ARTS EN INGENIEUR:

AND EVER THE TWAIN
SHALL MEET

ANALYSE EN ONTWERP
VAN DE OPLEIDING
TECHNISCHE GENEESKUNDE

Heleen A.Th. Miedema

ARTS EN INGENIEUR:
AND EVER THE TWAIN SHALL MEET

ANALYSE EN ONTWERP VAN DE OPLEIDING TECHNISCHE GENEESKUNDE

Heleen A.Th.Miedema

PROMOTIECOMMISSIE

Voorzitter

Prof.dr. H. Brinksma ■ Universiteit Twente

Promotor

Prof. dr. J. M. Pieters ■ Universiteit Twente

Referent

Dr. M. Groenier ■ Universiteit Twente

Leden

Prof.dr. F.A. van Vught ■ Universiteit Twente

Prof.dr. R. Laan ■ Radboud Universiteit

Prof.dr. J.G. van Merriënboer ■ Universiteit Maastricht

Prof.dr.ir. C.H. Slump ■ Universiteit Twente

Prof.dr. M.J. IJzerman ■ Universiteit Twente

Arts en Ingenieur: and ever the twain shall meet

Analyse en ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde

Miedema H. A. Th.

Proefschrift Universiteit Twente, Enschede

ISBN 978-90-365-3948-7

DOI 10.3990/1.9789036539487

URL <http://dx.doi.org/10.3990/1.9789036539487>

Kaftontwerp: Tom van den Bos, Qoorts, Amsterdam

Printer: Gildeprint, Enschede

© Copyright H.A.Th. Miedema, 2015

ARTS EN INGENIEUR: AND EVER THE TWAIN SHALL MEET

ANALYSE EN ONTWERP VAN DE OPLEIDING TECHNISCHE GENEESKUNDE

DISSERTATIE

ter verkrijging van
de graad van doctor aan de Universiteit Twente,
op gezag van de rector magnificus,
prof. dr. H. Brinksma,
volgens besluit van het College voor Promoties
in het openbaar te verdedigen
op donderdag 10 september 2015 om 12:45 uur

door

Helene Anna Theodora Miedema
Geboren op 01 april 1956
te Katwijk aan Zee

Promotor: Prof.dr. J.M. Pieters

Het proefschrift is goedgekeurd door de promotor

Rudyard Kipling's The Ballad of East and West (1889):

*Oh, East is East and West is West, and never the twain shall meet,
Till Earth and Sky stand presently at God's great Judgment Seat;
But there is neither East nor West, Border, nor Breed, nor Birth,
When two strong men stand face to face, though they come from the ends of the earth!*

Technische Geneeskunde

Ondersteund door een solide basis
Een scala aan kleurige capaciteiten
Vormt iets totaal vernieuwends

In het begin nog breekbaar
Langzaam gestalte aannemend
Nu zo helder als glas

Samenwerken is samensmelten
Verschillende gebieden worden één
En samen stijgen we tot grote hoogte

Voor inspiratie en energie

Lichting '03 TG

Frans Houben, glaskunstenaar te Ootmarsum

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave.....	i
Hoofdstuk 1 Inleiding.....	1
1.1 Context en Historie	2
1.2 Naar een opleiding Technische Geneeskunde	4
1.3 Voorstel voor een opleiding Technische Geneeskunde	6
1.4 Start van de opleiding.....	8
1.5 Opleidings- en Ontwerpprobleem	9
1.6 Onderzoekvraag	11
1.7 Ontwerpkader voor analyse.....	11
1.8 Opzet van studie.....	13
Hoofdstuk 2 Eerste ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde	15
2.1 Inleiding.....	15
2.2 Beroepsprofiel	15
2.3 Rationale van het curriculum	17
2.4 Competentieprofiel	20
2.4.1 Het disciplinaire domein.....	23
2.4.2 De academische werkwijze.....	24
2.4.3 Professioneel gedrag	26
2.4.4 De technisch geneeskundige context.....	27
2.5 Opbouw van de curricula	27
2.5.1 Bachelor	27
2.5.1.1 Ontwikkeling van de blokken.....	29
2.5.1.2 MDO multidisciplinaire opdracht.....	30
2.5.2 Master	31
2.5.2.1 Het disciplinaire domein.....	31
2.5.2.2 De academische werkwijze	32
2.5.2.3 De context.....	33
2.5.3 Structuur van het Master curriculum	33
2.5.3.1 Eerste masterjaar	34
2.5.3.2 Tweede masterjaar	34
2.5.3.3 Derde masterjaar.....	35
2.6 Experimental Centre for Technical Medicine (ECTM).....	35

2.7	Ontwikkeling van docentprofessionaliteit.....	36
2.8	Monitoren van de kwaliteit	37
2.9.	Conclusie.....	38
Hoofdstuk 3	Technologische ontwikkelingen en implicaties.....	41
3.1	Inleiding.....	41
3.2	Historie medische technologie.....	42
3.3	Analyse falen inzet medische technologie.....	43
3.3.1	Huidige implementatie van medische technologie.....	43
3.3.2	Gevolgen implementatie van medische technologie.....	44
3.3.3	Expertise voor de adequate inzet van medische technologie.....	46
3.4	Een linking science en scientist practitioner voor inzet van medische technologie	49
3.5	Technologie als doel, als middel en als onderwijsvorm	53
3.6	Conclusie	54
Hoofdstuk 4	Technisch-medisch probleem oplossen.....	57
4.1	Inleiding.....	57
4.2	Medische problemen.....	58
4.3	Oplossen van categorisatieproblemen en verklaringsproblemen: arts.....	61
4.4	Oplossen van ontwerpproblemen: biomedisch ingenieur	65
4.5	Oplossen van ontwerp- en verklaringsproblemen: de technisch geneeskundige	68
4.6	Conclusie	72
Hoofdstuk 5	Vaardigheidsonderwijs.....	75
5.1	Inleiding.....	75
5.2	Vaardigheid, Bekwaamheid, Expert en Expertise	78
5.3	Verschil tussen medisch en technisch-geneeskundig vaardigheidsonderwijs	80
5.4	Heuristiek vaardigheidsonderwijs	81
5.5	Faciliteiten: ECTM	85
5.6	De technisch geneeskundige in de praktijk	86
5.7	Conclusie	87
Hoofdstuk 6	Evaluatie van het ontwerp en aanpassingen.....	89
6.1	Inleiding.....	89
6.2	Macroniveau	90
6.3	Mesoniveau	93
6.4	Microniveau	95
6.4.1	Uitkomsten van de interne evaluaties.....	98
6.5	Conclusie	103
Hoofdstuk 7	Resultaten	105
7.1	Inleiding.....	105
7.2	Bachelor	107

7.3	Master.....	107
7.3.1.	De track Medical Imaging and Interventions (MII).....	108
7.3.2	De track Medical Sensing & Stimulation (MSS)	108
7.4	Eerste honderd afgestudeerden	109
7.5	Master Stages.....	110
7.6	Kwaliteit van student en afgestudeerde.....	112
7.7	Externe beoordelingen	116
7.8	Docenten	117
7.9	PAO-TG – Post Academisch Onderwijs TG.....	117
7.10	Fellowships	118
7.11	Wet BIG	119
7.12	Conclusie	120
Hoofdstuk 8	Reflectie: anatomie en fysiologie van het ontwerpen	121
8.1	Inleiding.....	121
8.2	Het ontwerpmodel en de ontwerpprocessen	124
8.2.1	Niveaus van ontwerpen.....	126
8.2.2	Rollen van de ontwerper.....	133
8.2.3	Ontwerpen in een complexe werkelijkheid	134
8.3	Wetenschap, technologie en praktijk.....	137
8.3.1	Technisch geneeskundige als scientist-practitioner	137
8.3.2	Kennistransfer: wetenschap en technologie.....	138
8.4	Aanbevelingen	140
8.4.1	Aanbevelingen voor ontwerpen van opleidingen.....	140
8.4.2	Aanbevelingen voor onderzoek	141
Summary		143
Referenties		151
Dankwoord		159
Bijlage 1	Het Competentievignet bacheloropleiding.....	161
Bijlage 2.a	Competentieprofiel van de masteropleiding	167
Bijlage 2.b	Competentieprofiel op Master niveau	171
Bijlage 3	Technologische kernbegrippen	181
Bijlage 4	Bachelor Curriculum.....	184
Bijlage 5	Master curriculum	188
Bijlage 6	Beoordelingscriteria Bachelor eindopdracht.....	191
Bijlage 7	M3 Eindbeoordeling	193
Bijlage 8	Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS).....	197
Bijlage 9	Korte Klinische Beoordeling (KKB).....	198

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Zowel in de populaire media als in de wetenschappelijke literatuur kan men lezen dat de technologie zich razendsnel ontwikkelt en met dezelfde vaart wordt geïntroduceerd in de samenleving. Ook de World Health Organization in een rapport uit 2010 constateert deze ontwikkeling in de gezondheidszorg (World Health Organization, 2010). Technologie wordt dan meestal opgevat als een generiek concept voor hoogwaardige technische systemen en wordt in een adem genoemd met 'high tech'. De introductie in de samenleving houdt niet altijd gelijke tred met het adequaat gebruiken van de technologie. Veelal is de technologie nog onvoldoende uitgekristalliseerd en zijn de voorschriften voor het oordeelkundig gebruik van de technologie slechts in beperkte mate voorhanden (Verkerke et al., 2011). Binnen de gezondheidszorg kunnen we constateren dat de ontwikkelingssnelheid en de introductiesnelheid geen gelijke tred houden met een verantwoorde toepassing en dat de technologie niet in alle toepassingsgebieden voldoende is uitontwikkeld (Mytton et al., 2010).

In dit proefschrift wordt het begrip technologie ruimer opgevat en daarbij wordt niet alleen de technische definitie gehanteerd, van medische technologie (KNAW, 2014) of medische hulpmiddelen (European Parliament, 2007) maar ook een toegepaste methodologische visie. Het domein waarop in dit proefschrift het technologiebegrip wordt gehanteerd, is het medische domein. Technologie laat zich dan omschrijven als de systematische wijze van toepassen van medisch-wetenschappelijke, natuurwetenschappelijke, technisch-wetenschappelijke en sociaalwetenschappelijke kennis ter oplossing van medische problemen bij diagnose en behandeling.

Onderwijs ten behoeve van het opleiden van professionals die met nieuwe technische systemen moeten werken, ontwikkelt zich niet in hetzelfde tempo als de technische systemen (Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008). Dit geldt zeker voor het medisch onderwijs en de ontwikkeling van medische technologie. Daardoor lopen de studenten het risico opgeleid te worden (als ze al hierin worden opgeleid) voor een technologie die reeds is ingevoerd in plaats van voor een technologie die wordt verwacht. Dit heeft als consequentie dat de afgestudeerde medische professionals zich bezighouden met een technologie, waar zij nooit onderwijs in hebben gekregen. De kennis en het inzicht in de mogelijkheden van de technologie en het optimaal gebruiken van de technologie zijn daardoor beperkt. In de gezondheidszorg leidt het eerste, beperkte kennis van de nieuwe technologieën, tot fouten met soms dramatische gevolgen en het tweede, niet optimaal gebruiken, tot onvolledige en slecht onderbouwde diagnoses en behandelplannen (Hofmann, 2015; Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008) alsmede, het niet optimaal incorporeren van mogelijk nuttige technologie. Deze gevolgen zijn te betreuren en kostbaar, en leiden tot ineffectiviteit en inefficiëntie in de gezondheidszorg (Hofmann, 2015; Ward & Clarkson, 2004; World Health Organization, 2010). Het vermijden van het kostbare, ineffectieve en inefficiënte gebruik van technologie met alle gevolgen van dien is een belangrijke taak van het medisch onderwijs.

Het vormde het uitgangspunt voor het ontwerp van een opleiding Technische Geneeskunde, waarin via de keuze van een geschikte opleidingsstrategie en –heuristiek een mogelijke oplossing van het hier geschetste probleem werd geoperationaliseerd.

In dit proefschrift wordt het ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente beschreven met verwijzing naar een effectief en efficiënt gebruik van wetenschappelijke en praktische kennis met technologie als methodologie. Naast de beantwoording van de opleidingsvraag, wat voor professional moet worden opgeleid om te beantwoorden aan het profiel van de technisch geneeskundige en wat en hoe moet er worden geleerd om als technisch geneeskundige te kunnen afstuderen, is het (her)ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde na de start van de opleiding in 2003 object van analyse om de ontwerpvrage te kunnen beantwoorden. Het doel daarbij is ontwerpprincipes voor het ontwikkelen van competenties voor een adequaat en optimaal gebruik van technologie vast te stellen en daarmee een integratie te bewerkstelligen van diverse expertdomeinen in een complexe interdisciplinaire context. De ontwerpvrage betreft dus het ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde, met daarbij aandacht voor de bijzondere effectieve kenmerken van de opleiding, uitmondend in een curriculumevaluatie.

De technisch geneeskundige weet zich in opleiding en praktijk gesteund door medisch-wetenschappelijke, natuurwetenschappelijke, technisch-wetenschappelijke en sociaalwetenschappelijke kennis ter oplossing van medische problemen bij diagnose en behandeling. De onderzoeksvrage in dit proefschrift betreft de vaststelling van de effecten van de verwerving van competenties (kennis, vaardigheden en houding in een authentieke context) op vier niveaus (reactie- of motivatieniveau, leerniveau, gedrags- of performanceniveau, en organisatieniveau) op het oplossen van technisch-medische problemen.

De overkoepelende vrage die in dit proefschrift via de respectievelijke hiervoor genoemde vragen worden beantwoord betreft de rechtvaardiging van de opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente. Een rechtvaardiging die een antwoord geeft op de vragen: wat voor professional moet worden opgeleid, wat voor opleiding is daarvoor nodig, en welke (leer)resultaten worden met de opleiding bereikt?

In dit inleidende hoofdstuk wordt ingegaan op de context van de opleiding Technische Geneeskunde en de ontstaansgeschiedenis ervan. Aan de orde komen vervolgens het onderwijsprobleem, het opleiden van technisch geneeskundigen, en het ontwerpprobleem, het creëren van een opleiding Technische Geneeskunde. Na de start van de opleiding in 2003 zijn er op systematische en verantwoorde wijze veranderingen aangebracht in de opleiding. Het onderzoekprobleem, wat zijn de effecten van de ontworpen opleiding, komt vervolgens aan de orde.

1.1 Context en Historie

Het ontwerp voor de opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente kent een rijke historische basis. Sinds de start in 1961 van de Universiteit Twente, toen nog Technische Hogeschool Twente (THT), ontleenden de daar werkzame wetenschappers, via een ingenieursachtige aanpak, hun onderzoeksvragen aan problemen in de maatschappij om hen

heen. Deze aanpak kenmerkt zich door analyse van het probleem, en ontwerp, implementatie en evaluatie van de oplossing (Van den Kroonenberg & Siers, 1974).

Zij signaleerden en onderzochten kansen in maatschappelijk relevante ontwikkelingen, vertaalden deze naar mogelijkheden in de eigen werk- en onderzoeksituatie en durfden daarbij verantwoorde risico's te nemen. Vele van de ontwikkelde oplossingen werden de basis van nieuwe bedrijven. Dit was een belangrijke overweging voor de Universiteit Twente het epitheton 'ondernemend' toe te voegen: de ondernemende universiteit (Benneworth & Olmos Peñuela, 2014; Clark, 1998; Etzkowitz, 2003; Schutte, 1999). Toch was dat niet de enige reden waarom de toenmalige Rector Magnificus Harry van de Kroonenberg deze subtitel aan de universiteit gaf. Zijn credo was: *"wetenschappelijke kennis is een hoogwaardige grondstof voor innovaties, waar de markt om vraagt"*. De ondernemende houding van een universiteit kan worden uitgedrukt door het feit dat de universiteit zich realiseert dat ze een product heeft en dat er een markt is. Het product is kennis, enerzijds geïnvesteerd in afgestudeerden en anderzijds als resultaat van universitair onderzoek (Van den Kroonenberg, Weverink, & van Eerden, 1996). De subtitel was daarmee volgens Rinnooy Kan (2011) een juiste weergave van het karakter van het onderwijs en het onderzoek en daarmee van de attitude van wetenschappers en de cultuur van de UT. Het begrip ondernemend staat voor de neiging om uit jezelf wat te gaan doen; een avontuurlijke attitude te hebben, initiatiefrijk te zijn (Meijers, Borghuis, Mutsaers, Overveld, & Perrenet, 2005). De wetenschappers van de UT dragen deze attitude niet alleen uit in het onderzoek, maar ook in het onderwijs. Studenten worden gestimuleerd om actief te participeren in het onderwijs en onderzoek en het campusleven van de Universiteit. En niet alleen actief om te participeren, maar ook tot het ontwikkelen van een eigen visie. Uit de beoordelingsregels voor een masterthesis aan de Universiteit Twente blijkt dat een tien voor een afstudeerscriptie wordt gegeven indien een student er blijk van heeft gegeven op eigen initiatief te komen tot een originele gedachte, die zij vervolgens ook goed heeft uitgewerkt. Deze onderwijsvisie of -cultuur maakt gebruik van de toegepaste definitie van technologie als ontwerpleer in zowel de technische, als maatschappij- en gedragswetenschappen en wordt wel *the engineering approach* of *design research* genoemd. Voor de ontwikkeling van deze aanpak binnen de Onderwijskunde verwijzen wij naar McKenney & Reeves (2012, 2013); Plomp & Nieveen (2007); Van den Akker, Gravemeijer, McKenney, & Nieveen (2006).

De ondernemende attitude in combinatie met de ingenieursaanpak vormt een belangrijk onderdeel van de opleiding Technische Geneeskunde, vandaar dat hier expliciet aandacht wordt geschonken aan het ondernemende en toegepast wetenschappelijke karakter van het onderzoek en onderwijs aan de Universiteit Twente.

Het toegepast wetenschappelijk karakter van het onderzoek zien we terug bij verschillende faculteiten van de Universiteit Twente. Zo ontleenden wetenschappers van de faculteiten Werktuigbouwkunde, Elektrotechniek, Chemische Technologie en Technische Natuurkunde hun onderzoeksvragen onder meer aan de gezondheidszorg. Deze interdisciplinaire aanpak bleek succesvol te zijn en dat leidde ertoe dat interfacultaire onderzoeksprogramma's werden opgezet om biomedisch technologisch onderzoek te stimuleren. Uit deze samenwerkingsverbanden ontstonden biomedisch technologische afstudeerspecialisaties. Vanaf 1976 werd het onderzoek in de biomedische technologie officieel gecoördineerd binnen het Coördinatie Centrum voor BioMedische Technologie (CCBMT) (Migchelbrink & Coördinatiecentrum Biomedische Technologie, 1988).

In 1991 werden de onderzoeksactiviteiten op het gebied van de biomedische technologie geconcentreerd in een onderzoeksinstituut, het BioMedisch Technologisch Instituut (BMTI). In 1998 werd door het College van Bestuur met Rector Magnificus Frans van Vught, het beleid "UT goes Medical" geïnitieerd om de onderwijs- en onderzoeksactiviteiten op het gebied van de gezondheidszorg te integreren, te coördineren en daarmee te stimuleren. Het *UT goes Medical*-beleid resulteerde in het ontwerpen van twee opleidingen: *Biomedische Technologie*, waarin al het gezondheidszorg gerelateerde technologisch onderwijs werd geïntegreerd (Miedema & van Alsté, 1999) en *Algemene Gezondheidswetenschappen* (Miedema, 2000), voor de integratie met het maatschappijwetenschappelijke onderwijs aan de UT. Doel van de opleiding *Biomedische Technologie* was studenten op academisch niveau competent te maken tot het verrichten van onderzoek naar en het ontwikkelen van technologische methoden en systemen voor de gezondheidszorg en de toepassing daarvan in de gezondheidszorg en aanverwante sectoren. Doel van de opleiding *Algemene Gezondheidswetenschappen* was om studenten op academisch niveau competent te maken tot het implementeren van medisch-technische interventies in het systeem van de gezondheidszorg en het evalueren van de maatschappelijke effecten, op basis waarvan de gezondheidszorg kan worden verbeterd (Wessels, 2012).

In 2001 is de opleiding Biomedische Technologie van start gegaan en in 2002 de opleiding Algemene Gezondheidswetenschappen. Deze opleidingen vormden een duidelijke expressie van het streven van de UT zich nog meer op het terrein van de gezondheidszorg te manifesteren. Echter, onderdeel van dit streven was ook een opleiding voor medische professionals, die zich gewapend weten met technologische, sociaalwetenschappelijke en natuurwetenschappelijke kennis, nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en behandeling zouden kunnen ontwerpen, ontwikkelen en uitvoeren. De voorbereidingen voor een opleiding Technische Geneeskunde waren daarmee gestart.

1.2 Naar een opleiding Technische Geneeskunde

In 2000 maakten ramingstudies van het Nederlands Instituut voor Onderzoek van de Gezondheidszorg (NIVEL) en Prismant, uitgevoerd in opdracht van het Capaciteitsorgaan (Capaciteitsorgaan, 2000), duidelijk dat er 4000 studenten moeten instromen in de medische opleidingen om in 2010 aan de zorgvraag in Nederland te kunnen voldoen (Van der Velden, Hingstman, Nienoord-Bure, & van den Berg, 2001). De instroom was toen 1680 studenten per jaar. Om sneller te voldoen aan de noodzakelijke verhoging van de instroom en de oplossing van het maatschappelijke probleem, het artsentekort, heeft de UT in 2001 een voorstel ingediend bij de Advies Commissie Onderwijs Aanbod (ACO) voor een opleiding Geneeskunde. De ACO, als voorloper van de NVAO (Nederlands-Vlaamse Accreditatie Organisatie), was een onafhankelijk adviesorgaan, dat de minister advies gaf over de doelmatigheid en transparantie van nieuwe opleidingen.

Toen al werden de grote technologische ontwikkelingen voorzien. In de aanvraag voor een opleiding Geneeskunde in Twente (Miedema, 2001) werd dat als volgt verwoord:

"De snelle technologische ontwikkelingen hebben grote invloed op de gezondheidszorg. De informatietechnologie en de life-sciences hebben verstrekkende gevolgen voor de organisatie van de

zorg, diagnose en therapie. Door bijvoorbeeld het genetisch onderzoek verschuift het paradigma van de zorg van 'cure and care' naar preventie" (Miedema, 2001).

Mede naar aanleiding van de ramingen van het Capaciteitsorgaan in 2000 en de aanvraag van de UT voor een opleiding Geneeskunde verrichtte de Commissie Linschoten (Commissie Marktprikkels Medische Opleidingen, 2002) in opdracht van de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen (OC&W) een onderzoek naar de kosten van een studie Geneeskunde en de mogelijkheden voor marktwerking van medisch hoger onderwijs.

Tezelfdertijd, om de tekorten aan beroepsbeoefenaren in de zorg terug te dringen, meldt de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), in een plan van aanpak capaciteit zorgverleners (Zorgnota, 2002), dat haar departement zich richt op de verruiming van het aanbod zowel in aantallen opleidingsplaatsen als van personeel in de zorg.

Op basis van het voorstel voor een opleiding geneeskunde aan de UT stelde de Vereniging van Academische Ziekenhuizen (VAZ) dat zij in het voorstel de technologie miste. Zij had in plaats van een reguliere opleiding geneeskunde een meer technische geneeskunde opleiding verwacht.

Door het ontwerp van een opleiding Biomedische Technologie aan de UT, dat net was geschreven, waren zowel de inhouden van de technologische ontwikkelingen en de snelheid, waarmee nieuwe technologieën werden geïntroduceerd, bekend. Door het voorstel voor een opleiding geneeskunde was het bekend dat technologische basisvakken zoals wiskunde, natuurkunde, werktuigbouwkunde, elektrotechniek en informatica niet aan bod komen in een geneeskundeopleiding. Daar kwamen nog twee ontwikkelingen bij: in het nieuwe profiel Natuur en Gezondheid in het VWO was de Wiskunde drastisch in uren en in onderwerpen terug gebracht. Tegelijkertijd was het in diverse middelbare scholen niet meer vanzelfsprekend dat Natuurkunde onderdeel uitmaakte van de curricula binnen dit profiel. De tweede ontwikkeling was dat de instroom in de opleidingen Natuurkunde en Scheikunde zeer was teruggelopen. Daarmee was het niet vanzelfsprekend dat de op te leiden ingenieurs zich zouden (kunnen) bekwamen in het adequaat hanteren van nieuwe technologieën in de gezondheidszorg, bijvoorbeeld binnen de Klinische Fysica of Klinische Chemie.

Mede op grond van deze ontwikkelingen en door het ontbreken bij artsen aan de voor het ontwerpen van medische oplossingen benodigde technologische kennis en inzicht en ook door de afname in aantallen voor de gezondheidszorg opgeleide ingenieurs, ontstond er behoefte aan een nieuw soort zorgprofessionals, de technisch geneeskundigen, een beroepsgroep waar in Nederland maar ook in andere landen nog geen gerichte opleiding voorhanden was. De behoefte aan in technologie gespecialiseerde zorgverleners werd des te groter gezien de toegenomen diversiteit aan technologische ontwikkelingen. Dit maakte de weg vrij voor geneeskundigen met een sterke technologische basis, geneeskundigen die zowel verstand hebben van het menselijk systeem als van het technologisch domein en die op basis van deze geïntegreerde kennis met behulp van technologie nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie kunnen ontwerpen.

Ondanks het feit dat er wel een noodzaak aan uitbreiding van het aantal opleidingsplaatsen werd geconstateerd, kwam de Commissie Linschoten tot de conclusie dat er geen ruimte was voor een negende medische faculteit in Nederland, maar wel voor een studie die professionals in de gezondheidszorg op het gebied van de Technische Geneeskunde zou opleiden.

Daarmee was een opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente gerechtvaardigd.

