aan de grote vraag naar afgestudeerde civiel-ingenieurs te voldoen. Het inzetten op interdisciplinariteit moet leiden tot het genereren van maatschappelijk relevante kennis en afgestudeerde civiel-ingenieurs met gewenst profiel en aandacht voor diversiteit. Ingenieursvaardigheden in andere disciplines, gevoegd bij competenties op het gebied van bijvoorbeeld samenwerking en outreach, zullen gebalanceerd beoordeeld worden met aandacht voor het landelijk programma 'Erkennen en Waarderen'. Daarnaast zal de faculteit de tenure trackers nadrukkelijker coachen op een strategie voor fondsenwerving en het formuleren van onderzoeksplannen. Starters- en stimuleringsbeurzen moeten de aanvraagdruk enigszins kunnen reduceren, gevoegd bij het strategisch inzetten van PhD-posities (14% van de beschikbare middelen in een investeringsfonds). Tevens zijn investeringen in labinfrastructuur en ondersteuning beoogd, onder andere op het gebied van robotica en andere digitale technieken (16% van de beschikbare middelen).

Om te voldoen aan een maatschappelijke behoefte is het de ambitie van de TU Delft om door te groeien van de huidige 27.000 studenten naar 40.000 in 2030, gebaseerd op een multi-campusstrategie. Dit betekent dat de wetenschappelijke staf ook in de discipline civiele techniek mee moet groeien om nieuwe knelpunten te voorkomen. De groei in het aantal studenten zal worden gestimuleerd en geaccommodeerd en er zal logischerwijs geen numerus fixus worden ingesteld.

Technische Universiteit Eindhoven

De faculteit Built Environment aan de Technische Universiteit Eindhoven brengt het volledige spectrum van techniek, engineering, design en mensgebonden onderzoek vanuit het perspectief van de gebouwde omgeving bij elkaar. Door deze verschillende disciplines met elkaar te verbinden draagt de faculteit bij aan de grote transities en maatschappelijke uitdagingen op een systemisch niveau.



Het onderwijs en onderzoek van de discipline civiele techniek aan de faculteit vindt plaats binnen de subdisciplines fluid mechanics, physics of civil engineering materials, mechanics of structures en infrastructure. Daarbinnen richt de faculteit zich op de volgende zwaartepunten (*zie ook tabel 7)*:

- Urban physics
- Sustainable materials and circularity
- Digital fabrication processes
- Multiscale and multi-physical modelling of safe and sustainable structures
- Structural health monitoring
- Safe, sustainable and resilient infrastructure for mobility
- Infrastructure for water and energy (transition)

De faculteit richt haar onderwijs en onderzoek in dit tijdsgewricht op de thema's energie, circulariteit en duurzaamheid. Voorbeelden daarvan zijn het verhogen van de productiviteit ten behoeve van de uitbreiding- en vervangingsopgave van gebouwen en stedelijke infrastructuur, het ontwikkelen van nieuwe technologieën en circulaire en slimme materialen om zowel materiaalgebruik als emissies in de bouw te verminderen, de aanpassing van het stedelijk gebied aan nieuwe manieren van energie opwekken en opslaan.

De faculteit verbindt zich op deze zwaartepunten actief met andere academische disciplines en met maatschappelijke partners via de universitaire instituten EIRES (Eindhoven Institute for Renewable Energy Systems) en EAISI (Eindhoven Artificial Intelligence Systems Institute) en (inter) nationaal onder andere in 4TU.Bouw, UDI (Urban Development Initiative), TKI Bouw en Techniek, EWUU alliantie (universiteiten van Eindhoven, Wageningen, Utrecht en het UMC Utrecht), Eurotech Universties, en ECTP.



De belangrijkste knelpunten voor de faculteit om de hierboven genoemde doelen te realiseren zijn:

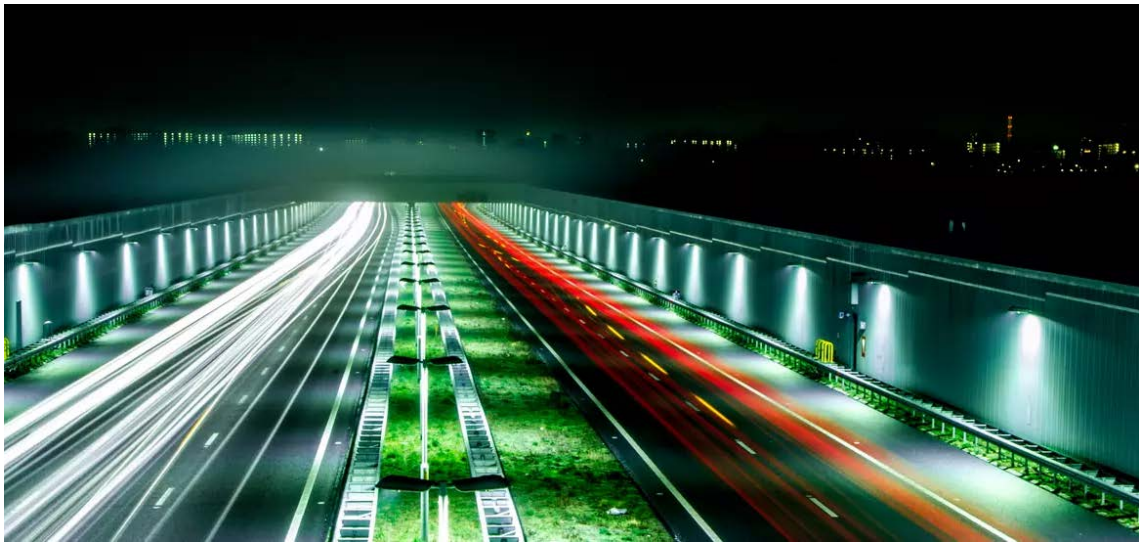
- *Onderwijscapaciteit en bijbehorende werkdruk:* De faculteit werkt aan een volledig vernieuwd onderwijsprogramma waarin veel nadruk wordt gelegd op een verbindend bouwkundig profiel en kleinschalige onderwijsvormen, gericht op de grote maatschappelijke transities. Een deel van de extra benodigde capaciteit is academische staf, een deel docenten, waarbij de faculteit nadrukkelijk stuurt op team science en team education.
- *Technische en ontwerpende wetenschappen gezamenlijk versterken binnen onderwijs en onderzoek, met meer senioriteit en ruimte voor diversiteit en talentontwikkeling (Erkennen en Waarderen):* De afgelopen jaren is het civieltechnisch onderzoek sterk ontwikkeld met junior posities (UDs), mede door de inzet van de middelen van het eerste Sectorplan Techniek. Door het ontbreken van de ontwerpende wetenschappen in het eerste sectorplan is daar de ontwikkeling achtergebleven. Voor zowel het wetenschappelijk onderwijs als het onderzoek is het van belang dat beide subdisciplines elkaar inhoudelijk versterken en de transities en maatschappelijke vraagstukken gezamenlijk oppakken. Het is immers via ontwerpmethodologie dat nieuwe technologie haar weg vindt naar praktische toepassingen.
- *Laboratoriumfaciliteiten en technische staf:* De faculteit beschikt over uitstekende laboratoria, maar de huidige ontwikkelingen vragen structureel om bijstelling van de huidige faciliteiten en versterking van de technische staf.

De middelen vanuit het eerste Sectorplan Techniek zijn geïnvesteerd in extra academisch personeel (6 UD-posities) binnen de civieltechnische subdisciplines van de faculteit. Daarnaast is de numerus fixus verhoogd met 50 extra studenten. De studievoorschotmiddelen zijn ingezet voor onderwijsinnovaties, voornamelijk gericht op digitalisering en robotisering en een betere ontsluiting van het onderwijs voor de studenten. Op grond van de beschreven knelpunten wil de faculteit de middelen uit Sectorplan Techniek II inzetten om rust en ruimte te creëren door nieuwe mensen aan te stellen (65%), te investeren in laboratoria (25%) en strategisch te investeren in PhD-/postdoc- posities (10%).

Universiteit Twente

Bij de oprichting van de civiele techniek groep in Twente was de opdracht (1986): ‘Plaats de civiele techniek, het onderwijs en onderzoek, in de maatschappelijke context’. Dat vraagt de disciplinaire doorgronding van civiele techniek, diepgaande kennis over de toepassing van de civiele techniek, en doorwrocht begrip van maatschappelijke rol en effecten. Sindsdien combineert ET-CEM de civiel-technische discipline met relevante invalshoeken vanuit de (technische) bedrijfskunde, bestuurskunde, geo-informatie en data science.

Centraal staat het ontwerp, aanleg en onderhoud van civieltechnische objecten en infrastructuren. Daarbij wordt aansluiting gezocht bij autonome ontwikkelingen zoals als veerkracht, digital twins, duurzaamheid, circulariteit, assessment instrumentarium, en robotisering. In de opleidingsprogramma’s (BSc, MSc, EngD)

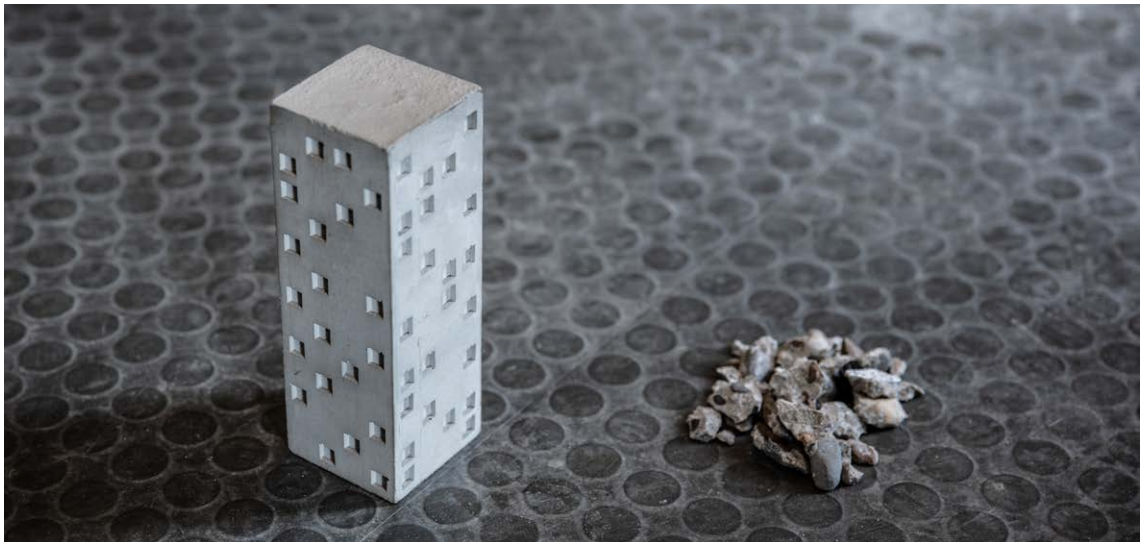


wordt de breedte van de civiele techniek aangeboden met verschillende profielen in verkeer, water, en infra. In het onderzoek wordt gericht gekozen voor toepassingsdomeinen, koppeling aan maatschappelijk thema's, en verbinding met de stakeholders (bedrijven, overheden, kennisinstellingen). Overkoepelend thema voor de gekozen werkvormen is engaged scholarship, en de groep streeft ernaar het werken in de triple/quadruple helix te versterken.
ET-CEM beoogt de komende jaren verder te investeren in de ontwikkeling van field labs waarbij vraagstukken integraal worden aangepakt. Daarin werken studenten (Bsc, MSc, EngD) en PhD-kandidaten samen in onderwijs, onderzoek en ontwikkeling. De verbinding onderwijs, onderzoek, praktijk krijgt vorm in challenge-based education, directe betrokkenheid bij landelijke onderzoek- en innovatieprogramma's, en door vorming van samenwerkingsverbanden (inter)nationaal en regionaal, onder andere in EU-verband.

De middelen in Sectorplan Techniek I zijn besteed aan het aanstellen van 4 UD's (numeriek hydraulische modellering van rivieren en kusten, NatureBased solutions in tropische gebieden en windgebaseerde kust modellering), 1 UHD (soil mechanics) en een technicus (vloeistofmechanica). Daarnaast heeft UT aanvullende middelen ter beschikking gesteld zodat er nog een extra UD op soil mechanics kon worden aangesteld. De nie uwe medewerkers hebben elk een start-up pakket gekregen met middelen voor PhD's, postdocs en instrumenten. Daarnaast is er geïnvesteerd in een nieuw laboratorium.

De middelen van Sectorplan Techniek II worden besteed aan 2 UD's en investeringen in apparatuur en faciliteiten. De UD Digitale technieken voor duurzame stedelijke mobiliteit is geworven en de betreffende kandidate (V) is aangesteld per 1 november 2022. Voor positie 2, de UD Duurzame benaderingen Vervanging & Renovatie infrastructuur, heeft een eerste ronde selectie heeft nog geen geschikte kandidate (V) opgeleverd. Naast deze posities worden de Sectorplan Techniek II middelen ingezet voor de aanschaf/abonnementen van data pakketten en software, en voor het ontwikkelen van het Living Innovation Lab op de campus, het ontwikkelen van proefopstellingen, met name de aanschaf/het aanbrengen/het aansluiten en het behoud van sensoren en apparatuur (zoals Lidar, FBG interrogators, HS camera's, hoge-resolutie-camera's).

In de komende jaren willen we nadrukkelijker investeren in de synergie tussen PhD- en EngD-sporen, gekoppeld aan de ontwikkelingsprogramma's voor leven lang leren. Door de nieuwe technieken en inzichten uit de EngD en PhD zo snel mogelijk naar de field labs, LLL en praktijk te brengen, en met EngD/PhD die praktijk verder te onderzoeken en te verbeteren, wordt een directe bijdrage geleverd aan de opschaling en versnelling. Daarnaast versterkt deze aanpak de carrièremogelijkheden van onze staf: op directe wijze doordat het wetenschappers opties geeft richting derdegeldstroomfinanciering, en indirect doordat de contacten met de stakeholders sterkere voorstellen opleveren voor de eerste en tweede geldstroom.




focus
IX20
IX50

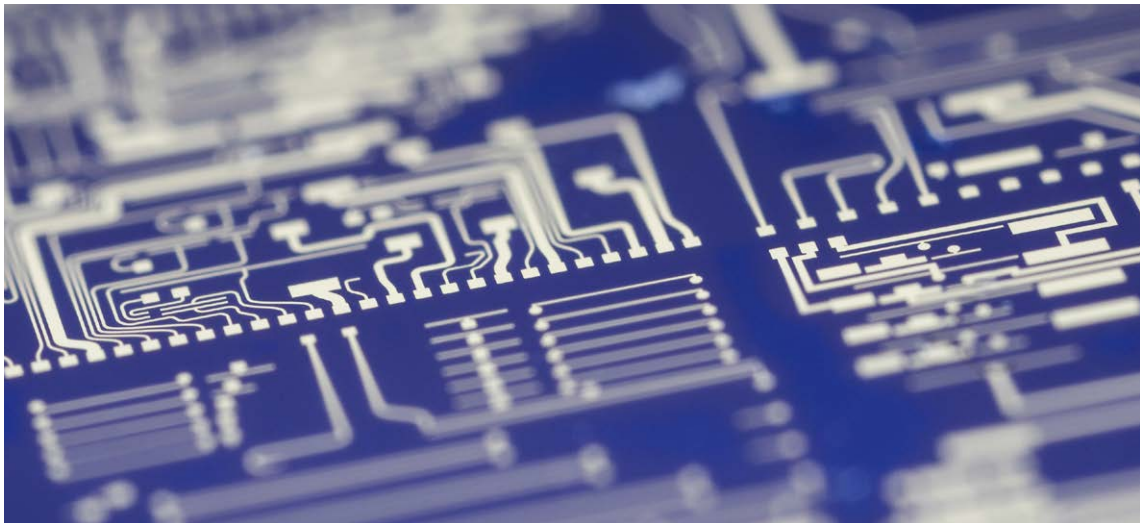
2.4 Discipline Elektrotechniek (ET)

Elektrotechniek is de technische discipline die zich bezighoudt met de studie en toepassing van elektriciteit en elektromagnetische velden. Binnen elektrotechniek worden drie kerndisciplines onderscheiden:

- communicatie en signaalbewerking (geïntegreerde fotonica, optische communicatie, draadloze communicatie en signaalbewerking voor onder meer medische toepassingen);
- elektronische componenten, circuits en systemen (analoge en RF-elektronica, digitale elektronica en systemen, More than Moore-technologieën); en
- elektrische energieconversie (actuatoren met hoge snelheid en precisie, energietechniek, regeltechniek).

Het vakgebied leunt op wiskunde, informatica en natuurkunde. De elektrotechniek draagt bij aan fundamentele ontwikkelingen op het vlak van regeltechniek, signaalbewerking, informatie- en communicatietheorie, radar, sensor- en IC-technologie en computer engineering.
De resulterende technologie is vaak compact, efficiënt en flexibel, en vindt daarom breed toepassing, in complexe systemen en in een multidisciplinaire context. Het toepassingsgebied omvat belangrijke maatschappelijke thema's, zoals duurzame energievoorziening, gezondheid, landbouw en communicatie. Nieuwe ontwikkelingen zijn legio: fotonica, autonoom lerende systemen, 6G-communicatie, quantumcomputers en quantumcommunicatie, ontwikkeling van duurzame energiesystemen, medische diagnostiek, robotica en precisielandbouw. In veel gebieden wordt gewerkt aan digital twins: digitale modellen van complete systemen.

Sterktes, spreiding en samenwerking
In Nederland vindt het wetenschappelijke werk in de elektrotechniek plaats aan de technische universiteiten van Twente (faculteit Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, EEMCS, 60 fte), Eindhoven (faculteit Electrical Engineering, EE, 100 fte), Delft (faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica, EWI, 70 fte) en bij Wageningen Universiteit en Research (onder andere leerstoelgroep Milieutechnologie, 10 fte). Er zijn ruim 600 promovendi betrokken bij het werk. De faculteiten bieden onderwijs aan 2500 eigen studenten en, in lijn met het verbindende karakter van de discipline, aan evenzoveel studenten van andere opleidingen.
De vier technische universiteiten wensen het vakgebied compleet af te dekken. Het eerste Sectorplan Techniek heeft deze basis versterkt. Op onderdelen hebben de universiteiten zich gespecialiseerd, bijvoorbeeld wat betreft materiaalfocus in geïntegreerde optica, toepassingsgebieden voor signaalbewerking, en in computeronderzoek. De vier organisaties stemmen op regelmatige basis af, zowel formeel (Platform EE-NL op decaanniveau; 4TU.centres zoals NIRICT) als informeel op basis van persoonlijke contacten en gezamenlijke projecten zoals 4TU.Plantenna, en landelijke conferenties zoals ProRISC/SAFE. Verder is er ook binnen de kerndisciplines een uitstekende samenwerking en afstemming.



Tabel 8. Verdeling van zwaartepunten binnen subdisciplines van elektrotechniek. Cursief bold gemarkeerde gebieden zullen worden versterkt via dit sectorplan.

EE	Focusgebied	TU/e	TUD	UT	WUR
Communicatie en Signaal-verwerking	Convergentie radio en fotonica	Integrated photonics; ***Wireless technology***			
	Elektromagnetische signaal-opwekking, signaalontvangst en signaal-bewerking	***Medical*** signal processing and imaging	Communication and sensing; Biomedical signal processing; Autonomous systems	Phased array antennas; ***Biomedical signals and systems;*** Image Proces-sing; Secure & low power communication	***Autonomous harvest systems*** (data driven)
Elektrische componenten, circuits, systemen	Ontwerpmetho-dieken voor elektronica en systemen	***Secure*** digital and analog electronics	***Unconventional computing; Bioelectronics; Autonomous sensor systems***	***E-health; Analog and RF circuit design;*** Advanced computing systems	***Electrification of environmental technology***
	More than Moore-technologieën		Health and wellbeing	***Lab/organ on chip;*** Vertical integration	
Elektrische energie-conversie	Gedistribueerde elektrische energievoor-ziening		***Digital power systems; Micro-grid components and networks;*** High-voltage materials and technologies		Smart Grids
		Data-driven intelligent systems & control; electrome-chanical and multi-physical systems		Robotics Power electronics	***Electrification of autonomous systems***

Onderwijs, grote behoefte aan ingenieurs

De technische universiteiten leiden breed inzetbare ingenieurs op met kennis van het hele vakgebied. TUD, UT en TU/e bieden alle drie een brede bacheloropleiding aan in de elektrotechniek, en diverse daarop aansluitende masteropleidingen. Binnen WUR is elektrotechniek onderdeel van verschillende applicatiegerichte opleidingen zoals milieukunde en levensmiddelentechnologie. De instroom aan studenten is de afgelopen jaren weliswaar met een factor drie gestegen ten opzichte van 2010, maar niet genoeg om in de grote behoefte aan elektrotechnisch ingenieurs te kunnen voorzien. Een deel van die groei bestaat uit internationale studenten; er zijn nadere maatregelen nodig om hen te behouden voor de Nederlandse arbeidsmarkt.

