

April 2022

Gert Florijn, Robbert Eckhardt

Topsector ICT

# VERKENNING SOFTWARE ENGINEERING

ICT in perspectief

**M&I/**Partners/

adviseurs voor management en informatie

# Inhoud

1	<a href="#"><u>Inleiding</u></a>	3
2	<a href="#"><u>Context en invalshoeken</u></a>	6
3	<a href="#"><u>Verkenning vanuit afwegingskader</u></a>	12
3-1	<a href="#"><u>Maatschappelijke impact</u></a>	14
3-2	<a href="#"><u>Economische impact</u></a>	16
3-3	<a href="#"><u>Relatieve positie van Nederland</u></a>	20
3-4	<a href="#"><u>Krachtenbundeling</u></a>	23
3-5	<a href="#"><u>Meerjarige samenwerking over de keten</u></a>	25
3-6	<a href="#"><u>Doorsnijdend karakter</u></a>	26
4	<a href="#"><u>Samenvatting</u></a>	27
5	<a href="#"><u>Bijlagen</u></a>	30

1

# Inleiding

# 1 Inleiding

## Achtergrond

Topsector ICT heeft als missie het bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen te helpen innovaties met ICT te realiseren en de internationale positie van Nederland als land om te investeren in en met ICT-innovatie te verstevigen. Dat gebeurt via samenwerking, kennisdeling en het aanbieden van financieringsroutes op specifieke thema's.

Topsector ICT identificeert, prioriteert en organiseert digitaal/ICT-onderzoek en innovatie, en creëert ecosystemen waarmee maatschappelijke en economische vraagstukken aangepakt worden. Zij doet dat door een breed palet aan publieke en private partijen bijeen te brengen in innovatie-coalities met een focus op ICT-sleuteltechnologieën.

Een sleuteltechnologie is een technologie die gekenmerkt wordt door een breed toepassingsgebied of bereik in innovaties en sectoren. De Topsector ICT kent op dit moment vijf sleuteltechnologieën.

1. Big Data
2. Blockchain
3. Artificial Intelligence
4. Cybersecurity
5. Future Network Services

## Aanleiding

Het portfolio aan sleuteltechnologieën wordt met enige regelmaat tegen het licht gehouden, in relatie tot nieuwe ontwikkelingen. Een van die ontwikkelingen is een oproep vanuit de onderzoekswereld voor meer aandacht voor en investering in het vakgebied van software engineering in Nederland; zie o.a. het VERSEN manifesto en een recente internationale petitie.

Topsector ICT heeft besloten om een verkenning op hoofdlijnen uit te voeren naar software engineering als mogelijke sleuteltechnologie langs de lijnen van haar afwegingskader.

Dit rapport bevat de resultaten van deze verkenning.

# 1 Inleiding

## Inhoud en opbouw

Dit rapport geeft een beeld van de huidige stand van zaken rond software engineering in Nederland (en daarbuiten waar relevant), de ambities en uitdagingen binnen het werkveld en de community, en de potentie en mogelijk versterkende rol van het thema voor de topsectoren en andere (maatschappelijke) sleutelgebieden.

Het rapport bestaat uit drie delen.

1. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van het vakgebied van software engineering en vat op hoofdlijnen samen wat er in Nederland gebeurt aan onderzoek, onderwijs en toepassing.
2. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht vanuit de invalshoeken uit het (concept) afwegingskader dat Topsector ICT zelf hanteert (zie de bijlage voor meer details).
  1. De kans op maatschappelijke impact.
  2. De kans op economische impact.
  3. De relatieve positie van Nederland in EU-12 en in de wereld.
  4. De krachtenbundeling met andere initiatieven.
  5. De potentie voor meerjarige samenwerking over de gehele keten.
  6. Het doorsnijdend karakter.
3. Hoofdstuk 4 geeft onze samenvatting uit de verkenning.

## Verantwoording

Deze verkenning is uitgevoerd binnen een periode van twee maanden – van medio januari 2022 tot medio maart 2022. De verkenning is gebaseerd op een combinatie van desk research en gesprekken met betrokkenen. Een overzicht van bronmateriaal en gesprekspartners is opgenomen in de bijlagen.

Gegeven de beperkte doorlooptijd hebben we – waar relevant – gekozen voor het opbouwen van een zo breed en integraal mogelijk beeld boven details.

Verder hebben we geprobeerd de analyse zo feitelijk mogelijk te maken en waar mogelijk “harde” cijfers te geven. Waar dit niet mogelijk of haalbaar was geven we kwalitatieve beelden die aangedragen zijn in meerdere gesprekken.

Vanuit het oogpunt van leesbaarheid hebben we ervoor gekozen om niet alle Engelstalige begrippen te vertalen of van alle begrippen (uitgebreide) definities op te nemen. We gaan dus uit van enige basis ICT-kennis.

## Dankwoord

We danken alle gesprekspartners voor hun bereidheid om op korte termijn het gesprek met ons aan te gaan, en voor het delen van informatie, waardevolle inzichten en toekomstbeelden.

2

# Context en invalshoeken

## 2 Inleiding

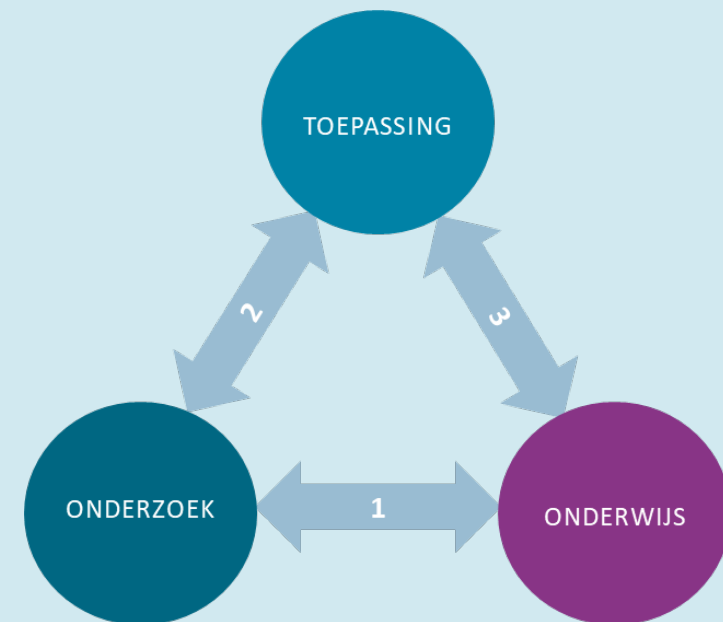
### CONTEXT EN INVALSHOEKEN

In dit hoofdstuk geven we allereerst een samenvatting van wat software engineering inhoudt en wat het belang ervan is. Vervolgens schetsen we het beeld op hoofdlijnen van de situatie binnen Nederland.

Zowel in dit overzicht als bij de verdere uitwerking in hoofdstuk 3 (vanuit het afwegingskader) hanteren we het denkraam dat hiernaast is weergegeven. We beschouwen de kennisinfrastructuur rond software engineering dus vanuit het oogpunt van:

- onderzoek – wat wordt er gedaan aan onderzoek, wat zijn de thema's.
- onderwijs – hoe vertaalt kennis zich in opleidingsprogramma's.
- toepassing – hoe wordt kennis in de praktijk gebracht, welke innovaties en behoeftes zijn er.

Daarbij kijken we ook naar de onderlinge verbanden.



## 2 Software engineering

Software engineering is een vak. Het is de kunde om op professionele wijze professionele software te ontwikkelen, integreren, in gebruik te nemen, onderhouden, beheren en uit te faseren. Daar hoort een arsenaal aan methoden en technieken bij, bijvoorbeeld om eisen te specificeren, ontwerpen te maken en te beoordelen, code te ontwikkelen, te testen en producten te deployen, te monitoren en beheren en te doen evolueren.

Een belangrijk focuspunt bij software engineering is het automatiseren van (ondersteuning van) taken en werkzaamheden om zodoende de kwaliteit van werken te verhogen. Dat leidt tot een breed spectrum aan omgevingen, tools en platformen voor versiebeheer, geautomatiseerde kwaliteitsanalyse en testen, integratie en deployment, et cetera.

Software engineering gaat ook over kwaliteit. Het gaat niet alleen om *wat* een systeem moet doen, maar ook *hoe* het systeem werkt – dus rekening houdend met niet-functionele of kwaliteitseisen zoals efficiëntie, beschikbaarheid, security, traceerbaarheid en onderhoudbaarheid. Dergelijke kwaliteitskenmerken worden vaak pas tastbaar als er niet aan eisen wordt voldaan: als gebruikers niet kunnen inloggen, de afhandeling van verzoeken te lang duurt, als de traceerbaarheid van geautomatiseerde besluitvorming niet mogelijk blijkt of als gegevens onvoldoende blijken afgeschermd.

Software engineering is intrinsiek een breed vakgebied. Het raakt aan allerlei andere fundamentele onderwerpen binnen de informatica/ICT. Daarbij is het ook aanvullend op specifieke toepassingsgebieden, bijvoorbeeld Big Data en AI.

### **Twee definities:**

De Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK) [1] definieert software engineering als: “the application of a systematic, disciplined, quantifiable approach to the development, operation, and maintenance of software; that is, the application of engineering to software.”

In het boek *Software Engineering at Google* [4] hanteert men de formulering: “software engineering is programming integrated over time” en licht dit als volgt toe:

“We see three critical differences between programming and software engineering: time, scale, and the trade-offs at play. On a software engineering project, engineers need to be more concerned with the passage of time and the eventual need for change. In a software engineering organization, we need to be more concerned about scale and efficiency, both for the software we produce as well as for the organization that is producing it. Finally, as software engineers, we are asked to make more complex decisions with higher-stakes outcomes, often based on imprecise estimates of time and growth.”