1.3 Voorstel voor een opleiding Technische Geneeskunde

De Universiteit Twente wilde na de bemoedigende berichten en de daaruit voortvloeiende constatering een voorstel voor een opleiding Technische Geneeskunde indienen bij de Adviescommissie Onderwijsaanbod (ACO). Vanaf oktober 2002 gold echter een moratorium op nieuwe opleidingen, omdat de ACO per 1 oktober ophield te bestaan en de Nederlandse Accreditatie Organisatie (NAO) (thans de Nederlands Vlaamse Accreditatie Organisatie, NVAO) pas in maart 2003 van start zou gaan. Omdat de ministeries het initiatief wel waardeerden, stelde de staatssecretaris van VWS in december 2002 een commissie in: de commissie Technologie, Zorg en Opleidingen (TZO) onder leiding van professor Sminia, Rector Magnificus van de Vrije Universiteit (VU) te Amsterdam, om advies uit te brengen over de maatschappelijke positionering van de technisch geneeskundige. De commissie Sminia adviseerde een vijfjarige ingenieursopleiding Klinische Technologie te ontwerpen, opleidend tot het beroep van klinisch technoloog. De Universiteit Twente was echter van mening deze naam geen recht zou doen aan de inhoud en de doelstelling van de opleiding. Als klinisch het bijvoeglijk naamwoord is en technoloog het zelfstandig naamwoord, vallen alle gezondheidszorg gerelateerde ingenieursopleidingen zoals, de Klinisch Fysicus, de Klinisch Chemicus, de Biomedisch Ingenieur en tegenwoordig de Medical Engineer, the Qualified Medical Engineer, de Klinisch Informaticus, de Klinisch Ingenieur onder de noemer Klinisch Technoloog. Deze opleidingen hebben bovendien, uitgezonderd de Klinisch Fysicus (voor één handeling) geen bevoegdheid in de directe patiëntenzorg.

De doelstelling van de opleiding was echter een geheel nieuwe medisch professional (aan te duiden als een disruptieve innovatie of *platform project* (Christensen, Horn, & Johnson, 2008; Wheelwright & Clark, 1992)) op te leiden, die net als de arts denkt vanuit de patiënt en niet vanuit de technologie, met een geneeskundige bevoegdheid (zie Figuur 1.1).

Figuur 1.1. Positionering opleiding Technische Geneeskunde

Dit impliceerde dat het bijvoeglijk naamwoord technologisch moest zijn en het zelfstandig naamwoord geneeskundig. Het werd een zesjarige opleiding, waarvan de bachelor opleiding officieel Klinische Technologie heet, maar met uitdrukkelijke toestemming van het Ministerie van OC&W mocht de UT de naam Technische Geneeskunde gebruiken. Daarmee werd de beoefenaar in Twente een technisch geneeskundige genoemd. Dit Salomonsoordeel van het ministerie van OC&W heeft tot de nodige verwarring geleid. Zeker toen de masteropleiding als Technical Medicine in het Centraal Register Opleidingen Hoger Onderwijs (CROHO) werd geregistreerd en

het Ministerie van VWS bleef vasthouden aan de titel Klinisch Technoloog voor de beroepsbeoefenaar. Een naam die in de gezondheidszorg zelden wordt gebruikt.

In het opleidingsvoorstel werd het beroepsprofiel van de technisch geneeskundige, en daarmee een rechtvaardiging voor een opleiding Technische Geneeskunde, als volgt beargumenteerd en omschreven. De arts en de patiënt worden in toenemende mate geconfronteerd met hoogwaardige technologie in diagnostiek en behandeling. Een ontwikkeling, die alleen maar zal toenemen, zoals hiervoor ook al is geconstateerd. Bepaalde klinische vakgebieden worden zo technologisch dat de medicus zijn vak slechts kan uitoefenen in nauwe samenwerking met technologen, zoals (klinisch) fysici, (klinisch) chemici, elektrotechnici of werktuigbouwkundigen.

Er werd tevens geconstateerd dat er een groot artsentekort en een teruglopend aantal technologistudenten is, hetgeen de behoefte aan een nieuwe professional bepaalde. Dit leidde tot het volgende profiel dat in het voorstel werd opgenomen.

“Naast de regulier opgeleide medicus met de titel arts, die het totale traject van de patiënt begeleidt, van diagnose via behandeling en revalidatie tot nazorg, staat een technisch-medicus met een opleiding gericht op een specialistisch vakgebied, die op basis van een eigenstandige verantwoordelijkheid de patiënten met behulp van de technologie op die specifieke deeltaken diagnosticeert en behandelt. Bovendien kan hij voorop lopen bij het ontwikkelen of implementeren van nieuwe technologieën in de kliniek. Technologieën die kostenbesparend en productie verhogend zijn” (Miedema, 2002).

In het voorstel werd ook ingegaan op het type expert waartoe de opleiding Technische Geneeskunde zou moeten opleiden. De ontwikkeling van en de omgang met technologische innovaties, alsmede bij het ontwerpen van medische oplossingen gebruik maken van technologische innovaties, vroegen om een ander type expert, de zogenaamde adaptieve expert (Hatano & Inagaki, 1984). Dit type expert wordt in staat geacht op een innovatieve en cognitief flexibele manier met behulp van de technologie de diagnostiek en de therapie te kunnen optimaliseren of vernieuwen. De traditionele geneeskunde opleiding leidde in toenemende mate mede door de opkomst van protocollen en richtlijnen, op tot het nemen van routinematige beslissingen op het terrein van diagnostiek en behandeling waardoor met de in de praktijk opgedane ervaring de routine expert ontstond (Hatano & Inagaki, 1984), voor een beargumenteerd onderscheid tussen routine en adaptieve expertise). De ontwikkeling van een dergelijk op adaptieve experts gerichte opleiding paste ook fraai in de cognitieve benadering binnen medische curricula. Papa & Harasym (1999) beschrijven de historie van het medische curriculum vanuit een *cognitive science* oogpunt en constateren dat na het *apprenticeship*-model, het *discipline-based* model, het *organ system based* model, de laatste veertig jaar het *problem-based* model en de laatste 20 jaar het *clinical-presentation based* model een belangrijke rol spelen. Met als onderliggende ontwikkeling van een *“increasing interest in, attention to, and understanding of the knowledge base structures and cognitive processes that characterize and distinguish medical experts and novices”* (p.154).

Zoals in dit proefschrift zal worden betoogd, kenmerkt de opleiding Technische Geneeskunde zich in belangrijke mate door het voortbrengen van professionals die problemen oplossen als scientist-practitioners, die medische technologie op een verantwoorde wijze toepassen om daarmee de diagnostiek en behandeling te optimaliseren. Hiermee wordt een professional aangeduid die in staat is de wetenschap te integreren in zijn handelen in de praktijk en omgekeerd de praktijkvragen te beschouwen als een wetenschapper (Hutschemaekers, 2010). Ook in de *cognitive science* zelf zien we het besef dat onderzoek naar expertise van groot belang kan zijn voor

medische opleidingen (Patel, Glaser, & Arocha, 2000). Deze auteurs beweren dan ook dat het ontwerpen van educatieve systemen in de zorg die gebaseerd zijn op onderzoek naar expertise en expertise-ontwikkeling, belangrijke bijdragen kan leveren aan de kwaliteit van de medische opleiding.

Bovendien ontstond bij de ontwikkeling van de opleiding de behoefte, omdat er sprake is van individuele patiëntencontacten, dat de kwaliteit van het handelen van een technisch medicus net als bij de reguliere medicus bewaakt dient te worden door middel van een registratie in de wet op de Beroepen in de Individuele Gezondheidszorg (BIG).

Op basis van bovengenoemde voorstellen hebben de toenmalige staatssecretaris van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en de staatssecretaris van Volksgezondheid, Welzijn en Sport de Universiteit Twente, ondanks het moratorium, toestemming verleend te starten met de opleiding in 2003¹. De onderbouwing van deze toestemming was tweeledig: de urgentie van de problematiek in de zorg en de brede steun voor de gedachte dat een beroep op het snijvlak van de geneeskunde en de technologie een wezenlijke en zinvolle aanvulling kon betekenen op de beroepenstructuur in de gezondheidszorg. Temeer daar de technisch geneeskundigen zich vanuit het perspectief van de individuele patient zouden gaan richten op nieuwe of efficiëntere toepassingsmogelijkheden van de technologie. Grond voor deze aanname was, naast de afname van fouten, veroorzaakt door verkeerd gebruik van technologie, de ontwikkeling van effectievere procedures binnen een korter opleidingscontinuüm, van zes jaar basisopleiding en twee jaar vervolgopleiding.

Door het moratorium was voor de opname van de opleiding in het Centraal Register Opleidingen Hoger Onderwijs (CROHO) een wetwijziging noodzakelijk. Het ministerie van OC&W diende een voorstel in tot wetwijziging van de Wet op het Hoger onderwijs en Wetenschappelijk onderzoek (WHW), waardoor de Universiteit Twente per 1 september 2003 de opleiding Technische Geneeskunde zou kunnen starten. Het voorstel is op 27 mei 2003 met algemene stemmen aangenomen door de Tweede Kamer. De Eerste Kamercommissie voor Wetenschapsbeleid en Hoger Onderwijs bracht op 17 juni 2003 het eindverslag uit, waarna het voorstel op 1 juli 2003 zonder hoofdelijke stemming werd aangenomen.²

Met deze spoedprocedure binnen de Staten Generaal werd de opleiding aan de UT per 1 september 2003 mogelijk. De kenmerken van de opleiding, alsmede de urgentie van de problematiek in de zorg en de brede steun voor de gedachte dat een beroep op het snijvlak van de geneeskunde en de technologie een wezenlijke en zinvolle aanvulling betekent op de beroepenstructuur in de gezondheidszorg, vormden het essentiële bestaansrecht van de opleiding Technische Geneeskunde.

1.4 Start van de opleiding

September 2003 was de officiële start van de opleiding met 50 studenten. Omdat de kwaliteit van het onderwijs eenvoudiger kon worden gerealiseerd bij een kleiner aantal studenten en omdat de regel gold dat een student zich maar voor één lotingsstudie tegelijkertijd kon aanmelden, was een instellingsfixus de aangewezen weg. Hierdoor werd bovendien voorkomen dat de opleiding een

¹ Brief OC&W, 20 januari 2003. Gepubliceerd in Staatsblad 2003, 20 en 70

² <http://www.eerstekamer.nl>

zogenaamde parkeerstudie zou worden voor uitgelote geneeskunde studenten. De studenten werden geselecteerd door middel van de Informatie Beheer Groep (IBG) lotingsprocedure, inmiddels Dienst Uitvoering Onderwijs (DUO), zoals die ook gold voor andere lotingsstudies zoals Geneeskunde.

Bij de start van de opleiding Technische Geneeskunde was ter versterking van de personele samenstelling contact gezocht en kwam samenwerking tot stand met een aantal partners, zoals het UMC St. Radboud met name door de toenmalige decaan van de medische faculteit prof.dr. G.P. Vooijs. Later werd professor Vooijs de eerste medisch directeur van het technisch geneeskundig onderzoek. In de regionale gezondheidszorg waren de partners het Medisch Spectrum Twente te Enschede, de Ziekenhuisgroep Twente te Hengelo en Almelo en een groot aantal andere ziekenhuizen buiten de regio Twente. Zij werkten constructief mee en verklaarden zich met groot enthousiasme bereid stages te verzorgen. Daarnaast functioneerden veel medisch specialisten, ingenieurs, bestuurders en andere kenners van de gezondheidszorg als kritisch klankbord om van Technische Geneeskunde een gevalideerde opleiding te maken.

Door deze acties werd een relevant netwerk van stakeholders opgebouwd om de opleiding verder te kunnen uitbouwen en te kunnen verzorgen.

1.5 Opleidings- en Ontwerpprobleem

Een belangrijke aanleiding voor het ontwerpen van een opleiding Technische Geneeskunde was dat er veel technologie wordt gebruikt in de gezondheidszorg en dat de industrie zich toelegt op nog meer technologische ontwikkelingen binnen de gezondheidszorg. Zoals in hoofdstuk 3 zal worden betoogd, blijkt uit het toenemend aantal fouten als gevolg van verkeerd gebruik van medische technologie, er weinig adequate expertiseontwikkeling op het gebied van het toepassen van medische technologie bij artsen te constateren valt, en worden de mogelijkheden van technologie onvoldoende benut (Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008; World Health Organization, 2010). Een dergelijke opleiding paste dus goed binnen het eerder gekenschetste profiel van de UT. De vraag deed zich vervolgens voor hoe de antwoorden op de twee hiervoor geschetste problemen, weinig expertiseontwikkeling bij artsen en onderbenutting van technologie, geconcretiseerd konden worden in een opleiding. Welk type professionals moesten worden opgeleid? Hiermee openbaarde zich het opleidingsprobleem. Een probleem dat niet kan worden opgelost door een veranderde inzet van artsen of ingenieurs, namelijk door de artsen meer technologie te onderwijzen en de ingenieurs meer medisch te onderwijzen, omdat ze verschillende opleidingsdoelstellingen kennen. Biomedisch ingenieurs worden opgeleid om nieuwe technologie te ontwerpen en te ontwikkelen ten behoeve van de gezondheidszorg (Meijers et al., 2005; Miedema & van Alsté, 1999). Zij gaan hierbij uit van het gemiddelde van groepen en niet van de toepassing bij de individuele patiënt. Artsen worden opgeleid in de directe patiëntenzorg om diagnoses te stellen en therapieën toe te passen bij de individuele patiënt (Metz, Verbeek-Weel, & Huisjes, 2001). Zij zijn niet opgeleid om de op populatie-gemiddelden gebaseerde technologie te vertalen naar de individuele behoefte van de patiënt. Evenmin worden zij opgeleid om de risico's van het gebruik van medische technologie bij de individuele patiënt adequaat in te schatten en deze risico's te kunnen vermijden of met behulp van technologie nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie te ontwerpen en te ontwikkelen. Er is geen

aandacht binnen de opleiding Geneeskunde voor basiskennis van technologie, te weten, wiskunde, natuurkunde, elektrotechniek en werktuigbouwkunde, die met de nieuwste technologische inzichten bij het oplossen van problemen in het geneeskundig handelen kunnen worden geïntegreerd (Metz et al., 2001; Scherpier, 2004).

Het hiervoor geschetste opleidingsprobleem vraagt om de synthese van medische en technologische kennis en vervolgens dient deze synthese geïmplementeerd te worden in technisch-medische expertiseontwikkeling in de geneeskunde. Daarbij hoort het adequaat en verantwoord gebruiken van bestaande theoretisch-technologische kennis voor het oplossen van nieuwe technisch-medische problemen. Technologische kennis moet bruikbaar worden gemaakt. Dit kan worden getypeerd als een transferprobleem, dat wil zeggen de wijze waarop wetenschappelijke en technologische kennis geschikt gemaakt kan worden voor toepassing buiten de onderzoek omgeving. We kunnen daarbij een onderscheid maken tussen *transfer of training* en *transfer of knowledge*. *Transfer of training* is gericht op het effect van het leren van vaardigheden in de leersituatie op het uitvoeren van de vaardigheden in de toepassingssituatie (Ford & Weissbein, 1997). *Transfer of knowledge*, ook wel aangeduid met *knowledge transfer*, betreft de overdracht van expertise, kennis en vaardigheden van de kennisproducent (bijv. de universiteit) naar de kennisconsument (bijv. ziekenhuis) (Argote, Ingram, Levine, & Moreland, 2000). Er is behoefte aan een synthese van deze twee vormen van transfer. Dit vraagt om een nieuw soort expertise; hoe technologie toe te passen en te optimaliseren in het geneeskundig handelen. De ontwerpaanpak die kenmerkend is voor de ingenieursopleiding kan voor deze expertise de structuur creëren. Met andere woorden van analyse van het probleem naar benutting van technologische kennis voor het ontwerpen van klinische oplossingen.

Het is van belang daarbij te accentueren dat het niet gaat om het simpel verenigen van medische kennis en technologische kennis, want dat zou het transferprobleem bij de gebruiker (de student) leggen, maar door het transferprobleem werkelijk op te lossen in het ontwerp van een opleiding. Doel van de opleiding moest zijn om oplossingen voor medische problemen te ontwerpen waarin medische en technische kennis geïntegreerd zijn. Met andere woorden, transfer blijft daarmee de verantwoordelijkheid van opleiding, en is het niet aan de student om daarin te voorzien.

De ontwerpleer, zoals hierboven geïntroduceerd, is het wetenschappelijk kader dat een oplossing kan bieden voor het opleidingsprobleem om de synthese van medische en technologische kennis en vervolgens de implementatie in technisch-medische expertiseontwikkeling binnen de geneeskunde te bewerkstelligen. De ontwerpleer, ook wel aangeduid met ingenieursaanpak, waarbij het doel is om nieuwe oplossingen te ontwerpen, faciliteert het oplossen van het transferprobleem. En daarmee is het transfervraagstuk een opleidingsprobleem (op welke wijze kunnen studenten kennis en vaardigheden, verworven in de leersituatie, toepassen in de werksituatie om medische problemen op te lossen) en ook een ontwerpprobleem (hoe kan via een opleiding een optimale transfer plaatsvinden met als doel het adequaat oplossen van medische problemen in een technologisch-medische context en gebruikmakend van de technologie).

1.6 Onderzoeksvraag

Het onderzoek in dit proefschrift is gericht op de uitkomsten van de opleiding Technische Geneeskunde waarin technologie en geneeskunde op effectieve en efficiënte wijze zijn samengevoegd, ten einde professionals af te leveren die op flexibele en inventieve wijze in staat zijn, tot het oplossen van medische problemen gebruik makend van steeds vernieuwende medische, technologische en sociaalwetenschappelijk kennis, die zij aansluitend kunnen toepassen in de directe patientenzorg. De onderzoeksvraag in dit proefschrift betreft de vaststelling van de effecten van de verwerving van competenties (kennis, vaardigheden en houding in een authentieke context) op vier niveaus op het oplossen van technisch-medische problemen. Deze niveaus zijn ontleend aan (Kirkpatrick, 1998) en worden veelal aangeduid met (1) het reactie- of motivatieniveau (voldoet de opleiding aan de verwachtingen en zijn de studenten gemotiveerd?), (2) het leerniveau (wat is er geleerd?), (3) het gedrag- of performanceniveau (welke veranderingen in gedrag en performance zijn te constateren?), en (4) het resultaatniveau (uiteindelijke manifestatie van de gewenste performance in de relevante context van het ziekenhuis?).

1.7 Ontwerpkader voor analyse

Zowel de analyse van het ontwerpproces waarover in dit proefschrift wordt gerapporteerd als de aanpak die in de opleiding wordt gehanteerd, kennen de ontwerpgerichte aanpak als kader, ofwel *design based research* (McKenney & Reeves, 2012). Het onderzoek van de opleiding verloopt van analyse, via synthese naar constructie en evaluatie. Analooq hieraan vindt binnen de opleiding een synthese plaats van in dit geval technologische en geneeskundige inzichten in het oplossen van medische problemen, zoals diagnosestelling en het opstellen, uitvoeren en evalueren van een behandelplan. Deze tweeledige benadering zien we ook in Plomp's (Plomp & Nieveen, 2007) karakterisering van ontwerpgericht onderzoek als *"the systematic study of designing, developing and evaluating educational interventions (such as programs, teaching-learning strategies and materials, products and systems) as solutions for complex problems in educational practice, which also aims at advancing our knowledge about the characteristics of these interventions and the processes of designing and developing them"* (p. 13).

De ontwerpgerichte aanpak voorziet in een aantal ontwerpfasen die uitgangspunt vormen van de analyse van de ontwikkeling van de opleiding Technische Geneeskunde. Binnen de Universiteit Twente is binnen diverse disciplines een model ontwikkeld voor het systematisch ontwerpen van opleidingen dat grote gelijkenis vertoont met de beschrijving van Plomp en Nieveen (2007). Zo wordt bijvoorbeeld onderwijskundig ontwerpen gezien als de kennis en kunde om op systematische wijze onderwijskundige oplossingen te ontwikkelen of te maken en deze te gebruiken of toe te passen. Deze systematiek is samengevat in een algemeen model, dat gebaseerd is op probleem oplossen en zijn structuur ontleent aan de ingenieurs- en managementwetenschappen. Dit type ontwerpmodellen kent ook een opbouw, waarin opvattingen over probleem oplossen duidelijk herkenbaar zijn. Hoofdactiviteiten of fasen in dit ontwerpproces komen vooral neer op de vertrouwde indeling in analyse, synthese, implementatie en evaluatie.

Aan dit model (figuur 1.2) ligt de centrale, generieke ontwerp vraag ten grondslag: hoe op een systematische en creatieve manier, via een geïntegreerde benutting van zowel wetenschappelijke kennis (via onderzoek) als praktische vaardigheden en binnen bepaalde randvoorwaarden, een oplossing voor een probleem te ontwerpen, te beproeven en te implementeren, die zo goed mogelijk voldoet (Verhagen, Kuiper, & Plomp, 1999).

Evaluatie en implementatie zijn van continue waarde binnen het model. Evaluatie is gericht op de juiste uitvoering van de ontwerp stappen en de implementatie op het betrekken van de doelgroep (stakeholders) vanaf het begin van het ontwerp proces teneinde een acceptatie van de opleiding als gekozen oplossing te realiseren.

Figuur 1.2. Ontwerpmodel voor onderwijskundig probleem oplossen

Ontwerpen kunnen we dus beschouwen als een methode waarin op systematische wijze wordt toegewerkt naar een oplossing van 'maak' -problemen, in dit geval het 'maken' van een opleiding. De systematische wijze houdt in dat er een aantal fasen in de werkwijze is te onderscheiden. De ontwerp activiteiten van dit algemene generieke model zijn: probleemdefiniëring en -analyse, ontwerpen, construeren, implementeren, evalueren en reviseren. Onder 'maak' problemen verstaan we die problemen, waarvan de oplossing bestaat uit het maken van iets, zoals in het onderwijs leerprogramma's, cursussen, instrumenten, procedures, behandelingsmethoden, en organisatiestructuren. Vergelijkbare voorstellingen van een systematische probleemaanpak komen we ook tegen in de oorspronkelijke benadering van het technisch ontwerpen in de werktuigbouwkunde. In zijn methodisch ontwerpen ging Van den Kroonenberg (Van den Kroonenberg & Siers, 1974) al uit van drie fasen: de probleem-definiërende fase, de werkwijzebepalende fase en de vormgevende fase. Probleemdefinitie: wat moet het te ontwerpen product kunnen? Werkwijze-bepalende fase: wat zijn de mogelijkheden, wat zijn de voorwaarden, hoe duurzaam moet het zijn, wat is het energieverbruik, wat is de impact op de omgeving, wat zijn de kosten, wat levert het op? Met andere woorden, de wereld waarin het te ontwerpen product moet verschijnen wordt verkend, voordat het in deze wereld werkelijk verschijnt. In de vormgevende fase wordt de blauwdruk geconcretiseerd.

Een voor ons relevante uitbreiding van het model treffen we aan bij McKenney and Reeves (McKenney & Reeves, 2012). Deze auteurs vatten ontwerponderzoek samen met de betrokkenheid van stakeholders in het gelijktijdig ontwikkelen van theoretische inzichten en praktische oplossingen in een authentieke omgeving. In feite komt het volgens deze auteurs neer op de ontwikkeling van bruikbare kennis, door middel van onderzoek en in samenwerking met andere onderzoekers en *practitioners*. Bovendien is ontwerponderzoek iteratief en flexibel (Reeves, Herrington, & Oliver, 2005). Samenvattend kunnen we ontwerponderzoek kenmerken als een systematische en flexibele methodologie die erop is gericht situaties en structuren te optimaliseren door een iteratieve analyse, gevolgd door een ontwerp- en ontwikkelfase, waarna de ontwikkelde interventie wordt geëvalueerd en geïmplementeerd. In de woorden van Reeves et al. (2005): "*problem analysis, solution development and iterative refinement in evaluation cycles, and reflection on the design principles, which make up the theoretical contribution of the study, and product implementation, or the practical results of the study*". Ook in de analyse zullen we de betrokkenheid van stakeholders expliciet opnemen omdat deze betrokkenheid bij de voorbereiding en de ontwikkeling van de opleiding Technische Geneeskunde een grote rol speelde.

1.8 Opzet van studie

In dit proefschrift wordt het ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente beschreven aan de hand van een **overkoepelende vraag** die de rechtvaardiging van de opleiding betreft. Een rechtvaardiging die een antwoord geeft op de vragen: wat voor professional moet worden opgeleid, wat voor opleiding is daarvoor nodig, en welke (leer)resultaten worden met de opleiding bereikt? Deze vragen zijn een opleidingsvraag, een ontwerp-vraag en een onderzoeksvraag en zij bepalen de structuur van dit proefschrift. De **opleidingsvraag**, wat en hoe moet er worden geleerd om als technisch geneeskundige te kunnen afstuderen? Een **ontwerp-vraag**, met als doel het vaststellen van ontwerpprincipes voor het ontwikkelen van competenties voor een adequaat en optimaal gebruik van technologie en daarmee een integratie te bewerkstelligen van diverse expertdomeinen in een complexe interdisciplinaire context. En de **onderzoeksvraag** naar de effecten van de verwerving van competenties (kennis, vaardigheden en houding in een authentieke context) op vier niveaus (reactie- of motivatieniveau, leerniveau, gedrags- of performanceniveau, en organisatieniveau). Na de beschrijving van de context en de historie van de opleiding Technische Geneeskunde (TG) aan de Universiteit Twente in hoofdstuk 1, wordt ingegaan op het eerste ontwerp van de opleiding (hoofdstuk 2). Bij de uitwerking van de blauwdruk in een eerste ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde, vormden het beroepsprofiel, het competentieprofiel en de heuristiek de bouwstenen. Daarmee is het opleidingsprobleem behandeld en is een antwoord gegeven op de opleidingsvraag. In hoofdstuk 3, 4 en 5 worden drie onderwerpen die van essentieel belang zijn voor de typering van de effectieve mechanismen binnen de opleiding TG behandeld en die een legitimering inhouden van de keuzen die gemaakt zijn. Per onderwerp wordt de wijze waarop de bevindingen hun plek hebben gekregen in de opleiding beschreven. Ten eerste wordt een analyse vanuit een medisch-technologisch en onderwijskundig perspectief beschreven. Wat is het technologisch referentiekader voor een dergelijke opleiding, gezien vanuit het toenemend belang

van technologie voor de gezondheidszorg? (hoofdstuk 3) Een opleiding, waarbij technologie een rol vervult als doel, als middel of als didactisch principe. Wat is vervolgens het onderwijskundig referentiekader, waarbij aangegeven wordt welke keuzes zijn gemaakt vanuit een opleidingswetenschappelijk perspectief op een integratie van technologie en geneeskunde voor het oplossen van medische problemen (hoofdstuk 4). De synthese, leidend tot aanpassingen in het curriculum van de opleiding, werd gevoed door inzichten over technologie-gebruik in de gezondheidszorg en over technisch-medisch probleem oplossen.