Het onderwijs zal de komende jaren aansluiten bij het veranderende onderzoeksprofiel, bijvoorbeeld op het gebied van de energietransitie, AI-hardware, medische techniek, bio-elektronica, robotica en meer fundamentele onderwerpen. De verwachting is dat het onderwijs steeds vaker deel zal uitmaken van multidisciplinaire programma's (met 'EE inside'), op academisch niveau, maar ook postacademisch en in samenwerking met HBO en MBO. De vorm zal daarbij moeten passen; we zoeken een effectieve mix van traditioneel onderwijs met online-technieken en een challenge-based invalshoek. De 4TU-discipline elektrotechniek heeft goede en historische banden met de verschillende HBO's waardoor uitwisseling van studenten, bijvoorbeeld via stages, laagdrempelig is en doorstroom in beide richtingen makkelijk wordt.

Het doel voor de komende jaren is om de instroom verder te vergroten, en daarin met name ook het aandeel vrouwelijke studenten en andere groepen die minder vertegenwoordigd zijn, zoals studenten met een migratieachtergrond. Vanuit het Sectorplan Onderwijs zijn hier al gezamenlijke initiatieven voor

gestart, zoals het uitvoeren van een genderscan bij opleidingen en het identificeren van maatregelen om de diversiteit in de instroom te vergroten. Daarnaast willen we het systeemaspect in de opleiding benadrukken via multidisciplinaire elementen in de opleiding. Dit vraagt investeringen in zowel personeel als in infrastructuur. In het algemeen zal op middelbare scholen de keuze voor een N&T-profiel moeten worden gestimuleerd, wat we als techniekdomein als geheel samen met het bètadomein op willen pakken.

Onderzoek, financiering en samenwerking industrie
De faculteiten zijn via hun onderzoek direct of indirect betrokken bij alle grote maatschappelijke problematiek zoals duurzaamheid, gezondheid, voedsel, communicatie, computers, internet, en kunstmatige intelligentie. Zij werken nauw samen met industrie en zijn erg succesvol geworden in het verwerven van externe fondsen. Dit is mede een noodzakelijk gevolg van het structurele tekort aan eerstegeldstroombudget en de sterk toenemende competitie voor projectvoorstellen bij NWO. Laboratoriumfaciliteiten staan onder druk: er kan slechts mondjesmaat in worden geïnvesteerd en een structureel onderhoudsbudget ontbreekt. Naast een versterking van de onderzoeksbasis (met aandacht voor gebieden die in het eerste Sectorplan Techniek niet aan bod gekomen zijn) is een actuele doelstelling het bijdragen aan strategische autonomie op het gebied van IC-technologie en energievoorziening.

Personeel, krappe arbeidsmarkt
Er is de afgelopen jaren nieuw personeel aangetrokken. Gezien de groei in aantallen studenten zal dat de komende tijd in een versneld tempo door moeten gaan. De krapte op de arbeidsmarkt maakt dat universiteiten moeten concurreren op geboden arbeidsomstandigheden. De groei van de discipline is daarom onlosmakelijk verbonden aan het bieden van kwalitatief hoogwaardige voorzieningen aan haar staf, en aan maatwerk en grotere variatie in de invulling van wetenschappelijke functies.

Technische Universiteit Delft

De faculteit EWI adresseert de discipline elektrotechniek in brede zin en heeft als zwaartepunten duurzame energie (van opwekking/conversie/transmissie tot power electronics, smart grids en systeemintegratie), onconventionele computing (waaronder quantum en neuromorphic computing), gezondheid (waaronder biomedische technologie en gerelateerde AI), gedistribueerde/autonome systemen, communicatie- en sensortechniek (met specifiek radar- en terahertztechnologie). Op het terrein van onderwijs rond biomedische technologie zijn er EE-georiënteerde tracks binnen de interfacultaire MSc-opleidingen Biomedical Engineering en Technical Medicine, maar ook verankeringen in tracks binnen de MSc-opleiding Electrical Engineering; jaarlijks betreft dit circa 75 afstudeerders.

Inhoudelijke prioriteiten (onderwijs en onderzoek)
- Versterken onderwijs: de faculteit richt zich op het vergroten van de studentinstroom (BSc) en het beheersen van de internationale instroom (MSc). Aanvullende staf is nodig om knelpunten te adresseren, bijvoorbeeld rond de bemensing van multidisciplinaire onderwijsprogramma's en de begeleiding van bachelor- en masterafstudeerprojecten. Inzet op challenge-based learning (geïntegreerde projecten) vraagt ook om additionele staf.
- Versterken onderzoek op nieuwe onderwerpen met potentie van multidisciplinaire samenwerking op onderwerpen uit de Kennis- en Innovatie-agenda's (KIA's).
- Verbeteren van de genderdiversiteit en de balans NL/internationaal bij aanstellingen (PhD, staf).

Activiteiten vanuit Sectorplan Techniek II
In Sectorplan Techniek II zet de faculteit in op wetenschappelijke staf met een gecombineerde onderzoeks- en onderwijstaak, technische ondersteuning, een pool van PhD studenten voor de zwaartepunten en interdisciplinaire samenwerking op de gekozen KIA's, en budget voor kleinschalige labinfrastructuur en materialen, om nieuw onderzoek op te kunnen starten.
De (voornamelijk) junior stafposities versterken de zwaartepunten uit het eerst sectorplan en worden tevens gekoppeld aan één van de KIA's in Sectorplan Techniek II. Deze posities verlichten ook de werkdruk rond onderwijs. De posities worden versterkt met een startpakket in de vorm van een PhD student uit de te vormen pool van promovendi. De faculteit voorziet de volgende 8 posities:
- Elektronische circuits: multidisciplinair sensor-ontwerp (biochemische sensoren); organs-on-chip,

quantum computing, edge/neuromorphic computing (4 posities).
- Signaalbewerking voor radar (1 positie).
- Duurzame energievoorziening, conversie, en AI voor smart grids (3 posities).

TUD Elektrotechniek heeft een student-stafratio van ongeveer 16:1 en verwacht dat dit door een toename van de bachelorinstroom doorgroeit naar 18:1 à 20:1 binnen een termijn van tien jaar.

Technische Universiteit Eindhoven

De faculteit Electrical Engineering EE van de TU/e is sterk in toepassingsgericht onderzoek in de onderwerpen medische technologie, energietransitie, mobiliteit en draadloze communicatie. Dit onderzoek wordt vaak samen met industrie uitgevoerd. De faculteit is eveneens sterk in het leggen van onderlinge verbanden tussen toepassingsgerichte thema's, via fundamenteel onderzoek in elektronica, regeltechniek en elektromagnetisme.

Inhoudelijke prioriteiten (onderwijs en onderzoek):
- Verdubbeling van het aantal afgestudeerden in de komende 5 tot 10 jaar.
- Groei van de staf met 50%, zodat de faculteit de huidige modus operandi kan continueren: een belangrijke rol voor projecten met industrie en behoud van de coöperatieve cultuur in een platte organisatie. De projectenportefeuille zal daarom ook met 50% moeten groeien.
- Uitbreiding van multidisciplinair onderzoek op relevante maatschappelijke thema's: medische technologie, energietransitie, mobiliteit en communicatie. Dat vraagt om uitbreiding van de lab-faciliteiten, en om onderhoud van de bestaande.
- Meer baanbrekende fundamenteel onderzoek op 'enabling technologies', zoals geïntegreerde hybride fotonica/elektronica, vermogenselektronica, en de convergentie van optische en draadloze communicatie.
- Versterking van de basis van de discipline (elektronica, signaalbewerking, regeltechniek, complexe systemen, kunstmatige intelligentie, elektromagnetisme).

Activiteiten vanuit Sectorplan Techniek II:
- De faculteit breidt de wetenschappelijke staf uit met 6 posities ten behoeve van de focusgebieden, vooral op het gebied van complexe energiesystemen.
- De faculteit investeert 40% van het budget in onderhoud van labinfrastructuur, om te beginnen in de laboratoria voor medische technologie.

De faculteit wil een aantal breed geformuleerde vacatures uitzetten, om zowel junior- als seniorstaf aan te trekken. Eén positie wordt samen met Mechanical en Civil Engineering gefinancierd om onderzoek te doen op het verbindende thema van technologische transities en duurzaamheid.
Een ander deel van de sectorplanmiddelen zal via een fonds gebruikt worden voor onderhoud en toegankelijkheid van de facultaire laboratoria. Deze laboratoria worden momenteel al zo goed mogelijk versterkt voor onderzoek en onderwijs, met bijbehorende staf (technici en docenten). De grootste stap is de herschikking van een veelheid aan medisch-technische experimentele opstellingen naar een enkel lab voor medische techniek met meer moderne mogelijkheden, dat het onderzoek zichtbaarder zal maken, de samenwerking met diverse ziekenhuizen zal versterken en onderwijsfuncties zal krijgen. Hiervoor zal op korte termijn een deel van het sectorplanbudget worden gebruikt.

De faculteit overweegt nieuwe onderwijsprogramma's aan te bieden in samenwerking met andere faculteiten. Dat is al gebeurd op het vlak van kunstmatige intelligentie en engineering, zal gaan gebeuren op het vlak van optics en semiconductors, en is in de toekomst ook mogelijk op het vlak van medische technologie. De faculteit voorziet een student-stafratio die stabiliseert op 11:1 à 12:1. Deze ratio geeft een vertekend laag beeld: De faculteit Electrical Engineering participeert in interdisciplinaire masteropleidingen waarvan de studenten bij andere faculteiten worden geteld. Het werkelijke studentenaantal ligt daarom hoger.



Universiteit Twente

De Universiteit Twente (UT) creëert met haar ‘high tech – human touch’ profiel maatschappelijke impact op basis van haar technologische expertise. Impactgebieden zijn gezondheid, (cyber)security, klimaat/energie. De discipline elektrotechniek van de faculteit Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science (EEMCS) draagt kernachtig bij aan deze prioriteiten vanuit haar brede technologische basis op het gebied van interactie tussen informatieverwerkende systemen en de fysische wereld. Sterktes zijn biochemische en fysische sensoren, medische systemen, chip-design en technologie, service en medische robotica, draadloze communicatie en vermogenselektronica. EE levert omvangrijke bijdragen aan andere onderwijsprogramma’s, met name Advanced Technology, Creative Technology, Embedded Systems, Robotics (de nieuwe opleiding die momenteel wordt uitgerold), Biomedical Engineering, en Technische Geneeskunde. De student-stafratio is 17,7:1, waarbij echter geen rekening wordt gehouden met de bijdrage van UT-EE aan de andere genoemde onderwijsprogramma’s. De onderwijsbelasting varieert over de groepen en is het grootst bij groepen die bijdragen aan de opleidingen Biomedische Technologie en Technische Geneeskunde. Er zijn goede banden met hogeschool Saxion, bijvoorbeeld op de gebieden robotica, nanotechnologie en additieve fabricage methoden.

Inhoudelijke prioriteiten (onderwijs en onderzoek):

- Verdubbeling van de BSc-instroom elektrotechniek tot ~200, mede door koppeling aan impactgebieden.
- Versterking van de EE-bijdrage aan applicatie-gerelateerde opleidingen als biomedische technologie en technische geneeskunde. Het aantal studenten van deze onderwijsprogramma’s zal verder groeien of stabiliseren. Op dit moment hanteert Technische Geneeskunde een numerus fixus van 150 studenten.
- Versterking van de koppeling van disciplinaire basisgebieden van EE (chip design, draadloze communicatie, biosensoren) en technische informatica (machine learning/AI, mens-machine interactie) met maatschappelijke prioriteiten, met name op gebied van technologie voor zorg in het dagelijks leven (e-health); versterking van de internationale positie van UT op dit gebied
- Versterking van samenwerking op gebied van e-health technologie in 4TU kader, onder ander in kader van 4TU programma Recentre (risk-based life style change – daily-life monitoring) dat UT coördineert.
- Goede balans tussen onderwijs en onderzoek van stafleden; versterken van diversiteit van staf en onderzoekers op gebied van met name gender, nationaliteit, leeftijd.

Activiteiten vanuit Sectorplan Techniek II

In het kader van dit sectorplan versterkt de faculteit de koppeling van de disciplinaire basis met maatschappelijke prioriteiten, met name op de impactprioriteit e-health technologie. Zij versterkt in dit kader de kerndiscipline EE op gebied van elektrisch geïntegreerd circuit ontwerp, biomedische sensoren, laagvermogen signaalbewerking en veilige communicatie, en de impactexpertise op gebied van e-health systemen en technologie. Het betreft 4 nieuwe stafposities (50/50 onderzoek en onderwijs), waarvan er 1 samen is met technische informatica. De samenwerking met Computer Science op dit impactgebied wordt versterkt met 2 informaticaposities op het gebied van machine learning en AI voor diagnostiek en mens-machine interactie met het oog op coaching op afstand. Alle posities zullen een startpakket hebben dat het mogelijk maakt een PhD-student aan te stellen, dan wel te investeren in infrastructuur. Op de langere termijn zal een fonds gevormd worden voor het structureel ondersteunen van de zwaartepunten met PhD's en labinfrastructuur.

Door de gekozen invulling zou de student-stafratio kunnen dalen naar ongeveer 18,4:1 bij gelijkblijvende studentenaantallen kunnen dalen (maar deze zal toenemen bij groeiende instroom). Wat betreft de genderbalans zijn we hoopvol om middels het gekozen e-health thema voldoende vrouwelijk talent aan te kunnen trekken.

Wageningen Universiteit en Research

(Departementen Agrotechnologie en Voedingswetenschappen; Plantwetenschappen en Omgevingswetenschappen)

Wageningen Universiteit en Research heeft haar basis in de agrotechnologie en voedings-wetenschappen en richt zich op de toepassing van elektrotechniek binnen geavanceerde primaire productiesystemen, verwerkings- en voedselproductiesystemen, en systemen die ingezet worden om water- en milieukwaliteit te verbeteren.

De discipline elektrotechniek draagt zo bij aan duurzame en circulaire oplossingen voor de grote maatschappelijke uitdagingen die liggen op het gebied van het voorzien van de wereld van voldoende en gezond voedsel, met verlaging van energieverbruik als drijvende kracht.

Inhoudelijke prioriteiten (onderwijs en onderzoek)

- Verhogen van de instroom van richtingen binnen agrotechniek en milieukunde.
- Opzetten van de MSc-opleiding 'Future Food' die multidisciplinair is en technologie als basis heeft.
- Groei van de wetenschappelijke staf en gemeenschappelijk optrekken van construerende en ontwerpende ingenieursdisciplines, zowel voor onderzoek als voor onderwijs.

Activiteiten vanuit Sectorplan Techniek II

Voor wat betreft elektrotechniek richten de departementen zich binnen het Sectorplan Techniek II op elektrificatie van processen die de primaire productie op het land verbeteren, (voedings)ingrediënten maken en verkrijgen, of bepaalde processen binnen milieukunde beter sturen. Hierbij is er een cross-over met werktuigbouwkunde en met technische informatica/data sciences.

In Wageningen gaat het om drie gedeelde stafposities, waarvan er één wordt opgepakt in gezamenlijkheid met technische informatica.

Over de student-stafratio op dit terrein is geen beschikbaar omdat er geen aparte opleiding elektrotechniek is. Over de hele universiteit ligt dit getal op 15,1:1.





2.5 Discipline Industrieel ontwerpen (IO)

Industrieel ontwerpen (IO) vormt de brug tussen techniek en maatschappij. Industrieel ontwerpers worden getraind om op een creatieve en methodische wijze individuele en collectieve belangen te vertalen naar technologisch slimme interventies, en vice versa. De Nederlandse IO-faculteiten zijn sterk ingebed binnen technische universiteiten. Daarnaast zijn ze verenigd in het 4TU.Centre Design United, waar stevig wordt samengewerkt, zowel onderling als met de nationale topsector Creatieve Industrie en TKI CLICKNL. Vanuit die samenwerking is onder meer de Key Enabling Methodologies (KEM) agenda ontwikkeld waarmee de discipline een breed erkende bijdrage levert aan het *Missiegedreven Innovatiebeleid*[18].
Elk van de vier IO-faculteiten heeft haar eigen zwaartepunt en kracht. Zo richt IO-WUR zich op voeding en duurzaamheid; staat IO-TU/e bekend om haar focus op digitale techniek en mens-computerinteractie; profileert IO-UT zich door haar inbedding in een brede engineering faculteit binnen een universiteit waar ook sociale en gedragswetenschappen een thuis hebben; en heeft IO-TUD de kritieke massa en breedte om te werken aan de theoretische fundamenten van de discipline. Hoewel de IO-faculteiten op deze wijze scherpe keuzes maken *(zie tabel 9)*, kiezen zij ook nadrukkelijk en met dezelfde scherpte voor een holistische en integratieve benadering: ieder bieden zij een omgeving waar onderzoek naar en onderwijs in ontwerpen geïntegreerd aan bod komt, inclusief relevante toepassingsdomeinen. De verwevenheid tussen onderzoek en onderwijs staat hierin centraal. Deze krijgt onder andere haar beslag middels aanstellingen van praktijkdocenten: ontwerpers met aanzienlijke ervaring in academia, die hun eigen ontwerpbureau zijn gestart en vanuit die hoedanigheid in deeltijd college geven aan onze studenten. Een ander voorbeeld wordt gevormd door de Design Labs, waarin op structurele wijze de verbinding wordt gelegd tussen het nationale en regionale bedrijfsleven, toponderzoekers en afstuderende studenten. De impact van de discipline laat zich het best beschrijven in termen van de goede arbeidsmarktkansen voor onze alumni. Zij zijn veelgevraagd binnen zowel de industrie, ontwerpbureaus, als – in sterk toenemende mate – binnen lokale en landelijke overheden. Deze populariteit vertaalt zich in een sterke vraag van aankomende studenten naar IO-opleidingen die het aanbod al jaren veruit overstijgt. Als gevolg hiervan hebben verschillende van onze opleidingen een numerus fixus moeten instellen; een noodzakelijke maar niet gewenste rem op de bijdrage die de discipline aan de maatschappij kan leveren.

De discipline IO-NL staat al geruime tijd onder zware druk. We zien de volgende knelpunten:

- Werkdruk in onderwijs. Ontwerponderwijs is van nature arbeids- en tijdsintensief door gerichte samenwerking met stakeholders en door coachende onderwijsvormen in relatief kleine groepen. Hierdoor is de daadwerkelijke onderwijslast in de IO-faculteiten hoger dan wat de gepresenteerde student-stafratio's weergeven. Medewerkers gaan gebukt onder een hoge werklast. Dit zet niet alleen ontwerponderzoek onder druk, maar ook de innovatie van ontwerponderwijs.
- De kennisbasis is verschoven. Met de KEMs heeft de IO-discipline een stevig fundament gelegd om bij te dragen aan de grote maatschappelijke missies en transities. Er is echter veel meer kennis nodig om die methodologische basis 'evidence-based' in te zetten om zo een sleutelrol te gaan spelen in een context van grote maatschappelijke opgaven en snelle ontwikkelingen in technologie.
- Toegang tot technologie. Om de mogelijkheden van zich steeds sneller aandienende nieuwe technologieën, zoals AI, AR/VR, nieuwe materialen en productieprocessen, te vertalen naar betekenisvolle en mensgerichte toepassingen en andersom, is snelle toegang tot, diep begrip van en directe participatie binnen techniekontwikkeling essentieel. De integratie van de sectorplannen voor de construerende technische wetenschappen en de ontwerpende ingenieurs-wetenschappen onderstreept deze notie.

Dit sectorplan maakt onze discipline 'future proof'. Hiertoe wordt de discipline versterkt met nieuwe wetenschappelijk hoogstaande, didactisch onderlegde en technisch professionele staf, gericht op thematische gebieden die cruciaal zijn voor de discipline *(zie tabel 9)*. Hiermee dragen we zorg voor de zeer noodzakelijke verlichting van de onderwijslast, geven we ons onderzoek de benodigde verdieping en dragen we direct en effectief bij aan de vorming van een nieuwe generatie IO-studenten tot volwaardige transitie-ontwerpers in een hoogtechnologische omgeving.

[18] *https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/11/11/kamerbrief-innovatie-en-impact*

Naast verlichting van de onderwijsdruk stelt deze investering ons in staat om nieuw onderwijs vorm te geven: de meerderheid van onze BSc- en MSc-programma's wordt momenteel diepgaand herzien om de nieuwste technologische en maatschappelijke ontwikkelingen en ontwerpinzichten te accommoderen. Daarnaast gaan de vier IO-faculteiten een gezamenlijke Research School oprichten, die op PhD-niveau onderwijs gaat verzorgen aan onze gezamenlijke promovendi (ook PDEng-kandidaten zullen de mogelijkheid krijgen delen van dit onderwijs te volgen). Dit initiatief maakt gebruik van de afzonderlijke krachten van de faculteiten, de diepgewortelde onderlinge samenwerking en onze stevige verankering in het techniekdomein. De nieuw aan te nemen wetenschappelijke staf zal nadrukkelijk betrokken worden bij het optuigen van dit PhD-onderwijs, samen met meer ervaren collega's. Deze research school zal onze zelforganisatiegraad, die al op hoog niveau is, een aanzienlijke impuls geven.