## 2 Onderzoek

### CONTEXT EN INVALSHOEKEN

Binnen het vakgebied van de software engineering vindt zowel meer theoretisch als meer empirisch onderzoek\* plaats. Daarbij is verbinding met de praktijk van groot belang. Of het nu gaat om formele verificatie van ontwerpen, methodieken voor ontwerp of hulpmiddelen bij het ontwikkelen van software: de confrontatie van idee en concept met de werkelijke wereld leidt uiteindelijk tot echt effectieve innovaties die de "state of the practice" verhogen..

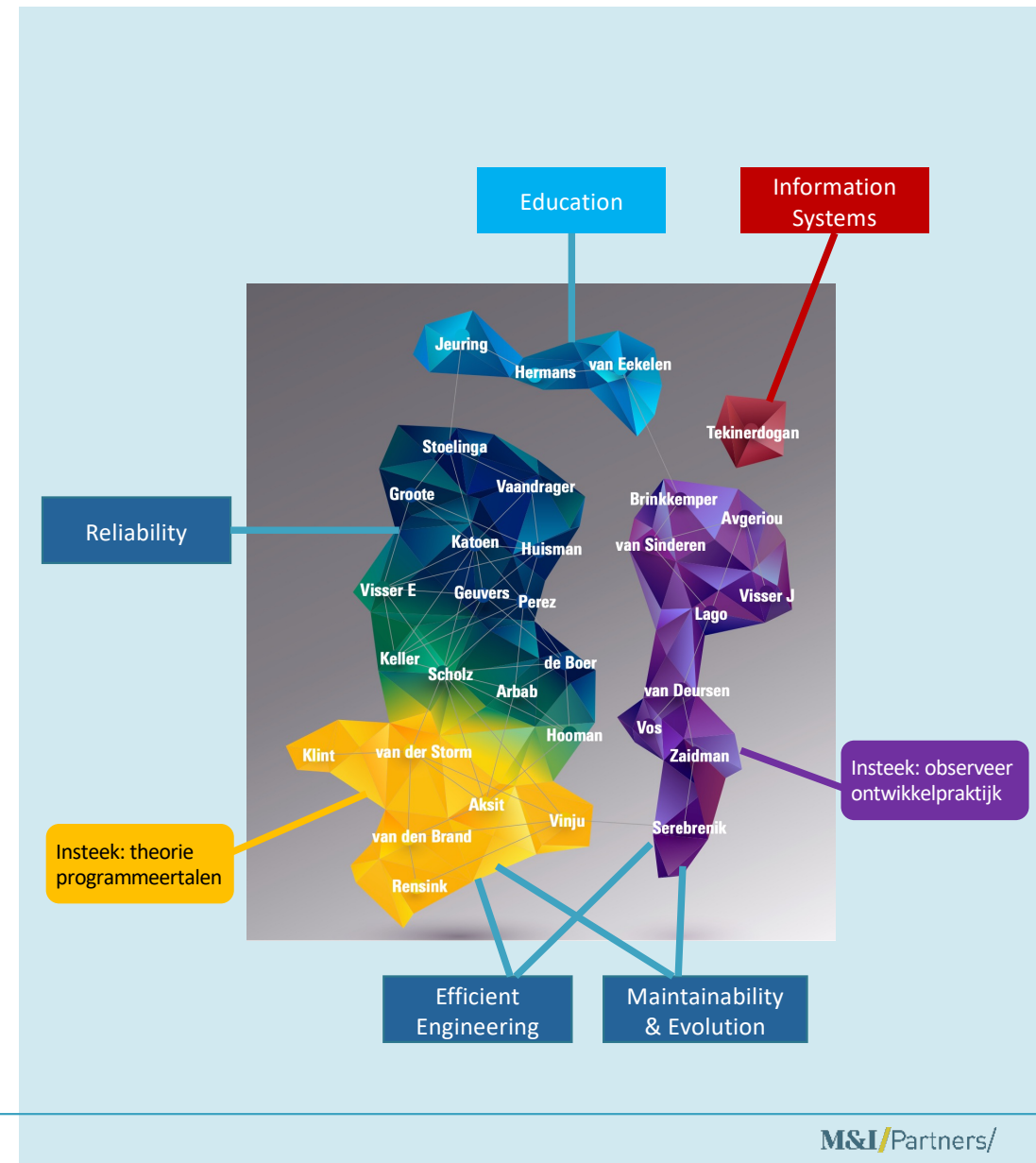
In Nederland vindt software engineering onderzoek (in wisselende omvang en inhoud) plaats bij alle universiteiten en het CWI. De onderzoekers werken samen in een netwerk genaamd VERSEN [2], de Vereniging Software Engineering Nederland – [www.versen.nl](http://www.versen.nl).

In het VERSEN manifesto [3] staan de belangrijkste uitdagingen voor software research in Nederland benoemd (zie bijlagen). De uitdagingen zijn geclusterd rond drie lijnen:

- reliability of software systems
- efficient engineering of software
- maintainability and evolution

De activiteiten van de onderzoeksgroepen in Nederland zijn niet direct georganiseerd rond deze thema's, maar ze (bijna) allemaal te relateren aan deze lijnen, waarbij de inhoudelijke insteek verschilt. De figuur rechts vat dit beeld samen.

\*) Onderzoek rond software engineering wordt ook wel software research genoemd.



## Onderwijs

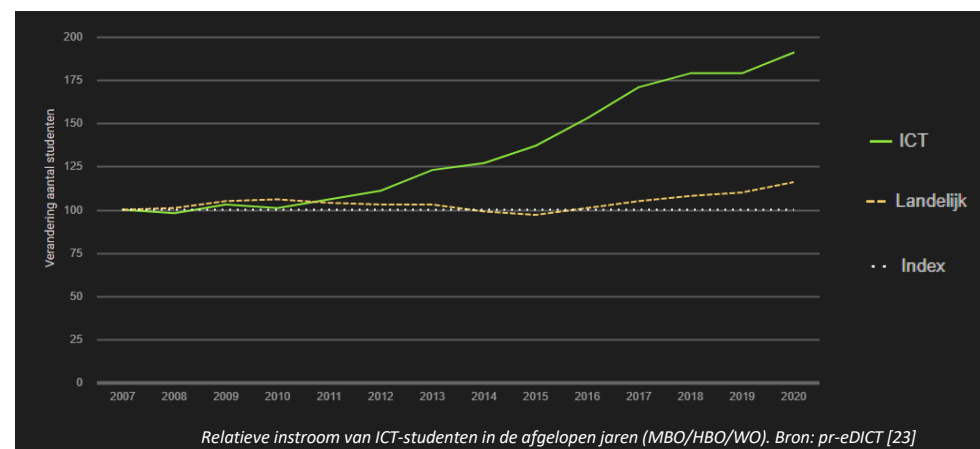
Software engineering kennis manifesteert zich op verschillende manieren. Er is een uitgebreide “body of knowledge” met methodes en technieken. Verder zijn er standaarden en richtlijnen die in de praktijk gebruikt kunnen worden. Ook worden platformen waarop en hulpmiddelen waarmee we systemen bouwen steeds geavanceerder en rijker waardoor de programmeurs werk uit handen wordt genomen in het ontwikkelproces en bepaalde kwaliteitskenmerken (zoals beschikbaarheid) makkelijker worden gerealiseerd.

De samenleving heeft echter veel, goed opgeleide ICT professionals nodig met de juiste software engineering kennis om deze nieuwe mogelijkheden te benutten en goed in te zetten. Dit vergt goed onderwijs op meerdere niveaus. Wij concentreren ons in deze verkenning op het hoger onderwijs (universiteiten en HBO). In hoofdstuk 3 gaan we nader in op het thema opleidingen in relatie tot arbeidsmarkt.

In het VERSEN manifesto, maar ook in een visie document van IPN - het ICT onderzoeksplatform in Nederland [13] - wordt een aantal uitdagingen voor software/ICT onderwijs benoemd, waaronder:

- Het onderwijs moet opschalen - de vraag naar goed opgeleide software engineers op alle niveaus van de kennispiramide blijft groeien.
- Veel software wordt ontwikkeld door professionals uit andere disciplines; aanvullende training “on the job” en duale opleidingsvormen zijn nodig.
- Door de continue verandering in het vakgebied is “life-long learning” een must.

De relatieve instroom van ICT-studenten groeit gestaag – zo blijkt uit de figuur hieronder. Dit beeld houdt met name stand voor HBO en WO.



Helaas is niet eenvoudig vast te stellen hoe het precies zit met de aantallen software engineering studenten. Dit komt doordat het thema als zodanig niet expliciet in de officiële DUO cijfers [12] voorkomt

Een belangrijk aandachtspunt bij het opschalen van het onderwijs is dat onderwijsdruk bij – met name - de universiteiten hoog is. Binnen informatica is de student-staff ratio 35. Dit is nu al (veel) hoger dan in andere vakgebieden [13]. Hierdoor komt de aandacht voor onderzoek onder druk te staan.

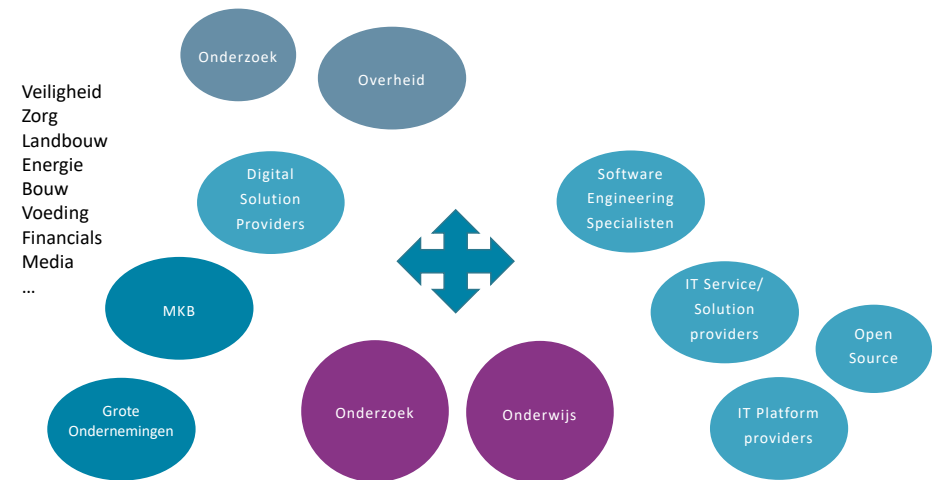
# Toepassing

Software engineering als discipline is cruciaal voor alle sectoren en organisaties waar software van belang is. En die lijst is schier eindeloos – ook binnen de grenzen van Nederland. Of het nu gaat om grote uitvoeringsorganisaties bij de overheid, wetenschappelijk onderzoek rond biodiversiteit en klimaat, financiële dienstverlening, gaming en (sociale) media, dienstverlening, de (hightech) maakindustrie, de zorg, ... overall is software cruciaal voor uitvoering en/of innovatie, en zijn goed opgeleide, professionele software engineers nodig.