Een belangrijk onderwerp binnen de opleiding Technische Geneeskunde is het vaardigheidsonderwijs. In hoofdstuk 5 worden de ontwikkelingen op dat terrein binnen het medisch onderwijs en in het bijzonder de opleiding Technische Geneeskunde beschreven. Vervolgens worden de aanpassingen die zijn doorgevoerd, besproken (hoofdstuk 6). Deze geschieden door een synthese voor een eerste versie van een opleiding samen te stellen en deze vervolgens iteratief te optimaliseren door gelijktijdige implementatie en formatieve evaluatie. Via een aantal evaluatie-ronden van de uitvoering is op iteratieve wijze de uiteindelijke opleiding ontstaan. De iteraties zijn niet vooraf gegaan aan de feitelijke verzorging van de opleiding, maar zijn ingebed in de eerste jaren dat de opleiding draaide. De werkwijze die hierboven is getypeerd, heeft de basis gevormd van het ontwerp van de opleiding. Het ontwerpprobleem is daarmee getypeerd en de ontwerp-vraag wordt beantwoord. Hoofdstuk 7 bespreekt de uitkomsten van de opleiding door middel van een evaluatie van het werk, op de vier niveaus zoals (Kirkpatrick, 1998) deze geeft, van de technisch geneeskundige in de opleiding en in de praktijk. Hiermee kunnen we onderzoeksvraag beantwoorden.

De studie wordt in hoofdstuk 8 afgesloten met de reflectie op de resultaten van de reconstructie en er wordt ingegaan op nieuwe en aanvullende inzichten in onderwijskundige ontwerpmodellen en -processen. Tevens worden aanbevelingen gedaan voor het inrichten van dit type opleiding voor medische professionals en voor het implementeren van de synthese van medische en technologische kennis.

HOOFDSTUK 2

EERSTE ONTWERP VAN DE OPLEIDING TECHNISCHE GENEESKUNDE

HOOFDSTUK 2 EERSTE ONTWERP VAN DE OPLEIDING TECHNISCHE GENEESKUNDE

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal de opleidingsvraag worden beantwoord, wat voor professional moet worden opgeleid om te beantwoorden aan het profiel van de technisch geneeskundige en wat en hoe moet er worden geleerd om als technisch geneeskundige te kunnen afstuderen. Het programma van de opleiding Technische Geneeskunde is gebaseerd op onderwijskundige kennis en inzichten verkregen tijdens een periode, waarin door politiek-bestuurlijke en technologische ontwikkelingen het in toenemende mate helder werd dat er behoefte was aan een nieuw soort medisch professional: een technisch geneeskundige, een professional die in staat is de technologie en de gezondheidszorg werkelijk te verbinden. Het ontwerp van de opleiding wordt gekenmerkt door een sterk iteratief proces waarbij de fases, van vooronderzoek, ontwerp, implementatie en evaluatie op diverse niveaus naast elkaar bestonden. Omdat er geen expliciet referentiekader voor een dergelijke opleiding aanwezig was, is in het kader van het vooronderzoek gestart met het formuleren van een beoogd beroepsprofiel, zodat er een eindpunt werd gedefinieerd, van waaruit de rest kon worden afgeleid. Het eerste globale beroepsprofiel is in 2002 geformuleerd en dit is later aangepast tot het huidige profiel. Het beroepsprofiel vormde de basis voor het competentieprofiel en de opleidingsheuristiek. Vervolgens is het curriculum in een iteratief proces ontworpen en doorlopend aangepast. Tijdens deze ontwikkelingen gaven reflecties op technologie en probleemoplossende strategieën van medici en technologen nieuwe inzichten die bijdroegen aan de aanscherping van de opleiding Technische Geneeskunde, maar ook aan inzichten in het ontwerpproces. Ook de ervaringen in de praktijk met technisch geneeskundigen zorgden voor aanscherpingen in het curriculum. Daarmee waren de implementatie in de vorm van de invoering van het eerste ontwerp van een beoogd curriculum en de uitvoering ervan in de tijd met elkaar verweven. In dit hoofdstuk komen achtereenvolgens het beroepsprofiel, het competentieprofiel, de opleidingsheuristiek aan bod en die samen met de rationale de achtergrond vormden van de gemaakte keuzes in de opbouw van het curriculum. In de volgende hoofdstukken zal aandacht worden geschonken aan de technologische en onderwijskundige inzichten die bijdroegen aan het aanscherpen van het opleidingsplan. Het vaardigheidsonderwijs was een belangrijk onderdeel van de nieuwe inzichten vandaar dat hieraan een apart hoofdstuk (hoofdstuk 5) wordt gewijd. In hoofdstuk zes wordt het beeld geschetst van de aanpassingen die op grond van interne en externe curriculumevaluaties tot stand zijn gekomen.

2.2 Beroepsprofiel

Om tot een adequate beschrijving van een professioneel profiel te komen zijn verschillende mogelijkheden voorhanden. In de onderzoeksliteratuur wordt een aantal beschreven, die variëren van een zeer gedetailleerde beschrijving van taken en het consulteren van experts, tot

toekomst gerichte beschrijvingen. Een medisch of juridisch beroep vertalen naar een curriculum is betrekkelijk eenvoudig omdat het beroep strikt omschreven is. Een nieuwe en veelbelovende wijze om te komen tot een professioneel profiel lijkt het benoemen van kerncompetenties en kernproblemen (Van Merriënboer, Van der Klink, & Hendriks, 2002). In het ontwerp van een beroepsprofiel voor een technisch geneeskundige is uitgegaan van een combinatie van deze mogelijkheden. Het beroepsprofiel wordt omschreven als de eisen en de kwalificaties waaraan een beroepsbeoefenaar tenminste moet voldoen om gekwalificeerd te kunnen worden als een goede beroepsbeoefenaar (kerncompetenties en kernproblemen). Het beroepsprofiel is door relevante stakeholders opgesteld en heeft als uitgangspunt gediend voor de daarop te baseren eindtermen. Voor de opleiding Technische Geneeskunde waren de logische stakeholders technisch en medisch experts, zoals ingenieurs, medici en psychologen. Vandaar dat de Curriculumcommissie Technische Geneeskunde bestond uit experts afkomstig uit de disciplines Werktuigbouwkunde, Elektrotechniek, Fysica, Celbiologie, Anatomie, Fysiologie, Pathologie, Psychologie en Onderwijskunde. De leden voerden op hun beurt vele gesprekken met vertegenwoordigers uit hun domein-achterban om een steeds genuanceerder beeld te krijgen van hun visie op het eindresultaat van een dergelijke nieuwe professional.

Door de onderwijskundige werden de experts gestimuleerd deze visies te vertalen in kernbegrippen door te vragen wat vanuit hun beeld van het beroepsprofiel en hun eigen expertdomein essentieel was aan kennis, vaardigheden en attitude voor de technisch geneeskundige. Met de psycholoog die verantwoordelijk was voor de gedragswetenschappelijke aspecten van de Huisartsenopleiding en de hoogleraar professioneel gedrag van de Radboud Universiteit is veel gesproken over de ontwikkeling van de leerlijn professioneel gedrag. Hierbij vormden de doelstellingen over professioneel gedrag uit het raamplan van geneeskunde het uitgangspunt (Laan, Bulte, Daelmans, Snellen-Balendong, & Borleffs, 2007).

Uit de gesprekken met de curriculum commissie en haar achterban kwam een beeld naar voren van een professional die in staat moet zijn om net als een ingenieur te kunnen onderzoeken en ontwerpen en net als een medicus in staat moet zijn om patiënten te diagnosticeren en behandelen. Er zijn door de curriculumcommissie uiteindelijk drie soorten beschrijvingen gemaakt om Technische Geneeskunde te beschrijven. Als eerste is een beschrijving gegeven van het *vakgebied*, het geheel van kennis, vaardigheid en ervaring dat een rol op professioneel niveau mogelijk maakt. Vervolgens een beschrijving van het *beroep*, een nadere beschrijving van niet alleen kennis en vaardigheden maar ook een positie in het veld, dat uiteindelijk tot een *beroepsprofiel* is geëvolueerd.

In de aanvraag voor de opleiding Technische Geneeskunde in 2002 staat het *vakgebied* als volgt omschreven: "Technische Geneeskunde leidt mensen op voor medische beroepen in de gezondheidszorg, waarbij naast inzicht in de medische processen ook inzicht in de technologische methoden en technieken is vereist om patiënten effectief te kunnen behandelen. Het gaat hierbij om diagnostische en therapeutische behandelingsmethoden met een sterke technologische inslag. Methoden die nu alleen in een teamverband van medici en technici uitgevoerd kunnen worden of door artsen die hiertoe een bijzonder langdurig specialisatie-traject doorlopen hebben. De nieuwe opleiding wil medische en technologische inzichten en vaardigheden vanaf het begin in samenhang aanbrengen. Daardoor kunnen de opgeleiden zich snel specialiseren in die huidige en toekomstige medische beroepen met een sterke technologische inslag. De afgestudeerden van Technische Geneeskunde zullen patiënten behandelen." Deze omschrijving vormde tevens het

startpunt voor het uiteindelijk langjarige inbeddingproces in de wet Beroepen in de Individuele Gezondheidszorg (BIG). De technisch geneeskundige moest over een grondig inzicht beschikken in zowel de technologie als het medisch domein.

Deze beschrijving van het vakgebied kon echter de indruk wekken dat het zou gaan om een aan de medisch specialist ondersteunende positie. Dat was niet de bedoeling, omdat de gedachte was dat een technisch geneeskundige qua positie te vergelijken zou zijn met een radioloog, radiotherapeut of nucleair geneeskundige. Ook deze specialisten worden in consult geroepen op basis van een eigenstandige verantwoordelijkheid. Dus werd de volgende omschrijving van het vakgebied specifieker over de positie van een technisch geneeskundige.

De Nederlands-Vlaamse Accreditatie Organisatie (NVAO) heeft in haar toetsingskader ter beoordeling van aanvragen voor nieuwe opleidingen bepaald dat een aanvraag een domein-specifiek referentiekader moet bevatten, zodat kan worden beoordeeld welke gezamenlijk beschreven elementen van de opleiding er zijn en welke elementen zorgdragen voor individuele profilering of differentiatie. Het ontbreken van een referentiekader voor Technische Geneeskunde geeft aan hoe nieuw het concept was. Er bestond geen voorbeeld voor een domein-specifiek referentiekader, vandaar dat de curriculumcommissie veel aandacht heeft besteed aan het beschrijven van de verzameling elementen die met elkaar het vakgebied, het beroep en de positionering van het beroep aangeven. Daarnaast diende deze beschrijving samen met de rationale over ontwerp- en onderwijs aan de Universiteit Twente als startpunt van het ontwerp.

In het *referentiekader* van de Technische Geneeskunde wordt het vakgebied omschreven als: “het vakgebied dat met kennis van en inzicht in de pathofysiologische en daarmee samenhangende geïntegreerde technologische concepten medische problemen analyseert, identificeert, oplost en de oplossingen implementeert in de geneeskundige praktijk” (Miedema, 2002).

In het *beroepsprofiel* van de Technisch geneeskundige (Miedema, 2002) wordt een beeld geschetst van het toekomstige werkveld en van de taken en verantwoordelijkheden van de technisch geneeskundige. Het beroepsprofiel is als zodanig een beschrijving van het handelen van een technisch geneeskundige als alumnus, als academisch zorgprofessional. Daarbij wordt de technisch geneeskundige omschreven als een “technisch medisch specialist met een specifieke bekwaamheid op deelgebieden van de geneeskunde, de technische wetenschappen en de informatica en de integratie hiervan”.

2.3 Rationale van het curriculum

De opleiding Technische Geneeskunde moest, zo bleek uit de analyse van overleg met stakeholders, gaan voorzien in een behoefte vanuit gezondheidszorg aan medische professionals met een gedegen technische achtergrond. Naast de beschrijving van een eindstation, het beroeps- en het competentieprofiel, werden nog meer aspecten van belang geacht voor de keuzes die geleid hebben tot het uiteindelijke curriculum. Zij vormen een achtergrond, een rationale, voor het ontwerp van de opleiding. Hieronder volgt een overzicht van relevante kenmerken van de opleiding die tezamen de rationale van het curriculum vormen.

Allereerst vormt de *ondernemende attitude* en de daaruit voortvloeiende *ingenieursaanpak* van de wetenschappers aan de UT de kern van de opleiding Technische Geneeskunde. Zowel de ondernemende attitude als de ingenieursaanpak zijn het resultaat van een lange geschiedenis van

de UT, zoals beschreven in hoofdstuk 1, in ontwerpend onderzoeken en onderzoekend ontwerpen, gericht op een nuttigheidsgehalte van de resultaten voor de samenleving.

Om professionals op te leiden die in staat zijn nieuwe oplossingen te ontwerpen en te ontwikkelen voor technisch-medische problemen is het van belang dat deze attitude en aanpak als een cultuur in de opleiding wordt geïncorporeerd. Bewust een cultuur rondom een attitude te laten ontstaan betekent het expliciteren van het impliciete. Deze impliciete ondernemende attitude is (Ruijter & Miedema, 2010) geëxpliciteerd en in 2010 vastgelegd in drie gedragskenmerken of rollen: Onderzoeken, Ontwerpen en Organiseren.

- **Onderzoeken:** een onderzoeker wordt gekenmerkt door zijn behoefte aan analyseren, begrijpen. Hij is probleemgericht en systematisch. Is creatief en kan inzoomen op een probleem. Belangrijk is bewustwording middels reflectie op wetenschap;
- **Ontwerpen:** een ontwerper wordt gekenmerkt door zijn behoefte aan integreren. Hij is gericht op veranderen en is oplossingsgericht. Heeft een voorkeur voor *trial and error*. Hij is origineel en heeft het vermogen om zaken vanuit meer perspectieven te bekijken. Een academisch ontwerper kent naast de ontwerpmethodologie een professionele verantwoordelijkheid en is bekwaam in reflectie op de toepassing van technologie;
- **Organiseren:** een organisator wordt gekenmerkt door zijn vermogen tot combineren en implementeren. Hij is beslissingsgericht en procedureel. Hij is innovatief en kan goed uitzoomen. Elke organisator is zich bewust van de consequenties van zijn handelen op de samenleving en bekwaam zijn in de reflectie op maatschappelijke inbedding.

In dit kader dient een curriculum een variatie te hebben aan opdrachten, waardoor elke student zich kan ontwikkelen tot een eigenstandig academisch professional doordat hij elke rol leert kennen en de bijbehorende handelwijze, het op systematische wijze benaderen van problemen, het zich bewust zijn van het cyclisch proces van onderzoeken, ontwerpen en organiseren.

Ook een systematische reflectie maakt daar onderdeel van uit waardoor de student zich bewust kan worden van zijn voorkeur voor een of meer rollen, waardoor de student zich beter kan voorbereiden op zijn latere beroepspraktijk.

Naast deze focus op de ontwikkeling van de student als academisch professional diende de opleiding naar de mening van de curriculumcommissie aandacht te besteden aan inzicht in *technologie*. De afgestudeerde wordt in staat geacht om technologie toe te passen en te optimaliseren in het geneeskundige handelen, onder de aanname dat technologische kennis bruikbaar wordt gemaakt voor de individuele patiënt. Met andere woorden, van analyse van het probleem naar benutting van technologische kennis voor het ontwerpen van klinische oplossingen. Technologische basisvakken zoals wiskunde, natuurkunde, chemie, werktuigbouwkunde, elektrotechniek en informatica zouden een onderdeel vormen van het curriculum, maar vooral ook de wetenschappelijke ontwikkelingen en innovaties op medische gebieden zoals Tissue Engineering, Robotica, Imaging, Nanomedicine, Virtual Reality, Signaalanalyses, en Neurostimulatie.

Toekomstig technisch geneeskundigen werken in een zich ontwikkelend technisch-medisch vakdomein. Van belang was volgens de curriculumcommissie dat er werd gezocht naar een methode om het technologisch en het medisch domein vanaf het begin te presenteren als een samenhangend geheel. Naast inzicht van de technologie, moet de student een grondig inzicht hebben in *het menselijk lichaam*. Dit omvat zowel de functionaliteit van het gezonde als het niet-

gezonde humane systeem. Ingenieurs beschouwen entiteiten als systemen. Vandaar dat wij het menselijk lichaam beschouwen als een humaan systeem, als een samenhangend geheel bestaande uit diverse aan elkaar gerelateerde subsystemen. Op basis van inzicht in de werking van de subsystemen in het lichaam en het technologisch inzicht kan de student al redenerend tot nieuwe diagnostische en/of therapeutische oplossingen komen.

Uit inventarisatie (Meijers et al., 2005) kwam naar voren dat voor de benutting van medische technologie ten behoeve van individuele patiënten in de gezondheidszorg een transformatie is nodig van de algemene (gegeneraliseerde) ontwerp kennis naar de geïndividualiseerde toepassing. Deze transfer van algemene kennis naar specifieke problemen van individuele patiënten zou bevorderd kunnen worden door daar in de opleiding al aandacht aan te besteden. In dit verband wordt integratie van de medische en technologische kennis cruciaal geacht om ervoor te zorgen dat studenten in staat zijn om algemene kennis over de technologie en specifieke kennis over de werking van het menselijk lichaam toe te passen op de individuele patiënt. De *ontwerpleer of ingenieursaanpak* (zie hoofdstuk 1) kan daarvoor het wetenschappelijk kader bieden. De ontwerpleer kan in de visie van Ruijter en Miedema (2010) alle drie bovengenoemde rollen ondersteunen en faciliteert door een probleem centraal te stellen de integratie van kennis en kan daarmee het transferprobleem oplossen van technologische ontwerpen naar de klinische toepassing

De technisch geneeskundige is daarmee een professional, die op basis van een eigenstandige verantwoordelijkheid en een eigenstandig vakdomein patiënten met behulp van toegepaste technologie op specifieke deeltaken diagnosticeert en behandelt. De ontwerpleer kan behulpzaam zijn, waarbij een systematische en flexibele methodologie wordt gebruikt, die erop is gericht situaties en structuren te optimaliseren door een iteratieve analyse, gevolgd door een ontwerp- en ontwikkelfase, waarna de ontwikkelde interventie wordt geëvalueerd en geïmplementeerd. Om de kracht en effectiviteit van technologie in het proces van individueel medisch probleem oplossen, optimaal te kunnen benutten is een adequate inzet vereist, waarbij er aandacht is voor analyse, oplossingsbepaling, implementatie en evaluatie van technologische interventies.

De ontwerpleer werd daarvoor mede geschikt geacht aangezien deze stimuleert dat technisch geneeskundigen problemen benaderen als *scientist-practitioners*. Scientist-practitioners als begrip geïntroduceerd in de klinische psychologie (Hutschemaekers, 2010; Shapiro, 2002; Shapiro, 1985), zijn in staat om wetenschappelijke inzichten te gebruiken in hun dagelijkse praktijk, maar tevens hun ervaringen in de praktijk te gebruiken om hun ontwerp- en onderzoeksvragen te sturen. Hierbij vindt een translatie plaats van het algemene naar het specifieke op een wetenschappelijk verantwoorde manier.

In de complexe omgeving van patiënten in een ziekenhuis of in een gesimuleerde werkelijkheid, waarin de complexiteit is vervat, leert de student een probleemoplossende strategie toepassen en gaande de rit optimaliseren. Ook zal de student in staat dienen te zijn om oplossingen te onderzoeken en te implementeren, effectieve procedures vervolgens te beschrijven in klinische richtlijnen en de oplossing zelf te gebruiken in de directe patiëntenzorg. De voor deze vaardigheden noodzakelijke competenties kunnen het beste tijdens de opleiding worden verworven in zeer contextrijke leeromgevingen zodat er sprake is van optimale transfer van kennis en vaardigheden.

Om passende antwoorden te ontwikkelen op nieuwe vragen, dienen technisch geneeskundigen ook te beschikken over een *cognitieve flexibiliteit*. Zij betrekken diverse perspectieven in hun

onderzoek naar oplossingen voor nieuwe problemen, beschouwen frequent hun eigen kennis kritisch en breiden dit waar nodig uit. Om een ontwerp of een oplossing aan te kunnen passen aan een lokale context, dient de TG-er over specifieke kennis en vaardigheden te beschikken over ontwerpen en onderzoeken in een klinische context. TG-ers moeten meer kenmerken van adaptieve experts vertonen dan kenmerken van routine experts (Hatano & Inagaki, 1986).

Het veilig, effectief en efficiënt gebruik van hoogwaardige technologie vereist echter niet alleen inzicht in de achtergronden van de technologie, maar ook in het effect ervan op het menselijk individu en vice versa, het effect van het menselijk individu op de technologie. Het vereist een stevige wetenschappelijke, medische en technische achtergrond en een *cultuur van reflectie en bewustwording* (Verbeek, 2013).

Door het aanleren van een effectieve combinatie van medische, technische en professionele competenties zullen de TG-ers in staat zijn technologie te begrijpen en te doorgronden, op basis waarvan zij die technologie kunnen gebruiken om veilige en efficiënte nieuwe oplossingen voor een diagnostisch dan wel therapeutisch probleem te ontwerpen.

Samenvattend werden de volgende randvoorwaarden essentieel geacht voor een opleiding Technische Geneeskunde:

- een ondernemende attitude, bij studenten, docenten én opleiding;
- inzicht in de werking van technologie;
- inzicht in de werking van het humane systeem;
- beschikken over adequate technisch medische vaardigheden;
- beschikken over adequaat professioneel gedrag;
- een ingenieursaanpak, bij studenten, docenten én opleiding;
- een eigen probleem oplossende strategie;
- een cognitieve flexibiliteit;
- een cultuur van reflectie en bewustwording.

Al deze belangrijke voorwaarden zijn in 2002 in het eerste opleidingsvoorstel Technische Geneeskunde samengebracht in een hoofddoelstelling voor de opleiding en dat is het opleiden van academisch gevormde technisch geneeskundigen, die in staat zijn om technologisch-medische problemen te onderzoeken, begrijpen en op te lossen. Daarvoor beschikken ze over kennis betreffende de geneeskunde, technologie en de toepassing daarvan in de medische praktijk. Deze hoofddoelstelling vormde de basis voor het beroeps- en competentieprofiel.

2.4 Competentieprofiel

De beschrijving van een vakgebied en een beroepsprofiel vormen een soort eindpunt van de opleiding. Samen met de boven beschreven kenmerken en randvoorwaarden kan er een competentieprofiel worden gemaakt. Een competentieprofiel bevindt zich op het raakvlak tussen het beroepsdomein en het opleidingsdomein (Kallenberg, van der Grijspaarde, ter Braak, & Baars, 2003; Van Merriënboer et al., 2002) en beschrijft de bekwaamheden waarover een afgestudeerde als beginnend beroepsbeoefenaar in het werkveld dient te beschikken. Dit was voor een nieuwe

opleiding en nieuw vakgebied nog niet eerder als zodanig omschreven en dus een geheel nieuw ontwerp.

De omschrijvingen van het vakgebied, het beroepsprofiel en de randvoorwaarden geven betekenis aan de inhoud en structuur van het competentieprofiel van een opleiding. Een competentie is een geïntegreerd geheel van kennis en inzicht, vaardigheden en attitudes, die het vermogen definieert om beroepstaken die essentieel zijn voor een functie/rol adequaat te verrichten. Een competente student is in een bepaalde context in staat om de meest geschikte handelingen en hulpmiddelen te kiezen om beroepstaken uit te voeren.

Een competentieprofiel is een logische en samenhangende verzameling van deze competenties. Het is dus niet een statische opsomming van kennis, maar geeft tevens aan hoe de professional handelt door middel van vaardigheden en methodes. In de beschrijving van het competentieprofiel is het niet alleen belangrijk om de samenhang aan te geven maar ook welk ordeningsprincipe aan de structuur ten grondslag ligt.

Essentieel voor de technisch geneeskundige en dus de opleiding Technische Geneeskunde is dat door middel van ontwerpen en onderzoeken nieuwe, klinisch direct toepasbare kennis gegenereerd wordt. De aanname was dat de TG-er in de praktijk door deze competentie een meerwaarde heeft naast de arts en de ingenieur. Ontwerpen is een vaardigheid die naast de academische vaardigheid van onderzoeken expliciet binnen de ingenieursopleidingen wordt aangeleerd. Het begrip ontwerpen ontbreekt binnen het Raamplan van de opleiding Geneeskunde. Omdat ontwerpen en het komen tot nieuwe kennis als uitgangspunt heeft gediend voor het competentieprofiel dat is ontwikkeld voor de technische opleidingen binnen het verband van de drie technische universiteiten (Meijers et al., 2005), is ervoor gekozen deze competentiegebieden als inspiratiebron te gebruiken. In aanvulling daarop is gekozen voor het medisch technisch handelen en de 'engineering approach' (door ons in hoofdstuk 1 aangeduid met ingenieursaanpak) zoals uitgedragen door de UT, waarin ook ontwerpen centraal staat.

De 3TU-indeling was het uitgangspunt voor het ordeningsprincipe dat past bij het competentieprofiel van de technisch geneeskundige. Net als bij het 3TU-competentieprofiel zijn de competenties geordend in het disciplinaire domein, in de werkwijze van deze professional en de context waar de discipline zich op richt. Het disciplinaire domein richt zich op de inhoudelijke kant van de discipline, of wel richt zich op het *Wat?* De werkwijze van de professional wordt omschreven als het *Hoe?* De context van deze discipline wordt omschreven als het *Waar?*

Dit ordeningsprincipe laat zich operationaliseren naar de zeven competentiegebieden van de opleiding Technische Geneeskunde (zie Tabel 2.1.).