Met de sectorplanmiddelen willen we de discipline methodologisch versterken op de volgende Key Enabling Methodologies categorieën[19]:

- **Systeemverandering.** Er is een groeiend besef dat ontwerpers op systemisch niveau moeten acteren willen ze werkelijk bijdragen aan maatschappelijke transities. Wat betekent dit voor het ontwerpproces? Meer kennis en methoden rond systemisch ontwerp zullen de effectiviteit van ontwerpers in het aanpakken van maatschappelijke opgaven versterken.
- **Experimenteeromgevingen.** Voor de KIA Sleuteltechnologieën is momenteel een breedgedragen programma in ontwikkeling. Kern is het in kaart brengen en meetbaar maken van best practices voor het opzetten en uitvoeren van innovatie-experimenten in bijvoorbeeld fieldlabs, digital twins en virtual reality omgevingen. De discipline industrieel ontwerpen gaat een belangrijke bijdrage leveren aan deze ontwikkelingen.
- **Monitoring en Effectmeting.** Om meer evidence-based te kunnen opereren is het van groot belang dat ontwerpers de gedrags- en maatschappelijk effecten van hun interventies kunnen voorspellen en monitoren. In de komende jaren voorzien we een forse vraag naar impact en effectmeting, in het kader van de lopende transitie-opgaven.

In termen van Key Performance Indicators is het duidelijk waar onze discipline zichzelf ziet op middellange (6 jaar) en langere termijn: los van de beoogde wetenschappelijke vernieuwing op de benoemde KEMs en thema's, gaat het daarnaast nadrukkelijk over de terugkeer van enige mate van rust en ruimte. De impuls die van het sectorplan uitgaat, helpt ons om onze student-staf-ratio's met 5-10% te reduceren. Op het gebied van genderdiversiteit scoort onze discipline sterk boven het gemiddelde in het techniekdomein. Maar ook wij hebben hier verdere stappen te zetten. Wij richten ons op een gezamenlijke toename van 3-5 procentpunt in vrouwelijke wetenschappelijke staf, onder andere door gebruik te maken van de mogelijkheden die de Erkennen en Waarderen programma's bieden. Ook gaan wij inzetten op het werven van zogenaamde eerstegeneratiestudenten, voor wie onze discipline binnen het portfolio van technisch-wetenschappelijke opleidingen een aantrekkelijke propositie biedt.. Gegeven het ontbreken van heldere data hieromtrent, is het nog niet mogelijk hieraan een streefcijfer te verbinden. Middels de op te richten Research School en het daarin geboden doctoraatsonderwijs (wij zien deze ontwikkeling op zichzelf ook als KPI), verwachten wij bij te dragen aan een reductie met 5% van de doorlooptijden van onze promotietrajecten.





[19] *https://kems.clicknl.nl*

Tabel 9. Verdeling van de door dit sectorplan te versterken zwaartepunten binnen subdisciplines van industrieel ontwerpen.

Specialisaties per instelling

Disciplinaire Zwaartepunten	TUD	TU/e	UT	WUR
Ontwerp voor gezondheid en welzijn	Ontwerpen voor nieuwe arts-patiënt relaties	Data-gebaseerd ontwerpen voor gezondheid en welzijn		
Duurzaam ontwerp & circulaire economie			Experimentele maakomgevingen voor duurzaamheid en circulariteit	Duurzame voedsel-verpakkingen; Acceptatie van duurzame voeding
Design voor gedragsverandering en sociale transformatie	Ontwerpen voor conflicterende waarden; Ontwerpen voor transities		Ontwerpende exploratie van toekomsten; Acceptatie door participatie; Evaluatie en validatie van interventie-effecten op systeemniveau	Effect van informatie op duurzaam gedrag
Mensgerichte artificiële intelligentie	AI in het ontwerpproces; Ontwerpen van machinegedrag	Het ontwerpen van mens-gerichte AI systemen		
Foundations: theory & methodology	Systemisch ontwerpen			

Technische Universiteit Delft

De faculteit Industrieel Ontwerpen in Delft is leidend (geweest) in deelgebieden als design methodologie, en ontwerp voor gezondheid en welzijn. In lijn met ontwikkelingen in het vakgebied – het verbreden van ontwerpen van consumentenproducten voor de industrie naar het bijdragen aan maatschappelijke vraag-stukken door middel van design-processen en interventies – heeft de faculteit recentelijk een nieuwe onderzoeksstrategie ontwikkeld met een nieuwe missie. Deze missie is vertaald in Strategic Research Area's (SRA's) voor fundamenteel en methodologisch onderzoek, gekoppeld aan impactdomeinen voor toegepast onderzoek op maatschappelijke vraagstukken. Deze ontwikkeling vindt haar weerslag in de grootschalige herziening van de Delftse IO-onderwijsprogramma's.

Met de huidige sectorplanmiddelen richten we ons op het versterken van de theoretische fundamenten voor ontwerpen (2 posities), de rol van kunstmatige intelligentie voor ontwerpprocessen (2 posities), en het ontwerpen voor gedrags- en systeemtransities (3 posities). Voor wat betreft de impactdomeinen leggen we de nadruk op gezondheid en welzijn (2 posities). Deels vereist dit een uitbreiding in wetenschappelijke staf, waarmee we in belangrijke mate gaan bijdragen aan onze kennisbasis, met bijzondere aandacht voor de eerder genoemde KEM-categorieën. Daarnaast beoogt de faculteit door wetenschappelijke staf met een prevalentie op onderwijs in te zetten op (onderzoek naar) didactisch/methodologische versterking van haar onderwijs. Ook gaat de faculteit met deze sectorplanmiddelen de technische ondersteuning versterken ten behoeve van het maken van technologisch geavanceerde prototypes.

Technische Universiteit Eindhoven

De faculteit Industrial Design (ID) van de Technische Universiteit Eindhoven positioneert zich strategisch op het snijvlak van design, human computer interaction (HCI) en technologie. ID verricht baanbrekend ontwerponderzoek naar de esthetiek van interactie, tangible en embedded interactie en draagbare techno-logie; en stelt ontwerpen en realiseren voor als een manier om kennis te genereren, door research-through-design uit te voeren. Binnen de TU/e vindt ook onderzoek en onderwijs in IO plaats in een deel van de faculteit Industrial Engineering and Innovation Sciences (IE&IS).

Verschillende knelpunten belemmeren de ambitie van de faculteit. Ten eerste staat de faculteit permanent onder zware onderwijsdruk, met een student-stafratio tussen 21:1 en 22:1 en een aantal gerealiseerde EC's/staf van tussen de 950 en 1000. Deze aanhoudend hoge werkdruk heeft een negatief effect op de onderwijskwaliteit, leidt tot onvoldoende tijd om onderzoek te doen en schaadt de gezondheid en het welzijn van het personeel. Ten tweede rakenn getalenteerde tenure trackers gefrustreerd doordat zij niet snel genoeg aan hun veelbelovende onderzoeksthema's kunnen beginnen, maar eerst een lang, zeer competitief en uiterst onzeker proces moeten doorlopen om voldoende financiering te verwerven. Ten derde heeft de faculteit steun nodig om het heersende dilemma op te lossen: moeten we ofwel een numerus fixus opleggen met het oog op het onderwijs, dan wel een numerus fixus opgeven om tegemoet te komen aan de maatschappelijke behoeften aan ontwerpingenieurs die een brug kunnen slaan tussen technologieën en maatschappelijke uitdagingen?

Met de financiering uit het Sectorplan Techniek II wil de faculteit haar reputatie op het gebied van onderzoek versterken en de genoemde knelpunten aanpakken. De faculteit zal zich richten op geselecteerde onderzoeksgebieden, waaronder het ontwerpen van mens-AI systemen (ID: 3 posities; IE&IS: 1 positie), making/prototyping als vorm van kennisgeneratie (ID: 1 positie), en data-enabled/driven design voor gezondheid en welzijn (ID: 1 positie; IE&IS: 1 positie). Om de knelpunten aan te pakken wil de faculteit de werkdruk verminderen door uitbreiding van de capaciteit, snellere loopbaanontwikkeling mogelijk maken door startpakketten aan te bieden, en hands-on onderzoek ondersteunen door te investeren in gezamenlijke onderzoeksfaciliteiten met technisch-ondersteunend personeel.

Universiteit Twente

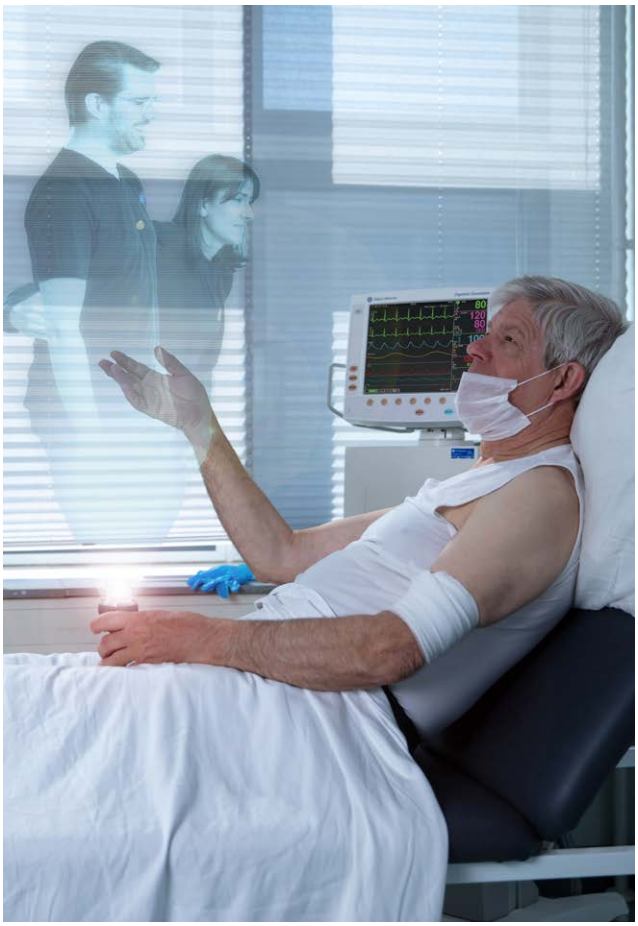
De discipline IO is aan de Universiteit Twente (UT) ingebed binnen de faculteit Engineering Technology waaronder ook de disciplines werktuigbouwkunde en civiele techniek vallen. Deze drie disciplines vallen binnen dit Sectorplan Techniek II. De inbedding in één organisatorische eenheid stimuleert samenwerking en de interdisciplinaire aanpak van maatschappelijke uitdagingen. Als onderdeel van een relatief kleine universiteit met zowel technische als maatschappijwetenschappelijke disciplines zijn de lijnen naar de andere faculteiten bovendien kort.
We zijn daardoor in staat om vanuit een sterke basis in de technische wetenschappen de verbinding te leggen met gedrags-, bedrijfs- en sociale wetenschappen. Deze uitgangspositie past bij de discipline IO en stelt haar aan de UT in staat de relatie tussen mens en technologie centraal te stellen. Vanuit deze basis draagt IO-UT bij aan complexe maatschappelijke uitdagingen door de ontwikkeling van innovatieve ontwerpmethodes en praktijken. De nadruk ligt hierbij op uitdagingen op het gebied van sociale transformatie, gezondheid (zowel preventie als zorg), en duurzame, slimme productietechnologie.

De discipline IO aan de UT heeft de ambitie de kwaliteit en het aanbod van onderwijs te vergroten door opleidingen te (her)ontwikkelen, zowel binnen de Industrial Design Engineering (IDE) opleidingen en in lifelong learning als op het gebied van transdisciplinair onderwijs. Waar hier door de ontwikkeling van de Transdisciplinary Master-Insert in samenwerking met het DesignLab al een basis ligt, is er vraag naar additionele stafcapaciteit om transdisciplinair werken ook binnen de bestaande opleidingen IDE structureel aandacht te geven. Om de huidige strategische onderzoekslijnen door te ontwikkelen is versterking van onderzoekscapaciteit essentieel. Door in te zetten op nieuwe UD-posities die versterkt worden met starterspakketten wordt zowel de onderzoeks- als onderwijscapaciteit versterkt. Hierbij richten we ons op (uitdagingen op het gebied van) sociale transformatie (2 posities), gezondheid (zowel preventie als zorg) (2 posities) en duurzame, slimme productietechnologie (1 positie). Het complementeren van de UD-posities met starterspakketten (PhDs & reisbudget) bevordert het aantrekken van talent alsook samenwerkingen binnen de gekozen focusgebieden.

Wageningen Universiteit en Research

Binnen het sectorplan stelt Wageningen Universiteit en Research 'Voeding vanuit inclusieve perspectieven' centraal. De WUR-posities van het Sectorplan Techniek II waarin IO een belangrijk onderdeel is, zijn te vinden binnen de disciplines agrotechnologie en voedingswetenschappen, en technische bedrijfs- en bestuurskunde.









2.6 Discipline Luchtvaart- en ruimtevaarttechniek (L&R)

De discipline luchtvaart- en ruimtevaarttechniek (L&R) richt zich in eerste instantie op de specifieke vraagstukken die spelen in de luchtvaart en ruimtevaart. De belangrijkste ontwikkelingen in de luchtvaart betreffen het terugdringen van de klimaatimpact, de hiervoor noodzakelijke verduurzaming (energietransitie) en efficiëntieverbetering. Dit is ook het onderwerp dat door deze discipline in Nederland met name wordt geadresseerd. De kennis die wordt opgebouwd op het gebied van efficiënte vleugelprofielen en luchtstroming wordt eveneens toegepast voor de ontwikkeling van windmolens en windparken en voor het terugdringen van geluidsoverlast daarvan. Op het gebied van ruimtevaart speelt de ontwikkeling van nieuwe technologieën voor onder meer aardobservatie (klimaatmonitoring, passend bij de doelstellingen van duurzame luchtvaart) en veilige communicatie met behulp van lasers een centrale rol. Al deze vraagstukken zijn per definitie multidisciplinair van aard, hetgeen zijn weerslag vindt in de opleiding van studenten in luchtvaart- en ruimtevaarttechniek. Dit impliceert dat de studenten naast een diepgaande opleiding in technische vakken ook geleerd wordt zaken in een breder verband te zien, waarbij de onderlinge samenhang en interactie tussen verschillende aspecten van groot belang is. De systems engineering aanpak die hiervoor nodig is, is van grote betekenis voor tal van industrieën en organisaties. Dit leidt ertoe dat afgestudeerde L&R-ingenieurs graag gezien zijn in andere sectoren, zoals de halfgeleiderindustrie.

Landelijke verdeling

In Nederland heeft alleen de TU Delft een aparte faculteit gericht op deze discipline. Deze faculteit heeft een sterk werktuigbouwkundig karakter met onder meer stromingsleer, materiaaltechnologie, en regeltechniek, maar richt zich ook op operationele processen zoals luchtruimindeling, verkeersstromen in de lucht en op de grond. De faculteit beschikt over een uitgebreid arsenaal aan experimentele opstellingen, waaronder diverse windtunnels, dronelabs, laboratoria voor materiaalproeven, een 6-vrijheidsgraden simulator en – samen met NLR – een eigen vliegtuig. Deze opstellingen worden allen ook ingezet voor het onderwijs.

Hiernaast heeft de Universiteit Twente een double degree opleiding Werktuigbouwkunde, waarbij jaarlijks een klein aantal studenten tevens een MSc degree Aeronautics and Mechanical Engineering krijgt van Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) in Brazilië.



Technische Universiteit Delft

De faculteit L&R in Delft richt zich op de transitie naar een zo klimaatneutraal mogelijke luchtvaart. Stromingsleer en windenergie zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden en een grote sectie van de faculteit richt zich dan ook ontwikkelingen in de (offshore) windenergie, met drijvende windturbines en lokale waterstofproductie. Op gebied van de ruimtevaart is de faculteit kenniscentrum op het gebied van de astrodynamica (baanberekeningen voor missies van ESA) en een pionier op het gebied van zogenaamde nanosatellieten (formaat melkpak of kleiner). Met dank aan het eerste Sectorplan Techniek is een start gemaakt met de opbouw van een sectie op gebied van ruimte-instrumentatie in nauwe samenwerking met het Nederlandse ruimtevaartecosysteem, dat een leidende rol heeft op het gebied van aardatmosfeerobservatie. Hoogwaardig onderwijs gaat hand in hand met bovenstaande onderzoeksgebieden.
Het onderzoek en ook het onderwijs van de faculteit vindt plaats in nauwe samenwerking met andere faculteiten en disciplines binnen en buiten de TU Delft, onder meer op het gebied van werktuigbouwkunde, AI, elektrotechniek, en procestechnologie, bijvoorbeeld voor de productie van synthetische brandstoffen. Ook zijn er samenwerkingsverbanden met de Hogeschool InHolland en de Hogeschool van Amsterdam. De ambitie is om deze te versterken.

Knelpunten

Uitdagingen waar de faculteit L&R aan TUD mee wordt geconfronteerd zijn met name 1) hoge werkdruk ten gevolge van de hoge student-stafratio, 2) extreem hoge aanmeldingscijfers die vijf keer hoger zijn dan de capaciteit, met daarbij een sterk toenemende belangstelling voor ruimtevaart 3) toenemend gebrek aan collegezalen en practicumruimtes, 4) het niet voldoende snel kunnen aantrekken van nieuw wetenschappelijk personeel en docenten 5) huisvestingsproblematiek, die het aantrekken van nieuwe medewerkers nog lastiger maakt.
De punten 1 en 4 hebben wij reeds deels kunnen adresseren dankzij eerder ontvangen middelen uit het eerste Sectorplan Techniek, de Van Rijn-gelden en de studievoorschotmiddelen. Er is hierbij met name geïnvesteerd in de begeleiding van MSc-studenten en BSc-studenten in de laatste fase van hun opleiding (Ontwerp Synthese Oefening). Tevens is er een grote stap gezet in het verbeteren van de genderdiversiteit onder UD, UHD en HL, die tussen 2018 en 2021 is gestegen van 14% naar 22% vrouwen.

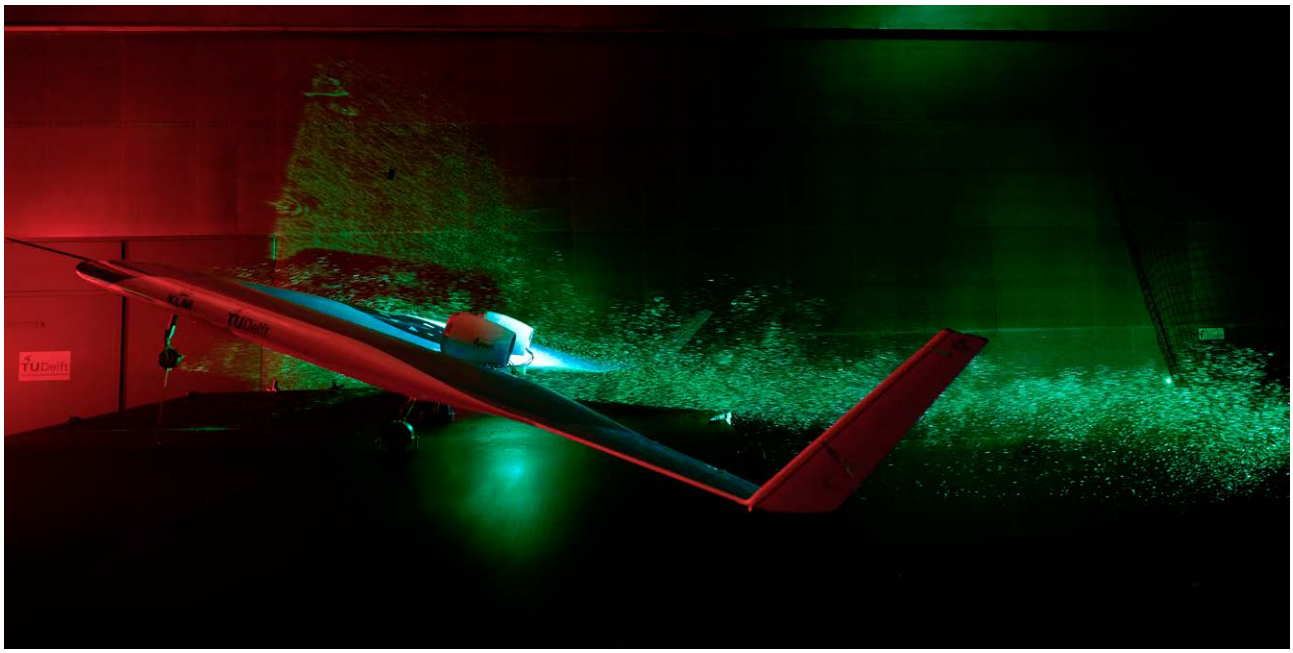
Doelstellingen

- Op termijn de numerus fixus voor BSc-studenten verhogen van 440 naar 600 per jaar. Het beschikbare sectorplanbudget alleen is echter bij verre ontoereikend om dit te realiseren.
- Versterking van onderwijs en onderzoek gericht op radicale veranderingen ten behoeve van duurzame luchtvaart (zoals waterstof- en voortstuwingstechnologie, elektrificatie).
- Uitbreiding Space Engineering afdeling in verband met toenemende onderwijsvraag en met name gericht op instrumentatieontwikkeling voor waarneming van de aardatmosfeer.
- Verdere verbetering van (gender)diversiteit. Streven is minimaal 33% vrouwelijke posities in het kader van dit sectorplan.
- Intensievere samenwerking met HBO, mede gericht op het keren van de dalende instroomtrend bij het HBO.
- Bijdrage leveren aan vergroten aantrekkingskracht van een studie in een technische richting onder scholieren.