Om het belang en de potentie van software engineering onderzoek en onderwijs nader te analyseren, is het nuttig om de diversiteit aan toepassingsgebieden en partijen wat te ordenen. De figuur hiernaast toont de (groeve) opdeling die wij hebben gehanteerd in deze verkenning

De rechterkant toont partijen die de digitalisering faciliteren:

- De grote internationale platform providers die technische (cloud) platformen en bijbehorende voorzieningen leveren (Microsoft, Google, ...). Door hun schaal en markt bepalen zij mede de "state of the practice".
- De open source community speelt een belangrijke rol in de innovatie, zowel via veelgebruikte basistechnologie (Linux, Apache, Docker, ...) als talen, tools en omgevingen (Python, Gitlab, Jenkins, ...).
- IT Service/Solution providers helpen organisaties om hun uitdagingen rond digitalisering aan te pakken, typisch via detachering of turnkey oplossingen.
- Software engineering specialisten leveren specifieke software engineering expertise en diensten, bijvoorbeeld rond het meten en verbeteren van kwaliteit en productiviteit. Hier vinden we ook spin-offs uit de onderzoekswereld.



De linkerkant toont private en publieke afnemers met eigen uitdagingen:

- De uitvoering van de overheid is al sterk gedigitaliseerd en gaat daar steeds verder in; door de specifieke taken gaat het hier vaak om maatwerk en integratie. De overheid heeft daarnaast een strategische rol rond stimulering van innovatie en (potentieel) regulering van de praktijk.
- Wetenschappelijk onderzoek in alle disciplines kent steeds meer digitale elementen of is al grotendeels digitaal.

De private afnemers zijn natuurlijk te ordenen in sectoren (zie ook hoofdstuk 3), maar vanuit digitaliseringsperspectief onderscheiden we er hier drie.

- Digital solution providers zijn typisch "digital native" organisaties die een sleutelrol spelen in de digitalisering van dienstverlening en (traditionele) ketens (betalingsverkeer, e-commerceplatforms, logistieke order-fulfillment, ...). Ze werken vaak aan het voorfront van ontwikkelingen.
- Grote ondernemingen in alle sectoren digitaliseren hun producten en diensten op grote schaal. Innovaties worden gedreven vanuit eigen R&D en samenwerking met ketenpartners en universiteiten.
- Het MKB heeft ook steeds meer te maken met digitalisering van processen en diensten. De beschikbaarheid van kennis en professionals bepaalt mede de groeikansen.

# Verkenning vanuit afwegingskader

# 3 Inleiding van het kader

Topsector ICT heeft voor de onderbouwing van potentiële sleuteltechnologieën een (concept) afwegingskader opgesteld. Voor deze verkenning maken wij gebruik van indicatoren van dit kader en belichten wij perspectieven die hier invulling aan geven. Het afwegingskader is opgenomen in de bijlagen.

De lijn van het kader:

- kans op **maatschappelijke impact**, bijvoorbeeld via aansluiting op maatschappelijke missies of thema's in de kennis- en innovatieagenda's;
- kans op **economische impact**, bijvoorbeeld via de schaal van toepassing en de potentiële bijdrage aan duurzame economische groei;
- de **relatieve positie van Nederland**, bijvoorbeeld in aanwezige onderzoeksinfrastructuur en positie in internationale benchmarks;
- **krachtenbundeling**, bijvoorbeeld in instituten of specifieke programma's;
- de potentie voor **meerjarige samenwerking over de gehele keten**, bijvoorbeeld in bestaande en voorgenomen publiek-private samenwerkingsverbanden;
- het **doorsnijdend karakter** van sleuteltechnologieën, bijvoorbeeld via interactie met andere inhoudelijke of maatschappelijke thema's zoals bio-informatics of AI.

Het afwegingskader is gericht op de beoordeling van technologieën. Zoals in hoofdstuk 2 toegelicht is software engineering een vakgebied. Het is als zodanig niet direct op eenzelfde manier te beoordelen als een technologie. Gegeven de aard van de verkenning hebben we de elementen uit het kader voor zover mogelijk in onze rapportage opgenomen. De invulling van het afwegingskader is gedaan naar beschikbaarheid van relevant feitenmateriaal.

# Bijdrage aan de missies

Digitalisering in topsectoren is geaccepteerd als best-practice. Goede software is randvoorwaardelijk voor innovatie.

Voorbeelden waarbij software engineering een bijdrage kan leveren aan de missies [21]:

- Veiligheid
  - Het automatiseren van signaleren en corrigeren van kwetsbaarheden in software.
  - Ontwikkelen van veilige en privacy vriendelijke informatie-uitwisselingstechnieken.
- Landbouw, water en voedsel
  - Systemen en software om genetische data beschikbaar te maken.
  - Digitalisering ten behoeve van het waterbeheer.
- Energietransitie en duurzaamheid
  - Coöperatief en automated driving voor personenauto's
  - Self Organizing Logistics

Aanvullende beelden op de missies die we hebben geïnventariseerd in gesprekken:

- In de zorg is digitalisering een prominent aandachtspunt. Er bestaan talloze initiatieven rondom eHealth, (verbeterde) informatie-uitwisseling en innovaties om de kwaliteit van zorg te verbeteren.
- Het gebruik van hardware kost energie. De aansturing gebeurt door middel van software. Onderzoek naar de optimalisatie van software kan resulteren in lager energieverbruik van datacenters. [22]

De concrete (mogelijke) bijdrage vanuit software engineering aan deze missies is nog niet geëxpliciteerd.



Hierboven staan enkele kennis en innovatieagenda's uitgelicht waarbij digitalisering een zwaarwegend component is van het onderzoek en waar direct aanleiding is voor een belang van software engineering. De aanvullende beelden hebben we toegevoegd.

## De missies over digitalisering

- Veiligheid
 

“Door de digitale transformatie van criminaliteit vraagt deze missie om sterke aandacht voor het digitale domein. Om in de kennis- en innovatiebehoefte te voorzien geven we prioriteit aan digitaal gefaciliteerde samenwerkingen en de ontwikkeling van bruikbare digitale toepassingen.”
- Gezondheid en zorg
 

“De accentverschuiving naar functioneren en meedoen betekent dat er nieuwe onderzoeksmethoden nodig zijn, mede door de vergaande digitalisering.”
- Landbouw, water en voedsel
 

“Voor een succesvolle aanpak van de maatschappelijke uitdagingen zijn technologische doorbraken van groot belang. ICT, AI, robotica en biotechnologie kunnen voor missie LWV [...] belangrijke bijdragen leveren. Sleuteltechnologieën zitten verweven in de uitwerking van de KIA LWV, gekoppeld aan toepassingsgerichte MMIP's en als aparte doorsnijdende thema's voor meer generieke kennisontwikkeling.”
- Energietransitie en duurzaamheid
 

“Digitalisering van processen levert sturingsmogelijkheden voor energie flows, productkwaliteit, en flexibilisering. Processen kunnen hierdoor efficiënter worden, maar ook worden aangepast aan de flexibiliteitsbehoefte van het toekomstige energiesysteem.”

# Aansluiting op NWA-programmering

De Nationale Wetenschapsagenda richt zich op uitdagende en richtinggevende vraagstukken die aansluiten op de kracht van de Nederlandse wetenschap, op de grote maatschappelijke uitdagingen van deze tijd en op economische kansen die zich voordoen. Binnen het onderzoeksprogramma bevinden zich meerdere programmalijnen.

## Thematische programmering

De thema's zijn (gezamenlijke) initiatieven vanuit overheden. Aan de rechterkant is te zien om welke thema's het gaat. Daarnaast is er sprake van synergieprogramma's waarin thema's worden opgepakt in samenhang met het Kennis- en Innovatieconvenant (KIC). Een voorbeeld hiervan is Artificial Intelligence.

Software kan een grote rol spelen in zowel het onderzoeksproces als de resultaten hiervan. Onderstreepte thema's hebben nadrukkelijk een prominente en mogelijk grote software component. Geen van de thema's gaan expliciet of uitsluitend over software engineering.

## Onderzoek op Routes door Consortia (ORC)

In een jaarlijkse financieringsronde kunnen consortia aanvragen indienen die gezamenlijk uitdrukking geven aan de breedte en het vernieuwende karakter van de Nationale Wetenschapsagenda. Momenteel krijgen indieners de kans voor de ronde van 2022. In de laatste ronde van 2019 [24] zaten geen onderzoeken naar software engineering.