Tabel 2.1. Competentiegebieden Technische Geneeskunde

<p>1. Competent in de wetenschappelijke discipline der Technische Geneeskunde: <i>De technisch geneeskundige is vertrouwd met bestaande wetenschappelijke kennis en is in staat deze door studie uit te breiden</i></p>
<p>2. Competent in het onderzoeken en het ontwerpen: <i>De technisch geneeskundige is in staat door onderzoek nieuwe wetenschappelijke kennis te verwerven en nieuwe behandelplannen en diagnosemethoden te ontwerpen.</i> <i>Onderzoeken betekent hier: het op doelgerichte en methodische wijze ontwikkelen van nieuwe kennis en inzichten.</i> <i>Ontwerpen betekent hier een synthetische activiteit gericht op de totstandkoming van nieuwe of gewijzigde diagnostische en/of therapeutische strategieën en middelen</i></p>
<p>3. Competent in het medisch technisch handelen: <i>De technisch geneeskundige is in staat op basis van een integratie van kennis, vaardigheden, planning en reflectie medische technologie toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk. Dit handelen is tevens gericht op innovatie</i></p>

Werkwijze = Hoe	
4. Competent in de wetenschappelijke benadering:	<i>De technisch geneeskundige heeft een systematische aanpak, gebaseerd op de klinisch empirische cyclus en gekenmerkt door de ontwikkeling en het gebruik van theorieën, modellen en samenhangende interpretaties, heeft een kritische houding en heeft inzicht in wetenschap en technologie</i>
5. Intellectuele competentie:	<i>De technisch geneeskundige is in staat te redeneren, reflecteren en zich een oordeel te vormen. Dit zijn vaardigheden die in de context van een discipline worden geleerd of aangescherpt en daarna generiek toepasbaar zijn</i>
6. Competent in Professioneel Gedrag:	<i>De technisch geneeskundige heeft een persoonlijke werkstijl (tot uitdrukking komend in woord, gedrag en uiterlijk), waarin normen en waarden van de beroepsuitoefening zichtbaar zijn. Deze betreffen gedragsdimensies in de omgang met taken/werk, anderen en zichzelf.</i>
Context = Waar	
7. Situationele Competentie:	<i>De technisch geneeskundige is in staat de maatschappelijke en organisatorische situatie te integreren in het medisch technisch handelen</i>

Deze zeven competentiegebieden staan niet op zichzelf, maar juist in hun samenhang en integratie geven ze betekenis aan het competentieprofiel. Deze samenhang wordt weergegeven in het vignet van de Technische Geneeskunde (Figuur 2.1.).

In wezen is de kern van de opleiding dat zowel het menselijk lichaam als de technologie worden beschouwd een systeem. Hierbij is het inzicht in het functioneren van een systeem belangrijk en vooral het inzicht in de effecten van de functionaliteit van de diverse systemen op elkaar.

Figuur2. 1. Competentie vignet Technische Geneeskunde

Het competentieprofiel (zie ook Bijlage 1) kan ook worden beschouwd als een functionerend systeem. Als metafoor kan een opname van een functionele beeldvormende techniek dienen, waarbij gebruik wordt gemaakt van een zeer sterk magnetisch veld en van radiosignalen: functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). Als de opname van het hoofd van een TG-er plaats zou vinden, terwijl deze een probleem aanpakt, dan zouden idealiter alle gebieden van het competentieprofiel gedurende dit proces afzonderlijk maar ook gelijktijdig rood worden (kleur

die correspondeert met de hoogste graad van activiteit). Deze metafoor dient om aan te geven dat de afzonderlijke competenties met elkaar een samenhangend en samenwerkend geheel vormen. Het uitgangspunt dat de gedefinieerde competenties met elkaar een samenhangend geheel vormen, is van grote invloed geweest op de keuzes in het curriculum en op de training van docenten. Het vormde een referentiekader voor zowel de docenten als de studenten.

Vervolgens zijn bij elke competentie de doelen geformuleerd die de wijze en het niveau van handelen van de technisch geneeskundige beschrijven. In de volgende paragrafen zullen wij de drie aspecten van het competentieprofiel: het disciplinaire domein, de werkwijze en de context beschrijven vanuit het perspectief van de opleiding.

2.4.1 Het disciplinaire domein

De eerste stap in het definiëren van de **domeinkennis** was de analyse van die vakkennis van de medicus en de ingenieur die essentieel is om medisch technologische problemen in de klinische praktijk op te lossen. De bestaande wetenschappelijke kennis voor een technisch geneeskundige bestaat uit kennis en inzicht in het menselijk systeem en de technologie. Een belangrijke vraag was welke kennis en inzichten nodig waren voor de technisch geneeskundige om op basis van deze kennis te kunnen redeneren om tot mogelijke nieuwe inzichten te komen. Kennis bezitten zegt als zodanig niet zoveel, het gaat erom wat met de kennis wordt gedaan. Er is gekozen voor de systeemtheorie (Engel, 1981) als kader om keuzes te kunnen maken omdat ingenieurs de wereld om hen heen beschouwen als functionele systemen. Een systeem wordt gezien als een geëeld en geordend complex geheel en geschikt volgens een ordenend beginsel. Het menselijk lichaam, maar ook de technologie kan worden beschouwd als een doelgericht systeem: een samenwerkende elementenverzameling, dat in onderlinge samenhang bepaalde doelen tracht te bereiken. De verzameling of het netwerk bepaalt de interne structuur van relaties tussen de elementen, inclusief de relaties binnen en buiten dat deelsysteem. Wil een technisch geneeskundige in staat zijn om nieuwe kennis en inzichten te introduceren in de klinische praktijk dan dient deze te leren redeneren vanuit het werkingsmechanisme van het complexe geheel, zijnde zowel de mens als de technologie.

Cruciaal uitgangspunt bij de inrichting van het domein en van de opleiding is dat het menselijk lichaam wordt beschouwd als een functioneel systeem, bestaande uit diverse aan elkaar gerelateerde subsystemen of orgaanstelsels. Deze subsystemen vormen medische leerlijnen.

• Neurale systeem	• Urogenitale systeem
• Spijsverteringssysteem	• Bewegingsapparaat
• Cardiovasculair systeem	• Endocriene systeem
• Respiratoire systeem	• Zintuiglijk systeem
• Bloedvormend en immuunsysteem	

Om eenzelfde inzicht in het niet-gezonde systeem te verkrijgen is onderwijs in de pathofysiologische kernbegrippen georganiseerd. Uit onderzoek blijkt dat de arts zo is opgeleid, dat hij op basis van ervaring in de klachtenpatronen van patiënten (symptomen) een relatie legt met diagnostiek en therapie (Schmidt, Norman, & Boshuizen, 1990). Op basis van deze ervaring ontwikkelt de arts *illness scripts*. Onder *illness scripts* verstaan we kennisstructuren van relevante kenmerken en het verloop van ziekten. De aanname is dat een technisch geneeskundige in consult

wordt geroepen door de arts, die al een idee heeft van hetgeen de patiënt mankeert (primaire diagnose), maar behoefte heeft aan aanvullende expertise. Dat betekent dat de pure symptomatologie van de pathologie (= relevante kenmerken van ziekten) om te komen tot een differentiaal diagnose niet tot de essentie behoort van het kennisdomein van de technisch geneeskundige. Toch moet een TG-er op basis van begrip in de anatomische en fysiologische functies wel degelijk kennis en inzicht hebben in de niet-gezonde staat van het menselijk lichaam, vandaar dat de opleiding zich richt op een onderliggende ordening van alle ziektebeelden conform de volgende pathofysiologische kernbegrippen:

- Celschade
- Haemodynamische stoornissen
- Genetische stoornissen
- Immunstoornissen
- Nieuwvormingen
- Ontsteking
- Trauma
- Stofwisselingsstoornissen

Om vast te stellen welke technologische begrippen of concepten de student Technische Geneeskunde zich eigen moet maken is een analyse gemaakt van de technologie zoals die wordt gebruikt in de gezondheidszorg.

Deze technologie komt voort uit de volgende vakgebieden:

- Toegepaste Wiskunde
- Biomedische Werktuigbouwkunde
- Biomedische Elektrotechniek
- Biofysica
- Biochemische Technologie
- Moleculaire Celbiologie
- Informatica

Hoogleraren binnen deze disciplines is gevraagd te analyseren welke essentiële concepten uit hun vakgebied de technisch geneeskundige nodig heeft om het onderzoek van hun vakgroep dat is gericht op de gezondheidszorg op een dusdanig niveau zodanig te begrijpen, dat de technisch geneeskundige de resultaten uit dat onderzoek kan toepassen in de directe patiëntenzorg. Het gaat dan niet alleen om resultaten uit het huidige onderzoek, maar ook om die uit toekomstig onderzoek. De vraag was om deze essentiële concepten weer te geven in een kernbegrippen overzicht (bijlage 3). Daarbij is ook gevraagd welke wiskunde noodzakelijk is om deze begrippen te kunnen begrijpen en toe te passen. De geselecteerde kernbegrippen zijn geordend conform de wijze waarop ze enerzijds normaliter binnen de discipline worden aangeleerd en anderzijds pasten bij een subsysteem. Hieruit is een ordening naar voren gekomen, die is gekoppeld aan de subsystemen, waardoor er technologische leerlijnen zijn ontstaan.

2.4.2 De academische werkwijze

Elke (academische) opleiding leert zijn studenten om toekomstige problemen op te lossen middels een systematische en methodische **werkwijze**. Er is voor gekozen deze werkwijze weer te geven in een heuristiek omdat dit een ordeningsprincipe geeft voor de kennis en de vaardigheden die een technisch geneeskundige nodig heeft. Een heuristiek geeft een handvat omdat er nog geen technisch geneeskundig expert bestaat, die het domein kan beschrijven en ordenen. Daarmee is een heuristiek, te definiëren als een methodische weg om tot ontdekkingen

of uitvindingen te komen, richtinggevend voor zowel de ordening van het curriculum, als voor de ordening die een docent moet aanbrengen in zijn domein, als voor de student als handvat om zijn problemen te analyseren. Voor een student is de heuristiek de basis die leidt tot een probleemoplossende strategie. Elke docent zal zich af moeten vragen wat de waarde is, zowel wat inhoud als toepassing betreft, van zijn eigen discipline voor het bereiken van de doelstellingen van de technisch geneeskundige opleiding met de heuristiek als handvat. Elke student gebruikt de heuristiek bij het oplossen van technisch geneeskundige problemen en het curriculum is geordend conform deze heuristiek. En daarmee is de heuristiek een methode om samenhang te brengen in de diverse kennisdomeinen.

Heuristiek

Een technisch geneeskundig probleem volgt uit een klinische vraag betreffende een individuele patiënt en vormt daarmee het startpunt voor het handelen van de technisch geneeskundige. Elk technisch geneeskundig probleem, elk subsysteem wordt geanalyseerd aan de hand van:

- 1) de relevante anatomie,
- 2) de fysiologie,
- 3) de pathofysiologie,
- 4) de technologie.

Doel is de student zo op te leiden dat hij ontwerpproblemen en verklarende problemen kan oplossen (in hoofdstuk 4 gaan we hier verder op in). Het gaat niet zozeer om categorisatieproblemen, waarbij de oplossing in wezen al bekend is, maar om in staat te zijn op basis van redeneringen over het functioneren van het menselijk systeem te komen tot nieuwe oplossingen. Er is dus geen behoefte aan parate, direct toepasbare kennis en dit heeft invloed op de organisatie van het curriculum. Doel is inzicht in de functionaliteit van het systeem door onderwijs over de essentie van dat functioneren.

Vandaar dat de heuristiek ook functioneert als het ordeningsprincipe voor elk subsysteem. Van elk subsysteem wordt de anatomie, de fysiologie, de pathofysiologische kernbegrippen en de technologie voor zover relevant voor dit subsysteem onderwezen. Binnen de anatomie wordt de ontwikkeling weergegeven vanuit de embryologie tot aan het volwassen systeem. Hierbij is het dus niet van belang dat de student elk anatomisch begrip als naam uit zijn hoofd leert, of de handwortelbeentjes in de juiste volgorde, maar dat er inzicht ontstaat in de aard van de anatomie, dus waarom zitten de handwortelbeentjes zo in elkaar? Wat is het nut ervan dat het zo is geconstrueerd? Direct aan de anatomie wordt de functionaliteit gekoppeld ofwel de fysiologie, zodat de student leert wat de functionaliteit van het gezonde subsysteem is. Vanuit inzicht in het gezonde werkingsmechanisme is het logisch hier de relevante pathofysiologische kernbegrippen aan te koppelen en de consequentie van deze pathologie voor dit subsysteem. Als laatste wordt die technologie toegevoegd die betekenis heeft voor de diagnostiek en of therapie van dit subsysteem. Dat zijn veelal begrippen als licht, geluid, magnetisme en straling, of weerstand, krachten, momenten, elektriciteit. Wat zijn de wetten van die fenomenen en wat is het effect als het wordt toegepast in het menselijk systeem? Van belang is dat studenten leren met welke fysische grootheden ze werken voordat ze het weergeven en bewerken in mathematische concepten.

Methoden en technieken

Om technisch geneeskundigen waardevolle *scientist-practitioners* in de gezondheidszorg te kunnen laten zijn wordt het van essentieel belang geacht dat zij een grondige wetenschappelijke scholing hebben doorlopen, omdat zij nieuwe oplossingen ontwikkelen, waarvan de diagnostische en therapeutische waarde moet zijn aangetoond, voordat het kan worden toegepast bij de patiënt. Het doel van dit onderwijs moet zijn, dat het de studenten enerzijds stimuleert tot een wetenschappelijke denk- en werkniveau, maar anderzijds stimuleert tot het vertalen van generieke resultaten van technologie en onderzoek naar het specifieke behoefteniveau van de individuele patiënt. De technologische vakdomeinen zien wetenschappelijk (experimenteel) onderwijs als een impliciete onderwijsdoelstelling. Daarom wordt in de vakken Statistiek, Epidemiologie en Medical Technology Assessment aandacht besteed aan methoden en technieken van wetenschappelijk onderzoek en kwaliteitsbepaling, dat breder is dan alleen het experiment. Deze scholing wordt vervolgens in de praktijk gebracht in diverse onderzoeks- en ontwerp opdrachten, zoals binnen de projecten en de Bachelor- en Master-eindopdrachten.

2.4.3 Professioneel gedrag

Voor de juiste attitude van de technisch geneeskundige ten aanzien van patiënten en collega's is adequaat professioneel gedrag van essentieel belang. Het wordt niet voor niets opgevoerd als een van de essentiële ontwerpkeuzes van het onderwijs. Professioneel gedrag bestaat uit een scala aan elementen afkomstig uit diverse vakgebieden. Maar veel is ontleend aan het werk van de gezamenlijk medische faculteiten, verenigd in de landelijke Werkgroep Professioneel Gedrag. Deze heeft regels opgesteld waar een medisch professional aan moet voldoen (van Mook et al., 2007). Deze regels zijn vertaald of overgenomen in de doelstellingen behorend bij de competentie in professioneel gedrag. Doelstelling is dat de student zich in toenemende mate bewust wordt van zijn eigen handelen in relatie tot de ander. Het betreft hier het omgaan met zichzelf, patiënten, collegae, en taken.

Bovendien dient de student zich in toenemende mate bewust te worden van zijn eigen bekwaamheid en deficiënties. Deze bewustwording wordt gestimuleerd door reflecties en toetsing. Hierbij staat self-assessment, peer-assessment en expert-assessment centraal. De combinatie van deze verschillende vormen van assessment bevordert het leren reflecteren van de student (Dochy, Segers, & Sluijsmans, 1999). Zowel in het onderwijs van vaardig communiceren en professioneel gedrag als in de stages. De student wordt begeleid in de reflectie door docenten afkomstig uit de volgende vakgebieden:

- Psychologie
- Communicatiewetenschappen
- Wijsbegeerte
- Rechtswetenschappen

Kernbegrippen uit de Psychologie en Communicatiewetenschappen worden als noodzakelijke onderdelen gezien voor het onderwijs in professioneel gedrag. Tevens dient een student op de hoogte te zijn van medisch recht, niet alleen omdat het tuchtrecht in de wet BIG ook op Technisch geneeskundigen van toepassing is, maar ook omdat het hun handelen stuurt. TG-ers dienen hun handelen zo te registreren dat een jurist (en medicus) in staat is achteraf te constateren in

hoeverre de alumnus werkelijk bekwaam was. Dat betekent dat het zelf kunnen toetsen in hoeverre een student zelf bekwaam is een belangrijk onderdeel is van het vaardigheidsonderwijs, maar ook van de cultuur die binnen het onderwijs wordt gerealiseerd. De student staat daarin centraal.

Wijsbegeerte is een essentieel onderdeel van de vorming van een academisch opgeleide professional. Vooral het vermogen tot reflectie op de rollen van een onderzoeker, ontwerper en organisator en de resultaten van het werk zijn belangrijke vaardigheden. Vandaar dat naast ethiek ook de reflectie op technologie en de consequenties ervan op het programma staan.

In de stage, de bachelor- en de master-eindopdracht wordt zowel het product als het proces in gezamenlijkheid beoordeeld door een vertegenwoordiger uit het technisch domein, het medisch domein en het domein van het professioneel gedrag. Dit maakt dat deze geïntegreerde toetsing een oordeel is over de Technische Geneeskunde.

2.4.4 De technisch geneeskundige context

Het laatste aspect uit het competentieprofiel betreft de **context**. Dit is de context van de gezondheidszorg en nog specifiek die van de wereld van de ziekenhuizen, *the cure*. Van belang is dat de huidige medisch specialisten de technisch geneeskundige zullen erkennen als directe collega specialist, daarom leert de student te denken vanuit het klinisch perspectief van de patiënt. De meeste technologie wordt ontworpen op basis van algoritmes en gemiddelden van populaties. Cruciaal voor de patiëntveiligheid en dus de meerwaarde van een technisch geneeskundige is dat deze leert het generieke van de technologie te vertalen naar de specifieke behoefte van de individuele patiënt.

Een contextrijke leeromgeving is niet alleen van belang voor het verwerven van medisch-technologisch disciplinaire kennis en bijbehorende wetenschappelijke benadering, maar ook voor de ontwikkeling van inzichten in professioneel gedrag, gezondheidsrecht, wijsbegeerte en ethiek. Een contextrijke leeromgeving stimuleert de transfer van de oefensituatie naar de werkelijkheid. De kwaliteit van het handelen van een technisch geneeskundige in het directe contact met patiënten dient te worden bewaakt. Elke student Technische Geneeskunde dient in staat te zijn of en in welke mate hij bekwaam is tot het uitvoeren van de handeling of interventie. De inbedding van de technisch geneeskundige in de kwaliteitsbewakingswet van de gezondheidszorg, de wet Beroepen in de Individuele Gezondheidszorg (BIG) is een belangrijk onderdeel van de kwaliteitsbewaking, maar ook van de cultuur binnen de opleiding. Elke student zal worden aangesproken als eindverantwoordelijke voor het eigen gedrag. De student kan in contextrijke situaties oefenen zodat hij optimaal is voorbereid op de realiteit van de gezondheidszorg.

2.5 Opbouw van de curricula

2.5.1 Bachelor

Het onderwijs van de bachelor is opgebouwd conform de beschreven competenties in het competentieprofiel (zie bijlage 4). Het onderwijs bestaat enerzijds uit geïntegreerde onderwijs-eenheden georganiseerd rondom een subsysteem en anderzijds uit onderwijs-eenheden die een meer longitudinaal karakter hebben zoals het wiskundeonderwijs. Er is voor gekozen om het onderwijs vorm te geven in blok- en lijnonderwijs. Blokonderwijs is een geïntegreerde nieuwe

onderwijseenheid waarbij de subsystemen en de heuristiek als uitgangspunt dienden. Afgebakende onderwijseenheden maken een logische ordening en samenhang mogelijk van de interdisciplinaire inhoudelijke vakgebieden in een eenheid rondom een subsysteem en gebaseerd op de heuristiek. Dit onderwijs werd ontwikkeld door meer disciplinaire experts, zoals een anatoom, fysioloog, patholoog en ingenieur. Lijnonderwijs is een onderwijseenheid die meer longitudinaal is geordend en veelal monodisciplinair van aard, omdat er domeinen zijn waarmee de student langdurig wordt geconfronteerd. Dit betreft vakdomeinen met een nadruk op attitude-ontwikkeling en vaardigheden, zoals onderwijs in professioneel gedrag, wijsbegeerte, onderzoeksmethoden en - technieken en wiskunde.

Het eerste jaar van de bacheloropleiding heeft in het academische onderwijs als doel *oriënterend* en *selecterend* te zijn. Het eerste jaar dient de student een idee te geven van het vakgebied en het dient de juiste studenten te selecteren voor de volgende jaren. Vandaar dat wordt gestart met basiskennis over het menselijk lichaam en basis begrippen van de technologie. Het eerste vak geeft inzicht in Anatomie en Beeldvorming. Studenten krijgen de opdracht om de anatomie van de romp zichtbaar te maken door de onderdelen op elkaar te tekenen. Deze tekeningen worden gecontroleerd door middel van een ECHO-apparaat. Studenten krijgen de wetten van geluid en leren hoe geluid en vooral de echo ervan wordt weergegeven op een scherm. Zij leren de technologische kernbegrippen te begrijpen, bijvoorbeeld aan de hand van de anatomische practica. Hierdoor leren zij vanaf het eerste moment technologie en geneeskunde met elkaar in verband te brengen. Zij leren nog niet om de data verkregen door geluid te manipuleren, omdat hiervoor het wiskundeniveau nog te laag is.

Het daaropvolgende vak Moleculaire Celbiologie, Biochemie en Genetica geeft inzicht in de moleculaire, cellulaire, biochemische aspecten van de ontwikkeling van het menselijk lichaam.

In het lijnonderwijs wordt ruim aandacht geschonken aan de Wiskunde, zijnde de onderbouwing van al het technologische onderwijs. Het vak *Functies van 1 veranderlijke* geeft inzicht in het principes van modelvorming en systeemtheorie. Het computerprogramma Matlab is een veelgebruikt programma om te modelleren en de werking van de systemen door te rekenen. De signaalanalyse behandelt de wiskundige basis voor het vak in het blokonderwijs 'Meten en verwerken van signalen'. Dit vak sluit naadloos aan op 'Regulatie en integratie', dat inzicht geeft in regulerende processen in het menselijk lichaam zoals hormoonhuishouding, stofwisselingssystemen, maar ook op de systemen van het respiratoire en cardiovasculaire systeem. Allemaal systemen die door middel van sensoren en actuatoren kunnen worden geregistreerd en gemanipuleerd. Zie figuur 2.2.

Figuur 2.2. Voorbeeld elektrotechnisch systeemdenken

Omdat ingenieurs naast wiskunde veel gebruik maken van computertechnologie, is er een analyse gemaakt van de kernbegrippen van informatica. Er bleken twee grote concepten te zijn, die gelden als de kernbegrippen van de informatica: begrip van talen en van netwerken. Het vak 'Inleiding Computergestuurde Toepassingen' (ICT) is gebaseerd op een introductie in de bestaande programmeertalen. Het vak 'COmmunicatie en DATamanagement' (CODA) in het derde jaar is gebaseerd op de samenwerking van die talen in netwerken.

Het Bloedvormend en Immuunsysteem is als vak in het eerste jaar geplaatst omdat het gezien wordt als een onderbouwend systeem van de fysiologie van het menselijk lichaam en mede van belang voor een mogelijke gebruik van de resultaten van onderzoek naar *tissue engineering* en (bio)materialen.

Het tweede semester van het lijnonderwijs in het eerste jaar is gericht op het aanbieden van de basis van de competenties professioneel gedrag in de context van de gezondheidszorg. De studenten krijgen kennis aangeboden en ontwikkelen vaardigheden in communiceren en professioneel gedrag. Door docenten 'professioneel gedrag' de stages te laten coördineren is een bewuste koppeling is gemaakt van de oefensituatie met de realiteit. De studenten gaan in hun eerste jaar op zorgstage, zodat zij zich leren inleven in de positie en het perspectief van de patiënt. Het perspectief van de patiënt is ook de doelstelling in dit jaar van het vak 'Professioneel gedrag en vaardig communiceren'.

Het tweede jaar van de bachelor opleiding vormt samen met het derde jaar van de bachelor opleiding een geheel, waarin de subsysteemvakken centraal staan, geordend als blokonderwijs. Alle subsystemen komen aan bod volgens de systematiek van de heuristiek: de anatomie, de fysiologie, de pathofysiologie en de technologie. Dit gelardeerd met lijnonderwijs in Wiskunde, methodologie, ethiek, medisch recht en professioneel gedrag.

Elk jaar volgen de studenten een stage die gericht is op het verkrijgen van inzicht in de context van de gezondheidszorg en het beroepsprofiel. Het eerste jaar staat de patiënt centraal, het tweede jaar de organisatie en het derde jaar de specialist. Het 'vaardig communiceren en professioneel gedrag'- onderwijs hanteert deze zelfde perspectieven. In het eerste jaar wordt de student geconfronteerd met zichzelf in relatie tot de ander (patiënt). In het tweede jaar ligt de focus op de behandelingencontext en de organisatie van het ziekenhuis waarin zorgpaden van de patiënt een centrale rol spelen. Het derde jaar ligt de nadruk op de professional, de context van de technisch geneeskundige met anamnese en lichamelijk onderzoek. Gedurende dit onderwijs worden diverse vaardigheden geoefend, zoals het lichamelijk onderzoek, presenteren, gespreksvoeringen. Ook wordt de student in toenemende mate gestimuleerd te reflecteren op zichzelf in relatie tot de ander en de doelstellingen, als onderdeel van academische vorming.

2.5.1.1 Ontwikkeling van de blokken

Naast didactische principes werd bij de ontwikkeling van het onderwijs in de blokcommissie via studiepunten en contacturen ook vastgesteld welke waarde aan een vakdomein moet worden toegekend. Dus op basis van het aantal studiepunten dat aan het betreffende blok wordt toegekend, werd het aantal student-studiebelastingsuren bepaald, dat de docenten ter beschikking staat om dit onderwijs in te realiseren. Vanuit de faculteit werd vanuit financieel perspectief gestreefd naar maximaal 40% contactonderwijs.

Vanuit de algemene doelen behorend bij het competentieprofiel worden in de commissie de specifieke doelen vastgesteld. De rol van de onderwijskundige is om de experts uit alle

verschillende domeinen te stimuleren tot vertalen en tot ontwerpen. De doelen worden vertaald in een begrippenkader vanuit elk deelnemend expertisegebied voor kennis, vaardigheden en attitude. Als alle begrippen zijn geanalyseerd op volgordelijkheid en hoe ze het beste kunnen worden overgedragen, worden al deze onderdelen weergegeven in hoorcolleges, practica, werkcolleges, zelfstudie-uren, responsiecolleges en het tentamen.

De curriculumcoördinator stuurt en bewaakt dit analyse- en ontwerpproces door de vakinhoud te koppelen aan de wijzen van overdracht, maar ook te analyseren of het blokonderwijs in relatie tot de eisen die in het lijnonderwijs worden gesteld, voor studenten nog studeerbaar is.