Activiteiten in het kader van Sectorplan Techniek II

- Gefaseerde groei van UD's en indien mogelijk UHD's (in totaal 7), gericht op duurzame luchtvaart. Deze posities zijn met name gericht op de overgang naar waterstof als energiedrager en de impact hiervan op vliegtuigontwerp, materialen en voortstuwing, en op ruimtevaart/aardobservatie. Speciaal aandachtspunt van nieuwe UD's betreft de ontwikkeling van nieuwe onderwijstechnieken gericht op vergroting van onderwijscapaciteit bij gelijkblijvende onderwijsfaciliteiten.
- Een bijbehorende pool van promovendi/postdocs (als onderdeel van startpakketten)
- Drie (gepromoveerde) technici, mede in te zetten op versterking van het onderwijs
- Lab-infrastructuur (gedurende looptijd van 6 jaar in totaal circa 1 M€).




TU Delft



2.7 Discipline Ontwerp van de gebouwde omgeving (OGO)

OGO is een toegepast wetenschapsgebied dat zich bezighoudt met de analyse, het ontwerp, de techniek, de planning en het beheer van de gebouwde omgeving. De discipline omvat architectuur, stedenbouw, landschapsarchitectuur, bouwtechniek, bouwmanagement, ruimtelijke ordening en planning. Hiermee beslaat het ontwerp van de gebouwde omgeving alle aspecten van het ruimtelijke ontwerp van heel Nederland. Dat vraagt om het ontwikkelen, uitdragen en toepassen van nieuwe kennis en het verbinden met aanpalende vakgebieden. Het onderzoek en onderwijs binnen OGO richt zich op het verbeteren van het ontwerp, de prestaties en beleving van gebouwen, buurten, wijken, steden en regio's om vanuit een wetenschappelijke basis invulling te geven aan de wensen, eisen en verwachtingen van eigenaren, gebruikers en de samenleving als geheel.

Nederland staat voor een grote verbouwing over de volle breedte van het land. Alle grote transities en complexe uitdagingen van deze tijd raken de gebouwde omgeving: de energietransitie en klimaatadaptatie, circulariteit en duurzaamheid van de bestaande woningvoorraad en infrastructuur, woningbouwcrisis, duurzame en slimme verstedelijking, gezonde leefomgeving, gebouwen voor de gezondheid(szorg), toekomstbestendig erfgoed, en een duurzaam ontworpen landelijk gebied. Het ontwerp van de gebouwde omgeving (OGO) heeft daarmee een cruciale rol in het kader van de leefbaarheid en toekomstbestendigheid van Nederland als geheel.

Het vakgebied zelf zal moeten innoveren om invulling te geven aan nieuwe kennisvragen, waar gelijktijdig een hoge maatschappelijke urgentie is, denk aan de uitbreiding van de woningvoorraad (nieuwbouw), en het opwaarderen van de bestaande gebouwde omgeving met het oog op de grote transities (herbestemming, circulariteit, duurzaamheid, energietransitie, et cetera) en nodige herstructurering in het landelijke gebied (zoals stikstof, energieopwekking, wateropgave). Het is hierbij essentieel dat ontwerpende ingenieurswetenschappen gecombineerd worden met geesteswetenschappen, bestuurskunde en sociale wetenschappen.

Om innovatie in het vakgebied mogelijk te maken, zal het ontwerp van de gebouwde omgeving in toenemende mate vanuit ontwerpend onderzoek gebruik maken van nieuwe key enabling technologies en key enabling methodologies, waaronder digitalisering, kunstmatige intelligentie, virtual/augmented/mixed reality. Dit vergt een extra inspanning voor de ontwikkeling van kennis, vaardigheden, onderwijsmiddelen, en didactische methodes. Tegelijkertijd kampt het domein sinds jaren met groeiende aantallen studenten die in sommige universiteiten zelfs worden gereguleerd met een numerus fixus, terwijl de maatschappelijke uitdagingen juist tot een grotere vraag naar goedopgeleide ingenieurs leiden.

Uitdagingen voor de betrokken universiteiten:

- Innovatie binnen het onderwijs en opleidingsaanbod: er is behoefte aan ingenieurs die in staat zijn om vanuit geschiedenis, context en theorie te denken en gebruik maken van nieuwe key enabling technologies om daarmee de complexe uitdagingen integraal te adresseren en het land leefbaar en toekomstbestendig te maken. Dit vereist innovatieve, structurele aanpassingen aan het onderwijsprogramma.
- Onderzoeksprofielen aanscherpen: de grote transities vragen om versterking en uitbreiding van de ontwerpende onderzoekscapaciteit om antwoord te kunnen geven op de (inter)nationale kennisvraag en urgente knelpunten binnen de gehele gebouwde omgeving.
- Structurele middelen: de discipline heeft een cruciale rol in het kader van de leefbaarheid en toekomstbestendigheid van Nederland als geheel. Ontwerp heeft echter geen fundamentele plaats in de programma's en fondsen van overheid en NWO. Als gevolg hiervan zijn de noodzakelijke middelen voor de ontwerpende disciplines niet goed toegankelijk.

De sectorplanmiddelen worden ingezet op het verder ontwikkelen van kennis en het opnemen daarvan in het onderwijs ten aanzien van volgende aspecten:

- Investeringen in kleinschalig ontwerpgericht onderwijs, verbonden met wetenschappelijk multidisciplinair onderzoek. Dat betekent investeren in zowel docenten als wetenschappelijke staf.
- Innovatie en digitalisering in fysiek en institutioneel ontwerp van gebouwen, buitenruimte, infrastructuur en

landschappen. Hieronder valt onderzoek naar en ontwikkeling van ontwerpmethodologieën, concepten, en oplossingen voor verstedelijking en de inrichting van het agrarisch landschap met oog op duurzaamheid en klimaatadaptatie, multifunctioneel ruimtegebruik, de integratie van infrastructuursystemen, gezondheidszorg, en erfgoedbenaderingen vanuit een circulariteitgedachte. Dit betekent het investeren in wetenschappelijke staf en de ondersteuning hiervan vanuit het perspectief van digitalisering en verandering.

- Investeringen in (living or digital) labs, materialen, technisch-ondersteunende staf, burgerparticipatie en open science om tegemoet te komen aan het experimenterende en iteratieve karakter van ontwerpende ingenieurswetenschappen.
- Structurele fondsen voor promovendi en postdocposities om doelgericht een versnelling te geven aan nieuwe kennisverwerving op de zwaartepunten, bijvoorbeeld als onderdeel van startpakketten voor nieuw aangesteld wetenschappelijk personeel of om strategisch in te zetten om gericht groepen te versterken als de balans binnen een faculteit of vakgebied hier om vraagt.

Ontwerp van de gebouwde omgeving bevat de subdisciplines architectuur, stedenbouw en landschapsarchitectuur. Op deze terreinen is binnen vijf Nederlandse universiteiten internationaal hoogstaande expertise opgebouwd. Landelijke afstemming over zwaartepunten, onderwijs en onderzoek tussen de betrokken faculteiten vindt plaats in 4TU.Bouw-verband.



Tabel 10. Weergave van subdisciplines zoals geformuleerd in het nationaal Sectorbeeld Ontwerpende Ingenieurs-Wetenschappen (2021; m.u.v. 'interieurarchitectuur' dat hier vanwege de beperkte omvang buiten beschouwing is gelaten). Zwaartepunten die versterkt worden met middelen uit Sectorplan Techniek II zijn cursief bold weergegeven.

Specialisaties per instelling

Zwaartepunten OGO	**TUD**	**TU/e**	**UT**	**WUR**	**RUG**
Architectuur	***Participatory and social design***				
	Circular building technologies				
	Reuse; transformation and heritage				
	Data driven building design				
		Digitized design and construction technologies			
	History and theory				History and theory
Stedenbouw	***Planning and urban data sciences***	***Planning, real estate and urban systems***			Urban design
	Governance *(housing/real estate)*		Governance of transformation		Governance of transformation
	Climate adaptive urban design				
	Healthy and inclusive environments	Healthy and inclusive environments			***Healthy and inclusive environments***
	Transport and mobility *(infrastructure design)*	Transport and mobility *(behavioural modelling)*	Transport and mobility		***Transport and mobility***
	Transformative and participatory design				
Landschaps-architectuur	***Delta (re-)design***				Coastal zones
	Regional urban-rural planning		Regional urban-rural planning		
	Climate adaptive landscape design		***Climate adaptive landscape design***		
	Geo-data and modelling sciences				
			Landscape and infrastructure		***Landscape and infrastructure***
	Regional governance			***Regional governance***	

De discipline ontwerp van de gebouwde omgeving omvat in Nederland de faculteit Architecture and the Built Environment van de TU Delft, (een deel van) de faculteit Built Environment van de TU Eindhoven, het Expertise Team Spatial Analysis and Design binnen de faculteit Ruimtelijke Wetenschappen van de Rijksuniversiteit Groningen, de groep Landschapsarchitectuur en Ruimtelijke Planning aan de Wageningen Universiteit en Research en de groep Integrated Project Delivery aan de Faculteit Engineering Technology van de Universiteit Twente.

Het onderwijs en het onderzoek van de TU Delft omvat het gehele spectrum van ontwerp, engineering, planning, management en data science voor gebouwen, interieurs, openbare ruimte, stadsdelen, steden, regio's en landschappen, inclusief de bijbehorende theorie en geschiedenis.
De TU Eindhoven richt zich op het integraal ruimtelijk ontwerp van gebouwen en steden (architectonisch en stedenbouwkundig design en engineering, stedelijke planning en mobiliteit, living cities, methodologie en morfologie van het ruimtelijk ontwerp, architectuurgeschiedenis en -theorie, vastgoed en stedelijk beheer) en rol van digitalisering binnen het ruimtelijk ontwerp (smart architectural technologies, design



and decision support systems, AI information systems). De opleiding combineert technologie met ontwerpmethodologie.

De Rijksuniversiteit Groningen brengt in haar onderzoek en onderwijs fysiek en institutioneel ontwerp bij elkaar teneinde hoogwaardige ruimtelijke transformaties tot stand te brengen.
Wageningen Universiteit en Research werkt vanuit een gedegen kennisbasis van natuurlijke systemen (bodem, water, lucht, flora en fauna) die wordt vertaald in integrale en innovatieve ontwerpen voor stedelijke en rurale landschappen via een ‘Research Through Design’ aanpak. De Universiteit Twente houdt zich bezig met het ontwerp van bouwprocessen en de samenwerking tussen publieke en private partijen in de gebouwde omgeving om transities in de gebouwde omgeving te ondersteunen. De multidisciplinaire opleiding heeft een focus op het ontwerp van integrale ontwerpoplossingen in de praktijk.

De discipline ontwerp van de gebouwde omgeving was geen onderdeel van het eerste Sectorplan Techniek.

Technische Universiteit Delft

TU Delft's faculteit Bouwkunde (Architecture and the Built Environment) kent een breed en uniek academisch profiel dat ontwerp, techniek, planning, management en geodata combineert. Zo komen we tegemoet aan de ruimtelijke wensen en behoeftes van de maatschappij: woning, wijk, stad, regio en landschap. De faculteit onderkent drie grote uitdagingen op dat vlak: de klimaatcrisis, de schaarste aan grondstoffen en de sociaal-maatschappelijk ongelijkheid in steden. Dat vertaalt zich in zes centrale thema's of opgaves voor onderwijs en onderzoek:

- De duurzame stad: verstedelijking, woningbouwopgave;
- Gezondheid in stedelijk gebied: binnenklimaat van gebouwen, openbare ruimte, bewegen;
- Toekomstgericht erfgoed: zorg voor de culturele waarde van gebouw, stad en landschap;
- Digitalisering en kunstmatige intelligentie: de impact op ontwerp en gebruik van ruimte;
- Klimaatadaptatie en energietransitie: omgaan met wateroverlast, hitte en de omgang met hernieuwbare energie;
- Circulariteit: het in de kringloop brengen van materialen die ingezet worden in de bouw.

Daarbij heeft de faculteit met oog op het sectorplan vier 'flagship'-initiatieven benoemd die nauw verbonden zijn met de voorgenoemde thema's:

- The New Open: de transitie onder invloed van open data en digitalisering en AI;
- Materials & Design: ontwerpen met bio-based en circulaire materialen;
- Redesigning the Delta: klimaatbestendig maken van de Nederlandse verstedelijkte delta;
- Ruimte voor wonen: het voorzien in de nieuwe woonopgave.

Bouwkunde ondervindt specifieke knelpunten in onderzoek en onderwijs:

- **Capaciteit en werkdruk:** De faculteit is al jaren genoodzaakt een numerus fixus te hanteren. De middelen en de mensen zijn momenteel niet toereikend om te voldoen aan de vraag naar onderwijs.
- **Financiering van promotieplaatsen voor Nederlandse studenten:** Delft is internationaal een gewilde plek om PhD-onderzoek te doen en een doctorstitel te verwerven. In veel landen bestaan beurzen waar studenten een beroep op kunnen doen. Jonge mensen met de Nederlandse nationaliteit hebben deze mogelijkheid niet. Financiering via NWO is beperkt.
- **Diversiteit:** Bouwkunde is als faculteit nog altijd geen goede afspiegeling van onze samenleving.
- **Open science en education:** Het kabinetsbeleid is gericht op Open Science en Open Education. Dit vraagt extra inspanningen ten aanzien van uitvoering van onderwijs en onderzoek.

De Delftse Faculteit Bouwkunde heeft als ontwerpfaculteit geen middelen ontvangen uit het eerste Sectorplan Techniek. Dat maakt dat de nood hoog is. Met de middelen uit dit sectorplan financieren we:

- Onderwijs en onderzoek dat zich sterk richt op de maatschappelijke opgaves van deze tijd;
- Duurzame oplossingen voor de groei van de studentenaantallen / de student-stafratio;
- Een eigen regeling voor de financiering van promotieonderzoek die niet langer afhankelijk is van premies of NWO-middelen;
- Stimulansen om een betere balans te bereiken op het gebied van diversiteit;
- Oplossingen om van Open Education en Open Science de nieuwe norm te maken.

Om de bovenstaande knelpunten aan te pakken zet de faculteit de sectorplanmiddelen in voor extra personeel. De faculteit Bouwkunde van de TU Delft heeft ervoor gekozen om de posities zeer divers in te zetten. Zo financieren we 3 hoogleraarsposities (waarvan 1 deeltijd met een link naar de praktijk), 6 UD-posities en 2 à 3 UHD-posities. De exacte invulling laten we afhangen van op welk niveau we de juiste kwaliteit vinden. We starten voor een deel van de posities met een open en brede werving op alle niveaus. Er zullen drie zesjarige PhD-posities worden geopend, waarbij de promovendi naast hun onderzoek tevens zullen lesgeven en hun BKO-traject zullen volgen en afronden. Op deze wijze komen de middelen ook direct het onderwijs ten goede. Ook zal er direct 1 positie als docent worden ingevuld.
De postdocs zoals nu opgenomen in het bestedingsplan ondersteunen de seniorstaf bij het opstarten van het programma. Wanneer uit deze pool geschikte kandidaten naar voren komen voor een UD-positie, willen we enkele van deze personen een vaste positie bieden. Het doel is om in elk geval 14 posities vast ingevuld te krijgen, met daaromheen ook steeds flexibele staf op PhD-, docent- of postdocniveau.

In lijn met de nationale position paper 'Ruimte voor ieders talent' heeft de Erkennen & Waarderen commissie van de TU Delft onderzocht hoe de ambities uit de nationale position paper gerealiseerd kunnen worden en waar binnen de TU Delft de focus op moet liggen. De conclusies en acties zijn verwoord in het 'TU Delft Recognition & Rewards Perspective 2021 – 2024'. De conclusies uit dit rapport vormen de kern voor het TU-brede HR beleid op dit gebied. Vooruitlopend op dit HR-beleid is de faculteit Bouwkunde reeds enige tijd een frontrunner op dit vlak. Er is een nadrukkelijk loopbaanpad voor docenten, en er zijn recentelijk enkele tenure track posities gestart met een speciale focus op onderwijs.

Technische Universiteit Eindhoven

De faculteit Built Environment aan de Technische Universiteit Eindhoven brengt het volledige spectrum van techniek, engineering, design en mensgebonden onderzoek vanuit het perspectief van de gebouwde omgeving bij elkaar.

Het onderwijs en onderzoek van de discipline ontwerp van de gebouwde omgeving aan de faculteit vindt plaats binnen de subdisciplines architectuur, stedenbouw en landschapsarchitectuur. Daarbinnen richt de faculteit zich op de volgende zwaartepunten:

- Circular building technologies
- Reuse; transformation and heritage
- Digitized design and construction technologies
- History and theory
- Planning, real estate and urban systems
- Climate adaptive urban design
- Healthy and inclusive environments
- Transport and mobility (behavioral modelling)

De faculteit richt haar onderwijs en onderzoek in dit tijdsgewricht op de thema's energie, duurzaamheid en inclusiviteit, en de grote transities die impact hebben op de gebouwde omgeving. Woningbouw heeft daarbij bijzondere aandacht gezien de grote maatschappelijke urgentie.
De faculteit verbindt zich op deze onderwerpen actief met andere academische disciplines en met maatschappelijke partners via de universitaire instituten EIRES (Eindhoven Institute for Renewable Energy Systems) en EAISI (Eindhoven Artificial Intelligence Systems Institute) en (inter)nationaal in 4TU.Bouw, UDI (Urban Development Initiative), TKI Bouw en Techniek, EWUU alliantie (universiteiten van Eindhoven, Wageningen, Utrecht en het UMC Utrecht), Eurotech Universities, ECTP enzovoorts.

De belangrijkste knelpunten voor de faculteit om de hierboven genoemde doelen te realiseren zijn:

- Onderwijscapaciteit en bijbehorende werkdruk: De faculteit werkt aan een volledig vernieuwd onderwijsprogramma waarin veel nadruk wordt gelegd op een verbindend bouwkundig profiel en kleinschalige onderwijsvormen, gericht op de grote maatschappelijke transities. Een deel van de extra benodigde capaciteit is academische staf, een deel docenten, waarbij de faculteit nadrukkelijk stuurt op team science en team education.
- Technische en ontwerpende wetenschappen gezamenlijk versterken binnen onderwijs en onderzoek, met meer senioriteit en ruimte voor diversiteit en talentontwikkeling (Erkennen en Waarderen): Door het ontbreken van de ontwerpende wetenschappen in het eerste sectorplan is de ontwikkeling van de samenstelling van de wetenschappelijke staf achtergebleven. Voor zowel het onderwijs als het onderzoek is het van belang dat de technische en ontwerpende disciplines elkaar inhoudelijk versterken en de transities en maatschappelijke vraagstukken gezamenlijk oppakken. Het is immers via ontwerpmethodologie dat nieuwe technologie haar weg naar praktische toepassingen vindt.
- Laboratoriumfaciliteiten en technische staf: Investeringen in fieldlabs en virtuele labomgevingen die de implementatie en evaluatie van integrale ontwerpoplossingen en technologieën ondersteunen.

Aan de faculteit gealloceerde middelen uit het eerste Sectorplan Techniek zijn geïnvesteerd in extra academisch personeel (6 UD posities) binnen de civieltechnische subdisciplines van de faculteit en de numerus fixus is verhoogd met 50 extra studenten. De studievoorschotmiddelen zijn ingezet voor onderwijsinnovaties, voornamelijk gericht op digitalisering en robotisering (aanschaf robots voor onderwijsdoeleinden, inclusief ontwikkeling nieuwe vakken) en een betere ontsluiting van het onderwijs voor de studenten. Op



grond van de beschreven knelpunten wil de faculteit de middelen uit Sectorplan Techniek II inzetten om rust en ruimte te creëren op aanstellingen (65%), te investeren in laboratoria (25%) en te investeren in een structureel fonds voor PhD-/postdocposities op strategische zwaartepunten (10%) conform tabel 10.