## Thematische programmering

- Archeologie telt
- Big data en kansrijke start
- Cybersecurity
- Ecologie & Noordzee
- Economische veerkracht van vrouwen
- Gezondheidsverschillen
- Grip op jeugdcriminaliteit
- Jeugd en digitalisering
- Klimaatadaptatie en gezondheid
- Klimaatvriendelijke landbouwbodems
- Living labs voor het herstel van biodiversiteit in het landelijk gebied
- Maatschappelijke impact van quantumtechnologie
- Naar een praktische Safe-by-Design aanpak voor chemische producten en processen
- Opslag en conversie
- Polair Toerisme
- Proefdiervrije modellen: acceptatie en implementatie
- Schulden en armoede
- SDG interacties en beleidsinterventies in ontwikkelingslanden
- Synergiethema Artificiële Intelligentie: Mensgerichte AI voor een inclusieve samenleving
- Transitie naar een circulaire en emissievrije bouw
- Urbiquay
- Vernieuwing van toezicht
- Zero-emissie binnenvaart

## Economische massa<sup>1/3</sup>

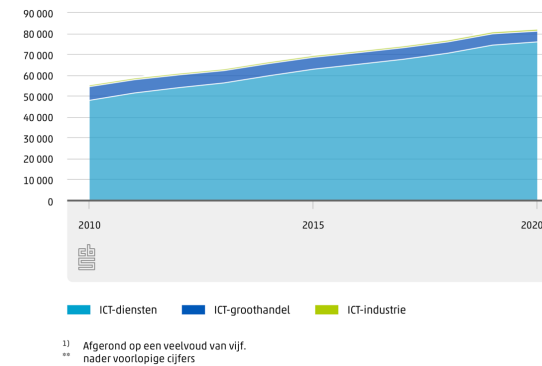
Het CBS publiceert cijfers over de ICT sector. Daarbij hanteert men drie deelgebieden:

1. ICT-industrie (maken van componenten en apparaten)
2. Groothandel in ICT-apparatuur
3. ICT-diensten (telecommunicatie, softwareverkoop, diensten, hosting, ...)

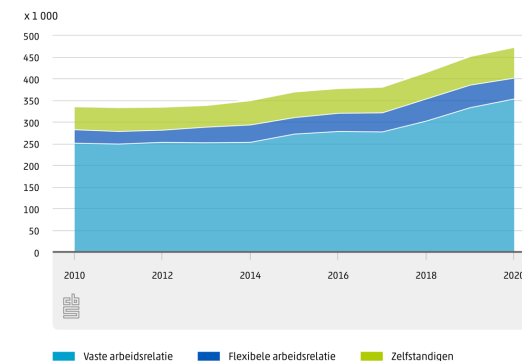
In de analyse rond ICT-kennis en economie uit 2020 [7] wordt een aantal belangrijke trends geschetst:

- over de laatste decennia worden er jaarlijks meer ICT-bedrijven opgericht dan opgeheven;
- het aandeel van ICT binnen de Nederlandse markt stijgt in economisch opzicht;
- de ICT-sector groeit harder dan de totale economie in Nederland: in 2019 groeide de bruto toegevoegde waarde met 4,5% terwijl die in de totale economie met 2% steeg;
- in 2019 maakten ICT'ers 5% uit van de totale beroepsbevolking;
- binnen de dienstensector bestond 33% van de R&D-uitgaven uit R&D-uitgaven van ICT-dienstverleners en 39% van het R&D-personeel werkte in de ICT-dienstensector

Software engineering vraagstukken spelen zowel bij de aanbieders van ICT diensten als de toepassers (zie pagina 11 en volgende pagina). Dwarsverbanden met onderzoek liggen primair bij gespecialiseerde software engineering partijen en organisaties die specifiek of grootschalig met digitalisering bezig zijn (financieel, high-tech industrie).



Het aantal ICT-bedrijven in Nederland in duizendtallen, Bron: CBS[7]



De ontwikkeling van het aantal werkzame ICT'ers onderverdeeld naar dienstverband, Bron: CBS[7]



# 3-2

## ECONOMISCHE IMPACT

# Economische massa<sup>2/3</sup>

De arbeidsmarkt kent een algehele toename van het aantal werkzame ICT'ers in alle sectoren. De figuur hieronder vat dit beeld samen. Daarbij merken we op dat de toename evenredig is over alle sectoren.

Op basis van de manier waarop cijfers worden geregistreerd is het niet mogelijk om een specifiek beeld te geven over software engineering. Immers, de discipline wordt niet expliciet geregistreerd binnen de sector ICT. De gesprekken met zowel ICT-bedrijven als afnemers geven aan dat die vraag groot is, op alle niveaus.

In diverse gesprekken kwam ook naar voren dat de vraag naar goede engineering capaciteit niet zozeer of alleen is gericht op pure ICT'ers, maar ook op experts in andere disciplines (biologen, ecologen, medici, ...) die ook op professionele wijze software kunnen realiseren. Daarbij werd ook de behoefte aan aanvullende opleidingsmogelijkheden (korte minors, duale trajecten) benoemd.

Sector	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Onbekend	6	7	15	15	16	21	29	30	35	58
Industrie	27	29	31	30	30	31	32	37	40	40
Productie en distributie van en handel in elektriciteit, aardgas, stoom en gekoelde lu...	3	3	4	3	3	4	4	5	5	4
Bouwnijverheid	5	5	8	9	7	8	8	8	7	10
Groot- en detailhandel, reparatie van auto's	23	23	29	34	33	34	34	37	38	34
Vervoer en opslag	7	7	6	7	9	9	9	9	12	11
Informatie en communicatie	157	153	124	128	137	145	146	154	168	171
Financiële instellingen	21	23	32	29	32	37	32	32	33	29
Verhuur van en handel in onroerend goed	2	2	1	1	1	1	2	2	3	3
Advisering, onderzoek en overige specialistische zakelijke dienstverlening	43	46	51	52	51	47	52	59	66	64
Verhuur van roerende goederen en overige zakelijke dienstverlening	10	11	12	11	12	13	16	14	16	16
Openbaar bestuur, overheidsdiensten en verplichte sociale verzekeringen	23	23	29	31	33	32	32	36	41	45
Onderwijs	13	11	13	13	14	15	13	18	17	17
Gezondheids- en welzijnszorg	13	13	14	14	15	16	16	18	20	18
Cultuur, sport en recreatie	7	7	5	7	6	6	6	7	8	8
Overige dienstverlening	5	4	4	4	6	5	5	6	7	8
<b>Totaal</b>	<b>365</b>	<b>367</b>	<b>378</b>	<b>388</b>	<b>405</b>	<b>424</b>	<b>436</b>	<b>472</b>	<b>516</b>	<b>536</b>

Het aantal ICT'ers werkzaam per sector in duizendtallen over de afgelopen jaren. Bron: pr-eDICT [23]

# Economische massa<sup>3/3</sup>

Ondanks de sterke groei in het aantal ICT'ers blijkt uit cijfers van het UWV [9] dat vacatures op ICT- gebied moeilijk vervulbaar zijn. Redenen daarvoor zijn:

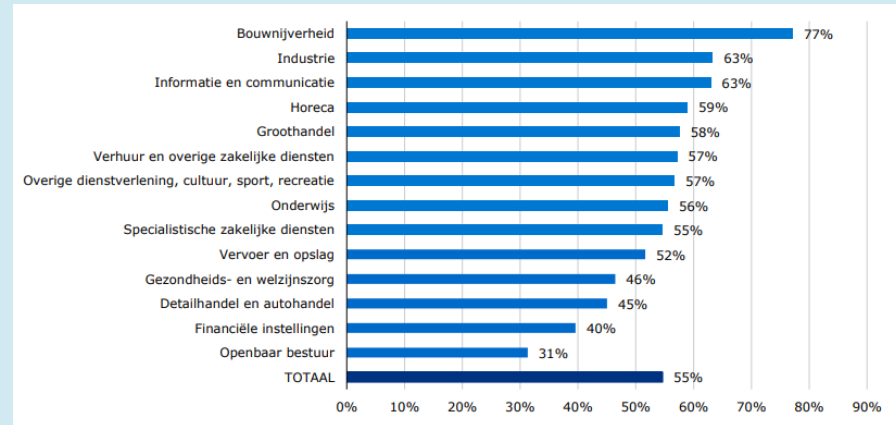
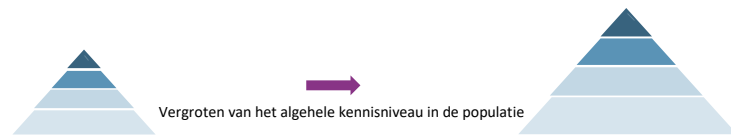
- specialistisch werk;
- vakkennis van sollicitanten is onvoldoende;
- benodigde werkervaring ontbreekt bij sollicitanten.

Specifieke cijfers over software engineering ontbreken hierbij.

Aanvullende beelden uit de gevoerde gesprekken:

- Het wordt bevestigd dat er krapte is op de arbeidsmarkt. Er is een sterke behoefte aan personeel op alle niveaus van de. Gebrek aan het juiste personeel remt de groei van organisaties, met name MKB.
- Organisaties hebben nadrukkelijk behoefte aan 'high-performant' engineering teams om grotere stappen te maken rond digitalisering. Dat biedt extra uitdagingen voor de opleiding van professionals.
- De capaciteit van opleidingen is momenteel niet toereikend voor de vraag (zie hoofdstuk 3-3).

De kennisopbouw in Nederland is verdeeld in een piramidevorm. Hoog specialistisch geschoold personeel bevindt zich aan de top en is in mindere mate aanwezig. Breder geschoold personeel is meer aanwezig. De behoefte van de markt aan personeel speelt op alle niveaus.