Een paar keer is uit de evaluatie gebleken dat de studielast toch te hoog was, hetgeen veelal was terug te voeren tot iets te enthousiaste docenten. Het bleek in deze fase van de opleiding moeilijk te schatten hoeveel tijd het maken van een opdracht kost.

Er is voor gekozen het rooster in het eerste jaar geheel uit te schrijven, dus inclusief zelfstudie-uren, waardoor het een beeld geeft van een vol rooster. Of een student de zelfstudieopdrachten uitvoert in de tijd die ervoor staat is geheel aan de student, maar de argumentatie was dat een uitgeschreven rooster de eerstejaars een beter inzicht zou geven in het aantal aan de studie te besteden uren. Studenten gaven in evaluaties aan dit inderdaad fijn te vinden.

Om te voorkomen dat studenten vervolgens afhankelijk worden van een rooster en niet meer toekomen aan het zelf invullen van hun dag, worden in het tweede en derde jaar alleen nog maar de verplichte onderdelen aangegeven.

2.5.1.2 MDO multidisciplinaire opdracht

De keuze voor een eindtoets van de bacheloropleiding in de vorm van een multidisciplinaire opdracht (MDO) vereist enige toelichting. Het startpunt van het handelen van een afgestudeerde technisch geneeskundige begint met de klinische vraag of consult van de arts. Om de lijn van de systematische aanpak voor de probleemoplossende strategie te benadrukken start de afstudeeropdracht dus ook met een klinische vraag. Deze opdracht heeft als functie om, via het gezamenlijk opzetten en uitvoeren van een onderzoeks- of ontwerpvraag de verworven competenties te toetsen. Een multidisciplinaire opdracht (MDO) is een relevante weergave van de latere multidisciplinaire werkomgeving van de technisch geneeskundige, zodat de competenties in de juiste context kunnen worden getoetst. De toetsing heeft de vorm van een opdracht waarbij niet alleen het resultaat (product) telt, maar ook de wijze waarop de individu als onderdeel van een groep (proces) tot dit resultaat is gekomen.

De opleiding Technische Geneeskunde verzamelt klinische vraagstellingen voor de MDO die afkomstig kunnen zijn van artsen, docenten, wetenschappers, studenten en externe bronnen. Alle voorstellen worden beoordeeld door de Bachelor Examencommissie (BEX) van Technische Geneeskunde in welke mate de ingediende vraag relevant is voor de toetsing van de competenties. Daartoe is een analyse gemaakt van de relatie tussen de competenties en de doelstellingen enerzijds en de opdracht anderzijds, zodat kon worden vastgesteld dat elke competentie in voldoende mate wordt getoetst door deze vorm (zie bijlage 6).

De MDO wordt afgerond met een mondelinge presentatie van het afstudeerverslag. In het verslag en de presentatie moeten studenten laten zien hoe zij hun probleemoplossend proces hebben doorlopen en hoe zij dit hebben ervaren. De MDO wordt zoals aangegeven in gezamenlijkheid beoordeeld door een medicus, een technoloog en een procesbegeleider.

2.5.2 Master

In 2004 is gestart met het ontwerp voor de master (NVAO Toets Nieuwe Opleiding, 2006). De bachelor had via wetswege toestemming gekregen om te starten (zie hoofdstuk 1), maar dat was uitdrukkelijk alleen voor de bachelor. Voor de master moest dus opnieuw een aanvraag worden geschreven. De NVAO heeft strikte criteria opgesteld waar een aanvraag voor een nieuwe opleiding aan moet voldoen. Dat betekent dat niet alleen de leerdoelen en het referentiekader moeten worden aangegeven, maar ook de financiën, docenten, faciliteiten etc.

De NVAO toetst de aanvraag op inhoudelijkheid. Tevens dient er een macrodoelmatigheidstoets te worden aangevraagd, waarbij de andere universiteiten kunnen aangeven in welke mate zij het doelmatig vinden dat deze opleiding wordt gestart en in welke mate er sprake is van ongewenste concurrentie.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 was de start van de bachelor onderdeel van een bestuurlijke discussie. Datzelfde gold voor de aanvraag voor een masteropleiding. De andere medische faculteiten stonden kritisch tegenover een uitbreiding van het aantal medische faculteiten en de aanvraag voor een masteropleiding door de Universiteit Twente werd dan ook niet direct welwillend tegemoet getreden.

De UT wilde bij de aanvraag voor de master afrekenen met de verwarring rondom de namen door de opleiding Technical Medicine te noemen en de afgestudeerden *Technical Physicians*. Hiermee werd het in haar optiek helder wat het doel was van de opleiding.

De toetsingscommissie van de NVAO heeft gemeend met de beoordeling van de aanvraag geen bestuurlijke discussie te starten en heeft de opleiding op inhoudelijke gronden beoordeeld. Deze toets leverde een positieve uitkomst op, maar geen advies over de naamgeving. Een cruciaal punt in de beoordeling was de vaststelling in hoeverre de alumni bekwaam zouden zijn. In de medische opleidingen luistert dit minder strikt, omdat de verantwoordelijkheid voor de bekwaamheidsverwerving meer ligt bij de vervolgoopleidingen. Omdat er voor de opleiding Technische Geneeskunde geen vervolgopleiding is, werd het eindniveau van de afgestudeerden ineens een heel zwaar punt. Over de bekwaamheidsverwerving en de toetsing is goed nagedacht, vandaar dat er een heel hoofdstuk aan gewijd is (hoofdstuk 5).

De leerdoelen van de master zijn in 2004 bij het ontwerp ontleend aan dezelfde set competenties als bij de bachelor. De competenties zijn in een opleidingscontinuüm gelijk op bachelor- en masterniveau, echter de niveaus waarop de bijbehorende doelstellingen zijn geformuleerd, en de aandacht die aan een competentie wordt besteed, kunnen verschillen (zie bijlage 2.a). De doelstellingen op masterniveau gaan uit van een hoger en meer zelfstandig niveau. De competentie 'professioneel gedrag' krijgt in de master door de grote hoeveelheid stages een meer pregnant aandeel. De competentie 'technisch medisch handelen' krijgt in de master meer aandacht, omdat de master alumni moet afleveren die bekwaam zijn.

In het volgende deel zullen de drie aspecten van het competentieprofiel in relatie tot de keuzes in de masteropleiding Technical Medicine worden besproken; het disciplinaire domein, de academische werkwijze, en de context.

2.5.2.1 Het disciplinaire domein

Zoals verwoord in de 1e competentie in de discipline van Technische Geneeskunde is de technisch geneeskundige vertrouwd met bestaande wetenschappelijke kennis en is in staat deze door studie uit te breiden. De bestaande wetenschappelijke kennis voor de TG-er is kennis en inzicht in het

totale menselijk systeem en de technologie. Dit wordt onderwezen in de bachelorfase van de opleiding.

Het eerste jaar van de master staat in het teken van de verdieping in de technologie binnen de context van de geneeskunde. Op basis van de foci binnen het biomedisch technologisch onderwijs aan de UT is een keuze gemaakt voor drie mastervariaties of tracks.

Binnen de drie specialisaties of mastertracks:

- Robotics & Imaging;
- Medical signalling;
- Reconstructive Medicine,

wordt specifieke kennis bijgebracht over de voor die track relevante technologische kernbegrippen.

2.5.2.2 De academische werkwijze

De student wordt niet alleen opgeleid met bestaande kennis en feiten, maar wordt ook geacht nieuwe kennis te genereren, zoals weergegeven in de competenties tot onderzoeken en ontwerpen. De technisch geneeskundige is in staat door onderzoek nieuwe wetenschappelijke kennis te verwerven en met behulp van technologie nieuwe behandelplannen en diagnosemethoden te ontwerpen.

Het handelen van de technisch geneeskundige start in de praktijk met een klinisch probleem. Om zich nog verder hierin te bekwamen krijgt de student in het eerste jaar van de master aan het begin van elk semester een casus gepresenteerd over een actueel klinisch probleem. De student wordt geacht dit probleem te analyseren en mede met behulp van de inhoud van de vakken die hij dat semester krijgt onderwezen, een oplossing te ontwerpen of te ontwikkelen. Het resultaat wordt op wetenschappelijke wijze gepresenteerd en beoordeeld door de technologen van dat kwartiel en de medicus die het probleem heeft ingebracht.

Competentie in de wetenschappelijke benadering en de intellectuele competentie

De technisch geneeskundige heeft een systematische aanpak, gebaseerd op heuristiek en algemene wetenschappelijke methoden en wordt gekenmerkt door de ontwikkeling en het gebruik van theorieën, modellen en samenhangende interpretaties. Hij heeft een kritische houding en heeft inzicht in wetenschap en technologie. De student verwerft deze competentie binnen expliciet onderwijs in de bachelor, maar ook door het telkenmale op een zelfde structuur gebaseerde uitvoering van opdrachten in het eerste jaar van de master en in de stages. Tijdens elke stage in de volgende twee jaren analyseert de student een technisch geneeskundig probleem en bedenkt een oplossing voor de desbetreffende patiëntenpopulatie en presenteert deze zowel mondeling als schriftelijk.

De technisch geneeskundige dient in staat te zijn te redeneren, te reflecteren en zich een oordeel te vormen. Dit zijn vaardigheden die in de context van een discipline worden geleerd of aangescherpt en daarna generiek toepasbaar zijn. Deze vaardigheden leert een student gedurende zijn gehele opleiding. In elke opdracht komen deze vaardigheden aan bod en wordt de student erop beoordeeld, niet alleen door de docent, maar ook door zichzelf en zijn medestudenten.

Competentie in technisch medisch handelen

In de stages in het tweede en derde jaar en in het vaardigheidsonderwijs in het eerste jaar komt de competentie in het technisch medisch handelen ruim aan bod (zie hoofdstuk 5). De student leert op basis van integratie van kennis, vaardigheden, planning en reflectie medische technologie toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk. Dit handelen is tevens gericht op innovatie. In het eerste jaar ligt de focus op het verwerven van voorbehouden handelingen, maar omdat dit een heel specifiek onderwerp is, wordt dit uitgebreid beschreven in hoofdstuk 5.

Competentie in het professioneel gedrag

De student wordt gedurende de gehele opleiding geconfronteerd met zijn persoonlijke werkstijl (tot uitdrukking komend in woord, gedrag en uiterlijk), waarin normen en waarden van de beroepsuitoefening zichtbaar zijn. Deze betreffen gedragsdimensies in de omgang met taken/werk, anderen en zichzelf. Dit wordt beoordeeld in een systeem van self-assessment, peer assessment and expert-assessment. In een portfoliosysteem kan de student aangeven welke persoonlijke leerdoelen hij zichzelf stelt, gegeven zijn inzicht in het eigen gedrag.

2.5.2.3 De context

De context betreft natuurlijk de gezondheidszorg, waarin de situationele competentie wordt ondergebracht. De hele masteropleiding is gericht op het werken in de kliniek met patiënten. Dus is de student zich bewust van de maatschappelijke en organisatorische context. Met name gedurende de stages leert de student alle competenties te integreren in het professionele domein.

2.5.3 Structuur van het Master curriculum

Om de geformuleerde competenties en de doelstellingen te kunnen verwezenlijken is een logisch constructief en samenhangend programma opgezet (zie bijlage 5). Op basis van de technologische toepassingen in de medische praktijk en de ontwikkelingen binnen het biomedisch technologisch onderzoek zijn de drie eerdergenoemde specialisatierichtingen of tracks gedefinieerd: Robotics & Imaging, Medical Signaling, en Reconstructive Medicine.

Robotics & Imaging richt zich op het lokaliseren van doelen in het menselijk lichaam door gebruik te maken van de beeldvormende technologie rondom licht, geluid, straling en magnetisme. De studenten leren welke technologie of combinatie van technologieën zij kunnen inzetten. Zij kunnen de beelden manipuleren, en combineren of zelfs integreren. Studenten leren bovendien hoe zij op basis van de beelden het doel moeten benaderen en met behulp van robotica computergestuurd kunnen navigeren.

Medical Signaling richt zich meer op de fysiologie van het menselijk systeem. Door middel van sensoren en actuators leren studenten om informatie te verzamelen uit het menselijk systeem, deze te analyseren en te bewerken en eventueel door middel van actuators te kunnen gebruiken om de functionaliteit te herstellen. Daarbij gaat het om EEG, ECG, EMG, longfysiologische metingen, beademingsapparatuur en pacemakers.

Reconstructive Medicine maakt gebruik van het onderzoek naar materialen zoals polymeren, keramieken en metalen en hun bio-compatibiliteit in de toepassing bij de mens. Het gaat hierbij ook om de mogelijkheid van biologische materialen die de functionaliteit van het menselijk systeem kunnen herstellen, zoals kunstmatig bot, kraakbeen en bloedvaten.

2.5.3.1 Eerste masterjaar

Om de studenten te dwingen om te blijven denken vanuit het klinisch probleem starten beide semesters van het eerste jaar van de master met een actuele medische casus gepresenteerd door een clinicus uit de praktijk. In de vakken wordt die inhoud aangeboden die de technologische kennis en inzichten van de studenten verdiepen en die relevant zijn voor de context van de casus. Ook in de stage staat de probleemaanpak centraal. Het handelen van een TG-er start met de vraag van een arts over een patiënt. De student dient aan de hand van de heuristiek het probleem te analyseren en met behulp van de technologie tot een oplossing te komen. Doordat elke student meermalen tijdens de opleiding deze manier van probleem oplossen heeft geoefend, blijken de studenten in de praktijk goed voorbereid aan de slag te kunnen. In de afsluitende week presenteren studenten mogelijke oplossingen voor het in de klinische casus gepresenteerde probleem.

Bij de track Robotics & Imaging is het vak Radiation Expertise als verplicht onderdeel in het curriculum opgenomen. Dit vak wordt onderwezen door landelijk gecertificeerde docenten, waardoor de student het erkende niveau van stralingsbevoegdheid niveau 3 kan verwerven. Dit niveau heeft elke radioloog en radiotherapeut ook. Er is gekozen voor dit vak en deze certificering omdat veel technisch geneeskundigen gebruik maken van technologie waarbij straling een belangrijke rol speelt. Veiligheid in het gebruik kan niet voldoende worden gewaarborgd en het draagt tevens bij aan de erkenning van de technisch geneeskundige als (technisch) medisch professional.

Het verwerven van vaardigheden is een belangrijk onderdeel van het curriculum. Omdat het vaardigheidsonderwijs een eigen heuristiek kent, zal hier in een apart hoofdstuk aandacht aan worden besteed.

Binnen het eerste jaar wordt veel aandacht besteed aan het vaardigheidsonderwijs. In elk kwartiel staan in dit onderwijs voorbehouden handelingen centraal. Volgens de specifieke didactiek (hoofdstuk 5) kunnen studenten hun technisch medisch handelen oefenen.

Hiertoe heeft de opleiding een simulatiecentrum opgericht, het Experimental Centre for Technical Medicine (ECTM). Er waren in de medische opleidingswereld al meer skills labs (zoals Maastricht), maar geen *experimental centres*. De studenten kunnen op basis van een assessment per voorbehouden handeling een bekwaamheidscertificaat verwerven. Als extra praktijkmogelijkheid kunnen gecertificeerde masterstudenten, onder eindverantwoordelijkheid van een arts de eerstejaars bachelorstudenten hun Hepatitis –B vaccinatie toedienen.

2.5.3.2 Tweede masterjaar

Het tweede jaar staat in het teken van klinische stages. Tijdens dit tweede jaar leert de student zijn technisch medische kennis en vaardigheden toe te passen op en verder te ontwikkelen bij individuele patiënten in de klinische praktijk. Ook elke stage start met de definitie van een technisch geneeskundig probleem of vraag, die de student analyseert, en uitwerkt en waarvoor de student een oplossing of oplossingsrichting presenteert. De oplossing moet direct klinisch toepasbaar zijn. De student onderzoekt op basis van zijn probleem gericht de relevante patiëntenpopulatie en verkrijgt op deze wijze inzicht in het klinische proces van de afdeling. Ongeveer 40% van zijn handelen moet gericht zijn op het verwerven van klinische vaardigheden, die zo mogelijk relevant zijn voor het probleem dat wordt onderzocht.

In principe komt de student gedurende zijn stagejaar op vrijdag terug naar de universiteit voor het terugkom -onderwijs. Gastdocenten geven onderwijs dat van toegevoegde waarde is voor de stagiairs. Daarnaast zijn er intervisiemomenten en is er de mogelijkheid voor het werken aan individuele onderwijsdoelen.

2.5.3.3 Derde masterjaar

Het derde en laatste jaar staat in het teken van de meesterproef: de student laat zien in staat te zijn om op academisch, technisch en medisch niveau te functioneren en een bijdrage te kunnen leveren aan het toegepast klinisch wetenschappelijk onderzoek binnen de door de student gekozen specialisatierichting van de opleiding (zie bijlage 7). Ook dit jaar kent procesbegeleiding, uitgevoerd door de docenten 'professioneel gedrag'. Hierdoor ontstaat een heldere leerlijn 'professioneel gedrag' die zich uitstrekt van het eerste jaar in de bachelor tot het laatste jaar in de master. Studenten worden zich toenemend bewust van hun eigen gedrag in relatie tot de ander en voelen zich steeds meer professioneel verantwoordelijk.

Het jaar start met het verwerven van een landelijk erkend certificaat voor het doen van proefdier-gebonden onderzoek, zodat het voor studenten mogelijk is om gevonden oplossingen in een proefdier-omgeving uit te proberen.

2.6 Experimental Centre for Technical Medicine (ECTM)

De Universiteit Twente beschikt niet over een naastgelegen Academisch Ziekenhuis als weerspiegeling van de beroepspraktijk. Het ontbreken van een naastgelegen klinische praktijk om ervaringen op te doen, lijkt een nadeel, maar dat is omgebogen naar een voordeel. Ook dit is een cruciaal nieuw ontwerp geweest.

Binnen het opleidingscontinuüm van geneeskunde wordt geworsteld met de vraag hoe de professionals hun vaardigheden leren indien de patiënten steeds korter in het ziekenhuis verblijven en de assistenten maar een maximum aantal uren per week mogen werken.

Binnen de medische wereld bestaat mondiaal een groeiende vraag naar vaardigheidstrainingen in een gesimuleerde omgeving (Aggarwal, Moorthy, & Darzi, 2004; Martin et al., 1997), zodat men de werkelijke leeromgeving kan sparen en alle gewenste leersituaties voor handen kan hebben.

Het vaardigheidsonderwijs bij Technische Geneeskunde is op een andere wijze vorm gegeven dan bij het geneeskundige curriculum. Voor een meer gedetailleerde beschrijving en toelichting wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

Door het ontbreken van een academisch ziekenhuis werd gezocht naar een leeromgeving die niet alleen geschikt was voor praktisch onderwijs voor het verkrijgen van een bekwaam niveau, maar ook ruimte kon bieden aan experimenten, zodat nieuwe mogelijkheden kunnen worden bedacht en uitgevoerd. Deze ruimte kan geen skills lab heten, omdat er meer wordt gedaan dan het trainen van vaardigheden tot een routineniveau. Daarom heeft de opleiding voor een andere naam gekozen: *Experimental Centre for Technical Medicine, centre for education, research and development* (ECTM).

Het ECTM is ontworpen als een leeromgeving, waarin de student wordt gestimuleerd om competenties (= kennis, vaardigheden en attitude) te verwerven. Dit kan in themakamers en in integratiekamers.

Een themakamer is georganiseerd rondom één subsysteem en heeft als doel het verkrijgen van inzicht in dit subsysteem. In de kamer staan leermiddelen die de student in staat stellen zich te verdiepen in de anatomie, de fysiologie, de pathofysiologische kernbegrippen en de relevante technologie van dat systeem. Dit kan met behulp van instrumenten, modellen of simulaties, die bij de verschillende instrumentele en therapeutische interventies in het betreffende subsysteem worden gebruikt. De student kan zich met gebruik van bestaande instructiehandleidingen door zelfstudie de benodigde kennis en inzichten eigen maken.

Maar inzicht alleen is niet genoeg als het doel van het onderwijs is te komen tot het oplossen van problemen. Voor een meer optimale kennistransfer zijn de Integratiekamers ingericht als een specifieke ziekenhuisomgeving, zoals een Intensive Care Unit of een Operatiekamer. Deze omgeving stimuleert de student om op basis van gerichte opdrachten zijn verworven kennis, vaardigheden en attitudes in te zetten om het gegeven probleem op te lossen. Als leermiddel is een Human Patient Simulator of een andere simulator adequaat ingezet.

Uit rendementsperspectief is het ECTM zo opgezet, dat het ook een adequate leeromgeving kan zijn voor medici, verpleegkundigen, *nurse practitioners* en *physician assistants*. Afhankelijk van de trainingsdoelstelling kan het leerproces op een simulator anders zijn. Doordat de verschillende beroepsbeoefenaren samen trainen, wordt het begrip van eenieders specifieke werkgebied vergroot, hetgeen de communicatie tussen verschillende beroepsbeoefenaren sterk bevordert.

2.7 Ontwikkeling van docentprofessionaliteit

De heuristiek was niet alleen van belang als ordeningsprincipe voor het onderwijs en als probleemoplossende strategie voor studenten, maar heeft ook gediend als kader voor de professionalisering van het docentenkorps. Bij de start was er nog geen technisch geneeskundig docent en slechts een theoretisch beroepsprofiel.

Dus ondanks het ontbreken van een referentiekader werd elke docent, afkomstig uit een scala aan disciplines, uitgedaagd om niet alleen te bepalen welke waarde zijn expertise had voor het uiteindelijke beroepsperspectief, maar werd ook uitgedaagd om soms ook de wijze waarop hij of zij zelf de stof had geleerd los te laten en zich een andere manier van kennisoverdracht eigen te maken. Elke docent werd en wordt daarom een half jaar voor de start van het onderwijsonderdeel uitgenodigd in een blokcommissie. Een blokcommissie is de verzameling docenten die gezamenlijk het onderwijsdeel verzorgen. Hier volgt een concreet voorbeeld. Een van de blokken was geordend rondom het cardiovasculaire systeem. Tijdens het overleg van de desbetreffende blokcommissie werd de docenten gevraagd om een vertaling te maken van hun expertisedomein naar dat van de technisch geneeskundige. De anatoom werd bijvoorbeeld gevraagd de evolutie van het cardiovasculaire systeem uit de doeken te doen. Hoe is het hart en de bloedvaten tot stand gekomen en welke histologische kenmerken hebben de diverse weefselstructuren? De fysioloog werd gevraagd de werking van systeem uit te leggen en liefst op een wat technologische wijze, bijvoorbeeld door een vergelijking te maken met een verwarmingssysteem van een huis. De patholoog werd gevraagd om de studenten mee te nemen in de consequenties van de pathofysiologische kernbegrippen op het cardiovasculaire systeem. De fysicus werd gevraagd de wetten van geluid, golven en trillingen uit te leggen, omdat de ECHO een belangrijk apparaat is in de cardiologie. De elektrotechnisch ingenieur werd gevraagd op basis van de wiskundige

signaalanalyse en sensor- en actuatortechnologie uit te leggen hoe er tegen een ECG of pacemaker aan moest worden gekeken. Doelstelling was om de logisch samenhang van de diverse onderdelen te bepalen. Uitdaging was om een gezamenlijke taal te vinden. Voor een ingenieur is bijvoorbeeld modelleren een vaardigheid, waarmee de essentie van een werkingsmechanisme kan worden bepaald. Voor een anatoom betreft modelleren een (anatomisch) plastisch model naar de werkelijkheid en dus een statisch model, dat je bovendien niet zelf maakt, maar koopt. Bovendien zijn de meeste docenten, afkomstig uit de formele wetenschappen, gewend om hun disciplinaire kennis via deductie, vanuit het domein, over te dragen. Vooral de wiskunde, waarin de empirie geen rol speelt, richten zich op de strikte bewijsvoering. Dus resulteerden dit soort bijeenkomsten soms in een Babylonische spraakverwarring. Dit was overigens weer een voorbeeld van ontwerpen, waarbij de onderwijskundige de vertaler was en de stimulator van de andere experts om in gezamenlijkheid te ontwerpen.

De studenten Technische Geneeskunde worden opgeleid om tot nieuwe oplossingen te komen in een helder omschreven context, waarmee hun aanpak veel meer gelijkenis vertoont met een inductieve methode dan met een deductieve methode. Zij zijn niet zozeer bezig met strikte bewijsvoering, maar meer met een mogelijke toepassing. Zeker als een toepassing een zekere waarschijnlijkheid heeft, zal een TG-er die omarmen, ook al is hier nog geen wiskundige onderbouwing voor.

De docenten werden uitgedaagd om meer vanuit de concrete wereld te denken en om concepten echt inzichtelijk te maken. Als voorbeeld kan dienen de wijze waarop een fysicus een röntgenbeeld analyseert. Hiervoor past hij segmentatietechnieken toe en dus Fourier-analyses. Deze toepassing vereist een behoorlijk hoog wiskundeniveau. Een niveau dat de TG-studenten niet hebben in hun tweede jaar. Vandaar dat ervoor is gekozen om technologische wetten en concepten uit te leggen op een inzichtelijk niveau, zonder direct te hoeven rekenen. Ook de wiskundigen is gevraagd minder te focussen op bewijsstellingen en meer op de toepassing. Het blijft lastig, omdat het wordt ervaren door sommigen als een tegennatuurlijke wijze van kennisoverdracht en de technologen hebben veel geïnvesteerd om dit soort onderwijs te ontwerpen op een wijze, die zowel tot inzicht bij de studenten zou leiden als de kwaliteit van het onderdeel zou borgen. Gezamenlijk met de onderwijskundige werd vastgesteld wat de doelen waren van dit vak en wat de waarde van elke bijdrage was voor het geheel.

Het moeilijkst te integreren waren de toetsen. Om te komen tot een gezamenlijke toets moesten docenten zich zo inleven in een totaal ander vakdomein, dat het integreren van toetsen niet realistisch werd geacht. Er is toen gekozen voor een toets met vragen van alle experts, die onafhankelijk van elkaar werden nagekeken en uiteindelijk wel tot één cijfer leiden.