Universiteit Twente

Bij de bouwmanagementafdeling van de faculteit Engineering Technology aan de Universiteit Twente staat de integraliteit van het ontwerp, aanleg en onderhoud van fysieke infrastructuren in het publieke domein centraal. Het onderwijs en onderzoek dat in Twente plaatsvindt richt zich met name op de veerkracht die nodig is om oplossingen te ontwikkelen in relatie tot de maatschappelijke uitdagingen van deze tijd zoals duurzaamheid, leefbaarheid en circulariteit. Dit leidt tot professionals met de volgende zwaartepunten:

- Integraal ontwerp van stedelijke en regionale infrastructuur: De integrale ontwerpkracht van de Twentse ingenieurs komt met name tot recht vanwege het multidisciplinaire en mensgerichte perspectief op het ontwikkelen en implementeren van technologie in de gebouwde omgeving.
- Focus op implementatie van innovatie: De Twentse ingenieur is gewend om samen met andere stakeholders vanuit de quadriple helix aan oplossingen te werken die de kwaliteit van de leefomgeving als systeem verbeteren. Daarnaast kunnen onze alumni vanuit een ecosysteemgedachte grote stappen maken in het realiseren van innovaties in de gebouwde omgeving.

De belangrijkste knelpunten voor de faculteit om de hierboven genoemde doelen te realiseren zijn:

- **Ontwerpende ingenieurswetenschappen versterken binnen onderwijs en onderzoek**
  Door het ontbreken van de ontwerpende wetenschappen in het eerste sectorplan is de ontwikkeling van de ontwerpgerichte ingenieurswetenschappen die de implementatie van nieuwe technologie in de gebouwde omgeving ondersteunen sterk achtergebleven. Voor zowel het wetenschappelijk onderwijs als het onderzoek is het van belang dat subdisciplines elkaar inhoudelijk versterken en de transities en maatschappelijke vraagstukken gezamenlijk oppakken. Het is immers via ontwerpmethodologie dat nieuwe technologie haar weg vindt naar praktische toepassingen.
- **Aantrekken en opleiden van professionals voor de Nederlandse praktijk**
  Omdat de ingenieurswetenschappen van oudsher dicht bij de praktijk staan, blijft het een uitdaging om voldoende academisch geschoolde professionals in de juiste genderbalans op te leiden en te behouden voor de Nederlandse wetenschap en praktijk. De inzet van fieldlabs en andere meer participatieve en co-creatieve onderzoeksmethoden maakt dat professionals actief bijdragen aan kennisontwikkeling en innovatie terwijl zij tevens op een wetenschappelijke manier ingebed raken in de praktijk en behouden blijven voor inzet in de gebouwde omgeving.

Op grond van de beschreven knelpunten wil de faculteit de vastgestelde middelen uit Sectorplan Techniek II inzetten om ruimte te creëren voor aanstellingen van universitair docenten en voor onderzoekscapaciteit (90%) en om investeringen te doen in een online labomgeving die de werking van fieldlabs en de implementatie van integrale ontwerpoplossingen en technologieën ondersteunen (10%).

Wageningen Universiteit en Research

In het ontwerponderwijs in de BSc-en MSc-opleidingen in de landschapsarchitectuur aan de Wageningen Universiteit en Research is er intensief contact tussen student en docent in de vorm van veel individuele begeleiding. Als gevolg hiervan werkt de vertaling van ontwerp- en onderzoeksbevindingen en methodologie optimaal door.
De landschapsarchitectuurgroep richt zich met name op de thema's 'bodem en water', 'energielandschappen', 'stads-en microklimaat' en 'biodiversiteit/ landschapsecologie'.
Voor rurale ontwikkeling heeft WUR veel relevante kennis in huis, maar deze kan beter worden ontsloten en geïntegreerd door landschapsarchitectonisch ontwerp als antwoord op de grote ruimtedruk op het landelijk gebied. Er moet in het landelijk gebied emissiearme en circulaire landbouw worden bedreven en er moet tegelijk veel meer ruimte komen voor waterberging, hernieuwbare energie, woningbouw en biodiversiteit.

De groep ervaart een aantal knelpunten:

- **Onvoldoende staf voor het intensieve ontwerp-practicumonderwijs:**
  Het aantal studenten in de BSc- en MSc-programma's voor landschapsarchitectuur en ruimtelijke planning groeit gestaag. De begeleidingsintensiviteit vraagt om uitbreiding met meer docenten.
- **Onvoldoende onderzoeksachtergrond van ontwerpdocenten:**
  Inmiddels vraagt de praktijk niet meer alleen naar goede ontwerpers als afgestudeerden, maar ook om medewerkers met degelijke onderzoeks- en research through design-vaardigheden zodat ontwerpkeuzes beter verdedigbaar zijn dan in het verleden. Daarom is er behoefte aan nieuwe docenten die over deze vaardigheden beschikken.
- **Thematiek rurale ontwikkeling:**
  Er moeten op een transdisciplinaire, participatieve manier landschapsarchitectonische plannen worden ontworpen die problemen en kansen voor het landelijk gebied integraal benaderen. Hiervoor moet structureel meer ontwerponderzoek worden verricht naar het integrale ontwerp van het landelijke gebied.



Binnen het eerste Sectorplan Techniek is voor de hele Wageningen Universiteit en Research geïnvesteerd in 6 tenure trackers. Op het gebied van OGO is echter niemand aangesteld. Middelen uit kwaliteitsafspraken en Van Rijn-middelen werden in de groep landschapsarchitectuur ingezet om een deel van de onderwijsknelpunten op te lossen. De inzet van sectorplanmiddelen was binnen WUR algemeen gericht op het versterken van agrotechnologie en voedingswetenschappen. Voor de ontwikkeling van het rurale gebied worden de sectorplanmiddelen nu thematisch verbreed naar OGO.

De WUR zal de middelen uit Sectorplan Techniek II op het terrein van OGO inzetten om een additionele tenure track docent (UD landschapsarchitectuur) aan te stellen met expertise in ontwerp van het landelijke gebied. Deze docent zal in het kader van de regionale ontwerpvakken in het BSc- en MSc-programma landschapsarchitectuur het ontwerp van het landelijk gebied centraal stellen en de studierichting landschapsarchitectuur daardoor een nieuw zwaartepunt geven. Dat zwaartepunt is in Nederland uniek vanwege de inbedding in de agrotechnologische, levens- en omgevingswetenschappen van WUR. Een toegevoegde PhD-positie zal de methodologische aspecten van RTD in het landelijk gebied uitdiepen. Hierbij hoort dat consequenties van ontwerpen gemodelleerd moeten worden en dat ontwerpen worden gevisualiseerd. Om dit te faciliteren zijn extra computers met een groot bewerkings-/rekenvermogen nodig. Deze zijn begroot op 20 k€/ jaar.

Rijksuniversiteit Groningen

Het ruimtelijk ontwerp in Groningen start vanuit een holistisch inzicht in het stedelijk of landschappelijk systeem. Vanuit een gecombineerd institutioneel en ruimtelijk onderlegd perspectief wordt een praktijk van pragmatisch en integraal ruimtelijk ontwerpen onderzocht en onderwezen gericht op het ondersteunen van grote en noodzakelijke ruimtelijke transities zoals de energietransitie, klimaatadaptatie, duurzame en inclusieve mobiliteit, gezonde steden, en verduurzaming van de landbouw. Door te begrijpen hoe het ontwerpen bestuurlijke en participatieve zoekprocessen naar handelingsperspectieven helpt, worden transitieprocessen niet alleen inhoudelijk maar ook procesmatig gevoed en versterkt.

Ingegeven door de groeiende studentenaantallen en de huidige stafcapaciteit zijn op dit moment de belangrijkste uitdagingen voor onderwijs en onderzoek:

1 Realiseren van kleinschalig onderwijs, met name het studio-onderwijs en problem-based learning. Een grondige training in begrip van wat in een regio aan de hand is, wat er kan, en hoe processen vorm te geven vergt intensieve coaching van studenten die zich over real-life casussen buigen.
2 Contact met opdrachtgevers en de ruimtelijke praktijk in zowel onderwijs en onderzoek. We zien samenwerking met de ruimtelijke praktijk als essentieel voor maatschappelijk relevant onderzoek en onderwijs. Door de werkdruk lukt het op dit moment onvoldoende om het gesprek en de interactie met de praktijk te initiëren en continueren.
3 Het creëren van een goede balans tussen onderzoek en onderwijs. De toegenomen studentenaantallen zetten de beschikbare onderzoekstijd voor ontwerpgericht onderzoek onder druk, waardoor op den duur de kwaliteit van het ontwerponderwijs achterblijft.

De Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen van de Rijksuniversiteit Groningen heeft geen middelen ontvangen uit het eerste Sectorplan Techniek. Met de middelen uit dit sectorplan beogen we ons ontwerponderzoek en -onderwijs een kwaliteitsimpuls te geven, afgestemd op de maatschappelijke vraag en opgaven. Daarnaast willen we de balans tussen ontwerponderzoek en -onderwijs duurzaam herstellen. Concreet betekent dit dat we:

- Additionele docenten (UD's Ruimtelijk en Institutioneel Ontwerp, geen TT) aanstellen om de druk op het kleinschalig ontwerponderwijs te verlichten en de onderwijs/onderzoekbalans te herstellen.
- Een fonds instellen voor financiering van diversiteit aan PhD-, postdoc-, en ander wetenschappelijk onderzoek naar de vervlechting van ruimtelijk en institutioneel ontwerp(en).
- Een medewerker aantrekken voor het ontwerponderwijs en -onderzoek die UD's ondersteunt en ontzorgt bij de uitvoering en ontwikkeling van onderwijs en onderzoek en bovendien maatschappelijke partners in onderwijs en onderzoek helpt integreren.
- Een fonds instellen voor onderwijsinnovatie op het gebied van ervaringsgericht leren.
- Een fonds instellen voor investering, onderhoud, en vervanging van ontwerpspecifieke onderwijs- en onderzoeksfaciliteiten zoals speciale computers, software, en inrichting.



2.8 Discipline Technische Bedrijfs- en bestuurskunde (TBB)

Technische bedrijfs- en bestuurskunde ontwerpt, analyseert, en optimaliseert complexe organisaties, processen en systemen door mensgerichte interventies met behulp van of in relatie tot de nieuwste technologische mogelijkheden. Hierbij kan worden gedacht aan het ontwikkelen van op artificiële intelligentie gebaseerde planningsmodellen voor het verduurzamen van wereldwijde toeleveringsketens en transportstromen, het ontwerpen van vitale infrastructuur voor de energietransitie, het bouwen van data-gedreven tools voor het monitoren van prestaties in zorgnetwerken, en kwantitatieve analyses van de interacties tussen beleid en het handelen van bedrijven met betrekking tot CO_2- en stikstofuitstootregels. Het doel is het ontwerpen van duurzame, veilige en veerkrachtige systeemoplossingen voor industriële en maatschappelijke uitdagingen, waarbij de technologie op een voor de industrie en samenleving goede manier kan worden ingezet, dus ook rekening houdend met de mens/gebruiker.

Het universitaire landschap voor Technische Bestuurskunde en Bedrijfskunde wordt gevormd door onderzoeksgroepen aan TUD, TU/e, UT, WUR en RUG.
TUD analyseert, modelleert, en ontwerpt interventies in complexe socio-technische systemen waarin grote maatschappelijke vraagstukken een belangrijke rol spelen. Haar onderzoek richt zich op vitale infrastructuren en daarbij op de thema's digitalisering van de samenleving, klimaatverandering & energietransitie, verstedelijking, en veiligheid en veerkracht. Gezondheid en de gezondheidssector vormen daarnaast een relatief nieuw onderzoeksthema van de faculteit waar de laatste jaren veel aandacht voor is.
TU/e richt zich op het ontwikkelen van kennis in disciplines als operations management, innovatie en ondernemerschap, en informatiesystemen om op die manier te komen tot een slimme en duurzame (hightech) industrie voor de Brainport regio en tot goed functionerende wereldwijde toeleveringsketens en logistiek.
UT werkt aan het realiseren van verantwoorde technologiegedreven transformaties van industrieën zoals de zorg, de financiële sector, logistiek en transport, en de energiesector. Vooral op gebied van zorgtransformatie en financial engineering onderscheidt UT zich en kent de universiteit een lange historie; de focus op duurzaamheid in de verschillende industrieën en energiesector is nieuw.
WUR richt zich op het analyseren en ontwerpen van interventies voor de verduurzaming van agro-food systemen, zoals bijvoorbeeld ondernemerschap voor start-ups, ontwerp en transparantie van mondiale waardeketens, oplossingen voor controverses rondom nieuwe technologie, of nieuwe beleidsarrangementen voor veerkrachtige voedselsystemen.
RUG richt zich vooral op het ontwerpen van duurzame, veerkrachtige en flexibele systeemoplossingen voor logistieke netwerken, logistieke processen zoals in de zorg en het onderwijs, energienetwerken en hightechsystemen.

De gezamenlijke focus in de sectorplannen ligt op a) wereldwijde toeleveringsketens en logistiek, b) slimme industrie en duurzaamheid, c) management van gezondheidszorgprocessen en d) vitale infrastructuren.



Tabel 11. De tekst in cursief bold geeft aan waar de betrokken groepen via de middelen van dit sectorplan via tenure trackposities in investeren. De aan te stellen promovendi aan elke universiteit kunnen in elk van de focusgebieden actief zijn.

Focus-gebieden	**TUD**	**TU/e**	**UT**	**WUR**	**RUG/FSE**	**RUG/FEB**
Wereldwijde toeleverings-ketens en logistiek		***Ontwerp van duurzame, weerbare ketens; Gebruik van nieuwe tech-nieken (AI, 3D printing)***		***Transformatie toeleverings-ketens in agro-food systemen; Kwaliteit en duurzaamheid in agrofood systemen***	***Ontwerp van strategisch besluitvormings-beleid in de keten;*** Slimme logistieke netwerken; Robuustheid en duurzaamheid van de hele keten	***Ontwerp van logistieke (deel) netwerken; ontwerp van logistiek voor productie en diensten, zoals onderwijs en zorg***
Slimme industrie en duurzaam-heid		***Ontwerp van autonome fabrieken; Reduceren afval; Slim onderhoud van machines***	***Duurzaamheid en circulaire economie; Mens-gecentreerde planning***	***Agrotech bedrijven transformeren naar duurzame productie; Nieuwe kennis en spelers in agrotech sector integreren; Samenwerkings-patronen in agrotech;***	Ontwerp van duurzame bedrijfsmodellen; Slim onderhouds-beleid in productie-systemen; Totale productie van hernieuwbare energie maxima-liseren	
Management van gezond-heidszorg-processen	***(Her)ontwerp van bestaande gezond-heidszorg-processen; Duurzaamheid van de hele gezondheids-keten***		***Kosten-effectieve technologie-gedreven transformatie van zorg; Ontwerp van weerbare zorgsystemen***			
Vitale infra-structuren	***Ontwerpen van systeem-interventies; Gekoppelde simulaties van verschillende infrastruc-turen; Robuustheid en veerkracht van infrastruc-turen***					Infrastructuur voor productie, distributie en gebruik van groene waterstof; onderhoud van assets





Afstemming
Vertegenwoordigers van elk van de betrokken onderzoeksgroepen hebben zich verenigd in een werkgroep TBB om dit disciplineplan uit te werken. De ambitie is om de in gang gezette landelijke afstemming en overleg te continueren en intensiveren via een landelijk center TBB. De plannen hiervoor, inclusief de inbedding ervan, worden nog verder uitgewerkt. Dit landelijke center TBB zal ook de basis zijn voor afstemming en samenwerking met HBO's en andere stakeholders.

Specifieke knelpunten, maatregelen en prioriteiten
Voor het creëren van rust en ruimte is het noodzakelijk om de student-stafratio te reduceren. Door het uitbreiden van de wetenschappelijke staf ontstaat de ruimte om de groei in studentaantallen op te vangen en om meer intensieve en interdisciplinaire werkvormen aan te bieden. Door het aanstellen van nieuwe medewerkers ontstaat er ook wat ruimte voor de huidige staf om bij te dragen aan het ontwikkelen van nieuwe onderwijsmaterialen, zoals datagedreven cases en challenges, en het ontwikkelen van nieuwe (delen van) onderwijsprogramma's. De middelen van het sectorplan geven, via het inrichten van een pot met structurele financiering voor promovendi, (startende) onderzoekers de mogelijkheid om hun onderzoekslijnen verder uit te breiden aansluitend bij de genoemde focusgebieden, en om maatschappelijke impact te realiseren. Dit levert ook een eerste bijdrage aan het reduceren van de aanvraagdruk rondom onderzoeksbeurzen. We zoeken nadrukkelijk naar de verdere verbinding en streven naar verdere samenwerking tussen onderwijs en onderzoek en met de maatschappij bij al deze initiatieven.

Overkoepelende doelstellingen onderwijs en onderzoek
De volgende ambities zijn geformuleerd voor de verschillende focusgebieden:
- Innovaties in wereldwijde toeleveringsketens en logistiek: ontwerpen van toeleveringsketens voor de transitie naar een deel- en circulaire economie en ontwerpen van logistieke processen in vitale sectoren, zoals energie, voedsel en landbouw, onderwijs en zorg.
- Slimme industrie en duurzaamheid: ontwerpen en inzetten van nieuwe technologieën en bedrijfsmodellen voor de transitie naar duurzame en veerkrachtige productie en onderhoud.
- Management van gezondheidszorgprocessen: ontwerpen en implementeren van veerkrachtige zorgorganisaties en zorgsystemen met duurzame zorgverlening en het ontwikkelen van nieuwe methodieken voor mensgerichte, datagedreven besluitvorming.
- Vitale infrastructuren: Het ontwerpen en risicoanalyses van veerkrachtige (gekoppelde) kritieke infrastructuren en ondersteunende beleidsarrangementen die beter en eerlijker kunnen blijven functioneren onder verschillende omstandigheden en externe invloeden.

Hiernaast is het doel om door vergelijking van en samenwerking tussen alle verscheidene toepassingsgebieden verder bij te dragen aan kennisontwikkeling op het gebied van methodologieën en vaardigheden voor het maken van betrouwbare ontwerpen en interventies, gebruikmakend van ontwikkelde en nieuwe technologieën, bijvoorbeeld op het gebied van digitalisering. Dit is ook een belangrijke basis voor het doorontwikkelen van onderwijsprogramma's waarin nadrukkelijk wordt gewerkt aan het versterken van de ontwerpvaardigheden van studenten.



Technische Universiteit Delft

De faculteit Techniek, Bestuur en Management (TBM) onderzoekt urgente maatschappelijke en wetenschappelijke vraagstukken die gerelateerd zijn aan technologie. We combineren daarbij de technische wetenschappen, sociale wetenschappen en geesteswetenschappen, kijkend vanuit drie perspectieven: systemen, waarden en governance. Onze focus ligt op het analyseren en ontwerpen van interventies voor maatschappelijke vraagstukken op gebieden als de digitalisering van de samenleving, klimaatverandering & energietransitie, verstedelijking, transport, veiligheid, en gezondheid: actuele 'societal grand challenges'. Onderzoek naar deze complexe vraagstukken vereist een transdisciplinaire aanpak, waarbij ook samenwerken met andere universiteiten binnen de sector essentieel is.
We trainen onze studenten om hun analytische en ontwerpende ingenieursvaardigheden toe te passen in complexe omgevingen met uiteenlopende stakeholders.
De sectorplanmiddelen worden ingezet om de belangrijkste knelpunten aan te pakken. Dat doen we door de werkdruk van onze medewerkers te verminderen, ons onderwijs te verbreden, de kwaliteit van ons onderwijs verder te verbeteren, en ons wetenschappelijke onderzoek verder te versterken. Eerdere sectorgelden (Van Rijn-middelen) zijn gebruikt voor het aanstellen van een 15-tal UDs met een onderwijsprofiel. We willen dit nieuwe profiel eerst evalueren vooraleer we meer van deze posities creëren. Uitgangspunt zijn de 10 nieuwe UD/UHD posities voor onze faculteit uit het Sectorplan OIW op drie gebieden: vitale infrastructuren, zoals energie- en IT-systemen (4 posities), wereldwijde toeleveringsketens en logistiek (2 posities), management van gezondheidszorgprocessen (4 posities).
Concreet zetten we in op een verlaging van de student-stafratio van 14,2:1 naar 13:1 en meer docentbegeleiding voor intensieve onderwijsvormen die cruciaal zijn bij het leren van ontwerpvaardigheden, zoals projectonderwijs en labs, en afstudeerbegeleiding. Daarnaast starten we een nieuwe track en/of minor op het gebied van health systems.
Op onderzoeksgebied stellen de middelen ons in staat om succesvolle bestaande onderzoeksprogramma's (vitale infrastructuren en wereldwijde toeleveringsketens) verder uit te breiden en een nieuw onderzoeksthema (health systems) een sterke impuls te geven. Thematische samenwerking binnen de sector gaan we stimuleren door het opzetten en versterken van samenwerkingsprogramma's met de andere partners binnen de discipline technische bedrijfs- en bestuurskunde. Het bestaande 4TU Centre for Resilience Engineering is een voorbeeld van zo'n samenwerkingsverband.
Met de rest van de sectorgeldmiddelen willen we een PhD-fonds oprichten dat in de eerste fase wordt gebruikt om de nieuwe medewerkers elk te voorzien van een PhD-positie. Later zullen hieruit nieuwe PhD-posities worden gefinancierd die niet gekoppeld zijn aan een bestaande UD/UHD-positie.