Gemiddeld aandeel ontstane vacatures dat moeilijk vervulbaar was, onderverdeeld per sector. Bron: UWV [9]

Tabel 1 Redenen waarom vacatures moeilijk vervulbaar waren

Aandeel werkgevers met moeilijk vervulbare vacatures dat de reden noemt (meerdere redenen mogelijk)

Reden	Aandeel werkgevers met moeilijk vervulbare vacatures dat de reden noemt	Sectoren waar de reden vaker genoemd wordt*
Te weinig reacties op de vacature	79%	Bouwnijverheid (89%)
Benodigde vaardigheden onvoldoende aanwezig bij sollicitanten	43%	Specialistische zakelijke diensten (60%), Openbaar bestuur (55%)
Specialistisch werk	39%	Openbaar bestuur (59%), Bouwnijverheid (56%), Informatie en Communicatie (56%), Specialistische zakelijke diensten (56%), Industrie (52%), Financiële instellingen (49%)
Vakkennis van sollicitanten is onvoldoende	33%	Informatie en communicatie (46%), Bouwnijverheid (45%), Specialistische zakelijke diensten (45%), Openbaar bestuur (44%), Financiële instellingen (43%)
Benodigde werkervaring ontbreekt bij sollicitanten	31%	Openbaar bestuur (49%), Informatie en communicatie (42%), Specialistische zakelijke diensten (41%)
Opleiding van sollicitanten niet passend	26%	Openbaar bestuur (39%), Financiële instellingen (37%)
Geen juiste instelling (motivatie) bij sollicitanten	23%	Groothandel (36%), Horeca (33%)
Door corona zijn werknemers in een andere sector gaan werken	17%	Horeca (64%), Overige dienstverlening en cultuur, sport en recreatie (27%)
Ongunstige arbeidsvoorwaarden (bijv. type contract, salaris, aantal werkuren, werktijden)	11%	
Ongunstige werkomstandigheden (fysiek/mentaal/emotioneel zwaar)	6%	
Andere redenen	7%	

\* Indien minstens 10-procentpunt hoger dan het gemiddelde

Redenen waarom vacatures moeilijk vervulbaar waren. Bron: UWV [9]

## 3-2 Economische Impact Investeringsbereidheid

### ECONOMISCHE IMPACT

Van 2002 tot en met 2012 heeft het NWO JACQUARD programma onderzoek naar software engineering gefaciliteerd [17]. In die projecten is nauw samengewerkt tussen universiteiten en het bedrijfsleven. Jacquard heeft geleid tot 22 grote projecten waarin 40+ promovendi hebben gewerkt. Daarnaast zijn 10 vouchers uitgereikt voor kortlopend onderzoek.

Op dit moment zijn er voor software engineering geen specifieke programma's bij NWO Exacte Wetenschappen of Toegepaste Technische Wetenschappen

Op basis van een korte, informele inventarisatie door de groepen in VERSEN is een zeer grof beeld samengesteld van (meerjarige) externe funding die de afgelopen jaren is gerealiseerd. In de tabel is dit samengevat naar drie soorten bronnen: financiering vanuit de EU, NWO en publiek private samenwerking.

Categorie	Totale investering (Euro * 1.000)
EU	19.442
NWO	16.200
PPS	9.640

De samenwerking met bedrijven is primair per onderzoeksgroep geregeld. Men heeft eigen relaties en samenwerkingsverbanden die leiden tot kleine en soms forse projecten.

Bij de private partijen gaat het veelal om grote en middelgrote ondernemingen met een grote digitaliseringsambitie (fintech, HTSM sector) of gespecialiseerde digital services solutions (zie hoofdstuk 2 voor toelichting).

Opvallend is dat de overheid zelf, als grote software ontwikkelende partij (zie o.a. [www.rijksictdashboard.nl](http://www.rijksictdashboard.nl)) niet of nauwelijks als partij optreedt.

### Behoeft aan alternatieve samenwerkingsvormen

Samenwerking in onderzoek vindt meestal plaats in de vorm van PhD trajecten, typisch in de context van een (mede) vanuit NWO of andere bron gefinancierd onderzoek.

Deze vorm blijkt in het huidige "software engineering landschap" niet altijd goed te passen zo bleek in een aantal gesprekken:

- Een promotietraject duurt lang in verhouding tot de urgentie van problemen.
- De financiële drempel voor een bedrijf is hoog, ook voor kennisintensieve en innovatieve MKB.
- Bedrijven ervaren een mismatch tussen concrete beantwoording van hun vraag en het wetenschappelijke resultaat dat het universitaire onderzoek vraagt (publicaties).
- Men ervaart soms ook dat de oorspronkelijke vraag niet leidend is, maar passend gemaakt wordt op de onderzoeksaanpak.
- Hoewel het onderzoek ook steeds meer vorm krijgt in software tools, is het afmaken van die software nog een grote klus. Er is geen faciliteit voor doorontwikkeling van kansrijke ideeën.

Bedrijven zien wel degelijk kansen voor eenvoudigere samenwerkingsvormen met minder voorwaarden. Dat geldt ook voor kleinschaligere samenwerkingsverbanden waarbij fysieke nabijheid een belangrijke rol kan spelen. Samenwerking in onderzoek is daarbij een middel om excellente mensen te behouden en tegelijk ook innovaties te realiseren.

# 3-3 Kwaliteit

## RELATIEVE POSITIE VAN NEDERLAND

Nederland heeft een solide positie in de wetenschap op het gebied van software engineering.

- Het software engineeringonderzoek is (grotendeels) ondergebracht bij de informatica faculteiten in Nederland. De laatste visitatie daarvan betrof de periode 2009-2014 (gerapporteerd in 2016); daarbij werd vastgesteld dat de kwaliteit van het onderzoek hoog tot zeer hoog is [10]. Dit wordt ook bevestigd in het beeld van de bèta sector uit 2018 [11] waarbij software research een van de thema's is.
- De Nederlandse universiteiten tekenen goed af ten opzichte van Europa en de wereld op basis van de score van Edurank (zie tabel rechtsboven).
- Op het gebied van publicaties in Elsevier is Nederland vergelijkbaar met het Europees gemiddelde (zie tabel rechtsonder).
- Nederland kent enige 'zwaargewichten' die meedoen aan de top van het onderzoeksveld en sleutelrollen spelen in internationale conferenties en comités, zoals de International Conference on Software Engineering.

### Toelichting op de tabellen

- Rechtsboven: EduRank [19] scoort universiteiten op onderzoekskwaliteit, bekendheid buiten academische context en significantie van alumni. In de tabel staan de rankings van Nederlandse universiteiten voor het onderzoeksveld: Software Engineering.
- Rechtsonder: de tabel is gebaseerd op basis van Elsevier data [20] over wetenschappelijke auteurs en hun bijdrage aan het onderzoeksveld waarin zij actief zijn. Er is onderverdeeld op basis van het land van het onderzoeksinstituut. De composite-score (afgekort: c-score) is opgebouwd uit een samenstelling van parameters waarvan er enkele zijn opgenomen in de tabel ter illustratie.

Universiteit ranking SE - Edurank	Nederland	Europa	Wereld
Eindhoven University of Technology	1	1	5
University of Twente	2	7	20
Delft University of Technology	3	8	21
Utrecht University	4	13	32
University of Amsterdam	5	21	46
Free University Amsterdam	6	25	54
University of Groningen	7	36	80
Tilburg University	8	74	155
Radboud University	9	117	240
Leiden University	10	158	318
Erasmus University Rotterdam	11	240	521
Wageningen University	12	302	656
<b>Totaal</b>	<b>12</b>	<b>391</b>	<b>956</b>

Elsevier citations	Nederland	Europa
Aantal auteurs - subfield 'Software Engineering'	19	285
Gem. c-score, zonder zelf-citatie (afgekort: ns)	3,3189	3,3395
Hoogste c-score (ns)	3,9008	4,2567
Gem. aantal papers (ns) (eerste of enige auteur)	33	44
Max. aantal papers (ns) (eerste of enige auteur)	72	197
Gem. aantal citations (ns) (eerste of enige auteur)	972	1.210
Max. aantal citations (ns) (eerste of enige auteur)	2.250	7.471

# 3-3 Omvang

## RELATIEVE POSITIE VAN NEDERLAND

### Staf

Software engineering onderzoek en onderwijs vindt bij alle universiteiten in meer of mindere mate plaats. Onderstaande tabel geeft een beeld van de (deeltijd) staf van de verschillende groepen. Dit beeld is door VERSEN samengesteld in een korte verkenning op basis van website-gegevens. Hierin zijn geen postdocs of PhD studenten opgenomen.

Instituut	Groep	Volledige naam	Hoogleraar	UHD	UD
CWI	SWAT	Software Analysis & Transformation	2	0	0
OU	THIS	THIS: Software Quality	4	0	5
OU	THIS	THIS: Teaching and Learning	1	1	9
RU	SWS	Software Science	5	2	10
RUG	SEARCH	Software Eng. and Architecture Group	3	1	3
TU Delft	SERG	Software Engineering Research Group	4	0	4
TU Delft	PL	Programming Languages	1	0	4
TUE	FSA	Formal Systems and Analysis	3	3	2
TUE	SET	Software Engineering and Technology	4	1	8
UL	Theory	Theory	4	4	3
UL	PERL	Programming Education Research Lab	0	1	1
UT	FMT	Formal Methods and Tools	4	2	7
UT	SCS	Security and Cybersecurity	2	5	5
UU	ST	Software Technology	1	0	6
UU	SP	Organization and Information	1	1	2
UU	BPA	Business Process and Analytics	1	0	5
UvA	Master SE	Master Software Engineering	0	1	2
VUA	S2	Software and Sustainability	1	1	4
WUR	INF	Information Technology	2	0	8
		<b>Totaal</b>	<b>43</b>	<b>23</b>	<b>88</b>

Instituut	Group	# MSc students
TU Delft	SERG	80-100
TU Delft	PL	25
TUE	SET	50
TUE	FSA	38
VUA	S2	110
UL	Theory	17
UU	ST/SP/BPA	171
UT	FMT + SCS	89
OU	THIS	125
UvA	Master SE	173
RUG	SEARCH	24
RU	SWS	?
WUR	INF	20

*MSc studenten universiteiten (inschatting)*

Inschrijvingen HBO ict opleidingen (DUO)				
	2017	2018	2019	2020
Associate degree	212	344	440	707
Bachelor	20.716	22.078	22.701	23.756
<b>Totaal</b>	<b>20.928</b>	<b>22.422</b>	<b>23.141</b>	<b>24.463</b>

*Studenten HBO ICT onderwijs (selectie).*

### Onderwijs

De officiële DUO cijfers [12] zijn niet scherp genoeg om een goed beeld te geven van het aantal software engineering studenten bij WO en HBO.