2.8 Monitoren van de kwaliteit

Doel van de kwaliteitszorg is het bewaken en bevorderen van de kwaliteit van het onderwijsproces en het onderwijsproduct van de opleiding Technische Geneeskunde teneinde de algemene doelstellingen van de opleiding Technische Geneeskunde, geformuleerd in het competentieprofiel, te kunnen behalen. De kwaliteitszorg is gebaseerd op het ontwerpmodel voor onderwijs. elke fase van het ontwerp model dient te worden geëvalueerd zodat de implementatie wordt geoptimaliseerd. De bacheloropleiding Technische Geneeskunde is gestart op 1 september

2003 en voor het eerste cohort van de opleiding is elk volgend studiejaar geheel nieuw opgezet en ontwikkeld. De ontwikkeling van het curriculum was een dynamisch proces. De kwaliteit van het onderwijs stond voorop, vandaar dat het kwaliteits(borging)systeem van essentieel belang was voor zowel de opleiding als de organisatie daarvan. De organisatie van de kwaliteitszorg bij een opleiding in ontwikkeling is anders dan bij een uitgekristalliseerde opleiding. De opleidingscommissie (OLC) kent een wettelijk kader. Zo is de functie van de OLC toetsend en adviserend en moet de helft van de leden bestaan uit studenten. Bij nieuw te ontwikkelen onderwijs is er nog geen sprake van toetsing achteraf. Bovendien vereist het ontwikkelen van onderwijs inhoudelijke expertise, waarover deze studenten nog niet konden beschikken. Vandaar dat de opleiding is gestart met een curriculumcommissie (CC) die geen wettelijk kader kent en die bestond uit inhoudsexperts. De CC bestaande uit relevante stakeholders met medische, psychologische of technologische expertise en de staf van de opleiding met onderwijskundige expertise, had tot voornaamste taak het ontwerp van het curriculum en de aansturing van het ontwikkelingsproces. Na verloop van tijd werd de rol van de CC in toenemende mate overgenomen door de OLC. Binnen het kwaliteitszorgsysteem voor onderwijs en organisatie staan verschillende objecten centraal. Voor elk object zijn doelstellingen vastgesteld en aan de hand van vooraf gestelde streefwaarden en kwaliteitscriteria wordt tijdens de evaluatie vastgesteld of een doelstelling is behaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van zowel kwantitatieve toetsing (inclusief een numerieke waarde en een *performance indicator*) als kwalitatieve toetsing. De uitvoering van de kwaliteitszorg op het gebied van onderwijs en organisatie vindt op meer niveaus plaats. Bij elk niveau staat een ander object centraal:

- Vakniveau het object is een apart studieonderdeel,
- Jaarniveau de objecten zijn afzonderlijke jaargangen,
- Curriculumniveau de objecten zijn de bachelor- en masteropleiding.

Er wordt gewerkt volgens een tijdschema voor de uitvoering van het kwaliteitszorgplan dat zich op de diverse niveaus afspeelt. Vervolgens wordt de Plan-Do-Check-Act (PDCA) structuur per niveau afzonderlijk behandeld. Deze PDCA cycli zijn onafhankelijk van de tijd en vormen een schematische weergave van het kwaliteitszorgsysteem op een bepaald niveau.

2.9. Conclusie

In dit hoofdstuk is de opleidingsvraag beantwoord naar de kenmerken van de wetenschappelijke professional op het terrein van Technische Geneeskunde en naar het wat en hoe er moet worden geleerd om als technisch geneeskundige te kunnen afstuderen.

Startpunt van de ontwikkeling van de opleiding was het bepalen van het beroepsprofiel. Dit diende als het einddoel en als uiteindelijk resultaat van de opleiding. Hieruit volgde de ontwikkeling van het competentieprofiel, waarin het wat en het hoe van de opleiding werden gespecificeerd. Het wat is weergegeven in de competenties in wetenschappelijke discipline, en het onderzoeken en ontwerpen. Het hoe is weergegeven in de competentie in de wetenschappelijke benadering en de intellectuele competentie. Het hoe en het wat komen samen in de competenties professioneel gedrag en het technisch medisch handelen. De gezondheidszorg wordt

weergegeven in de context van de opleiding. Ook de master is beschreven in termen van deze competenties, zij het dat deze zijn geordend in de CanMed structuur van technisch medisch deskundige, communicator, samenwerker, organisator, academicus en beroepsbeoefenaar.

Het curriculum van de opleiding Technische Geneeskunde maakt gebruik van de specifieke kenmerken van een ontwerpersopleiding geplaatst in een medische context. De student leert te denken en te handelen vanuit het perspectief van de individuele patiënt, maar leert ook om innovatief te zijn. Dit kan doordat de student de mogelijkheid krijgt zich een gedegen inzicht te verwerven in de medische en technologische kernbegrippen en principes. Tegelijkertijd ontwikkelt de student een wetenschappelijke attitude en een academische houding.

Het middel om deze doelen te bereiken is de structuur van de vakken in het curriculum. De ordening wordt bepaald door de keuze van het ontwerpen als centraal sturingsmechanisme te gebruiken. De ontwerpleer is van toepassing op zowel het ontwerp van de opleiding, als het vermogen van de studenten tot ontwerpen als sturing voor de docenten. Om te kunnen redeneren in het ontwerpen is de heuristiek ontworpen. De heuristiek vormt de rode draad door het gehele curriculumontwerp en leidt uiteindelijk tot een probleemoplossende strategie voor de studenten. Door studenten op te leiden om op een gestructureerde wijze hun problemen aan te pakken, leren zij een strategie die hen in staat stelt in principe elk toekomstig probleem op te lossen. De heuristiek stelt docenten betrokken bij de opleiding, in staat de waarde in te schatten van en betekenis geven aan kernbegrippen uit hun moederdiscipline voor de nieuwe discipline van Technische Geneeskunde. Door de heuristiek ook te gebruiken als ordeningsprincipe voor het onderwijs werd het uiteindelijke doel en middel zo transparant dat elke betrokkene, docent en staf lid dezelfde doelstellingen kon ontwikkelen. Van belang was dat de systeemtheorie werd toegepast en het menselijk lichaam werd gezien als systeem, waardoor de technologie op een natuurlijke wijze aan de subsystemen kon worden gekoppeld.

Doordat alle docenten werden getraind in het onderkennen van de doelstelling van Technische Geneeskunde en daarmee helder werd wat de probleemoplossende strategie van studenten moet worden, ontwikkelden de studenten al doende hun eigen strategie. Zowel in de vakken van de bachelor als in de master worden studenten elke keer weer geconfronteerd met een klinisch probleem, waar een nieuwe oplossing voor moet worden gezocht. Dat is in wezen de uitvoering van het beroepsprofiel. De bewustwording van de waarde van deze eigen probleemoplossende strategie ontstaat bij studenten pas in de masterstages. Of zoals een student het verwoordde: *“wij hebben geleerd hoe je een vraag kunt analyseren en een opzet kunt maken voor een onderzoek dat leidt tot een oplossing. Daardoor staan wij nooit met onze mond vol tanden. Het niet weten is het startpunt voor ons handelen, en daarmee zijn wij uitermate goed voorbereid voor de praktijk”*.

Na de start van de opleiding in 2003 is de opleiding verder doorontwikkeld op basis van een kritische houding en zelfreflectie. Daarbij zijn aandachtspunten geformuleerd op drie belangrijke onderwerpen voor het ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde en de implicaties voor de doorontwikkeling van de opleiding. Deze onderwerpen zijn: technologische ontwikkelingen, medisch-technisch probleem oplossen, en vaardigheidsonderwijs. In de volgende hoofdstukken zullen deze onderwerpen die onderdeel uitmaken van de ontwerpvrage, separaat worden besproken en in hoofdstuk 6 worden in het kader van de curriculumevaluatie de implicaties in de vorm van wijzigingen en aanvullingen voor de opleiding Technische Geneeskunde besproken.

HOOFDSTUK 3

TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN EN IMPLICATIES

HOOFDSTUK 3 TECHNOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN EN IMPLICATIES

3.1 Inleiding

Om de ontwerp vraag te kunnen beantwoorden is een nadere analyse van technologische ontwikkelingen in de gezondheidszorg van belang. In de afgelopen decennia wordt in toenemende mate in beleid (Gezondheidsraad, 2011), wetenschap (KNAW, 2014) en praktijk van de gezondheidszorg, het belang van de technologie in de gezondheidszorg onderkend (Geertsma, 2008; Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008). De European Parliament and the Council of the European Union omschrijft medische technologie als volgt: *“the techniques, drugs, equipment, and procedures used by healthcare professionals in delivering medical care to individuals, and the systems within which such care is delivered”* (European Parliament, 2007). De World Health Organization beschouwt medische technologie als de inzet van middelen die de diagnose en de behandeling optimaliseren, waarbij deze middelen de oplossing van problemen op de onderscheiden gebieden in gezondheidszorg optimaliseren (World Health Organization, 2010) (Yock et al., 2015).

Deze omschrijvingen laten een tweedeling toe: een eerste concrete waarbij het gaat om de inzet van technische hulpmiddelen en een tweede waarbij het gaat om de wijze waarop de inzet van deze middelen wordt gerechtvaardigd via een analyse van een probleemoplossende strategie.

De samenleving investeert op directe en indirecte wijze via wetenschap en industrie volop in medische technologie (IJerman & Steuten, 2011; Markiewicz, van Til, & IJerman, 2014) (Slobbe, Smit, Groen, Poos, & Kommer, 2011). De afgelopen decennia hebben we een proliferatie gezien van succesvolle technologische toepassingen in de gezondheidszorg. Het gaat hierbij niet slechts om de implementatie van technische hulpmiddelen. Kennistransfer van wetenschap naar medische toepassing speelt hierbij een belangrijke rol. Het gaat dus ook om een innovatie die via een technologische werkwijze gerealiseerd is.

Met een technologische werkwijze wordt het op systematische wijze toepassen van medisch-wetenschappelijke, natuurwetenschappelijke, technisch-wetenschappelijke en sociaalwetenschappelijke kennis voor de oplossing van medische problemen bedoeld.

In dit hoofdstuk wordt nagegaan welke technologische ontwikkelingen zich hebben voorgedaan in de gezondheidszorg en op welke wijze de technologische oplossingen zijn ingezet om problemen in diagnostiek en behandeling op te lossen. Bij dit laatste gaat het niet enkel om de uiteindelijke oplossingen maar is het vooral van belang te achterhalen op welke wijze de oplossing is ontworpen en geïmplementeerd en of er een analyse van het medische probleem heeft plaatsgevonden, met het oog op een succesvolle toepassing van wetenschappelijke evidentie (kennistransfer). In eerste instantie wordt nagegaan na welke technische hulpmiddelen zich aangediend hebben of kunnen aandienen om toepassing in de gezondheidszorg mogelijk te maken. Hiermee wordt de eerste omschrijving van medische technologie onderstreept. Ten tweede wordt, in het licht van de tweede bovengenoemde omschrijving, de technologische werkwijze toegelicht door een analyse te presenteren van het falen van de inzet van medisch-

technische toepassingen. Vervolgens wordt een werkwijze toegelicht en verantwoord die de basis vormt voor de rol en inzet van medische technologie binnen de opleiding Technische Geneeskunde.

3.2 Historie medische technologie

Omdat de vorige definities van medische technologie ook medicatie omvatten, wordt in dit proefschrift de definitie van *medical device* gehanteerd, die de Koninklijke Nederlandse Academie voor Wetenschap (KNAW) heeft overgenomen van de Europese Commissie:

'any instrument, apparatus, appliance, software, material or other article, whether used alone or in combination, including the software intended by its manufacturer to be used specifically for diagnostic and/or therapeutic purposes and necessary for its proper application, intended by the manufacturer to be used for human beings' (Directive 93/42/EC) (KNAW, 2014).

De FDA (*Food & Drug Administration*)³ hanteert de volgende definitie:

A medical device is "an instrument, apparatus, implement, machine, contrivance, implant, in vitro reagent, or other similar or related article, including a component part, or accessory which is:

- recognized in the official National Formulary, or the United States Pharmacopoeia, or any supplement to them,
- intended for use in the diagnosis of disease or other conditions, or in the cure, mitigation, treatment, or prevention of disease, in man or other animals, or
- intended to affect the structure or any function of the body of man or other animals, and which does not achieve any of its primary intended purposes through chemical action within or on the body of man or other animals and which is not dependent upon being metabolized for the achievement of any of its primary intended purposes."

Deze definities benadrukken de inzet van technische hulpmiddelen en tonen aan dat medische hulpmiddelen een variëteit aan medische apparatuur en infrastructuur omvat om elke ziekte of toestand van een zieke te diagnosticeren, te behandelen en te monitoren. Het doel hiervan is aldus de kwaliteit van de gezondheidszorg in het algemeen en de diagnose en behandeling in het bijzonder, te verbeteren. Ingenieurs in universiteiten en R&D-afdelingen van de industrie en MKB zijn continu bezig om medische hulpmiddelen te optimaliseren en/of te vernieuwen. In het vervolg wordt de term medische technologie gebruikt als koepelbegrip, waaronder medische hulpmiddelen vallen maar ook nieuwe technologische ontwikkelingen, maar geen medicatie.

De afgelopen eeuw zijn we getuige geweest van een explosie van nieuwe medische technologieën (Geertsma, 2008). Als belangrijkste medische- en/of medisch technologische ontwikkelingen identificeerden we *genomics*, *tissue engineering & regenerative medicine*, vaccins en *nanomedicine*. *Precision medicine* is een opkomende benadering voor het behandelen van ziektes en preventie die rekening houdt met individuele variatie in genen, omgeving en levensstijl (Collins & Varmus, 2015). Als belangrijkste technologische ontwikkelingen worden door de Raad voor de Volksgezondheid & Zorg (RVZ) genoemd: *intelligent devices*, *home diagnostics*, *health 2.0* &

³ <http://www.fda.gov/MedicalDevices/default.htm>

telemedicine en *imaging* (Duchateau & Vink, 2011). Fuchs & Sox (2001) hebben artsen gevraagd een ranking te maken van de belangrijkste innovaties in de gezondheidszorg. Naast innovatieve medicatie zijn de technologieën in hun top twintig: MRI en CT scanning, Balloon Angioplasty, Statins, Mammography, CABG, Proton pump inhibitors and H2blockers, Cataract extraction and lens implant, Hip and knee preplacement, Ultrasonography, Gastrointestinal endoscopy, Laparoscopic surgery.

3.3 Analyse falen inzet medische technologie

3.3.1 Huidige implementatie van medische technologie

Al in de zorgnota van 2002 geeft het ministerie van VWS aan dat maatschappelijke ontwikkelingen (Zorgnota, 2002) zoals toename van de bevolkingsomvang en levensverwachting, strengere budgettering, deeltijdarbeid en arbeidsduur-verkorting de zorgvraag laten stijgen. Ondanks alle maatregelen van de overheid blijft het zorgaanbod nog steeds achter bij de vraag. Technologie, met aandacht voor adequate toegepassing en implementatie, zo was de verwachting, zou de zorg betaalbaarder moeten maken en effectiever en efficiënter afgestemd op de toegenomen zorgvraag. De implementatie van nieuwe medische technologie zorgt in de Verenigde Staten voor een toename van 38 tot 65% of zelfs van 25 – 75% van de gezondheidszorg kosten (Smith, Heffler, & Freeland, 2000; Sorenson, Drummond, & Khan, 2013). Het blijkt dat de medische technologie niet op een veilige, effectieve en efficiënte wijze wordt geïmplementeerd en gebruikt. (Verkerke et al., 2011; World Health Organization, 2010). Medische technologie vindt zijn weg naar de gezondheidszorg op verschillende manieren. Ruwweg kunnen twee benaderingen worden onderscheiden waar het de toepassing van (technologische) bevindingen van wetenschappelijke onderzoek betreft: de klassieke Research-Development-Diffusion (RDD)- benadering en de toegepaste ingenieursbenadering. Bij de RDD-benadering zien we dat het fundamentele (technische) onderzoek zich niet in eerste instantie bekommert om de noodzaak van de toepassing en deze aan andere spelers overlaat (Cook & Woods, 1996; Dawson, 1995). De resultaten van onderzoek, al dan niet geschikt gemaakt in toegepast onderzoek voor de praktijk (Research & Development) worden verspreid (Diffusion). In essentie komt het erop neer dat er een oplossing is gecreëerd en dat men op zoek gaat naar een probleem waarvoor de gecreëerde oplossing de geëigende oplossing kan zijn. Daarentegen kenmerkt de toegepaste ingenieursbenadering zich door de analyse van de behoefte aan een oplossing waarbij interventies of technische hulpmiddelen kunnen worden ingezet (Van den Kroonenberg et al., 1996). Deze benadering start bij (de analyse van) het probleem en tracht op een systematische manier een oplossing voor het geanalyseerde probleem te creëren (Dawson, 1995).

Uit de innovatieliteratuur komt naar voren dat het bij ontwerpen van belang is vast te stellen wat de gehele waardeketen van het product is. Het volstaat niet om alleen te kijken naar het product dat geleverd wordt door een leverancier, men moet een duidelijk beeld hebben van alle andere onderdelen die noodzakelijk zijn om te beantwoorden aan de verwachtingen van een klant (Goldchstein, 2009). In de literatuur over innovatiestrategieën wordt een onderscheid gemaakt in incrementele, disruptieve (Christensen, Bohmer, & Kenagy, 2000) of radicale innovaties. Alhoewel de werkelijke innovatie pas achteraf kan worden vastgesteld, kan de strategie ook worden ingezet om een bepaald doel te bereiken. Christensen pleit ervoor om de principes van

disruptieve innovatie ook toe te passen op het onderwijs in Amerika (Christensen et al., 2008). Doel van het onderwijs is om het potentieel van een student maximaal tot bloei te laten komen. Hij pleit voor een totaal andere aanpak waarbij de student centraal wordt gesteld, en er geen *one-size-fits-all* principe wordt toegepast. Een principe dat nu heel bekend klinkt, maar in 2003 toen Technische Geneeskunde startte, was de uitdaging een systematische benadering te vinden, die de studenten zou opleiden om tot adequate oplossingen van realistische problemen te komen. Doel was dus niet om een incrementele innovatie te bewerkstelligen binnen de bestaande organisatie van de gezondheidszorg. De opleiding zou dan een kleine variatie worden op een bestaand concept van een medische of technologische opleiding. Het streven was een disruptieve innovatie door een geheel nieuw opleidingsconcept te ontwerpen. Bescheiden startend, visie gedreven in kleine stappen met veel reflectie, zonder blauwdruk. Aardig zou zijn als het uiteindelijk een succesvolle radicale innovatie zou blijken te zijn (Huizingh, 2011).

Omdat er in 2003 nog geen opleiding was die zorg en technologie combineert en integreert en gericht is op de directe patiëntenzorg, lijkt effectieve en efficiënte implementatie van technologie ten behoeve van innovatie van diagnostiek en therapie voorbehouden aan slechts diegenen die het voor ontwerpen benodigde technologisch inzicht via onderzoek en persoonlijke ervaring en competenties hebben verworven (Verkerke et al., 2011; World Health Organization, 2010). Het verantwoord en deskundig gebruik, via een analyse van het probleem en vervolgens het ontwerpen van een adequate oplossing, gebeurt slechts op beperkte schaal. Het op grotere schaal benutten van innovaties van medische technologie leidt tot een toenemend aantal medische fouten (Evenblij, 2005; Verkerke et al., 2011), waarvan de oorzaak veelal gevonden kan worden in te gehaast en onoordeelkundig gebruik van technologie, en waarbij de (technische) oplossing voorop staat en niet afhankelijk wordt gesteld van een gedegen probleemanalyse (Verkerke et al., 2011; World Health Organization, 2010).

3.3.2 Gevolgen implementatie van medische technologie

Alhoewel de benutting van medische technologie onmiskenbaar een bijdrage heeft geleverd aan de optimalisering van de diagnose en de behandeling in het medisch proces, is het gebruik van medische technologie niet van gevaren ontbloot (zie bijvoorbeeld (Webb et al., 1993)). Door de snelle, continue innovatie en het daar uit voortkomende brede scala van medische hulpmiddelen, ontstaan problemen met patiëntveiligheid die met een onjuiste toepassing van de medische technologie gepaard gaan. Door Verkerke is in opdracht van het ministerie van VWS een overzicht gemaakt van meldingen bij de Inspectie voor de Gezondheidszorg van problemen met patiëntveiligheid. De categorieën zijn:

Actieve implantaten; Anesthesie- en beademingsapparatuur; Elektromechanische apparatuur; Tandtechnische hulpmiddelen; Niet-diagnostische apparatuur (bijvoorbeeld ziekenhuisbedden); Medische hulpmiddelen voor in-vitro diagnostiek; Niet-actieve implantaten; Oogheelkundige apparatuur; Reusables; Disposables; Hulpmiddelen voor mensen met een beperking; Röntgen- en radiotherapieapparatuur (Verkerke et al., 2011).

Door verschillende instellingen en organisaties wordt gesuggereerd en geadviseerd deze problemen op te lossen door een versterking van het technisch gehalte van trainingen voor medewerkers in de gezondheidszorg of door het medisch gehalte van trainingen voor technologen of door het verbeteren van het management van de medische technologie (Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008). Deze voorgestelde maatregelen kunnen voorzien in adequate

deskundigheid voor de inzet en gebruik van technologie voor behandeling, maar betekenen echter onvoldoende voorwaarden en garanties voor veilige en innovatieve toepassingen van technologie in medische zorg op korte en lange termijn. Dit probleem ontstaat doordat er geen totaalbeeld is van het probleem waarvoor de technologie een oplossing kan zijn (er is geen waardeketen in beeld gebracht). Om in te schatten voor welk type medische problemen de technologie gebruikt kan worden is ook een grondig inzicht in de werking en beperkingen van de technologie nodig (Amoore & Ingram, 2002).

Studies tonen aan dat de implementatie van medische technologie problematisch kan zijn (Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008; Verkerke et al., 2011; World Health Organization, 2010). Als belangrijkste factor wordt genoemd dat menselijke factoren ten grondslag liggen aan fouten in het gebruik van technologie. Uit studies over menselijke fouten in kerncentrales, in de luchtvaart, en in de geneeskunde blijkt dat fouten kunnen worden gecategoriseerd als respectievelijk endogeen of exogeen, op het vlak van perceptie, cognitie, of actie, en technisch, communicatief of organisatorisch van aard (Stelfox, Palmisani, Scurlock, Orav, & Bates, 2006; Verkerke et al., 2011; World Health Organization, 2010). Deze fouten hebben verschillende oorzaken. Ten eerste wordt er vaak onvoldoende getraind (een dagdeel training verzorgd door de industrie), maar vooral vertoont de inrichting van de taaksituatie cognitief-ergonomische en technisch-ergonomische beperkingen, zie onder andere (Cook & Woods, 1996).

Ten tweede worden nieuwe medische hulpmiddelen vaak op irrationele gronden aangekocht door beroepsbeoefenaren in de gezondheidszorg en niet adequaat beoordeeld op specifieke vragen en uitkomsten van zorg. *Usability testing* is vaak primair gericht op het vaststellen van de functionaliteit in de beperkte omgeving van het laboratorium (Benneworth & Olmos Peñuela, 2014). Functioneren in een realistische context vereist echter ook een goede afstemming met de kenmerken van de context. De meeste medische hulpmiddelen functioneren niet adequaat of blijven ongebruikt, veroorzaakt door een gebrek aan evaluatie van de behoeften, aan een gedegen en passend ontwerp, aan een robuuste infrastructuur, en aan informatie voor het onderhoud, evenals door het gebrek aan geschoold personeel in de gezondheidszorg (Amoore & Ingram, 2002; Cook & Woods, 1996; World Health Organization, 2010).

Een derde oorzaak is, zoals eerder is aangegeven door het Europees Parlement, dat medische technologie extreem divers is, qua soorten apparaten, door de herkomst uit verschillende disciplines, met verschillende niveaus van complexiteit, toepassingen, gebruik, gebruikers en met zaken als context-afhankelijkheid van medische hulpmiddelen (European Parliament, 2007; World Health Organization, 2010).

Ten vierde, veel medische apparatuur kwam in eerste instantie niet voort uit klinisch onderzoek, maar uit technologieën die ontwikkeld zijn in andere vakgebieden en vaak bedoeld voor andere doeleinden. Dit fenomeen wordt aangeduid als *dual use*, en omvat technologieën zoals bijvoorbeeld lasers, MRI en militaire apparatuur op het gebied van navigatie en beeldvorming (World Health Organization, 2010). Een effectieve transfer wordt daardoor beperkt.

De World Health Organization (WHO) onderkent dat medische technologie belangrijk is in de gezondheidszorg en dat mede door technologie de gezondheid van individuen en populaties wordt verbeterd. Een van de strategische doelen van de WHO is om de toegankelijkheid, de kwaliteit en het gebruik van medische technologie te verbeteren. Tegelijkertijd constateerde de WHO in haar rapport "*Medical Devices: managing the mismatch*" dat er een *mismatch* is tussen enerzijds de behoefte van de medicus (de patiënt en de maatschappij), die een zo optimaal

mogelijke diagnostiek en therapie nastreeft en anderzijds technologie, waarvan het optimale klinische gebruik nog moet worden vastgesteld. De *mismatch* is echter niet een tijdelijk probleem dat vanzelf wordt opgelost. Zij betreft niet alleen de aanbodkant, de ontwikkeling, organisatie en implementatie van de medische technologie, maar ook de vraagkant. (*market pull*, (Dawson, 1995)) Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen de door het technologische aanbod opgeroepen meervraag en de verandering van aard en inhoud van de zorgvraag veroorzaakt door de nieuwe technologie. Problemen die zich aan de aanbodkant voordoen, kunnen worden opgelost door adequate training in het gebruik van de technologie. Problemen die zich aan de vraagkant voordoen, laten zich niet oplossen door een training, maar zijn het gevolg van een verkeerde afstemming van de technologie op de zorgvraag. De oplossing is dan om technologische inzet te ontwerpen na een systematische analyse van het probleem of de zorgvraag. Technologie maakt het dus zeker mogelijk dat zorg kan worden geleverd in tijden waarin de zorgvraag toeneemt, mits de technologie afgestemd is op de aard van de toegenomen zorgvraag.

3.3.3 Expertise voor de adequate inzet van medische technologie

Het ontwikkelen van nieuwe technologische mogelijkheden is een ingewikkeld en langdurig traject dat verantwoord moet worden ingericht (KNAW, 2014). Agressieve marketing, fascinatie door en voor technologie, kosten en de inadequate informatie over het apparaat of technologie, bepalen in veel gevallen de snelheid en de kwaliteit van de invoering van technologische innovaties (World Health Organization, 2010). Hierbij geldt dat het de eindgebruiker in de klinische praktijk niet zelden de wetenschappelijke kennis en vaardigheden ontbreekt om inzicht te krijgen in de reikwijdte van de innovatie en in de mogelijkheden en beperkingen (risico's) van adequaat gebruik. (Vergelijk het betoog van Cook & Woods, 1996.). Zoals hiervoor is betoogd, is dit probleem van gebrek aan kennis en vaardigheden een gevolg van beperkte initiële scholing en voortgezette deskundigheidsbevordering (de Vries et al., 2015). Dit sluit niet aan op de kennis die verwacht mag worden van de huidige professionals.