Technische Universiteit Eindhoven

De TU/e faculteit Industrial Engineering and Innovation Sciences (IE&IS) kent drie opleidingen op het gebied van de Technische Bedrijfskunde: de BSc-opleiding Industrial Engineering en de MSc-opleidingen Operations Management and Logistics en Innovation Management. In het onderzoek ligt de focus vooral op wereldwijde toeleveringsketens en slimme industrie en duurzaamheid, omdat die onderwerpen het meeste aansluiten bij de (hightech) industrie in de Brainport regio. Die industrie kent op dit moment twee belangrijke uitdagingen: 1) het verbeteren van processen door gebruik te maken van data/AI, en 2) het verduurzamen van de processen. Om deze uitdagingen optimaal aan te kunnen pakken wordt ook samengewerkt met andere faculteiten, zoals Computer Science en Werktuigbouwkunde.

Bij elk van de drie opleidingen willen we de instroom gedurende de komende drie jaar met 10% verhogen. Bovendien willen we nieuwe mastertracks ontwikkelen voor bijvoorbeeld Smart Industry en Circular Supply Chains, aangezien beide onderwerpen belangrijk zijn voor de Brainportregio. Daarnaast willen we de student-stafratio verlagen van 21:1 naar 18:1. Dit is gerekend zonder circa 15% serviceonderwijs. Hiervoor willen we de sectorgelden inzetten. De reeds bestaande studievoorschotmiddelen worden ingezet voor het ontwikkelen van challenge-based vakken en andere actieve leervormen, betere begeleiding van studenten en het verhogen van de studierendementen, en de verdere professionalisering van het docentenkorps.
Met de sectorgelden worden 6 nieuwe posities voor assistant professors gefinancierd, waarbij we de mogelijkheid openhouden om één of twee posities in te vullen op het niveau van associate professor. Deze nieuwe posities worden ingezet op het gebied van slimme industrie (4 posities) en wereldwijde toeleveringsketens (2 posities).

Een flink deel van het budget (400 k€ per jaar) zal gebruikt voor het instellen van een structurele pot voor de financiering van promovendi en postdocs. We willen daarmee jaarlijks startende onderzoekers de kans geven om een eerste promovendus gefinancierd te krijgen voor nieuwe, beloftevolle onderzoeksideeën. Deze promovendi zullen verdeeld worden op basis van korte projectvoorstellen.

Universiteit Twente

Ingebed in UT's faculteit Behavioural, Management and Social Sciences, kenmerkt TBB zich door impact-driven onderwijsconcepten, waarbij studenten leren op basis van actuele challenge-based vraagstukken vanuit het bedrijfsleven in een interdisciplinaire omgeving bij te dragen aan het oplossen van grote maatschappelijke uitdagingen. Dit impactgedreven onderwijs vindt plaats in symbiose met impactgedreven onderzoek, in nauwe samenwerking met organisaties uit diverse industrieën.
Deze moderne arbeidsintensieve benaderingen voor onderzoek en onderwijs vragen investeringen in het versterken van de docentcapaciteit (reduceren student-stafratio), en vernieuwing van onderwijs en onderzoek op gebied van human-centered decision making, sustainable supply chains, health systems engineering, en technology-driven sustainable healthcare transformation. De professionele vaardigheden-lijn wordt uitgebreid met veranderkundige, implementatie- en (impact-)evaluatievaardigheden. Een nieuwe master-specialisatie sustainability & circular economy zal worden ontwikkeld door grotendeels in de bestaande vakken op gebied van zorg(technologie)management, productie en logistiek management en financial engineering meer aandacht voor duurzaamheid aan te brengen.
De healthcare management specialisatie zal worden versterkt met een nieuw vak health systems engineering om het essentiële systeemperspectief op zorgtransformatie te brengen. Hiertoe wordt één UD aangesteld, en (uit eigen strategische middelen) een hoogleraar.
Voor de academische posities zullen kandidaten worden geworven die een sterke achtergrond hebben in een specifiek expertisegebied, maar die nadrukkelijk interdisciplinaire samenwerking zoeken om verder te komen bij implementaties en meer impact te maken.
Een deel van het budget zal worden gebruikt om structureel vier promovendi te financieren, waarmee enerzijds de financieringsdruk wordt weggenomen bij beginnende UD's om hun onderzoeksplannen te kunnen starten, en anderzijds ook de onderwijsdruk wordt verlaagd doordat promovendi afstudeerders mede zullen begeleiden.

Wageningen Universiteit en Research

Technische bedrijfs- en bestuurskunde (TBB) is bij Wageningen Universiteit en Research (WUR) ingebed in de Social Sciences Group. Deze groep geeft onderwijs over en doet onderzoek naar het analyseren, ontwerpen en optimaliseren van complexe organisaties, processen, toeleveringsketens en systemen. De focus is op duurzame, veerkrachtige en gezonde agro-foodsystemen in de context van mondiale ontwikkelingen. Al het onderzoek en onderwijs is sterk interdisciplinair en gericht op maatschappelijke impact.
De Social Sciences Groep heeft sterke banden met de andere science groepen van WUR in zowel onderwijs als onderzoek. Dat komt tot uiting in het aantal vakken waarin meer dan 1 discipline is vertegenwoordigd, en in de vaste momenten waarop studenten vanuit verschillende disciplines (universiteitsbreed) bij elkaar worden gebracht om gezamenlijk opdrachten uit te voeren. Er zijn veel onderzoeksprogramma's, projecten en PhD-supervisies waarin de TBB-groepen actief samenwerken met aanpalende groepen zoals food systems, agrotechnology, plant production systems, environmental systems en animal production systems.
Een belangrijk aandachtspunt is dat produceren, distribueren en consumeren van voedsel in de voedselketen duurzamer, veerkrachtiger en gezonder moet. Dat vergt transformaties van voedselsystemen, van de agrofood sector als smart industry en van de mondiale waardenketens.

Binnen het Wageningse deel van het sectorplan neemt TBB een substantiële positie in, met een investering van 1.1 M€/jaar, wat neerkomt op 20% van het totaal. Dankzij de nieuwe posities uit het sectorplan kunnen wij investeren in kennis en capaciteit voor het ontwerpen van op transformatie gerichte governance arrangementen, tech-ondernemerschap en food- en agrobusiness distributie- en retailnetwerken. De nieuwe posities verbeteren niet alleen de student-stafratio (momenteel 15,1:1 voor de WUR als geheel), maar bieden ook gelegenheid om vakken aan te bieden die meer voorbereiding behoeven, zoals project classes in samenwerking met het werkveld, of simulatiegames waarin meerdere TBB-disciplines samenkomen.

Daarnaast stellen de sectorplangelden ons in staat om de in najaar 2022 gestarte nieuwe masterspecialisaties Governance of Sustainability Transformations (+1 fte), Sustainable Business and Innovation (+1 fte), en Sustainable Supply Chain Analytics (+1 fte) nog steviger neer te zetten, en zo ook beter te kunnen kruisbestuiven met andere cursussen en programma's. De extra capaciteit zal bovendien overall de werkdruk verlichten en de student-stafratio verbeteren.

Rijksuniversiteit Groningen

De faculteit Science and Engineering (FSE) en de faculteit Economie en Bedrijfskunde (FEB) werken samen via het Groningen Engineering Center en hebben de ambitie de samenwerking met de 4TU verder uit te breiden.

RUG – Faculteit Science and Engineering (FSE)

FSE is verantwoordelijk voor de opleiding Industrial Engineering and Management. Speerpunten op het gebied van onderzoek zijn optimalisatie- en beslissingssystemen en digitale productiesystemen. FSE heeft een hoogwaardige samenwerking met de regio(nale industrie). Omdat de maatschappij, en vooral de noordelijke regio, roept om meer hoogopgeleid technisch personeel, heeft de faculteit gekozen voor het versterken van haar technische karakter. De focus hiervan ligt op energie, gezondheid en zorg en sleuteltechnologieën gekoppeld aan higtech systemen en materialen.

De algemene ambities van de faculteit waar het de besteding van sectorplangelden betreft staan beschreven onder de discipline werktuigbouwkunde (zie sectie 2.9). Specifiek voor TBB speelt dat er onvoldoende staf beschikbaar is voor de track Production Technology and Logistics. Als gevolg hiervan is er een beperking aan het aantal individuele masteronderzoeksprojecten binnen deze voor studenten populaire specialisatie, waardoor studenten soms de universiteit verlaten om elders een master te doen. Onze doelen met de middelen uit de sectorplannen zijn daarom vooral gericht op het verlagen van de student-stafratio van 24,1:1 om studenten te kunnen behouden voor de regio. Er zal worden ingezet op een tenure track-positie met een additionele promovendus op het gebied van het ontwerpen van besliskundige concepten in dynamische logistische netwerken (energie, transport, verdeling). Daarnaast zal een structureel budget voor promovendi worden vrijgemaakt.

Faculteit Economie en Bedrijfskunde (FEB)

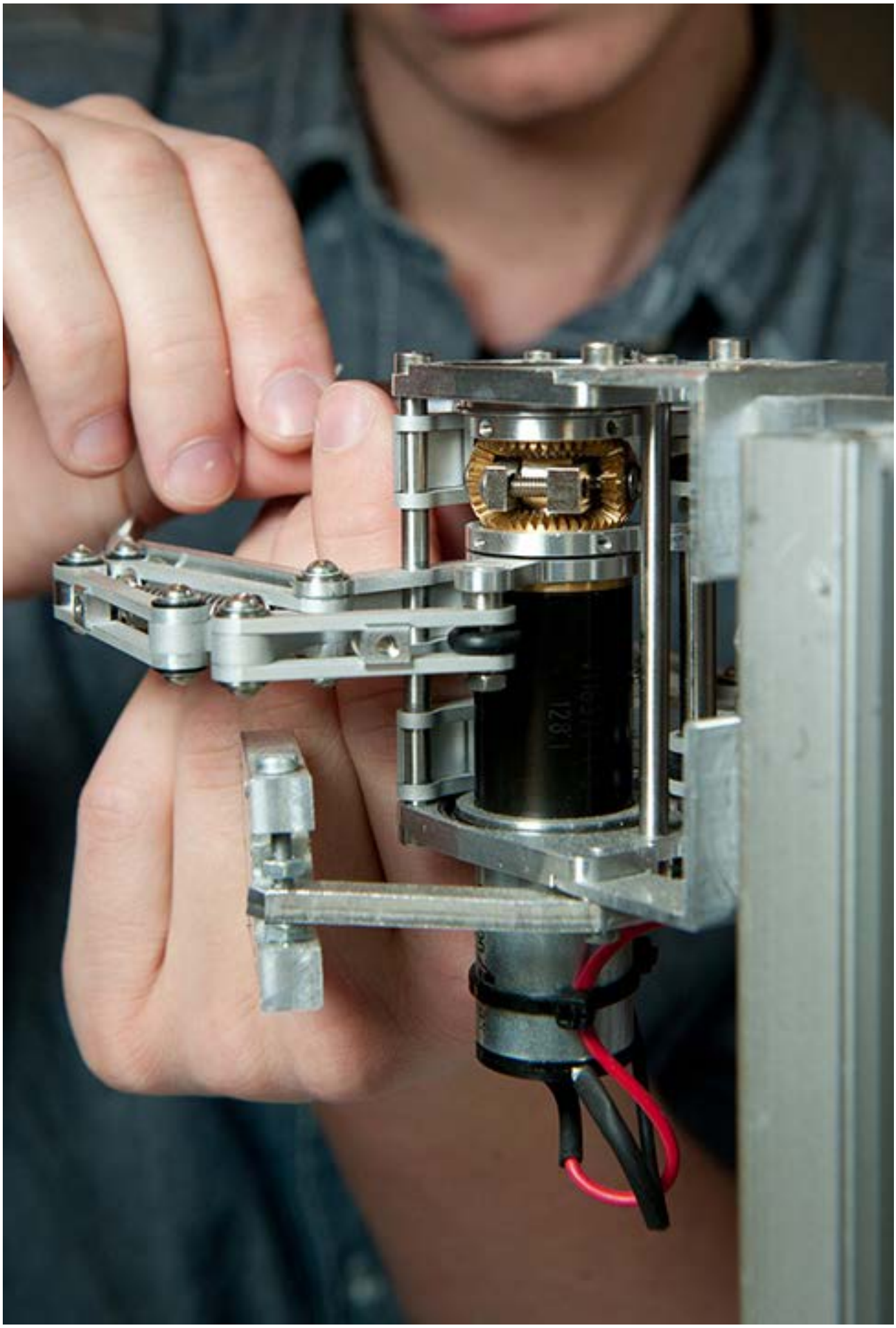
FEB is verantwoordelijk voor de specialisatie Technologiemanagement in de bachelor Bedrijfskunde en de master Technology & Operations Management.

In het onderzoek richten we ons op het ontwerpen van (bedrijfskundige) oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen waarin de interactie tussen organisaties, processen, technologie en de mens centraal staat. Dit doen we in grootschalige ontwerpgerichte innovatieprojecten op onderwerpen als groene waterstof, logistieke en onderhoudsnetwerken en datagedreven systemen voor vitale sectoren als de zorg en het onderwijs.

Ons doel is om de student-stafratio te laten dalen: op 1 oktober 2021 bedroeg de student-stafratio 32:1; een groep van 11.9 fte aan vaste medewerkers was verantwoordelijk voor het onderwijs aan 377 studenten in de Bachelorspecialisatie Technologiemanagement en de Master Technology & Operations Management. We streven ernaar om een doorlopende leerlijn data-driven design in de master te ontwikkelen en actieve werkvormen als challenge-based learning en praktijkcasussen in het onderwijs te introduceren en daarvoor te ontwikkelen.

Om de genoemde daling in student-stafratio te realiseren, de juiste begeleiding aan een groeiend aantal studenten kunnen bieden, docenten de ruimte te geven om nieuwe, intensieve werkvormen te ontwikkelen, en onderzoek in de genoemde focusgebieden te verstevigen, zetten wij met de middelen van dit sectorplan in op een tenure-track positie op het gebied van data-driven system design for technology management. Deze positie zorgt voor versterking van het focusgebied wereldwijde toeleveringsketens en logistiek. Daarnaast komt er een structureel budget voor een promovendus die werkzaam kan zijn binnen elk van de genoemde focusgebieden. Voor het inbedden van onderzoek in onderwijsontwikkeling zullen we een werkgroep inrichten bestaande uit senior docenten en de nieuw aan te stellen tenure tracker met als opdracht het ontwikkelen van de leerlijn data-driven design en het initiëren en coördineren van het ontwerp van challenges en praktijkcases, inclusief kwantitatieve datasets. Daarbij is onze ambitie om het huidige onderwijslab voor ontwerpgericht logistiek onderzoek door te ontwikkelen om community-vorming van studenten en onderzoekers te vergroten.


ABB
R2.CS



2.9 Discipline Werktuigbouwkunde (WB)

Werktuigbouwkunde, ofwel Mechanical Engineering (ME), is de discipline die zich richt op het ontwerpen, analyseren, produceren en onderhouden van mechanische en dynamische processen en systemen op basis van principes uit de natuurkunde, wiskunde en materiaalkunde. ME combineert kerngebieden zoals mechanica & materialen, thermofluidica, en systeem- en regeltechniek, met applicatiegebieden als ontwerp- en productietechniek, (bio)robotica, maritieme techniek en biomedische techniek. ME is daarmee een divers kennisgebied met belangrijke bijdragen aan een scala van maatschappelijke uitdagingen zoals de energietransitie, beheersbare gezondheidszorg, soevereine maakindustrie, duurzame productie, klimaat, transport en mobiliteit.
Kenmerkend aan de moderne ME is een multidisciplinaire aanpak en een intensieve samenwerking met bèta en de Nederlandse industrie.
In het onderzoek zien we een steeds dominantere rol van de al genoemde grote maatschappelijke uitdagingen. Deze uitdagingen moeten worden gekoppeld aan opkomende digitale technologieën (cyber-physical systems, digital twinning, AI), geavanceerde materialen (smart systems, metamaterialen, multifunctionele materialen, biomechanica) en manufacturing. Hiervoor zijn vernieuwing en uitbreiding van onderzoek nodig, teneinde de (maak)industrie van de vereiste kennisbasis en het technisch opgeleide personeel te voorzien.

In het eerste Sectorplan Techniek zijn de funderende disciplines versterkt. In Sectorplan Techniek II wordt hierop voortgebouwd en worden nieuwe thema's in de toepassingsgedreven disciplines ontwikkeld die nauw aansluiten bij genoemde maatschappelijke uitdagingen. Mede door deze uitdagingen zien we in het mechanical engineering onderwijs een groeiende en urgente vraag naar ingenieurs die grondig voorbereid zijn om bij te dragen aan hoogwaardige en duurzame oplossingen. Hiervoor moeten we nieuwe onderwijsvormen gebruiken en expertise in fundamenteel werktuigbouwkundige disciplines waarborgen en inzetten voor maatschappelijke thema's. ME dient studenten voor te bereiden op een praktijk die steeds meer om multidisciplinaire oplossingen vraagt. Daarnaast moeten we zorgen voor voldoende capaciteit voor afstudeerbegeleiding door hoogwaardig wetenschappelijk personeel in relevante onderzoeksgebieden aan te stellen om daarmee de kwaliteit en reputatie van ons onderwijs hoog te houden.
We zetten de middelen uit dit sectorplan in om knelpunten op personeel, inhoudelijk, en infrastructureel vlak aan te pakken. Een overzicht is in tabel 12 weergegeven.

Tabel 12. Overzicht van de op te lossen knelpunten binnen de discipline werktuigbouwkunde.

Knelpunten	**Toelichting**	**Maatregelen**	**Kansen**
Goede studenten (NL en internationaal)	Er zijn voor de maatschappij meer goed opgeleide WB-ers nodig, met een diverse achtergrond.	Onderwijsvernieuwing. Betere voorlichting op VWO en HBO en internationaal. Invoering studiekeuzecheck. Verbetering van inclusiviteit.	Minder uitval van studenten en grotere uitstroom. Studenten die bewuster voor studie kiezen. Verbetering van vakbeheersing.
Maatschappelijke vraagstukken	De maatschappij vraagt om technologische oplossingen voor urgente vraagstukken.	Er wordt selectief geïnvesteerd in vakgebieden die cruciaal zijn voor de grote maatschappelijke vraagstukken.	Bijdragen aan de grote maatschappelijke vraagstukken. Aantrekken van gemotiveerde en getalenteerde onderzoekers, docenten en studenten.
Werkdruk	De WB opleidingen hebben een grote groei doorgemaakt in termen van het aantal studenten. Deze groei heeft negatieve effecten voor de student-stafratio en de werkdruk van docenten en onderzoekers.	Uitbreiden van wetenschappelijke, onderwijs- en ondersteunende staf.	Met de gekozen investeringen wordt geïnvesteerd op plekken waar een hoge werkdruk wordt verwacht. Additionele staf zal bijdragen aan de breedte en kwaliteit van de opleidingen. Verbetering van de balans tussen werk en privé.
Aanvraag-druk	Verkennend en fundamenteel onderzoek staat onder druk.	Toekennen van structurele promotieposities aan WP-posities.	Versterking van de fundamenten van de WB en het stimuleren van innovatief onderzoek.

Door nationale samenwerking en afstemming zal de zichtbaarheid van de impact van ME op wetenschap en samenleving worden versterkt. Voor ME vindt afstemming plaats via de landelijke onderzoeksscholen JM-Burgerscentrum, Engineering Mechanics en Dutch Institute of Systems and Control (DISC) en het deelgebied Biomechanica. Om de afstemming verder te coördineren is recent door de betrokken faculteiten de Raad voor de Werktuigbouwkunde opgericht, waarin vertegenwoordigers van de drie onderzoeksscholen en biomechanica zitting hebben.

In tabel 13, die eveneens de gerelateerde luchtvaart- en ruimtevaartdiscipline omvat, zijn de sterktes van de verschillende instituten weergegeven, evenals de gebieden die vanuit Sectorplan Techniek II zullen worden versterkt. In de tabel zijn niet de fundamentele focusgebieden opgenomen, deze zijn reeds vanuit het eerste sectorplan versterkt.