- Bij de universiteiten is er maar één als zodanig benoemde master-opleiding rond software engineering (UvA). Bij andere universiteiten zitten de afstudeerlijnen in de informatica. De contactpersonen bij VERSEN hebben daarom een korte scan gemaakt van het actuele aantal MSc studenten.
- Het HBO kent sinds 2015 verschillende opleidingssoorten rond ICT waaronder een brede bachelor [14]. Daarbinnen zijn meerdere profielen mogelijk, waaronder software engineering. De tabel rechts geeft een overzicht van de studentenaantallen op basis van een selectie van de software gerelateerde opleidingssoorten.

We zien daarbij nog een aantal ontwikkelingen vanuit de gesprekken:

- De onderwijsdruk bij (met name) universiteiten is hoog [13]. Verder opschalen voor een vak waarbij praktijkervaring van belang is, is daarbij een uitdaging.
- Er is vraag naar compacte “minors” voor experts in andere disciplines.
- HBO opleidingen overwegen de ontwikkeling van meer praktisch ingerichte master opleidingen rond software engineering.
- HBO opleidingen zoeken samenwerking met bedrijven voor docenten; salariering is daarbij een probleem.

## Strategisch belang

### Software has eaten the world

De samenleving is in de afgelopen decennia in hoog tempo gedigitaliseerd. In alle maatschappelijke sectoren is digitalisering niet alleen randvoorwaardelijk voor "running the business", maar ook fundamenteel voor innovaties, voor "changing the business". En het tempo waarin die veranderingen plaatsvinden neemt nog steeds toe.

Daarbij wordt de rol van software steeds dominantier. Zo wordt door verdergaande virtualisatie, infrastructuur ook een software vraagstuk. En door steeds fijnmazigere verbondenheid van steeds slimmere sensoren en apparaten wordt zelfs de werkelijke wereld gedigitaliseerd en gevirtualiseerd.

Goed functionerende en betrouwbare software is van groot, zo niet levensbelang voor de samenleving. Niet straks, maar nu al. En om dat te borgen is grip nodig op die software, op de manier waarop componenten werken (of zijn getraind), op de manier waarop systemen zijn samengesteld en werken, op de manier waarop ze verbonden zijn en gegevens uitwisselen, et cetera.

### Het belang van grip

Als die grip op software tekortschiet wordt dat pas zichtbaar als het fout gaat. En dat haalt ook steeds vaker de publiciteit, soms geframed als security issues. Zo bleek recent dat een simpele, maar veel gebruikte open-source component kwetsbaarheden bevatte (log4j); veel organisaties hadden niet in beeld of en waar deze component werd gebruikt en moesten actief (en lang) op zoek naar fixes.

Soms wordt ook de dienstverlening zichtbaar geraakt. Zo had de Belastingdienst in 2021 dusdanige beschikbaarheidsissues dat de aangifte periode met een week is verlengd. Tot slot zien we toenemende discussie over onjuist of ondoorzichtig functionerende software in belangrijke besluitvorming.

Vanuit deze optiek hebben nagenoeg alle gesprekspartners het belang van een goede kennisinfrastructuur rond software benadrukt. Ook fundamenteel onderzoek is hierbij van groot belang zoals benoemd in de visie "Strengthening the foundations for a strong digital society" van IPN [13].

Een aanvullend aandachtspunt is dat veel van de moderne technische platformen die we momenteel inzetten van buiten Nederland (of Europa) komen. Daartegen zien we - met name in Europa - een tegenbeweging, bijvoorbeeld rond een Europese cloud. Meerdere gesprekspartners hebben het belang rond soevereiniteit van Nederland en Europa onderstreept.

De Nederlandse overheid geeft relatief weinig strakke visie en kaders rond digitalisering van de samenleving. Naast wet- en regelgeving rond AVG en privacy regelt men generieke voorzieningen voor interactie met de overheid. Ter vergelijking: in de Verenigde Staten is recent een strategische analyse gepubliceerd over kritieke technologie en de risico's daaromtrent [15]. Verder heeft het Software Engineering Institute (een nationaal onderzoekscentrum) eind november 2021 een strategische onderzoeksagenda rond software onderzoek gepubliceerd waarin ook het belang van een nationale (research) capability rond software wordt benadrukt [5].

# 3-4 Samenwerking in onderzoeksprogramma's

## KRACHTENBUNDELING

### Het onderzoekslandschap

Het onderzoek rond software engineering in Nederland is divers van aard en invulling. Verschillende groepen richten zich op verschillende inhoudelijke onderwerpen, en gebruiken verschillende vormen van onderzoek (bijvoorbeeld meer theoretisch of methodisch versus ontwikkelen van technologie).

Het VERSEN manifest identificeert drie hoofduitdagingen die als paraplu boven het bestaande onderzoek gehangen worden (zie bijlagen).

1. Reliability of software systems
2. Efficient Engineering of Software
3. Maintainability and Evolution

In het manifest wordt verbinding tussen de uitdagingen en het bestaande onderzoek op hoofdlijnen gelegd, maar daarbij zien we verschillen in inhoudelijke aanvliegroutes voor dezelfde uitdagingen (zie ook de figuur in hoofdstuk 2). Anders geformuleerd: er is niet een overkoepelende onderzoeksagenda dat het onderzoek drijft.

### Samenwerking

De diverse onderzoeksgroepen werken zowel onderling als internationaal samen in onderzoeksprojecten en -programma's specifiek rond software engineering. Zo blijkt het een serieus gedeelte van de gerealiseerde funding voor onderzoek uit de EU te komen (zie paragraaf 3-2).

Verder heeft VERSEN samen met vergelijkbare organisaties in Frankrijk ([GDR GPL](#)) en Finland ([TIVIA](#)) recent een breed ondersteunde petitie over het belang van software research georganiseerd [16].

Daarnaast zien we dat er vanuit de groepen wordt meegewerkt in andere onderzoeksprogramma's, zoals rond AI en Quantum computing.

Opvallend is dat samenwerking vanuit de bestaande groepen met software ontwikkeling onderzoek binnen andere wetenschappen (bijvoorbeeld het eScience center) niet echt vorm krijgt.

## Regionale samenwerking

Vanuit topsectoren vindt regionale clustering plaats op basis van thematische expertise gelinkt aan onderzoek, onderwijs en bedrijvigheid. Voorbeelden hiervan zijn:

- High Tech Systems & Materials (HTSM) in de omgeving Eindhoven;
- Agriculture & Food in de omgeving Wageningen.

Tijdens deze verkenning zien we geen directe raakvlakken met software engineering onderzoek met uitzondering van HTSM.

Regionale ontwikkelingsmaatschappijen (ROM) bekleden een functie om bedrijvigheid, kennisinfrastructuur en kansen voor regionale innovatie en investeringen te verenigen. Er zijn in Nederland 9 ROM's. Vanuit de ROM's wordt innovatie in het mkb verbonden met onder andere het topsectoren beleid. In deze verkenning is gesproken met ROM regio Utrecht.

Hieruit kwam het volgende naar voren:

- men richt zich op bouw, mobiliteit, energie en water, life sciences, en media & gaming;
- er is een sterke verbinding met consultancy bedrijven, ingenieursbureaus, universiteit en het ziekenhuis;
- directe samenhang met software engineering onderzoek is niet evident.

Initiatieven vanuit onderwijs (HBO en universiteiten) resulteren ook in regionale samenwerking. Deze hebben een bottom-up karakter waarbij het topsectoren beleid niet direct aanleiding gevend is.

Voorbeelden uit de verkenning zijn.

- Het campus model – de fysieke vestiging van bedrijven of onderzoeksinstituten (voorbeeld: TNO bij de RUG) binnen universiteitstuinen.
- Samenwerking met opleidingen waarbij:
  - stages en afstudeerders een belangrijker katalysator zijn voor regionale verbinding in het ecosysteem;
  - professionals zich inzetten als docent;
  - fdale opleidingen worden aangeboden;
  - minor aanvulling biedt op domeinkennis uit de major.

In Apeldoorn is een voorbeeld waarbij ondernemers en publieke instellingen vraagstukken delen rondom veiligheid en digitale transformatie. Samen met onderzoekers wordt gezocht naar oplossingen voor het werkveld. De opgedane kennis wordt opgenomen in het onderwijs. [8]

Andere initiatieven rond regionale innovatie (zoals RIS3) zijn we niet tegengekomen in deze verkenning.



# Structurele ketensamenwerking

## Het ecosysteem in Nederland

Het software engineering ecosysteem in Nederland is op dit moment beperkt georganiseerd. Er is (nog) geen sprake van één overkoepelende organisatie of structuur waarin alle partijen elkaar hebben gevonden.

De (academische) onderzoekers hebben zich georganiseerd in de vereniging VERSEN. Gestart vanuit het oogpunt van kennisuitwisseling groeit de rol ook naar belangenbehartiging van – met name – het onderzoeksveld rond software in Nederland.

De toepassingswereld en de verbinding daarvan met het onderzoek en onderwijs zijn nog niet helder en structureel georganiseerd. Er zijn belangenverenigingen en platforms voor bedrijven en professionals (CIO platform, NL Digital, KNVI, ...), maar software engineering (research) staat daar niet structureel of prominent op de agenda.

We zien ook geen actieve rol vanuit de overheid, noch vanuit de rol van kaderstelling/regulator, noch als partij met grote digitaliseringsvraagstukken en bijbehorende software uitdagingen.

Er is op dit moment geen landelijk centrum/organisatie waar onderzoek of innovatie rond software engineering wordt gecoördineerd of gebundeld. We zien geen pendant van het Software Engineering Institute in de VS of instituten als Fraunhofer IESE in Duitsland.