Het betreft dus niet alleen gebrek aan kennis van en inzicht in de medisch-specifieke en wetenschappelijke fundatie van de innovatie, maar evenzeer een onvermogen tot adequate inzet en implementatie van medisch-technologische innovaties in de klinische praktijk, rekening houdend met de *constraints* en eigenaardigheden van die praktijk.

In haar rapport "*Risico's van medische technologie onderschat*" van 2008 (Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008) wijst ook de Inspectie voor de Gezondheidszorg op de vele fouten met soms desastreuze gevolgen door het ondeskundig gebruik van medische technologie. Zij constateert dat gebrek aan scholing en bijgevolg gebrek aan inzicht tot dramatische situaties kan leiden. In het rapport worden vele voorbeelden genoemd van verkeerd gebruik van technologie met fouten als gevolg. Maar verkeerd gebruik of inefficiënt gebruik van de technologische mogelijkheden kan ook leiden tot minder effectieve zorg (vergelijk Cook & Woods, 1996). Dit is vooral een kosten- en veiligheidsargument (Deyo, 2002). Ofwel zoals een intensivist de situatie op de IC schertsenderwijs schetste: "wij zijn omgeven door Rolls Royces, maar wij doen alsof het Deux Cheveaux zijn en rijden alleen voor- en achteruit".

Uit het voorgaande volgt de aanname dat de problemen rondom het gebruik van medische technologie een opleidingsprobleem is. Een probleem dat kan worden gekarakteriseerd als een gebrek aan gerichte kennis en expertise van de professionals in de gezondheidszorg én van betrokken ingenieurs, waarvoor drie onderliggende verklaringen kunnen worden gegeven.

Ten eerste, medische technologie is een multidisciplinair domein, dat biologie, scheikunde, wiskunde, natuurkunde, elektrotechniek, werktuigbouw, en informatica omvat. Onderzoek gedaan door biomedische ingenieurs is niet bedoeld om aan de behoeften van de individuele patiënt te voldoen, maar om generaliseerbare kennis te produceren, verspreid over specifieke groepen patiënten. Cook en Woods (1996) beschrijven dit als het ontwikkelen van modulaire technologie die vanuit commercieel oogpunt voor meerdere gezondheidsproblemen in te zetten is. Voor benutting van medische technologie ten behoeve van individuele patiënten in de gezondheidszorg, is er echter behoefte aan een transformatie van het algemene (gegeneraliseerde) ontwerp naar de geïndividualiseerde toepassing. Uit het voorgaande kan de stelling worden afgeleid dat fouten in gebruik van (medische) technologie lijken voort te komen uit een gebrek aan vertaling tussen *high-tech* medische apparatuur en doeltreffend en veilig gebruik bij de individuele patiënt.

Deze kloof is conceptueel gelijk aan de bekende kloof tussen onderzoek en praktijk (Gelijns & Rosenberg, 1994) in de lineaire *Research-Development-Diffusion* (RDD)-benadering, die in het begin van het hoofdstuk reeds is geïntroduceerd, en waarin onderzoek, ontwikkeling en verspreiding gezien worden als drie afzonderlijke fasen (Dawson, 1995). Het uiteindelijke doel van de eerste fase van de RDD is gericht op uitbreiding van kennis via onderzoek. De tweede fase, de ontwikkeling van technologie, bedoeld om bestaande kennis te vertalen van onderzoek naar het ontwerp van een technologische oplossing. Ten slotte heeft de diffusiefase tot doel de uitvoering en verspreiding van de ontworpen oplossing. De RDD aanpak is toepasbaar bij de ontwikkeling van *evidence informed* producten met gunstige resultaten. Het model is bekritiseerd voor het volgen van een gebruiker-proof aanpak, waarbij geen rekening wordt gehouden met de wijzigingen die zich kunnen voordoen wanneer een (technologische) innovatie wordt uitgevoerd en/of gerepliceerd op verschillende plaatsen (*dual use*). Ook wordt voetstoots aangenomen dat zodra een kwalitatief (technologisch) product beschikbaar is de meerwaarde als vanzelfsprekend is. Kritiek op deze aanpak (Dawson, 1995; Landry, Amara, & Lamari, 2001) is onder meer de misleidende behandeling van gebruikers als passieve consumenten van technologische innovaties.

De geringe mogelijkheden die deze bieden voor locatie-specifieke wijzigingen, en de foutieve onderliggende aanname dat wanneer een kwaliteitsproduct beschikbaar komt het welhaast automatisch geadopteerd wordt, zo lang de vaardigheden voor de uitvoering ervan nauwkeurig beschreven en daardoor leerbaar zijn. Cook en Woods (1996) beschrijven dat het risico bestaat dat technologie leidt tot 'clumsy automation': op momenten dat het rustig is ondersteunt de technologie het werk van de zorgprofessional, maar op kritische momenten, ontstaan door tijdsdruk, stress, etc., komen de beperkingen van de technologie naar boven. Complicerende factor hierbij is dat deze nauwkeurige beschrijving veelal vanuit een technologisch perspectief is geschreven en niet zoals we hierboven ook al constateerden, vanuit een zorgvraag-perspectief. Alhoewel achterhaald is de RDD-aanpak nog veel gebruikt en suggereert dus een schijnbaar veilige ontwikkeling en implementatie van nieuwe technologie, maar de afstemming van de technologische oplossingen op de zorgvraag en -problemen schiet tekort door de nadruk op de oplossing.

Een tweede verklaring voor een gebrek aan kennis en expertise van de professionals in de gezondheidszorg en van betrokken ingenieurs, is het feit dat curricula van medische opleidingen zich niet concentreren op wiskunde, natuurkunde, elektrotechniek, werktuigbouwkunde of

informatica. Een medisch professional is daardoor in de regel geen expert in de onderliggende principes van de technologie, zodat de vaardigheden die nodig zijn om innovatieve technologie te implementeren dankzij goede vertalingen voor deze deskundige niet leerbaar zijn. Dit wordt nog gecompliceerd door het meester-gezel- principe waarop de medische opleidingen zijn gebaseerd. Als de meester het niet weet, hoe en wat moet de gezel dan leren? Dit is in toenemende mate het geval, zoals reeds in hoofdstuk 1 vermeld, sinds in het VWO-profiel Natuur en Gezondheid (N&G) wiskunde drastisch is gereduceerd.

Ten derde leidt de vergaande expertisevorming van professionals die betrokken zijn bij de verspreiding van kennis, de adoptie en het uiteindelijke gebruik van de medische technologie in de gezondheidszorg tot ernstige problemen. In het algemeen leidt deskundigheid of expertise tot grote voordelen, zoals snelle detectie van relevante informatie, succesvolle monitoring, effectief oplossen van problemen, en het genereren van de beste oplossingen. Er zijn echter ook nadelen verbonden aan het zijn van expert. (Frensch & Sternberg, 1989; Sternberg & Frensch, 1992) constateerden in een analyse dat expertise twee kenmerken bevat, flexibiliteit en proceduralisatie. De werking van de twee zijn echter tegengesteld aan elkaar. Een sterke proceduralisatie, in hoofdstuk 1 hebben wij daarop ook geduid met het begrip routine-expert, verhindert flexibiliteit. Thijssen (1996) en Hoyer & Rybash (1994) gebruikten hiervoor respectievelijk de term ervaringsconcentratie en inkapseling (*encapsulation*) en verbonden deze termen aan effecten van veroudering. Expertise kan op latere leeftijd een routinematige, geconcentreerde of ingekapselde neiging gaan vertonen. Uitermate deskundig zijn op een bepaald gebied kan zich uiten in automatismen die verhinderen dat de verworven kennis flexibel, dat wil zeggen ook onder andere omstandigheden dan onder welke de kennis verworven is, kan worden ingezet. Onderzoek naar context interferentie (Helsdingen, Van Gog, & Van Merriënboer, 2009) heeft dit fenomeen van sterke routinematige opbouw van kennis of proceduralisatie in verband gebracht met training. Expertise is verder ook sterk domeinspecifiek (Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989). Uit onderzoek blijkt dat experts niet uitblinken in domeinen waarin zij geen ervaring hebben (zie bijvoorbeeld Joseph & Patel (1990)). Experts kunnen bovenmatig vertrouwen hebben in hun prestaties op een ander expertdomein, terwijl ze onbewust relevante contextuele informatie negeren (ze zien het niet). Ook hanteren ze hun eigen probleemoplossende strategieën, die in een ander domein volstrekt ineffectief kunnen zijn en hebben ze last van vooroordelen. Deskundigen, werkzaam in een ander domein met betrekking tot hun eigen vak (bv. artsen die werken met *high-tech* medische apparatuur of biomedische ingenieurs die werken met patiënten), lopen het risico hun domeinkennis toe te passen op andere domeinen zonder zorgvuldig na te gaan of deze kennis wel toepasbaar is op het andere domein.

Opvallend is, dat het natuurlijk lijkt dat een arts medische apparatuur gebruikt, terwijl het niet natuurlijk is, dat een biomedisch ingenieur patiënten behandelt, terwijl in beide gevallen er sprake is van een toepassing in een ander expertdomein. Zoals wij hierboven hebben opgemerkt, maakt domeinspecificiteit dat er weinig transfer is van kennis en van probleemoplossende strategieën naar andere domeinen. Dit gevaar openbaart zich in veel gevallen waarin multidisciplinaire curricula opgebouwd zijn uit monodisciplinaire onderdelen. De routinematige kenmerken van monodisciplinaire expertise of experts verhinderen daarmee een adequate inzet ervan bij de oplossing van problemen die multidisciplinair van aard zijn. Deze bevinding is heel belangrijk als monodisciplinair geschoolde docenten ingezet worden in een multidisciplinaire opleiding,

waarvan het eindniveau nog volstrekt theoretisch. Deze constatering is bij de ontwikkeling van Technische Geneeskunde vooral gebruikt in de training van docenten (hoofdstuk 6).

3.4 Een linking science en scientist practitioner voor inzet van medische technologie

Hiervoor hebben we betoogd dat het falen van adequate inzet van medische technologie toegeschreven kan worden aan enerzijds de nadruk bij de implementatie van technologie op de technologie zelf in plaats van op functies die de technologie kan vervullen, en anderzijds op de aard en inhoud van de expertise die weinig flexibiliteit toelaat bij de oplossing van medische problemen waarbij technologische inzet mogelijk is. Op dit punt is een vergelijking op zijn plaats met discussies in het onderwijs over de opbrengst van wetenschappelijk onderzoek voor de praktijk. Daar is sprake van een moeizame relatie tussen wetenschappelijk onderzoek en de praktijk, en deze doet c.q. deed de vraag rijzen naar de inrichting en de effectiviteit van de functie van kennistransfer in het onderwijs. In diverse studies (zie De Vries & Pieters (2007)) wordt een pleidooi gehouden voor nieuwe vormen van samenwerking tussen onderzoekers en practici c.q. tussen onderzoek en praktijk, als vervanging van het traditionele RDD-model (zie hierboven) met het oog op de effectiviteit van de functie van kennistransfer.

De kennistransfer-relatie tussen onderzoek en praktijk is al vele jaren onderwerp van onderzoek en van intellectuele beschouwingen. Honderd jaar geleden vroegen Dewey (Dewey, 1900) en Münsterberg (Münsterberg, 1913) (Presidenten van de American Psychological Association) zich al af hoe wetenschappelijke psychologische kennis beter benut zou kunnen worden voor het oplossen van vraagstukken op het terrein van het onderwijs, maar ook in de gezondheidszorg, in bedrijven en in de rechtspraak. Psychotechniek als *linking science* tussen de wetenschappelijke psychologie en de praktijk werd een grote rol toegedicht. In de woorden van Münsterberg (1913): *"The whole system of psychotechnical knowledge might be subdivided under either of the two aspects. Either we might start from the various mental processes, and ask for what end each mental factor can be practically useful and important, or we can begin with studying what significant ends are acknowledged in our society and then we can seek the various psychological facts which are needed as means for the realization of these ends."*

In de jaren zestig en zeventig pleitten Simon (1969), Glaser (1982) en Glaser (1976) voor een ontwerpwetenschap als een linking science voor het overbruggen van de afstand tussen de leerpsychologie en de praktijk van de instructie. De laatste tien jaar zijn er vele discussies gevoerd over het mogelijke gebruik van resultaten van wetenschappelijk onderzoek voor de praktijk van het onderwijs (Levin & Cross, 2004). Practici twijfelden over de waarde van het wetenschappelijk onderzoek en het nut van de uitkomsten ervan, wetenschappers uitten hun onvrede over het niet (willen) gebruiken van de uitkomsten van wetenschappelijk onderzoek.

Onder invloed van denken over *design research* ontstaan opvattingen over de wijze waarop het wetenschappelijk onderzoek en de praktijk gezamenlijk verantwoordelijkheid kunnen nemen voor niet alleen de kennisbenutting (gebruik van resultaten van onderzoek in de praktijk) maar tegelijkertijd ook voor de productie van relevante kennis in de professionele praktijk.

Bij de toegepaste ingenieursaanpak gaat het om interventies die in nauwe samenwerking met de praktijk worden ontwikkeld en geëvalueerd. In deze modellen wordt een poging gedaan om de

samenwerking tussen onderzoek en de professionele praktijk vanaf het begin van het proces te realiseren. Het design research model is daarvan een fraai voorbeeld, zie Van den Akker et al. (2006).

Een belangrijke opbrengst van de functie van kennistransfer voor de professionele praktijk is naast kennisbenutting de kennisproductie. Gibbons et al. (1994) onderscheiden twee vormen van kennisproductie. In de eerste vorm (Modus 1) ligt de regie vooral bij het universitaire onderzoek, daar worden problemen gedefinieerd en daarbinnen wordt verantwoording afgelegd. De geproduceerde kennis is generiek en overdraagbaar. De verspreiding en benutting van kennis verloopt hiërarchisch en lineair en vertoont kenmerken van het traditionele RDD-model. In de tweede vorm (Modus 2) is kennisproductie niet hiërarchisch georganiseerd, maar worden problemen gedefinieerd en opgelost in de praktijkcontext. Deze kennis is praktisch van aard en context-specifiek. De kennis die in Modus 2 wordt geproduceerd heeft primair betrekking op de context, waarin het probleem speelt. In deze tweede vorm heeft de relatie tussen onderzoek en praktijk kenmerken van het *design research model*. Vooral in het *design research model* is aandacht voor ecologische validiteit om de relevantie van de ontwikkelde kennis ook in andere contexten te kunnen gebruiken. Nowotny, Scott, & Gibbons (2003) constateren dat er niet alleen sprake is van Modus 2 kennis en kennisproductie maar van een Modus 2 samenleving en dat het onderscheid tussen samenleving en wetenschap vervaagt, door het aansturen van onderzoek door de samenleving (EU Onderzoeksprogramma's, nationale onderzoeksprogramma's en Research Councils), door een groter engagement van onderzoek(ers) (nadruk op kennisvalorisatie), en door een sterker accountability-klimaat. Design research en kennisgemeenschappen vormen in dit verband belangrijke mechanismen.

Op basis van voorgaande literatuur en ervaringen kan het volgende worden gesteld: om optimaal de kracht en effectiviteit van technologie voor gebruik in het proces van medisch probleem oplossen te kunnen benutten, is er niet alleen aandacht nodig voor de activiteiten die de toegepaste ingenieursaanpak kenmerken (analyse, oplossingsbepaling, implementatie en evaluatie van technologische interventies), maar is tevens het veilig, effectief en efficiënt kunnen gebruiken van hoogwaardige technologie vereist, als ook aandacht voor het effect hiervan op het menselijk lichaam en, vice versa, het effect van het menselijk lichaam op de technologie.

De huidige praktijk is dat de medisch-technologische industrie een vrij directe vorm van marketing hanteert, die goed aanslaat in de zin van overtuigingskracht, maar waarbij de aandacht voor een effectieve en gewetensvolle implementatie het vaak aflegt tegen de snelheid waarmee technologische innovaties worden geïntroduceerd (World Health Organization, 2010). Medici, onder de indruk van technologische mogelijkheden en van de hoge verwachtingen van de technologische experts, zullen op basis van die (schijnbaar) ideale verwachting snel overgaan tot aanschaf. Dit gebeurt terwijl het gebruik van deze nieuwe producten in de dagelijkse praktijk nog niet goed is bewezen of uitgezocht en onduidelijk is of de nieuwe inzet daadwerkelijk in een geconstateerde behoefte voorziet. De technologie is alleen getest op de functionaliteit in de beperkte omgeving van het laboratorium, maar niet in het proces van implementatie en toepassing van 'het medisch probleem oplossen' in de klinische praktijk. Ondanks dat er diverse vormen van kwaliteitszorg is gestart zoals *medical device surveillance* (Hauser, 2012) en (Meria & Colchen, 1998), blijken er nog steeds fouten te worden gemaakt met medische hulpmiddelen met problematische gevolgen van dien (Ward & Clarkson, 2004). Ward en Clarkson maken een classificatie in soorten fouten, die uiteindelijk kunnen leiden tot deze gevolgen. De indeling start

met ontwerpfouten, fabricagefouten, gebruikersfouten of fouten die niet met een *device* te maken hebben. Ontwerpfouten ontstaan als de ontwerper zich niet genoeg heeft verdiept in de gebruiker en daardoor een te beperkt programma van eisen heeft, zoals een inhoudsverdeling die in het ziekenhuis normaliter is gedefinieerd is in millimeter per uur en nu uitgaat van milliliter per uur. Een fabricagefout is bijvoorbeeld het ontwerp van een instrument dat niet kan worden gesteriliseerd. Gebruikersfouten doen zich bijvoorbeeld voor bij een verpleegkundige die een verkeerde dosis spuit op basis van deze andere schaalverdeling.

Dit is de essentie van het probleem waar onderzoek en opleidingen in de medische technologie mee worden geconfronteerd en waarvoor zij (nog meer) oplossingen met een innovatieve inzet van technologie ontwikkelen (Van den Kroonenberg et al., 1996).

De al eerder gesignaleerde *mismatch* in expertise laat zich ook visualiseren door de tegenstelling tussen arts en ingenieur, wat betreft doel en werkwijze, en is ontleend aan de tegenstelling tussen het bedrijven van wetenschap door enerzijds de arts en anderzijds de ingenieur. Hierbij kan de wetenschappelijke benadering van de arts in metaforische zin worden weergegeven als de manier waarop Darwin de wereld beschouwde en de ingenieur door de wijze waarop Newton de wereld manipuleerde (Figuur 3.2.).

Arts	Ingenieur
<p>Founding Father: Darwin</p>	<p>Founding father: Newton</p>
<p><i>Doel: door middel van het beschrijven en classificeren van de werkelijkheid komen tot theorieën, die mogelijke verklaringen genereren.</i></p>	<p><i>Doel: door middel van experimenten verkrijgen van generiek toepasbare kennis en inzichten, verwoord in wetmatigheden.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> • Theorieën • Ervaringen • Fouten moeten worden vermeden • Werken vanuit het bekende • Individuele patiënten • Schemata <p>➔ Routine</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wetten • Experimenten • Fouten is informatie • Ontdekken van het onbekende • Generieke regels • Algoritmes <p>➔ Innovatie</p>

Figuur 3.2 Newton en Darwin

De arts beschouwt net als Darwin de werkelijkheid (patiënt) en ordent de gegevens (klachten en resultaten van onderzoek) tot een waarschijnlijke diagnose. De arts is gericht op het individu en werkt binnen een strak tijdschema. Hij werkt vanuit theorieën (die mogelijk geldig zijn) en verwerkt de kennis tot schemata, waardoor hij snel de kennis kan toepassen. De arts zoekt middels een diagnose naar bekende oplossingen en zal fouten te allen tijde vermijden. Het doel is immers door middel van ervaring een routine-expert te worden die zo goed mogelijke patiëntenzorg levert.

De ingenieur gaat net zoals Newton uit van wetmatigheden. De ingenieur werkt op basis van gemiddelden van groepen en kent geen strak tijdschema. Hij zoekt naar algoritmen om experimenten op te zetten. Op basis van deze experimenten wordt nieuwe kennis verkregen die mogelijk om te zetten zijn in wetten (altijd geldig). Op basis van deze nieuwe kennis wordt technologie ontworpen die toepasbaar is voor zoveel mogelijk problemen. Het onbekende is uitdagend en de basis voor nieuwe kennis. Ook fouten in een experiment kunnen een bron voor nieuwe kennis zijn en kunnen zodanig als positief worden ervaren.

De medische technologie wordt ontworpen vanuit wetmatigheden en de technicus is de beschrijver van een sterk gereduceerde werkelijkheid (Van Wijk van Brievingh & Peuscher, 1984). Als de ingenieur een probleem wil oplossen, zoekt hij naar het algemeen gemiddelde van de populatie. Het domein waarop hij zich richt is afgeleid van dat gemiddelde plus en min de standaarddeviatie. Dat is een begrepsd domein. Elke arts weet echter dat de variatie van de populatie vele malen groter dan dit gedefinieerde domein. Bij elke patiëntenpopulatie is er dus een domein dat de technologie niet dekt. De vraag is of de arts zich hiervan bewust is. De ingenieur zal wetten toepassen en algoritmen benutten om een signaal te bewerken. Wat voor de ingenieur onder ruis valt, wordt weg gefilterd. De vraag is of de arts zich hiervan bewust is.

Hoe moeten de resultaten van het gebruik van de technologie worden geïnterpreteerd? De resultaten van het gebruik van technologie, dienen vooral te worden geïnterpreteerd door een professional met zowel expertise in technologie als de individuele patiënt en de mate waarin die afwijkt van het gemiddelde. Om de veiligheid, de effectiviteit, de efficiëntie, en de acceptatie van medische technologie te garanderen, zou de toepassing van technologie technisch moeten zijn uitgekristalliseerd, en bovendien in de klinische praktijk afgestemd zijn op de competenties van de eindgebruiker, om het vertrouwen te garanderen bij professional en patient. Gegeven het aantal fouten dat wordt gemaakt als gevolg van verkeerd gebruik van technologie, lijkt dit niet de realiteit (Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008; Verkerke et al., 2011; World Health Organization, 2010). Er lijkt behoefte aan een nieuw soort professional, die beide talen spreekt. Opgeleid in opleidingen, die werken volgens *design based research* (in feite toegepaste ingenieursaanpak) zodat de alumni vertalingen kunnen maken van de generieke technologie naar de behoefte van de individuele patiënt. Dit voorkomt proliferatie van problemen die eerder zijn gesignaleerd en geschetst. Het gaat dan niet alleen om een vertaling en een toepassing van Technologie maar ook om het genereren van nieuwe kennis en inzichten.

Doel is om professionals op te leiden, die technologie beschouwen als middel, mede door technologie ook toe te passen als onderwijsvorm in de toegepaste ingenieursaanpak.

3.5 Technologie als doel, als middel en als onderwijsvorm

Technologie kan in het onderwijs een rol spelen in didactische, instructie-technologische, inhoudelijke en medisch-technologische zin. In de medische vervolgopleidingen wordt gepleit voor een rol van de informatietechnologie (Bleker, ten Cate, & Holdrinet, 2004). Vanuit de medische vervolgopleidingen, zoals de chirurgische disciplines, groeit de vraag naar meer instructie-technologische toepassingen in het praktisch vaardigheden onderwijs (Fluit & Klaassen, 2011; Schout, 2010). Voor de arts in opleiding zijn patiëntencontacten belangrijke leerervaringen. De arts-assistent wordt echter geconfronteerd met een kortere werkweek, een kortere opleidingstijd en met patiënten, die zo kort mogelijk in het ziekenhuis verblijven. Dat betekent dat de assistent in een kortere tijd, met minder patiëntcontacten hetzelfde kwaliteitsniveau moet zien te bereiken als zijn opleiders. Dat leidt tot een vraag naar andere leeromgevingen met dezelfde leermogelijkheden als een ziekenhuis. Instructie-technologische oplossingen kunnen daarvoor worden ingezet.

Simulaties en simulatoren die onderdeel uitmaken van deze leeromgevingen kunnen, mits adequaat ingezet, bijdragen via uitgelokte leerprocessen, aan de ontwikkeling en handhaving van de kwaliteit van zorg (Cook et al., 2011). Dit kan niet alleen in didactische zin maar ook in inhoudelijke, medisch-technologische, zin.

Hier fungeert de technologie als middel, doordat kennis, inzicht en toepassingsmogelijkheden van technologische innovaties kunnen worden verworven door middel van simulaties, waarin de uitbeelding van het fysisch, chemisch of medisch proces, met bijbehorende wiskundige modellering, voor lerenden inzichtelijk kan worden gemaakt.

Een simulator betreft een technologisch product in tegenstelling tot een simulatie, waar een uitbeelding van een relevant proces het uitgangspunt is. Een vergelijking met de opleiding tot piloot is hier op zijn plaats. In deze opleiding wordt al jaren gebruik gemaakt van een vliegtuigsimulator, waarin op fysieke en functionele wijze de taakuitvoering wordt nagebootst (Hays, Jacobs, Prince, & Salas, 1992; Yesavage et al., 2002). De gedachte is dat op dezelfde wijze de medische technologie kan worden benut voor het leerproces, door de lerende een omgeving aan te bieden die een hoge fysieke (high) *fidelity*, met een grootst mogelijke overeenkomst tussen leertaakomgeving en werkelijke professionele omgeving, heeft en tegelijkertijd een taakomgeving biedt waarin de relevante medisch-professionele handelingen kunnen worden ontwikkeld en geoefend (Issenberg et al., 1999; Scalese, Obeso, & Issenberg, 2008).