Tabel 13. Verdeling van zwaartepunten binnen subdisciplines van werktuigbouwkunde.

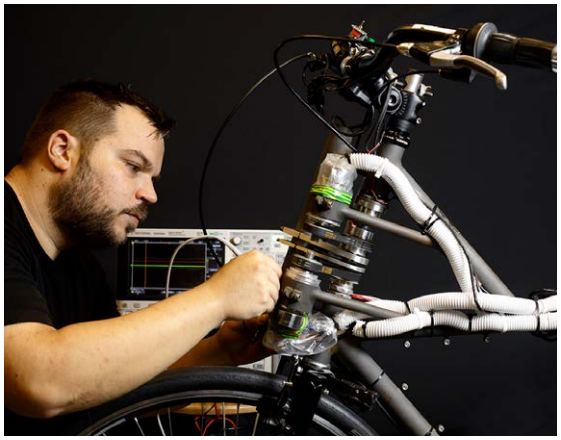
Focus-gebieden	**TUD-ME**	**TUD-AE**	**TU/e**	**UT**	**WUR**	**RUG/FSE**
Energieopwekking en opslag						
Sterktes:	wind en getijden	wind	duurzame opwekking en opslag	energiesystemen		energiesystemen
Versterking vanuit STP2:	offshore opwekking		thermische opslag			
	waterstof productie	waterstof toepassing	metal fuels		autonome systemen	zelflerende regelsystemen
Proces-technologie						
Sterktes:	duurzame energie		multi-phase flow	smart & sustainable manufacturing	duurzaam voedsel	Smart & circulaire technologie
Versterking vanuit STP2:	nucleaire systemen			smart & sustainable manufacturing	duurzaam voedsel	
	waterzuivering					
Geavanceerde materialen						
Sterktes:	biomaterialen	composieten	soft matter	composieten	biomaterialen	Biomaterialen
	metalen	polymeren	metalen / polymeren	metamaterialen		metalen / polymeren
Versterking vanuit STP2:	groen staal	H_2-compatibele materialen	hybrid/green materialen		food	
	waterzuivering					
High-tech systemen						
Sterktes:	robotica & revalidatie	astrodynamica	mechatronica	maintenance	digital twin	instrumentatie, digital twin
	autonome voertuigen	drones (AI, control)	autonome systemen			multi robot en regelsystemen
		advanced manufacturing				
Versterking vanuit STP2:	smart mecha-tronics for food & health	H_2 vliegtuig-ontwerp	autonome systemen	biorobotica	agrofood systems	multirobot systemen
		traffic management	digital twinning			
		aardobservatie	system engineering			

TU Delft

Mechanical Engineering in Delft, onderdeel van de faculteit 3mE (Mechanical, Maritime and Materials Engineering), is een grote en brede opleiding met enkele unieke richtingen, zoals Maritieme Techniek. De faculteit heeft sterke banden met industrie, hogescholen, en is actief in samenwerkingsverbanden zoals Medical Delta en LDE. De zeven afdelingen met elk hun eigen specialisatie richten zich samen op de maatschappelijke thema's sustainability, energy transition, en health & care.

Het eerste Sectorplan Techniek is gebruikt voor de versterking van de funderende disciplines (Mechanics & Materials, Thermofluids, Systems & Control), met in totaal 17 academische posities, wat tot nieuw onderzoek heeft geleid op gebied van grootschalige energietransitie en opslag, duurzame materialen en hun productie en recycling, en autonome transport- en productiesystemen. Hiermee is de student-stafratio gedaald tot 31:1. Hiermee is het de streefgetal van 25:1 echter nog niet bereikt. Daarnaast heeft de maatschappij behoefte aan meer WB-afgestudeerden. Dit alles vraagt om een versterking van onderwijs, onderzoek, ondersteuning en faciliteiten. Om deze knelpunten aan te pakken, zullen in het kader van Sectorplan Techniek II de volgende maatregelen worden ondernomen:

- Naast de funderende disciplines worden toepassingsgedreven gebieden versterkt of geïnitieerd. Gekozen is voor de thema's sustainable energy systems (waaronder offshore en waterstoftechnologie), smart mechatronic systems for agrofood (waterzuivering en automatisering), en precision biomechatronics for health (diagnostics en tissue-device interaction). Deze thema's sluiten nauw aan bij actuele maatschappelijke uitdagingen. Investeringen in bijbehorende grootschalige infrastructuur zijn reeds voorzien vanuit eigen middelen.
- Nieuw aangestelde wetenschappers krijgen een PhD-positie en budget voor apparatuur. Hierdoor ontstaat meer ruimte voor onderwijs en explorerend onderzoek.
- In de werving voor de 4 academische posities in de eerste tranche en 9 in de tweede tranche wordt gelet op diversiteit en expertise in kernvakken en kerncompetenties om de kwaliteit van het BSc-onderwijs te garanderen.
- De studentenwerving gaat inzetten op het aantrekken van een diverse studentenpopulatie in de breedste zin van het woord. Hiertoe wordt ook actief gewerkt aan een inclusieve faculteit.
- Uitval wordt tegengegaan door betere voorlichting op het VWO en HBO, een verplichte studiekeuze-check en een online studieadviestool. Meer persoonlijke aandacht moet leiden tot minder uitval en een betere kwaliteit van onderwijs. Nauwere aansluiting met het HBO maakt doorstroom over en weer natuurlijker.
- Afstudeerders sluiten aan bij uitdagend, aansprekend en maatschappelijk relevant onderzoek waarin bij uitstek de integratie van al het geleerde samenkomt. Hierdoor worden de studenten beter voorbereid op de praktijk.
- Er zullen aantrekkelijke posities worden gecreëerd voor hoogwaardig technisch personeel ter ondersteuning van onderwijs en onderzoek, en er zullen tijdelijke juniordocenten worden aangesteld voor het ondersteunen van het onderwijs. Hiermee zal zowel een verdere verbetering in kwaliteit als vermindering van werkdruk gerealiseerd worden. De juniordocenten stromen uit naar docentposities in het beroeps- of middelbaar onderwijs.





Technische Universiteit Eindhoven

De faculteit Mechanical Engineering heeft als missie om onderzoek en onderwijs van wereldniveau te leveren op de thema's energy and flow, dynamics, systems and control, and high-tech materials in overeenstemming met de profileringsgebieden van de TU/e en de haar omringende Brainportregio. Het onderwijsprogramma levert fundamenteel opgeleide en toepassingsgerichte ingenieurs op die sterk kunnen bijdragen aan de toekomstige uitdagingen in de relevante toepassingsgebieden. Het eerste Sectorplan Techniek maakte het mogelijk om de belangrijke groeithema's interactive and smart autonomous systems, multiphase flows for low carbon systems, en designer & hybrid multifunctional materials te versterken door gericht wetenschappelijke staf en promovendi aan te stellen.
De faculteit ervaart de volgende knelpunten:

- In bepaalde groeithema's is het aantrekken van nieuwe wetenschappelijke staf urgent en zeer moeilijk.
- Het financieren van labinfrastructuur is structureel moeilijk, vooral wanneer het gangbare doch noodzakelijke apparatuur betreft. Ondersteuning in de vorm van technici is in het eerste Sectorplan Techniek achtergebleven.
- Ondersteuning van wetenschappelijke staf met betrekking tot projectacquisitie en projectmanagement is nog onvoldoende.
- De faculteit heeft geen grip op de instroom van studenten en daardoor is de student-stafratio 29:1, in plaats van de gewenste 17:1.

De faculteit wil via Sectorplan II deze knelpunten als volgt adresseren:

I. Verhogen van de omvang van de wetenschappelijke staf in de groeithema's sustainable energy, autonomous and high tech-systems, digital twins, en systems engineering. In Sectorplan Techniek II zijn 6 posities gedefinieerd om de relevante groeithema's te versterken. Voor deze posities is de werving al gestart.
II. Verminderen van de druk die onlangs aangestelde wetenschappelijke staf ervaart in het verwerven van externe onderzoeksmiddelen. Er zijn extra project officers voor acquisitie nodig.
III. TU/e-ME wil fors groeien in studentenaantal, met name om aan de tekorten aan ingenieurs in de industrie tegemoet te komen. We willen hiervoor aansluiten bij de plannen van de domeinen bèta en techniek als geheel om bètatechniek beter zichtbaar en aantrekkelijker te maken voor scholieren. Dit zal pas op de middellange termijn kunnen resulteren in de gewenste groei. Aantrekken van studenten uit het buitenland (bij voorkeur uit de EER) is daarom zeker voorlopig nog nodig. Om de student-stafratio positief te beïnvloeden ondanks groei in de bachelor- en masteropleidingen is het nodig om meer wetenschappelijke personeel aan te stellen, alsook docenten met een passend carrièreperspectief.



Universiteit Twente

De faculteit Engineering Technology (ET) verbindt onder één dak de disciplines werktuigbouwkunde, civiele techniek en industrieel ontwerpen en draagt bij aan de discipline biomedische technologie. De onderzoekthema's van de faculteit zijn multidisciplinair gekozen.

De knelpunten zitten vooral in de ervaren werkdruk. Door de geïntegreerde organisatie leveren medewerkers onderwijs aan diverse programma's en is moeilijk onderscheid te maken tussen de verschillende disciplines. Hoewel de voorgaande sectorplannen enige verlichting hebben gebracht, is de werkdruk als gevolg van het gestaag groeiende aantal studenten toch weer stijgende.
De geplande groei van de gezamenlijke bacheloropleiding met de VU in Amsterdam en een verdere autonome groei van het aantal studenten in Enschede maakt het mogelijk om bij te dragen aan de zeer grote behoefte aan academisch afgestudeerde werktuigbouwers. De ontwikkeling van lifelong learning trajecten komt hier nog bovenop. De verwachting is dat hiermee in de komende 8 jaar het aantal werktuigbouwkundestudenten van 1420 tot 2000 zal toenemen.
Een tweede belangrijke knelpunt is de achterstand in labinfrastructuur. Te lang is bezuinigd op het up-to-date houden hiervan. Het is belangrijk dat we onze studenten, zowel de reguliere als de life long learners, kennis laten maken met state-of-the-art technologieën en research.
Een derde knelpunt is het tekort aan technische ondersteuning.

Voorgaande sectorplannen (fundamentele techniek en onderwijs) hebben al geleid tot een verlaging van de bestaande hoge werkdruk, waarbij echter nog geen rekening is gehouden met de recente sterke stijging in studentenaantallen. Sectorplan Techniek II zal dit verder verbeteren door ook in de ontwerp- en productietechniek te investeren. Met de onderwerpen uit het eerste sectorplan wordt hiermee een sterke impuls gegeven aan de profilering van de faculteit op het gebied van de maakindustrie. Van oudsher is de werktuigbouwkunde aan de UT sterk in maintenance en (smart) manufacturing. Daarnaast wordt geïnvesteerd in de biomedische techniek. Hier ligt de focus met name op het gebied van de biorobotica. Dit versterkt daarmee het Twente Robotics Center, waarin de faculteiten EEMCS en ET samen optrekken.

In de faculteit streven we naar een evenwichtige werkdruk en kansen voor iedereen. Dat betekent dat de sectorplanmiddelen gedeeltelijk faculteitsbreed worden ingezet, bijvoorbeeld in de ondersteuning, de labfaciliteiten of het verminderen van de acquisitiedruk.

Wageningen Universiteit en Research

Binnen Wageningen bestaat geen faculteit werktuigbouwkunde, al wordt binnen Wageningen Universiteit en Research veel werktuigbouwkunde gebruikt en toegepast binnen de agrotechnologie en voedingswetenschappen, en ook binnen plantenwetenschappen. Dit gebeurt zowel binnen onderwijs als binnen onderzoek. Binnen het sectorplan stelt Wageningen Universiteit en Research 'Voeding vanuit inclusieve perspectieven' centraal. De gemene deler betreft onderzoek naar voedselvoorziening, met duurzaamheid als drijfveer. Speciale aandacht is er voor het ontwerpen van geavanceerde systemen voor de primaire voedselproductie op het land, in de kas, via verticale landbouw, en binnen natuur-inclusieve aanpakken. De posities die WB gebruiken zijn behalve in deze discipline ook te vinden binnen de disciplines agrotechnologie en voeding (departementen Agrotechnologie en Voedingswetenschappen, en Plantenwetenschappen).

Er is een groot gebrek aan professionals die duurzame systemen kunnen ontwerpen, en dit ook kunnen doen op een multidisciplinaire manier. De genoemde studies trekken veel studenten en kennen een hoge student-docentratio. Dit geldt ook voor het aantal promovendi ten opzichte van academische staf. De sectorplangelden worden ingezet om de algehele werkdruk te verlagen, en intensieve onderwijsvormen te ontwikkelen die nodig zijn om de studenten voor te bereiden op complexe maatschappelijk vraagstukken.

Rijksuniversiteit Groningen

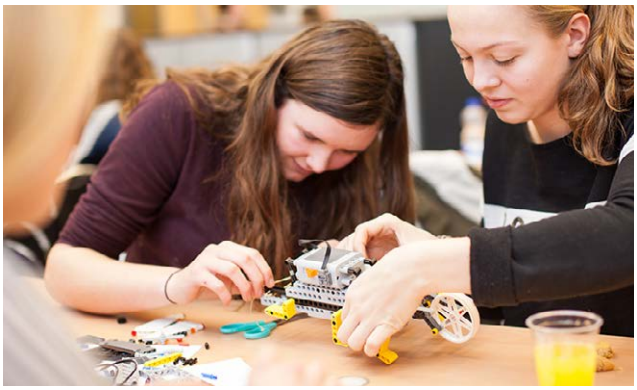
De technische wetenschappen van de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) zijn ingebed in een brede, algemene universiteit waardoor er een sterke interactie is tussen de technische disciplines en fundamentele aanpalende wetenschappen. Techniek is bij verschillende faculteiten ondergebracht; zij werken samen in onderzoek en onderwijs via het Groningen Engineering Center. Het onderwijs en onderzoek op

het terrein van werktuigbouwkunde vindt grotendeels plaats binnen de faculteit Science and Engineering (FSE) en is geconcentreerd rond onderzoek aan materiaalsystemen, geavanceerde materialen, systeem- en regeltechniek, autonome systemen en interacterende robotsystemen. Recent heeft een uitbreiding op het gebied van energieprocessen plaatsgevonden. We zijn succesvol in grootschalige onderzoeksconsortia voor materialen- en energieonderzoek, digital twinning, smart industrie en robotica.
Via de Universiteit van het Noorden[20] zetten we onze gezamenlijke expertise in voor brede welvaart in Noord-Nederland. Op het gebied van onderwijs werken we samen om voldoende gekwalificeerd personeel voor de regio op te leiden. FSE heeft hierom gekozen voor het versterken van haar technische karakter en zij wil op dit vlak nog groeien. Zo zijn er plannen voor twee Engineering Doctorate opleidingen (Autonomous Systems en Sustainable Process Design; beoogde start september 2024).
De studievoorschotmiddelen/kwaliteitsmiddelen worden binnen FSE blijvend ingezet voor het verhogen van de onderwijskwaliteit. Er is extra onderwijzend personeel aangenomen en er zijn flexibele onderwijsfaciliteiten gecreëerd. Recentelijk is gestart met het aanstellen van een aantal tenure track UD's met een educatieprofiel. Hiermee bevorderen we de diversiteit van een academische carrière en verbetert de student-stafratio. Via het eerste Sectorplan Techniek is de onderzoek- en onderwijsstaf verder uitgebreid en hebben we de genderbalans van onze vaste staf kunnen verbeteren. Daarnaast is er een start gemaakt met broodnodige investeringen in het vernieuwen van middelgrote apparatuur. Via dit Sectorplan Techniek II wil FSE:

- De student-stafratio verder verbeteren door het aanstellen van twee extra stafleden voor werktuigbouwkunde. Op dit moment is de student-stafratio voor de opleidingen werktuigbouwkunde, biomedische technologie en industrial engineering and management gezamenlijk 24,1. Naast de twee posities voor werktuigbouwkunde wordt er via Sectorplan Techniek II met nog drie posities gestart om de student-stafratio te verbeteren. Deze posities zijn vooral gekoppeld aan de opleidingen biomedische technologie (twee posities) en industrial engineering and management (één) maar vanwege de verwevenheid van het onderwijs zullen zij allen onderwijzen in meerdere technische opleidingen.
- Uitbreiden met een essentieel opkomend vakgebied (data based and learning control engineering) dat we met name willen inbrengen in de werktuigbouwkunde-opleiding.
- Extra technisch-ondersteunende staf in vaste dienst nemen voor onderzoek en onderwijs ter verlaging van de werkdruk en ter verbetering van de kwaliteit van onderwijs en onderzoek.
- Een extra onderwijsontwikkelaar/coördinator aantrekken voor de verdere realisatie en structurele ondersteuning van de Engineering Doctorate plannen.
- Budget vrijmaken voor structurele promotie- en/of postdocposities voor vrij, ongebonden onderzoek.
- Materiaal en laboratoriuminfrastructuur financieren.

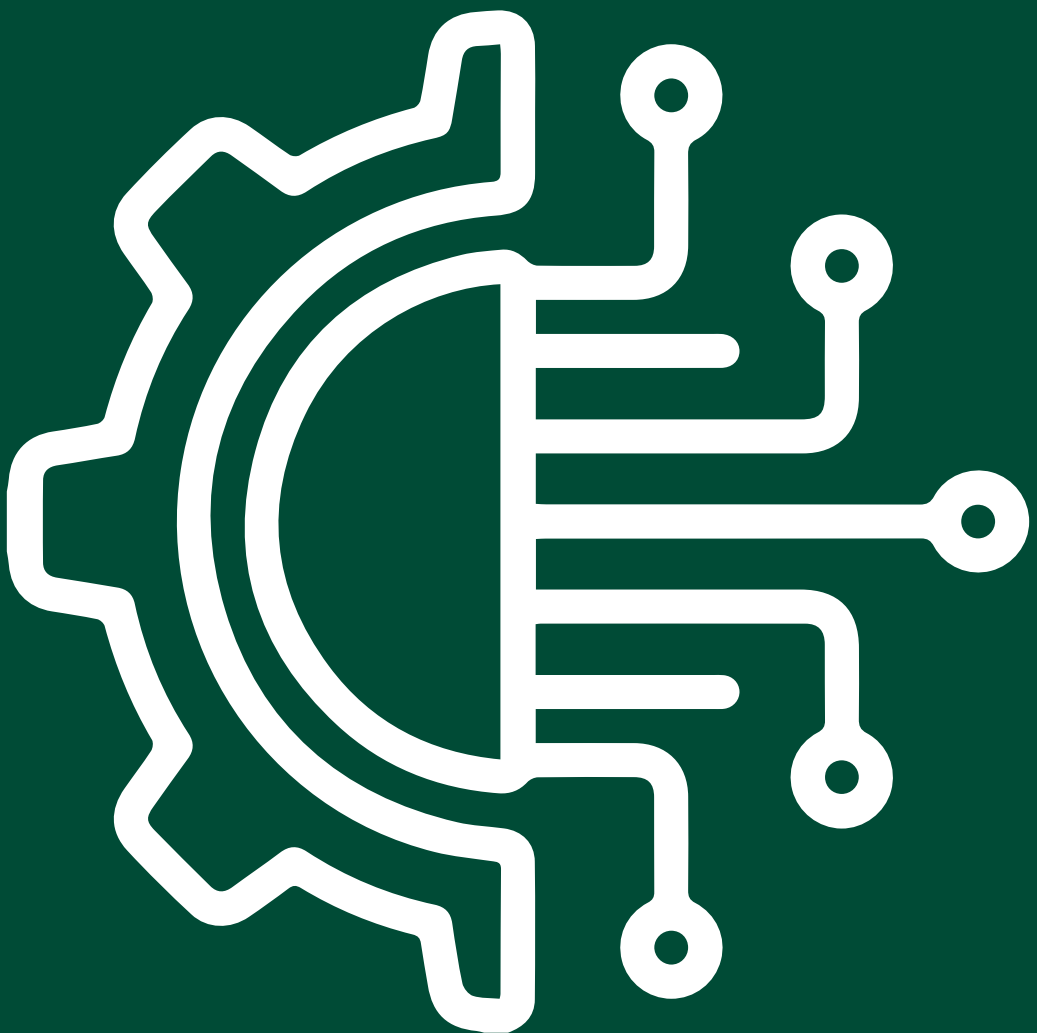
[20] *Een kennis- en innovatienetwerk van de vijf Noordelijke kennisinstellingen RUG, UMCG, Hanzehogeschool Groningen, NHL Stenden en Van Hall Larenstein.*


XBOX 360






CLEARPATH



3. Totaal overzicht bestedingen per universiteit/faculteit

Tabel 14 presenteert de totale bestedingen per universiteit en per faculteit/departement, inclusief aan welke disciplines de bestedingen ten goede komen. Het totaal telt op tot 36 M€. Dit is exclusief de bestedingen voor de discipline Technische Informatica (4 M€), die opgenomen zijn in het Sectorplan Informatica. Samen telt dit op tot 40 M€ voor het domein Techniek.
De bijgevoegde Excel-file geeft een specificering van de bestedingen; voor de eerste (10,8 M€) en de tweede tranche (25,2 M€) en voor het totaal (36 M€) - in de volgorde zoals in tabel 14.