## Samenwerkingsverbanden

Er zijn wel thematische samenwerkingsverbanden. Een goed voorbeeld daarvan is het Embedded Systems Institute, oorspronkelijk opgericht in 2002 en in 2013 overgegaan naar TNO. Het faciliteert samenwerking en uitwisseling tussen de high-tech industrie rond Eindhoven, TNO en diverse universiteiten.

We zien daarnaast kleinere verbanden ontstaan, gebaseerd op specifiekere thema's. Een voorbeeld daarvan is Centrum voor Veiligheid en Digitalisering in Apeldoorn, zoals kort toegelicht in sectie 3-4.

Andere pogingen tot inhoudelijke coalitievorming (bijvoorbeeld de Legacy Coalitie) bleken onvoldoende levensvatbaar.

## Buitenlands voorbeeld

Sinds meer dan 10 jaar bestaat in Zweden het Software Center. Er wordt onderzoek gedaan in nauwe samenwerking met bedrijven uit de high-tech systems-industrie en het wetenschappelijk veld. Het onderzoek is primair gedreven door de uitdagingen van het bedrijfsleven. Projecten duren gemiddeld 3 tot 5 jaar, maar zijn opgedeeld in 'sprints' van 6 maanden met eigen (tussentijdse) resultaten. Financiering verloopt op basis van een abonnementsmodel zonder publieke gelden. Succesfactoren zijn pre-competitieve thema's en korte doorlooptijden van de 'sprints'. Onderzoeksthema's zijn: continuous delivery, continuous architecture, development metrics, customer data- and ecosystems, AI engineering.

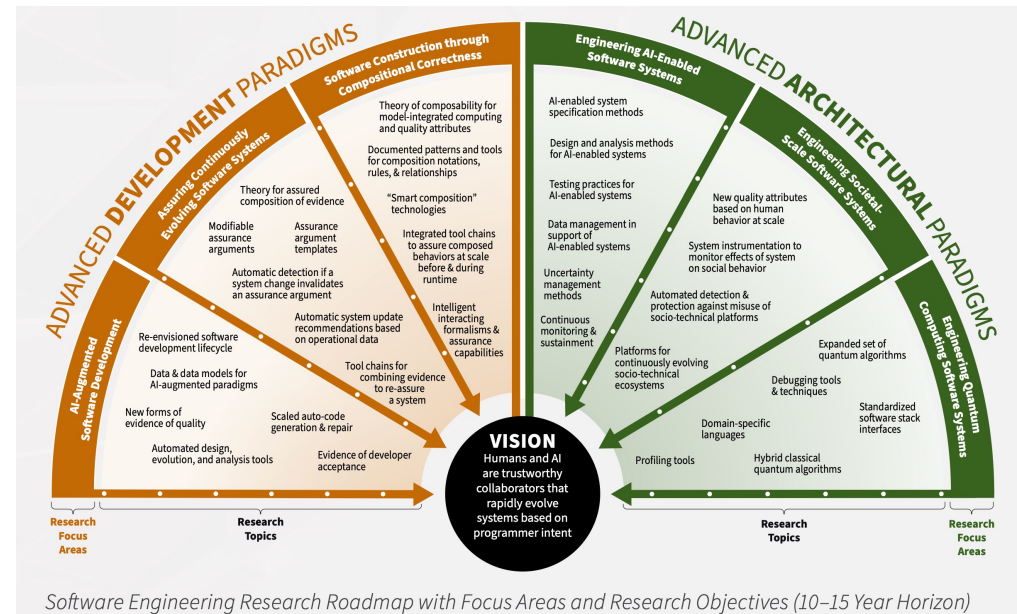
# Snijvlakken

## Snijvlakken met andere expertise

Digitalisering wordt mogelijk gemaakt door software. We zien dat op allerlei gebieden (open) complexe systemen en ketens worden gebouwd en geïntegreerd; waarbij zowel gebruik van (big) data en AI een sleutelrol spelen. Dat levert specifieke uitdagingen voor software engineering op, bijvoorbeeld rond schaling, correctheid en traceerbaarheid. Onderzoek daarnaar vindt nu soms ook al plaats in de context van bestaande AI-labs.

In de eerder genoemde research roadmap van het Software Engineering institute [18] wordt deze thematiek ook benoemd te samen met een aantal andere uitdagingen. Men onderscheidt:

- Het ontwikkelperspectief
  - AI-augmented software development
  - Assuring Continuously Evolving Software Systems
  - Software Construction through Compositional Correctness
- Het systeem-/architectuurperspectief
  - Engineering AI-enabled Software Systems
  - Engineering Socio-Technical Systems
  - Engineering Quantum Computing Software Systems



## Snijvlakken met domeinen

Deze complexe toepassingen en software landschappen ontstaan in allerlei domeinen. De missies en KIA's zijn hierbij natuurlijk van toepassing, maar hieronder een aantal voorbeelden die we in onze gesprekken zijn tegengekomen:

- Data + AI infrastructures voor het monitoren biodiversiteit of klimaat
- Procesintegratie en –optimalisatie over de volledige ketens van aanbieder tot afnemer
- Digital twins in de bouw of maakindustrie
- Gepersonaliseerde zorg op basis van DNA data, andere analyses en modellen.

Elk van die domeinen heeft zijn eigen karakteristieken die zich vertalen in specifieke engineering uitdagingen.

# Samenvatting

# 4 Samenvatting vanuit het afwegingskader<sup>1/2</sup>

## Maatschappelijke impact

- Software engineering is een cruciale competentie om grip te houden op de kwaliteit en het goed functioneren van de digitale infrastructuur in de samenleving.
- Het verband met de maatschappelijke missies en KIA's is vooral indirect en tot nu toe weinig expliciet gemaakt; de potentie voor concrete bijdragen lijkt zeker aanwezig.
- Er is brede consensus bij de gesprekspartners dat een goede eigen kennisinfrastructuur rond software engineering van groot maatschappelijk belang is.

## Economisch impact

- De ICT-sector groeit. De behoefte aan ICT-expertise en software engineering expertise is groot en groeit.
- De groeiende vraag speelt op alle kennisniveaus, in alle sectoren en bij alle soorten organisaties (vraag- en aanbodzijde).
- Er wordt goed samengewerkt tussen onderzoeksgroepen en bedrijven. Samenwerking is primair bilateraal.
- Het ontbreekt aan gerichte en passende onderzoeksfinanciering; dit hindert inhoudelijke samenwerking (met name met het MKB) en de doorontwikkeling van onderzoektalent.

## Relatieve positie van Nederland

- Het niveau van software engineering onderzoek in Nederland is hoog tot zeer hoog.
- De onderwijslast - zeker bij de universiteiten - is erg hoog. Dit gaat ten koste van onderzoek en innovatie.
- Het gebrek aan goede mensen remt het tempo van innovaties en de groei van ondernemingen. Het onderwijs zoekt naar nieuwe vormen van opleidingen en samenwerkingen om daaraan tegemoet te komen.

# 4 Samenvatting vanuit het afwegingskader<sup>2/2</sup>

## Krachtenbundeling

- Onderzoekers hebben zich verenigd in VERSEN. Men heeft een aantal researchuitdagingen geformuleerd als verbinding van de bestaande onderzoeklijnen.
- Onderzoeksgroepen werken mee aan Europese onderzoekstrajecten en aan programma's op andere terreinen, bijvoorbeeld rond AI of Quantum computing
- De concrete aansluiting bij regionale ontwikkelingsinitiatieven lijkt nog beperkt.

## Meerjarige samenwerking over de keten

- Onderzoekers hebben zich verenigd in VERSEN. Dit is gericht op inhoudelijke samenwerking en (toenemend) belangenbehartiging van het onderzoek en (universitair) onderwijs.
- De toepassingswereld (bedrijven en overheid) rond software engineering en de verbinding daarvan met het onderzoek en onderwijs zijn nog niet helder en structureel georganiseerd. Er is niet één penvoerder namens het hele gebied.
- Rond specifieke thema's (voorbeeld: high-tech/embedded systems) is er al wel sprake van (langjarige) ketensamenwerking

## Doorsnijdend karakter

- Software engineering is van belang als enabler voor de ontwikkeling van succesvolle toepassingen van ICT-sleuteltechnologieën als security, big data en AI en van nieuwe ontwikkelingen rond Quantum computing.
- Deze toepassingen raken alle disciplines van wetenschap en engineering, zoals klimaat, biodiversiteit, logistiek en bouw.

# Bijlagen

# Gesprekspartners

## Software Engineering onderzoek en onderwijs

- Tijs van der Storm      RU Groningen, CWI, VERSEN
- Jurgen Vinju              TU Eindhoven, CWI, VERSEN
- Paris Avgeriou            RU Groningen
- Marieke Huisman        TU Twente
- Arie van Deursen        TU Delft
- Sjaak Brinkkemper      Universiteit Utrecht
- Hans Dekkers            UVA, MSc Software Engineering
- Paul de Groot            Saxion Hogeschool
- Jan Bosch                Chalmers university, softwarecenter.se

## Samenwerkingsplatformen, ontwikkelorganisaties

- Christiane Klöditz        NWO
- Yvette Tuin                NWO
- Frans Beenker            TNO-ESI
- Wouter Leibbrandt        TNO-ESI
- Jelmer Schreuder        NL Digital
- Robert Howe              Brainport (HTC)
- Arjan van der Born        Regionale Ontwikkelmaatschappij Utrecht
- Ronald Verbeek            CIO Platform NL
- Mischa Runsink            CIO Platform NL
- Inald Lagendijk          Team DDD, TU Delft
- Rene Montenarie        ECP

## Overheid

- Frank Niessink            ICTU
- Hans Wanders            Zelfstandig adviseur, voormalig CIO Rijk
- Sander van Amerongen    Adviescollege ICT toetsing
- Henk-Jan Vink            TNO-ICT
- Rob van Nieuwpoort      UvA, eScience center