Tabel 14. Totale bestedingen per universiteit en per faculteit/departement, inclusief aan welke disciplines de bestedingen ten goede komen.

Faculteiten (WUR: Departementen):	**Sectorplan Techniek** ***(zonder Informatica)***	**bedragen in k€ 36.000**
TUD		**15.900**
Architecture and Built Environment (ABE)	OGO	2.800
Civil Engineering and Geosciences (CEG)	CiT	2.250
Electrical Engineering Mathematics and Computer Science (EEMCS)	ET	2.000
Industrial Design Engineering (IDE)	IO	1.800
Aerospace Engineering (AE)	L&R	1.750
Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3ME)	WB	3.250
Technology, Policy Management (TPM)	TBB	2.000
Algemeen		50
TU/e		**8.500**
Built Environment (BE)	OGO	1.000
Built Environment (BE)	CiT	1.000
Biomedical Engineering (BME)	BMT	750
Electrical Engineering (EE)	ET	1.625
Industrial Design (ID)	IO	1.000
Industrial Engineering and Innovation Sciences (IE&IS)	IO	400
Industrial Engineering and Innovation Sciences (IE&IS)	TBB	1.200
Mechanical Engineering (ME)	WB	1.375
Mathematics and Computer Science (M&CS)	TI	150
UT		**4.750**
Behavioural, Management and Social Sciences (BMS)	TBB	800
Electrical Engineering Mathematics and Computer Science (EEMCS)	ET	750
Engineering Technology (ET)	CiT	500
Engineering Technology (ET)	IO	1.000
Engineering Technology (ET)	OGO	200
Engineering Technology (ET)	WB	1.500
WUR		**5.000**
Agrotechnology and Food Sciences Group (AFSG)	AGT&V	2.755
Animal Sciences Group (ASG)	AGT&V	170
Environmental Sciences Group (ESG)	AGT&V	465
Plant Sciences Group (PSG)	AGT&V	700
Social Sciences Group (SSG)	AGT&V	910
RUG		**1.850**
Economie & Bedrijfskunde (FEB)	TBB	200
Science and Engineering (FSE)	WB, BMT, TBB	1.250
Ruimtelijke wetenschappen (FRW)	OGO	400

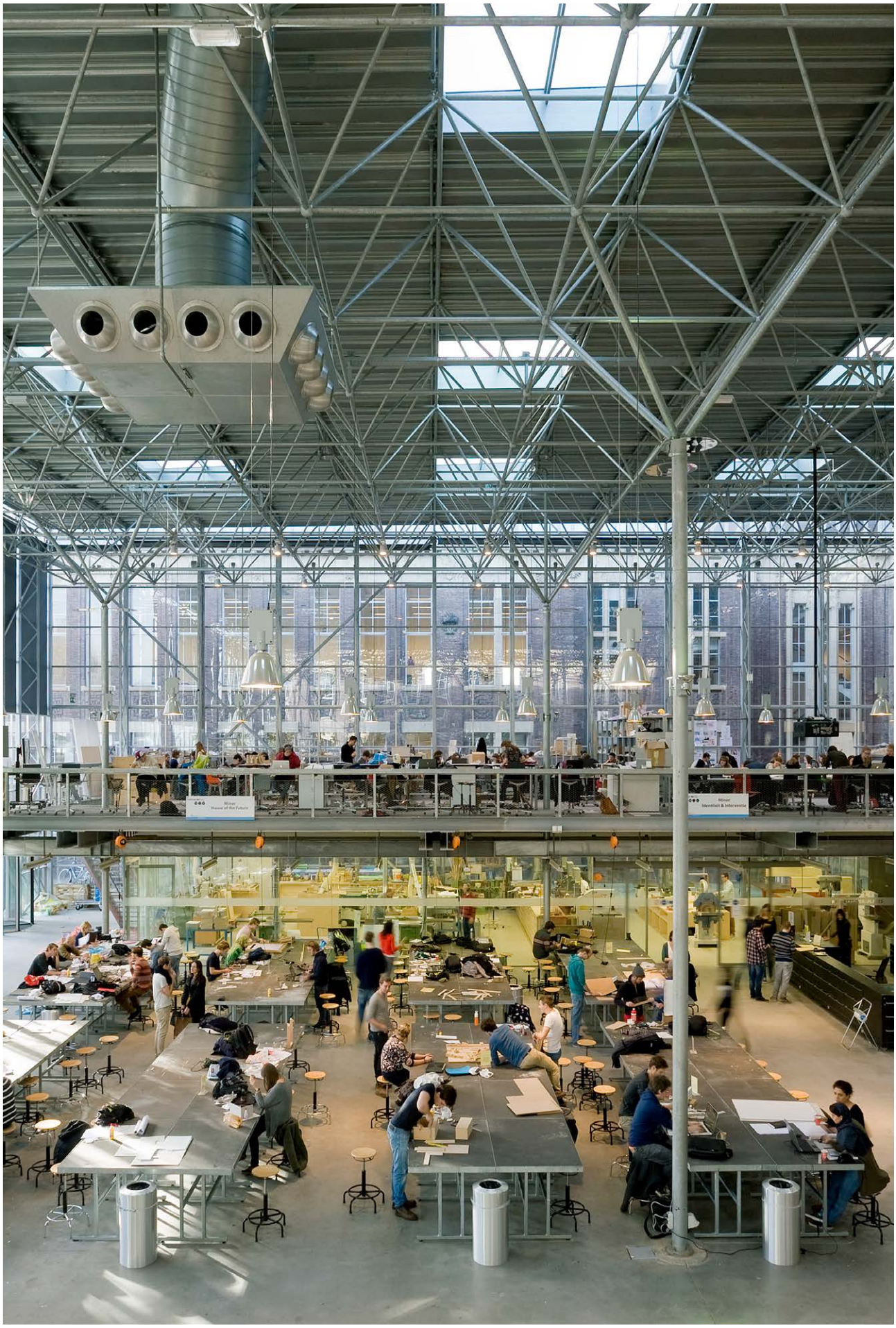


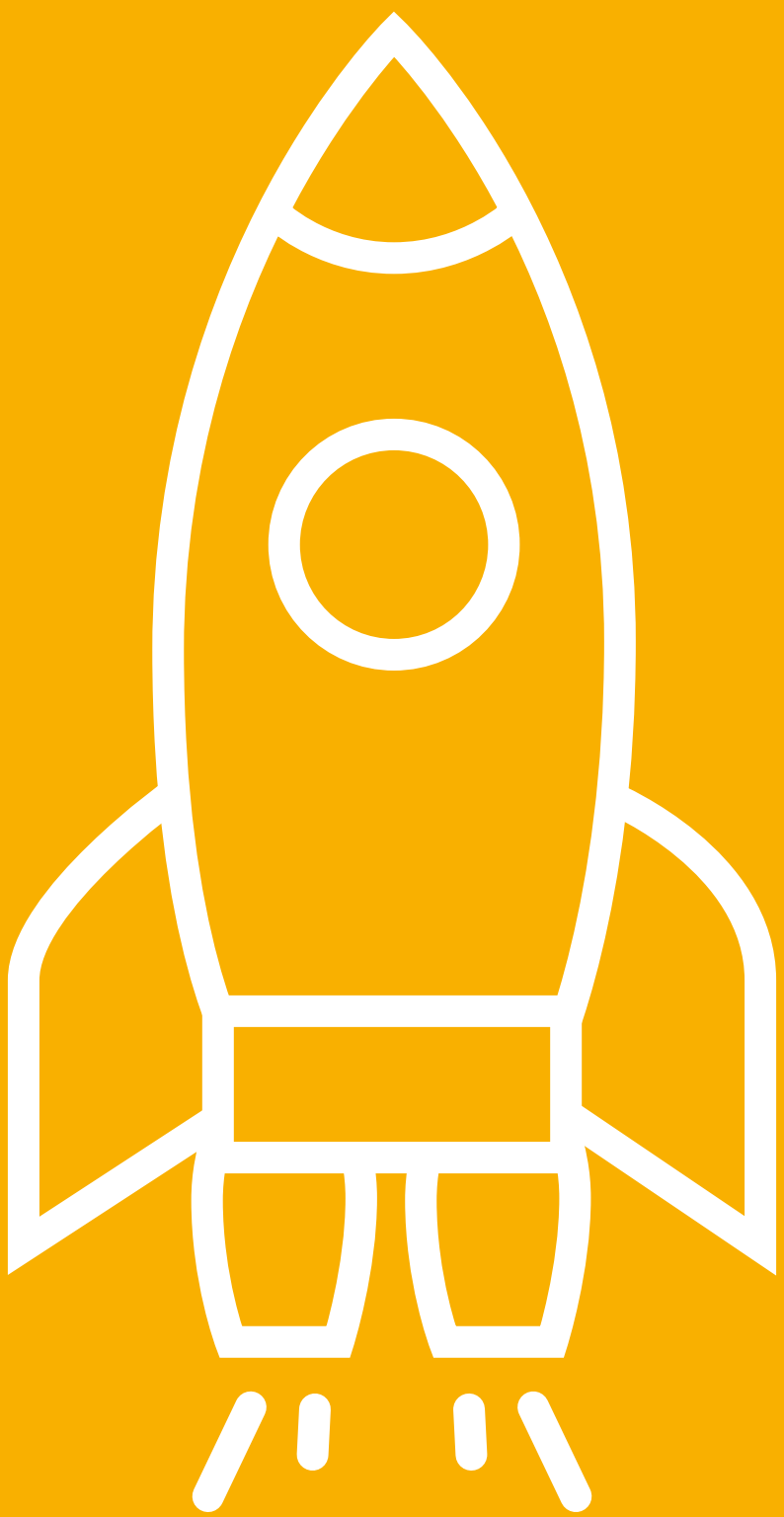
Appendix A

Relatie tussen afgesproken KPI's en onderliggende knelpunten, doelstellingen en maatregelen

Thema	Knelpunten	Doelstelling	Maatregelen	KPI
Rust en ruimte	Te weinig staf voor onderwijs en onderzoek in geprioriteerde zwaartepunten	Meer staf om onderwijs en onderzoek te verzorgen	Aanstelling van extra onderzoek- en onderwijsstaf	• Rapportage per faculteit van de ***uitgaven in kader van het Sectorplan*** (in het bijzonder aantal en aard van ingevulde posities - UD, UHD, HGL, ondersteunende staf, promovendi uit starterspakketten) • Ontwikkeling van ***aantallen studenten en wetenschappelijke/ onderwijzende staf*** en daaruit resulterende ***student-staf ratio's*** met duiding (per faculteit). Streven: verlaging SSR (maar dit is door ambitie groei afgestudeerden wellicht niet haalbaar)
	Te hoge aanvraagdruk voor subsidies	Meer rust en ruimte voor beginnende wetenschappers	Ieder staflid dat wordt aangesteld binnen het sectorplan ontvangt een startpakket bestaand uit minimaal één promovendus of postdoc	Zie hierboven
Talentbeleid	Diversiteit in carrière-perspectief: Te weinig loopbaanperspectief buiten typische wetenschappelijke carrière, waarbij de nadruk voornamelijk ligt op onderzoeksprestaties	Verschillende doorgroei-scenario's voor medewerkers om zo het functiehuis in balans te houden. Tevens het eerder toekennen van vaste aanstellingen.	Uitwerken van Erkennen en Waarderen.	Geen KPI via sectorplan; dit wordt door instellingen gerapporteerd in de reguliere verantwoording (jaarverslagen). Eventueel kunnen we het narratief mbt implementatie van Erkennen en Waarderen uit andere rapportages overnemen
Infrastructuur	Achterblijvende investeringen in infra (voor sommige disciplines)	Basale kleinschalige infra voor onderwijs en onderzoek op orde	Waar nodig sectorplan-middelen inzetten voor kleinschalige infrastructuur	Rapportage over sectorplanbestedingen in infrastructuur
Organisatiegraad, nationale taak-verdeling en samenwerking	Onvoldoende organisatiegraad van het Techniek domein en sectoren.	Afstemming en samenwerking nog niet bij alle disciplines optimaal	Versterking organisatiegraad en gouvernance van domein en sectoren.	• ***Narratief over de status van de disciplineraden*** en hoe die hun agenderende en sturende rol in de discipline hebben vervuld (bijv. door input te leveren voor voorstel t.b.v. Grote Wetenschappelijke Infrastructuur) • ***Narratief over ontwikkeling op gebied van onderzoek.*** Hierin zal iedere discipline in gezamenlijkheid verslag doen van: - De ontwikkeling van de zwaartepunten van het vakgebied en de landelijke taakverdeling - De voortgang op de gezamenlijke ambities • ***Narratief over landelijke onderwijsontwikkeling.*** Hierin zal iedere discipline gezamenlijk verslag doen van en reflecteren op: - De ontwikkelingen op gebied van onderwijs (nieuwe opleidingen, onderwijsvernieuwing) - De ontwikkeling van het aantal studenten en de student-stafratio • ***Narratief over impact.*** Hierin zal iedere discipline gezamenlijk verslag doen van de impact van de discipline, bijvoorbeeld met goede landelijke voorbeelden van 2e- en 3e-geldstroomprojecten die binnen de discipline gerealiseerd zijn.

Thema	Knelpunten	Doelstelling	Maatregelen	KPI
Diversiteit	Staf en studenten zijn onvoldoende afspiegeling van de samenleving	Vergroting van diversiteit op een reeks van aspecten (gender, migratieach-tergrond, SES, eerste-generatie studenten)	Techniek-promotie en outreach in samenwerking met Bèta domein; ook gericht op specifieke doelgroepen Lerarenopleiding onder techniek-studenten stimuleren (wederom in afstemming met Bèta domein) Diversiteit (op meerdere aspecten) als expliciet criterium opnemen bij aanstellingen	• Rapportage over bijdrage vanuit techniek aan ***opleiden bètaleraren*** • Rapportage gezamenlijke inspanningen m.b.t. ***outreach*** Kwantitatieve KPI's (per lokale discipline of faculteit/ departement) • ***Instroom in BSc- en MSc-opleidingen en aantal afgestudeerden*** van BSc- en MSc-opleidingen, met onder-scheid naar gender en naar herkomst (NL, EER, non-EER) • ***Aandeel vrouwelijk talent in sectorplanaanstellingen*** per faculteit Streven: - minimaal 33% (voor disciplines met laag aandeel vrouwelijke studenten, i.e. < 20%) - minimaal 50% (voor overige disciplines) • ***Aandeel vrouwelijk talent in totale wp per faculteit*** Streven: toename (ook buiten de nieuwe sectorplanposities gerekend)


Minor
House of the Future
Minor
Identiteit & Interventie



Colofon en fotoverantwoording

Colofon

Redactie: Henri Werij (voorzitter techniekdomein, TUD), Marte Bugel (TUD), Inge Broekman (UT), Caspar Chorus (TUD), Fred van Keulen (TUD), Bart Koopman (UT), Maarten Merx (TU/e), Onno Möller (WUR), Theo Salet (TU/e), Jacquelien Scherpen (RUG), Karin Schroën (WUR), Bart Smolders (TU/e), Iris Vis (RUG), Jan Vleeshouwers (TU/e), Lucas van Vliet (TUD), Karen Voskamp (RUG), Renee Westenbrink (TU/e)

Eindredactie: Sonja Knols (Ingenieuse), Marjolein Dohmen-Janssen (4TU)

Vormgeving: Lisette Tegelberg (lizzil creative)

Fotoverantwoording

Kaft: Information Systems in the Built Environment - Internet of Things
Pag 6: Faculteit Industrieel Ontwerpen TU Delft. Foto: Hugo Onink (Lifeshots Photography)
Pag 9: Foto: Green Team IO
Pag 10: Foto: Guus Schoonewille Fotografie
Pag 14: 3D Handscanner. Foto: Pieter Smakman
Pag 16: Advanced Prototyping Minor 2022. Foto: Hugo Onink (Lifeshots Photography)
Pag 19: Foto: Guus Schoonewille Fotografie
Pag 21: Prius intelligent vehicle. Foto: Jesse Kraal
Pag 22: Virtual Reality, Foto: Rikkert Harink
Pag 26: Genetische diversiteit. Foto: Beeldbank WUR
Pag 27: Supply chain governance. Foto: Beeldbank WUR
Pag 29: Voeding: voedselproductie. Foto: Beeldbank WUR
Pag 31: “Hoe ontwerpen we deze verandering?” Foto: Getty Images
Pag 32: Kraakbeen van tussenwervelschijf in bioreactor, onderzoek door Bart van Dijk en Irene Arkesteijn, vakgroep Orthopaedic Biomechanics / Keita Ito, BMT TU/e. Foto: Bart van Overbeeke Photography
Pag 37: Toepassing van AI in radiotherapie bij borstkanker patiënten. Onderzoek van EngD Nienke Bakx en begeleider Coen Hurkmans
Pag 37: Tissue-engineered heart valve in a stent. Foto: Bart van Overbeeke Photography
Pag 38: 3D geprint beton. Foto: Frank Auperlé
Pag 41: Verschillende samenstellingen van asfalt. Foto: Frank Auperlé
Pag 42: Paviljoen MAXX, voorbeeld van een ‘gebreide’ betonstructuur
Pag 43: De zandmotor bij Monster, Nederland
Pag 44: Met data van A naar B
Pag 45: Gerecycled beton. Foto Frank Auperlé
Pag 46: White light interferometer, Foto: Hans de Lijser
Pag 47: Wafer 2-2 Foto: Smart Photonics
Pag 51: Luc Augustin with wafer containing photonic chips. Foto: Bart van Overbeeke Photography
Pag 53: Nanolab at Eindhoven University of Technology. Foto: Bart van Overbeeke Photography
Pag 54: Meer zien met AR/VR. Foto: Uriel Soberanes, Unsplash
Pag 56: Grippy: Slimme handschoen om PTSS-patiënten te helpen. Foto: Guus Schoonewille Fotografie
Pag 56: Foto: Guus Schoonewille Fotografie
Pag 59: Schilderrobot Bob Rob bekwaamt zich in Delfts Blauw. Foto: Frank Auperlé
Pag 59: We\Visit: Beeldbellen tegen eenzaamheid. Foto: Frank Auperlé
Pag 59: Delft Design Lab for Expressive Intelligence. Foto: Frank Auperlé
Pag 60: Autonomous morphing wing. Foto: Davide Monteleone
Pag 61: Artist impression Flying V, TU Delft
Pag 62: Delfly Nimble, bio-inspired flapping wing drone. Foto: Henri Werij
Pag 62: Flying V schaalmodel in windtunnel. Foto: Davide Monteleone

Pag 64: Waterplein Benthemplein. Ontwerp door de Urbanisten. Foto: C40 Cities
Pag 66: Stedelijk groen. Foto: Beeldbank WUR
Pag 68: Atrium in het nieuwe Erasmus Medisch Centrum. Foto: Erasmus MC Rotterdam
Pag 71: Omgaan met natuurlijke systemen in het rivierengebied. Foto: NOVI
Pag 72: Masterplan Rijnhaven, Rotterdam. Foto: Barcode Architects
Pag 74: iStock-849023956nw
Pag 75: BlueCity. In voormalig Tropicana verzamelen zich pioniers van de circulaire economie. Foto: Maarten Scheer, Unsplash
Pag 76: Voedsellogistiek. Foto: Beeldbank WUR
Pag 76: Internationale handel. Foto: Beeldbank WUR
Pag 77: Metrostation Den Haag Centraal met een overkapping van gebogen glas en staal om de impact op de omgeving zo klein mogelijk te houden. Foto: Frank van der Hoeven
Pag 81: 3D printen als basis onderzoek naar het gebruik van robotics en additive manufacturing. Foto: TUD
Pag 82: Student werkt aan de grijper voor de minor Mechatronica & Robotica
Pag 85: A PhD candidate works on the steer-by-wire bicycle. Foto: Sam Rentmeester
Pag 85: UR5 with tactile sensor. Foto: Sam Rentmeester
Pag 86: Stromingsleer lab. Foto: Eric Fecken
Pag 89: Een robot die de koffiebeker vasthoudt, minor Mechatronica & Robotica
Pag 89: Meisjes 5 VWO bezoeken Werktuigbouwkunde en bouwen een looprobot geïnspireerd op de natuur. Foto: Ernst de Groot
Pag 89: Cl2-H2 Electrolyzer, license TUe – EIRES. Foto: Bart van Overbeeke Photography
Pag 89: The jackal robot, drones. Foto: Sam Rentmeester
Pag 95: Studenten maken fysieke modellen. Foto: TUD, Bouwkunde