## Bedrijfsleven

- Mohammed Amri         AFAS
- Patrick van Balkom      Unilever
- Margrethe Jonkman      Friesland Campina
- Vidya Renade             Friesland Campina
- Jan Willem Sieben        IBM
- Rik Farenhorst            Ordina
- Guido van der Harst      Netcompany
- Ben van Lier              Centric
- Joost Bosman             voormalig ING R&D
- Magiel Buntink            SIG – Software Improvement Group
- Viktor Clerc              Qxperts – Xebia

# 5 Documentatie & Bronnen

1. Software Engineering Body of Knowledge v3, [www.swebok.org](http://www.swebok.org)
2. VEReningen Software Engineering Nederland, [www.versen.nl](http://www.versen.nl)
3. Versen Manifesto on Software Research and Education in the Netherlands, zie [www.versen.nl](http://www.versen.nl)
4. Software Engineering at Google, O'Reilly, 2020. Online beschikbaar bij <https://abseil.io/resources/swe-book>
5. Architecting the future of software engineering – a national agenda for software engineering research and development, SEI Carnegie Mellon University, november 2021
6. Software optimalisatie voor lager energieverbruik, <https://www.nldigital.nl/news/nieuwe-coalitie-gaat-energie-besparen-in-datacenters/>
7. CBS rapport: ict-kennis-en-economie-2021, <https://www.cbs.nl/nl-nl/publicatie/2021/41/ict-kennis-en-economie-2021>
8. Centrum voor Veiligheid en Digitalisering, <https://www.cvdnederland.nl/>
9. Moeilijk vervulbare vacatures en behoud van personeel: ervaringen werkgevers, UWV, 3 februari 2022
10. Research Review Computer Science, 2009-2014, <https://www.utwente.nl/en/research/output/downloads/computer-science-rapport.pdf>
11. Een nieuw fundament – beeld van de bèta sector, <https://www.scienceguide.nl/wp-content/uploads/2019/09/Sectorbeeld-beta-wetenschappen.pdf>
12. DUO open onderwijsdata, cijfers over studenten. [https://duo.nl/open\\_onderwijsdata/hoger-onderwijs/aantal-studenten/](https://duo.nl/open_onderwijsdata/hoger-onderwijs/aantal-studenten/)
13. Strengthening the foundations for a strong digital society, ICT-research platform Netherlands, 2021 - <https://ict-research.nl/wordpress/wp-content/uploads/2022/01/IPN-vision-paper-ENG.pdf>
14. HBO-i – Hogeberoepsonderwijs ICT opleidingen - <https://www.hbo-i.nl>
15. Assessment of Critical Supply Chains supporting the US information and communications technologie industry, february 2022
16. Europe needs strong software research, <https://www.ipetitions.com/petition/europe-needs-strong-software-research>
17. Jacquard onderzoeksprogramma bij NWO, <https://www.nwo.nl/onderzoeksprogrammas/jacquard>
18. Software Engineering as a Strategic Advantage: A National Roadmap for the Future, SEI Blog, <https://insights.sei.cmu.edu/blog/software-engineering-as-a-strategic-advantage-a-national-roadmap-for-the-future/>
19. Best Universities for Software Engineering in the World, EduRank <https://edurank.org/cs/software-engineering/>
20. CitationIndices – Elsevier, augustus 2021
21. Kennis en innovatieagenda's, NWO, <https://www.nwo.nl/en/researchprogrammes/perspectief/procedure-perspectief-programmes/knowledge-and-innovation-agendas>
22. LEAP, Amsterdam Economic Board, <https://amsterdameconomicboard.com/initiatief/leap/>
23. pr-eDICT, <https://pr-edict.nl/algemeen-pr-edict>
24. NWA-ORC toekenningen, NWO, <https://www.nwo.nl/onderzoeksprogrammas/nationale-wetenschapsagenda-nwa/onderzoek-op-routes-door-consortia-orc>



# Afwegingskader<sup>1/2</sup>

## Maatschappelijke impact

- Potentiële bijdrage aan toepassing van beoogd onderzoek in thematische KIA's, op basis van inhoud two-pager te beoordelen (max 8 punt)
- Relevantie bijdrage aan missie. Dit op basis van respons op uitvraag bij trekkers van thematische KIA's. (link met >2 KIA's leidt tot 12 punten, link met 1 KIA 8 punten en volledige match met thematische KIA tot 4 punt).

## Economische impact

- Economische massa onderzoeksveld (aantal bedrijven die in het onderzoeksveld en toepassingsgebied actief zijn, toegevoegde waarde, werkgelegenheid) 10 pt
- Verwachte groei van wereldmarkt in deze technologie en het NL aandeel hierin, 10 pt
- Investeringsbereidheid in de vorm van ratio privaat commitment bedrijven, 10 pt.

## Relatieve positie van Nederland

- NWO assessment van wetenschappelijke kwaliteit in dit veld. Voor dit doel NWO vragen om een focusgroep in te stellen (vergelijkbaar met eerder adviestraject NWO/TNO). Max 8 punten.
- Internationale ranking (gebaseerd op publicaties, z. Elsevier onderzoek). Max 6 pt.
- Mate waarin Nederland eigen technologische kennis van strategisch belang wil ontwikkelen/in huis wil hebben Max. 6 punt

# 5 Afwegingskader 2/2

## Krachtenbundeling

- Samenwerking met andere nationale onderzoeksprogramma's, max 4 punt
- Samenwerking met internationale en/of Europese onderzoeksprogramma's (zwaarwegend is wenselijkheid om in te zetten op een programma om deel uit te kunnen maken van Europese prio's en allianties, max 4 punt
- Sluit het programma aan op regionale innovatiestrategieën (RISsen) voor ecosystemen en valorisatie, max 2 punt

## Meerjarige samenwerking

- Het PPS karakter van het ecosysteem, is er sprake van een samenwerkingsverband van verschillende partijen met meerjarig commitment van overheden, onderzoeksinstituten en minimaal 5 bedrijven? Max 4 punten
- Is er een duidelijke penvoerder aangewezen die door alle partijen als zodanig wordt erkend? Max 2 punt
- In hoeverre vormt de MJP een 'missing link' in een programmatische benadering of een keten-aanpak? Max 2 punt
- Is er aandacht en zijn er middelen gereserveerd voor valorisatie of launching customership Max 2 punt

## Doorsnijdend karakter

- Aantal snijvlakken met wetenschaps- en technologievelden en bedrijfstakken. Max 4 punten
- Diversiteit van disciplines (alfa/bèta/gamma) dat wordt betrokken bij het onderzoek. Max 4 punten
- Betrekken van sleutel methodologieën (sociale acceptatie van nieuwe technologie, risicoanalyse, safety by design, omgevingsveiligheid) . Max 2 punt.

# 5 Onderzoeksuitdagingen uit het VERSEN manifest

## Reliability of software systems

- ...In the first place, this entails that a software system should faithfully realize its intended purpose. Moreover, reliability encompasses aspects such as security, performance, energy-efficiency, and usability. Statistics show that all software contains errors, and the earlier they are detected (or prevented), the better...
  - Reliability by construction
  - Scaling of verification techniques
  - Reliable software on modern hardware
  - Robustness against unexpected uses
  - Software that fulfils social, economic, and environmental sustainability needs

## Efficient Engineering of Software

- The demands for software development and change are higher than we can humanly deliver. In other words: software engineering is exceeding human scale in terms of velocity, volume and variety. Therefore, we need to work smarter, not harder.
  - Shorter development feedback loops
  - Tool-supported software development
  - Empirical software engineering
  - Automated software engineering
  - Safe and dependable software ecosystems

## Maintainability and Evolution

- Software not only has to be created, it also has to be maintained and adapted over time. If this is not effectively done, the software becomes too complex, and maintenance and evolution become too expensive, until they are no longer sustainable. We must break this vicious cycle, and find new ways to create software that is long-living and that can be cost-efficiently evolved and migrated to new technologies.
  - Organisations lose control over software
  - Modern software cannot cope with continuous and unpredictable change
  - Software sustainability is not a purely technical challenge

# 5 Overzicht van de missies en KIA's

Veiligheid		Gezondheid en zorg		Landbouw, Water en Voedsel		Energietransitie en Duurzaamheid	
Integrale aanpak van georganiseerde criminaliteit	Langer gezond	Leefstijl en leefomgeving	Kringlooplandbouw	Hernieuwbare energie op zee	Elektrificatie en radicaal vernieuwde processen		
Maritieme hightech voor een veilige zee		Zorg in de leefomgeving	Klimaat neutrale landbouw en voedselproductie	Hernieuwbare energie op land en in de gebouwde omgeving	Doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen		
Veiligheid in en vanuit de ruimte		Mensen met chronische ziekten doen weer mee	Klimaatbestendig landelijk en stedelijk gebied	Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving	Klimaat neutrale productie food en non-food		
Cyberveiligheid		Kwaliteit van leven voor mensen met dementie	Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel	Duurzame warmte en koude in gebouwde omgeving	Land en water optimaal ingericht op CO2 vastleggen en gebruik		
Genetwerkt optreden op land en vanuit de lucht			Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren	Het energiesysteem binnen de gebouwde omgeving in evenwicht	Een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem		
Samen sneller innoveren voor een adaptieve krijgsmacht				Sluiting van industriële ketens	Innovatie aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit		
Data en intelligence				CO2-vrij industrieel warmtesysteem			
De veiligheidsprofessional							

## **M&/Partners**

M&/Partners is een onafhankelijk ICT-adviesbureau in de publieke sector met ongeveer 100 professionals. Wij hebben meer dan 35 jaar ervaring in het adviseren en begeleiden van klanten bij projecten op het snijvlak van management en ICT en kiezen voor opdrachten met maatschappelijke meerwaarde.

Als partner werken wij samen aan de realisatie van de maatschappelijke opdracht van onze klanten, door ons advies over een weloverwogen inzet en eventuele implementatie van impactvolle digitalisering en ICT.

Ontdek meer op [www.mxi.nl](http://www.mxi.nl)