De huidige simulatortechnologie, zoals een *human patient simulator* of laparoscopie simulator, die in de gezondheidszorg wordt gebruikt, geeft echter slechts een fractie weer van het menselijk systeem, waardoor men wel hele specifieke leerdoelen kan bereiken, zoals scenario-trainingen die samenwerking stimuleren of psychomotorische vaardigheden (DeVita, Schaefer, Lutz, Wang, & Dongilli, 2005; Grantcharov et al., 2004; Holcomb et al., 2002; Westwood, Hoffman, Stredney, & Weghorst, 1998), maar geen doelen die het gehele menselijke systeem betreffen. Door het verschil in complexiteit tussen de mens en de simulator, waarbij de simulator een beperkt model bevat van het menselijk systeem, is de *fidelity* te gering om met het realistisch medisch probleem oplossen ervaring op te doen. Dit betekent dat als technologie als middel wordt ingezet er een ander, meer geavanceerd, didactisch model vereist is dan bij de *low fidelity* medisch-technologische simulatoren.

Bij het bepalen van een didactisch model dient daarom rekening gehouden te worden met een combinatie van de gewenste high fidelity voor het realistisch medisch probleem oplossen en de low fidelity van de simulator. Blended learning biedt daarvoor de mogelijkheden (Kirkley & Kirkley, 2004; Valiathan, 2002). Voor technologische niet-apparaatgebonden vernieuwingen in de gezondheidszorg, zoals Tissue Engineering, Robotica, Imaging, Nanomedicine, Virtual Reality, Signaalanalyses, en Neurostimulatie, kunnen de verwerving van de benodigde kennis en vaardigheden en oefening door middel van simulaties, geschieden in een leeromgeving waarin de uitbeelding van het fysisch, chemisch of medisch proces, met bijbehorende wiskundige modellering, voor lerenden inzichtelijk gemaakt kan worden. Dit is de inhoudelijke kant van de technologie, die aldus kan worden gekoppeld aan een combinatie van ontwerpfasen en -doelen waarvoor technologie kan worden benut en die uiteindelijk kan resulteren in een simulator. Daarnaast kennen ingenieurs een eigen probleemoplossende aanpak, die gericht is op het ontwerpen van nieuwe technologie (zie voor een meer uitgebreide uitleg hoofdstuk 4). Hierbij is de probleemoplossende ontwerpmethodologie in wezen een didactische aanpak of onderwijsvorm, namelijk de ontwerpleer, waarbij een systematische en flexibele methodologie wordt gebruikt, die erop is gericht situaties en structuren te optimaliseren door een iteratieve analyse, gevolgd door een ontwerp- en ontwikkelfase, waarna de ontwikkelde interventie wordt geëvalueerd en geïmplementeerd. Deze probleemoplossende aanpak is toepasbaar in de opleiding Technische Geneeskunde. Eerder hebben we technologie gedefinieerd als het op systematische wijze toepassen van medisch-wetenschappelijke, natuurwetenschappelijke, technisch-wetenschappelijke en sociaalwetenschappelijke ter oplossing van medische problemen. De werkwijze die daarbij kan worden gehanteerd wordt eveneens gekenmerkt door een probleemoplossende aanpak.

3.6 Conclusie

Dit hoofdstuk is ingegaan op de ontwerpvrage om ontwerpprincipes voor het ontwikkelen van competenties voor een adequaat en optimaal gebruik van technologie vast te stellen en daarmee een integratie te bewerkstelligen van diverse expertdomeinen in een complexe interdisciplinaire context.

Technologie speelt een belangrijke rol binnen de gezondheidszorg en het baart dan ook zorgen dat er een *mismatch* is geconstateerd tussen de behoefte van de medicus, de mogelijkheden die de technologie biedt en het gebruik in de praktijk. Daarbij komt de discrepantie tussen de vereiste en de aanwezige competenties bij de medische gebruikers van technologie aan het licht. Adequate analyse van medische problemen met het oog op inzet van technologie, en de verantwoorde implementatie van technologische oplossingen in de klinische praktijk, dienen derhalve grote aandacht te krijgen in klinisch onderzoek en in opleidingen voor technisch medische professionals. De opleiding Technische Geneeskunde met de toegepaste ingenieursaanpak als belangrijk kenmerk in de context, kan daarin voorzien.

We hebben betoogd dat het falen van adequate inzet van medische technologie toegeschreven kan worden aan enerzijds de nadruk bij de implementatie van technologie op de technologie zelf in plaats van op functies die de technologie kan vervullen, en anderzijds op de aard en inhoud van de expertise die weinig flexibiliteit toelaten bij de oplossing van medische problemen waarbij

technologische inzet mogelijk is. Geconcludeerd kan worden dat deze *mismatch* ten eerste wordt veroorzaakt door een problematische afstemming van de medische technologie op de zorgvraag, mede het gevolg van een onvoldragen probleemanalyse. Ten tweede is er een *mismatch* als gevolg van de aard van de training van medische professionals. Routinematige opbouw van de uitvoering van taken, door sterke proceduralisatie, veroorzaakt onvoldoende flexibiliteit in de benutting van medische technologie.

Voor benutting van medische technologie ten behoeve van individuele patiënten in de gezondheidszorg is er behoefte aan een transformatie van het algemene door de ingenieur gegeneraliseerde ontwerp naar een voor de patiënt geïndividualiseerde toepassing. Deze vertaling dient te worden gedaan door professionals die de technologie kunnen bewerken naar behoefte van de individuele patiënt en daarbij is begrip van technologie en van het menselijk systeem wenselijk. Fouten in gebruik (medische) technologie lijken voort te komen uit een gebrek aan deze vertaalslag van *high-tech* medische apparatuur naar doeltreffend en veilig gebruik bij de individuele patiënt. Daarbij wordt de discrepantie tussen de vereiste en de aanwezige competenties bij de medische gebruikers van technologie duidelijk en kan de opleiding Technische Geneeskunde met de toegepaste ingenieursaanpak als belangrijk kenmerk in de context van Modus 2 in een oplossing hiervoor voorzien.

Technologie kan als doel worden ingezet door onderwijs te geven over wetenschappelijke ontwikkelingen en innovaties op gebieden, zoals Tissue Engineering, Robotica, Imaging, Nanomedicine, Virtual Reality, Signaalanalyses, en Neurostimulatie.

Deze inhoudelijke kant van de technologie kan worden gekoppeld aan een combinatie van ontwerpfasen en doelen waarvoor technologie kan worden benut als onderwijsvorm. De ontwerpbeurt kan daarom voor het onderwijs in de Technische Geneeskunde dienst doen. Zij voorziet in een systematische en flexibele methodologie, die erop is gericht situaties en structuren te optimaliseren door een iteratieve analyse, gevolgd door een ontwerp- en ontwikkelfase, waarna de ontwikkelde interventie wordt geëvalueerd en geïmplementeerd.

Om optimaal de kracht en effectiviteit van technologie voor gebruik in het proces van 'medisch probleem oplossen' te kunnen benutten is een adequate inzet vereist, waarbij er aandacht is voor analyse, oplossingsbepaling, implementatie en evaluatie van technologische interventies. Het veilig, effectief en efficiënt gebruik van hoogwaardige technologie vereist echter niet alleen inzicht in de achtergronden van de technologie, maar ook in het effect ervan op het menselijk individu en vice versa, het effect van het menselijk individu op de technologie.

Een vereiste dient zich aan, namelijk een wetenschappelijke, medische en technische fundering, die wordt gerealiseerd in een nieuwe discipline waarin zowel het technische als het medische domein zijn geïntegreerd in een nieuw expertise-domein.

Technologie kan ook gezien worden als doel, als middel of als onderwijsvorm. Er is sprake van een technologie als doel als studenten inzicht moeten verwerven in technologische concepten en principes. Technologie kan als middel dienen, als met behulp van simulatoren vaardigheden worden getraind. En technologie kan een rol spelen als onderwijsvorm, namelijk via toepassing van de ontwerpbeurt.

De analyse van het ontwerpproces dat in dit proefschrift wordt beschreven, beoogt een conceptuele en operationele ontmoeting te arrangeren tussen de arts en de ingenieur ten einde adequate technische oplossingen voor medische problemen te realiseren. Een verbandswetenschap (*linking science*), met een combinatie van medisch onderzoek en

technologie, aan de ene kant, en de werkwijze van de praktijkbeoefenaar, door een technisch-medische praktijkuitvoering, aan de andere kant, met een geïntegreerde professionele kennisbasis voor het ontwerpen en ontwikkelen van technologische oplossingen voor medische problemen, kan deze ontmoeting arrangeren.

Onderdeel van de opleiding is het zorgdragen voor een eigen probleemoplossende strategie, vandaar dat het volgende hoofdstuk de strategieën belicht van de arts en de ingenieur om daarmee de gewenste probleemoplossende strategie van een technisch geneeskundige te kunnen vaststellen.

HOOFDSTUK 4

TECHNISCH-MEDISCH PROBLEEM OPLOSSEN

HOOFDSTUK 4 TECHNISCH-MEDISCH PROBLEEM OPLOSSEN

4.1 Inleiding

Uit het voorgaande hoofdstuk komt naar voren dat er met de introductie van medische technologie ook een nieuw type medisch probleem is ontstaan: technisch-medische problemen. Hierbij gaat het om problemen met de inzet van technologie in de directe patiëntenzorg waarbij de benodigde combinatie van technisch-medische expertise niet of niet voldoende aanwezig is. In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de verschillende typen medische problemen en hoe technisch-medische problemen binnen deze typering vallen. Daarna wordt beschreven hoe de twee typen zorgprofessionals die het meest te maken hebben met deze technisch-medische problemen, geleerd hebben om problemen in de praktijk op te lossen: artsen en ingenieurs. Ten slotte volgt de beschrijving van de wijze waarop technisch geneeskundigen technisch-medische problemen oplossen. Deze beschrijvingen hebben tot doel aan te tonen dat technisch geneeskundigen zich van medici onderscheiden doordat ze zich hebben ontwikkeld tot adaptieve experts. De medici daarentegen zijn met name routine-experts. Om een adaptief expert te worden, moet een andere aanpak voor het (leren) oplossen van medische problemen worden aangeleerd en is dus een ander type opleiding nodig.

Alle academisch gevormde professionals leren de empirische cyclus te gebruiken als wetenschappelijke methode voor probleem oplossen (De Groot & Spiekerman, 1969). Zij ontleen hypothesen uit observaties van fenomenen, toetsen de hypothesen in experimenten, evalueren de resultaten en trekken hun conclusies over het onderzochte fenomeen. Deze methode is uitstekend geschikt voor het genereren van nieuwe kennis en de ontwikkeling van theorieën. Maar voor het oplossen van klinische problemen in de gezondheidszorg, lijkt deze wetenschappelijke methode minder geschikt. Groen & Patel (1985) stellen dat het de vraag is of ervaren artsen de empirische cyclus (in hun termen de hypothetico-deductieve methode) gebruiken bij het ontwikkelen van diagnoses. Dit is volgens hen met name de vraag wanneer er sprake is van routinematige klinische gevallen. Twee overwegingen hebben zij daarbij. Ten eerste vragen zij zich af of de empirische cyclus dé wetenschappelijke methode is. En ten tweede stellen zij dat uit cognitief-psychologisch onderzoek naar verschillen tussen experts en beginners, blijkt dat juist de beginners gebruik maken van de empirische cyclus. Het wetenschappelijk gefundeerd oplossen van problemen, in dit geval medische problemen, kent een leerproces dat niet alleen qua aanpak een verschil laat zien tussen beginners en experts maar ook een verschil tussen experts. Dat laatste verschil is voor een belangrijke deel het gevolg van de wijze waarop het leer- of opleidingsproces is ingericht.

Als resultaat van het opleidingsproces kunnen twee typen experts ontstaan (Hatano & Inagaki, 1984): routine-experts en adaptieve experts. Veel opleidingsprocessen leiden tot routinematige expertise als gevolg van de nadruk op oefening en van de natuurlijke neiging tot automatisering van de uitvoering van taken (zie onderzoek naar contextuele interferentie, Van Merriënboer, De Croock, & Jelsma (1997); Albaret & Thon (1998); Schneider, Healy, & Bourne (2002)). Deze vorm van expertise kenmerkt zich door een routinematige uitvoering van op zich complexe en *sophisticated* vaardigheden en de uitvoerders kunnen een hoog niveau van uitvoering bereiken.

Routine-experts worden gaandeweg efficiënter in de uitvoering van vaardigheden, maar de uitvoering blijft routinematig (Martin, Rayne, Kemp, Hart, & Diller, 2005).

Adaptieve expertise refereert aan het vermogen om domeinspecifieke kennis en ervaring te gebruiken in het oplossen van problemen in onverwachte situaties (zie ook Patel et al. (2000); Mylopoulos & Regehr (2009)). Adaptieve experts hebben het vermogen flexibel om te gaan met de vaardigheden die op zich geautomatiseerd zijn, maar kunnen veranderen indien de situatie dat verlangt. Het onderscheid tussen routine-experts en adaptieve experts zien we ook terug in het model voor klinisch redeneren dat Marcum (2012) presenteert. Hij maakt een onderscheid tussen non-analytische en analytische cognitieve processen.

De non-analytische processen kenmerken zich door snelle patroonherkenning, gebaseerd op eerdere ervaringen, en zijn veelal *tacit* (onbewust) van aard. Analytische processen daarentegen zijn cognitief en reflectief van aard, ze spelen zich bewust af om een klinisch oordeel te kunnen vellen.

Het proces van klinisch redeneren, en de wijze waarop verschillende typen experts daarmee omgaan, laat zich ook uitbeelden door het medisch probleem dat moet worden opgelost. In de volgende sectie gaan we daarom in op typen (medische) problemen en de wijze waarop deze worden opgelost door middel van een proces van klinisch redeneren.

4.2 Medische problemen

Over de typering van medische problemen, alsmede van de wijze waarop deze problemen ervaren worden door artsen en waarop de behandeling effectief kan worden uitgevoerd, is een interessant overzicht verschenen (Holmberg, 2013) dat in het vervolg van dit hoofdstuk benut zal worden. Holmberg haalt onderzoek aan waaruit blijkt dat hypothesevorming bij medische problemen niet plaats vindt op grond van systematisch verzamelde informatie, maar het gevolg is van het benutten van enkele *cues* die onmiddellijk worden herkend. Medisch probleem oplossen kan daarmee getypeerd worden als een persoonlijke inkleuring door een arts van het proces van herkennen van patronen. Daardoor wordt hypothesevorming sterk bepaald door de eerste indrukken van de arts. Onderzoek toont volgens Holmberg dan ook aan dat de mate van bekendheid en onmiddellijke herkenbaarheid de belangrijkste factoren bij medisch probleem oplossen zijn en dat deze herkenning en eerste indrukken vooral het resultaat zijn van ervaring met ziekten en diagnostiek. Wat betreft de mate van herkenbaarheid kan een onderscheid worden gemaakt tussen '*obvious problems*' en '*diffuse problems*'. De herkenbaarheid van '*obvious problems*' geschiedt op basis van duidelijk vastgelegde symptomen (voorbeelden: fracturen, reumatoïde artritis). De herkenbaarheid van '*diffuse problems*' wordt bemoeilijkt door een gebrek aan classificatie als gevolg van moeilijk herkenbare en vastgelegde symptomen (voorbeelden: kanker, tuberculose). Belangrijk bij probleem oplossen en stellen van diagnoses is volgens Holmberg de vraag of er adequate technologie voorhanden is. Hij maakt een onderscheid in perfecte en imperfecte technologie. Gecombineerd met de twee typen problemen ontstaat een model voor de classificatie van medische probleem oplossingsprocessen, die als volgt kunnen worden getypeerd: *cure processes*, *care processes*, *treat processes* en *trial processes* (zie Figuur 4.1.).

Technology	Problem			
	Obvious		Diffuse	
Perfect	Tonsillitis	prevention	Dyspepsia /	Gastritis
	Small	wounds	Peptic ulcer	Tuberculosis
	Vaccinations			
	Pneumonia			
Perfect	Cure processes		Treat processes	
	Most fractures	Some lung	Appendicitis	Tumour in
	Patella fracture	tumours		brest or
	Hip fracture			thyroid
Imperfect	Pleurisy	Silicosis	Some psychiatric diagnoses	
	Stroke	Psoriasis	Alzheimer's disease	
	Care processes		Trial processes	
	Rheumatoid arthritis		Tumour in colon or	
Imperfect	Most lung tumours		pancreas	
			Existential problems	

Figuur 4.1. Indeling in medisch probleem oplossen volgens (Holmberg, 2013)

Probleem oplossen, gebruik makend van het schema uit Figuur 4.1, kan gezien worden als de overkoepelende term die verwijst naar de basisactiviteit van de menselijke cognitie en vormt daarmee de aanzet tot de verwerving van kennis en vaardigheden, en van cognitieve constructen die menselijke expertise representeren. De ontwikkeling van de menselijke expertise kan geschieden door exploratie van de omgeving, door objecten en gebeurtenissen te isoleren en te categoriseren, door veronderstellingen te uiten over het hoe en waarom van deze objecten en gebeurtenissen en over hoe ze in de tijd veranderen, en hoe artefacten kunnen worden gemaakt om in behoeften voortkomend uit geconstateerde problemen, te voorzien. Een interessante en werkzame indeling in probleemttypen die hierop gebaseerd is, is (Dijkstra & van Merriënboer, 1997): categorisatie- of beschrijvingsproblemen, verklaringsproblemen en ontwerpproblemen.

Bij categorisatieproblemen moeten objecten en gebeurtenissen toegekend worden aan categorieën. In het geval van een ziekte of klacht van een patiënt kan de klacht toegewezen worden aan een ziektecategorie, waardoor een diagnose kan worden gesteld. Hier kunnen wij direct de relatie leggen met de categoriserende wijze waarop Darwin tot zijn theorie kwam (zie hoofdstuk 3). De 'obvious problems' van Holmberg (2013) zijn te bestempelen als categorisatieproblemen. Op deze wijze ontwikkelt zich kennis over een begrip, een relatie tussen begrippen, een conceptueel netwerk of een beschrijvingssysteem (descriptieve theorie). Het veelvuldig oplossen van categorisatieproblemen kan op den duur leiden tot geautomatiseerde relaties tussen het optreden van een gebeurtenis en het toekennen van een categorie als oplossing van het probleem. Het stellen van een diagnose kan daardoor een routinematige activiteit worden, met het gevaar in zich dat de toekenning van een categorie c.q. begrip gebeurt op basis van een onvolledige verzameling van kenmerken van het begrip.

Bij verklaringsproblemen gaat het om het ontwikkelen en gebruik van wetmatigheden (principes), van causale netwerken, en van verklarende theorieën. Hypotheses worden opgesteld over een mogelijke relatie tussen een gebeurtenis of actie (onafhankelijke variabele) en het effect ervan

(afhankelijke variabele) te kunnen verklaren. Ook kan een gefundeerde voorspelling worden gedaan over de verandering van een object na verloop van tijd. De aldus zich ontwikkelende verklarende theorieën voorspellen veranderingen aan objecten en gebeurtenissen of aan systemen van objecten en kunnen leiden tot het begrijpen van onderliggende werkzame mechanismen.

Met behulp van een verklarende theorie kan een arts een diagnose beredeneren en onderbouwen en een verklaring geven voor het effect van de gestelde diagnose en de daarop gebaseerde behandeling. Het hanteren van een verklarende theorie kan een arts behoeden voor een drastische conclusie (in feite categorisatie) op grond van onvolledige en soms zeldzame kenmerken van een klacht. In termen van Holmberg (2013) kunnen we hier verwijzen naar 'diffuse problems'. De aldus benutte cognitieve flexibiliteit, in staat zijn een probleem van verschillende perspectieven te benaderen, maakt de arts tot een adaptieve expert (Hatano & Inagaki, 1984). Hatano bespreekt aspecten van ervaring die mogelijk verantwoordelijk zijn voor de ontwikkeling van theoretisch inzicht en dat daarmee ervaring ontstaat die overgedragen (*transfer*) kan worden om nieuwe problemen op te lossen. Een mogelijke verklaring is dat ervaring moet zijn opgedaan in een behoorlijke variatie in contexten.

Voor het oplossen van ontwerpproblemen is de ontwikkeling van een artefact essentieel. De onderliggende werkwijze wordt veelal aangeduid met het hanteren van een technologie. Kennis van begrippen en verklaringen vormen de basis van het ontwerp en het bijbehorende cognitieve construct, de expertise, is de representatie van het artefact. Deze representatie bevat een plan, procedure of script, ook wel aan te duiden met technologie, volgens welke het artefact werkt en waarmee veranderingen en effecten in de loop van de tijd kunnen worden voorspeld. De theoretische basis is die van een prescriptieve of voorschrijvende theorie. De biomedisch ingenieur lost ontwerpproblemen op, door een artefact (een instrument, een mechanisme, een stof, e.d.) te ontwikkelen op grond van een prescriptieve theorie en volgens een bepaald plan waarin de veronderstelde effecten van het artefact zijn meegenomen. Eerder hebben we technologie gedefinieerd als het op systematische wijze toepassen van medisch-wetenschappelijke, natuurwetenschappelijke, technisch-wetenschappelijke en sociaalwetenschappelijke kennis ter oplossing van medische problemen. De werkwijze die daarbij kan worden gehanteerd, onder verwijzing naar hoofdstuk 1, wordt gekenmerkt door een probleemoplossende aanpak, afgeleid van de ontwerpleer, waarbij een systematische en flexibele methodologie wordt gebruikt, die erop is gericht artefacten te optimaliseren door (1) een iteratieve analyse, gevolgd door (2) een ontwerp- en ontwikkelfase, waarna de ontwikkelde interventie wordt (3) geëvalueerd en (4) geïmplementeerd.

Academici hebben vanuit hun eigen kennisdomein en de wijze waarop dat domein is gestructureerd bijbehorende probleemoplossende strategieën ontwikkeld. Een opleiding, en daarmee de kennisontwikkeling van de academicus, kan vooral gebaseerd zijn op het oplossen van categorisatieproblemen, op het oplossen van verklaringsproblemen, of het oplossen van ontwerpproblemen. In de volgende secties worden de probleemoplossende strategieën van artsen (veelal gebaseerd op het oplossen van categorisatie- en verklaringsproblemen) en biomedisch ingenieurs (gebaseerd op het oplossen van ontwerpproblemen) besproken. Van daaruit wordt de benodigde strategie van de technisch geneeskundige (combinatie van ontwerpproblemen en verklaringsproblemen) bepaald. Daarna laten wij zien hoe de probleemoplossende strategieën van Technisch geneeskundigen kunnen leiden tot een ander soort inzicht en gebruik van medische technologie, waardoor ze complementair zijn aan de andere

benaderingen. We sluiten het hoofdstuk af met de bepaling van een nieuwe vorm van expertise waarin de voorafgaand besproken vormen van probleem oplossen zijn geïntegreerd en aldus gesproken kan worden van een nieuwe expert: de Technisch geneeskundige.

4.3 Oplossen van categorisatieproblemen en verklaringsproblemen: arts

Het handelen van een arts start meestal met de klacht van een patiënt. Het klinisch redeneren dat in de opleiding (de Vries, Custers, & ten Cate, 2006) aangeleerd wordt, draait om het stellen van een diagnose, het afleiden van mogelijke differentiële diagnoses om van daaruit tot een advies voor behandeling te komen.

Om tot een oplossing van het probleem te komen, neemt de arts een anamnese af en doet lichamelijk onderzoek. Op basis van zijn bevindingen interpreteert de arts de klachten en vormt op basis van deze interpretatie een differentiële diagnose. Eventueel vraagt de arts aanvullend onderzoek aan om de diagnose te verfijnen. Zodra de diagnose is vastgesteld, is de oplossing van het probleem in principe bekend en kan behandeling beginnen.

Het proces van probleem oplossen verandert door de kennis en ervaring die een arts in de loop der tijd verwerft. De ontwikkeling van de domeinspecifieke expertise die kenmerkend is voor artsen wordt beïnvloed door (1) de verkregen soort en hoeveelheid domeinkennis en (2) de specifieke aanpak van problemen die ze in de opleiding leren (Schmidt & Boshuizen, 1993). In het huidige medische onderwijs krijgen aankomende artsen eerst vier jaar (bio)medische basisvakken met daaropvolgend twee jaar co-schappen in de klinische praktijk. Deze structuur van het medische curriculum is vrijwel overal in Nederland hetzelfde en tevens onafhankelijk van de onderwijsprincipes die ingezet worden om kennis over te dragen en een probleemaanpak aan te leren (Ten Cate & Fluit, 2010).

Aan het begin van de basisopleiding hebben artsen nog weinig domeinkennis en weinig ervaring met het oplossen van medische problemen. De kennisbasis van medische studenten bestaat voornamelijk uit fragmentarische kennis die ze opgedaan hebben uit boeken en colleges. Daarnaast hebben studenten weinig tot geen inzicht in hoe de variatie van bepaalde ziektes uiteindelijk tot uitdrukking komt in diverse patiënten. Beperkte domeinkennis en klinische kennis zorgt ervoor dat studenten hypothese-toetsend te werk gaan. Vanaf het eerste contact met een patiënt stellen studenten een differentiële diagnose op (alle mogelijke aandoeningen waar een patiënt gegeven de klachten en symptomen aan zou kunnen lijden) en deze worden via een complex redeneerproces getoetst. Deze probleemaanpak is tijdrovend en vergt veel mentale inspanning, mede doordat studenten veel informatie verzamelen omdat ze relevante en irrelevante informatie nog niet goed kunnen onderscheiden (Patel, Arocha, & Zhang, 2005).

Waar beginnende artsen nog expliciet de empirische cyclus volgen, baseren experts daarentegen hun diagnoses veeleer op hun in de loop van de tijd opgedane en verder ontwikkelde kennis. Na de publicatie van het onderzoek van Groen & Patel (1985) is het onderzoek naar medisch probleem oplossen zich gaan richten op de rol van medische expertise. Bovendien bleek uit een overzicht van onderzoek op het terrein van expertise van (Chi, 2006) dat experts vooral verschillen van beginners door het bezit van diepe en uitgebreide kennis op hun vakgebied en de wijze waarop zij die kennis benutten bij het oplossen van problemen. Schmidt en Boshuizen (o.a.

Schmidt & Boshuizen (1993)) beweren dat de constatering van Chi en Patel te algemeen zijn en te weinig zeggen over de ontwikkeling van expertise. Zij introduceren een nieuwe aanpak en gebruiken daarvoor het domein van de medische expertise.

De opvatting van Schmidt en Boshuizen (1993) is dat kennisstructuren verschillen tussen beginners en experts, maar dat deze kennisstructuren niet zozeer bestaan uit pathofysiologische kennis maar eerder bestaan uit kennis over het ontstaan, de relevante kenmerken en het verloop van ziekten. Zij duiden deze op ervaring met patiënten gebaseerde kennis aan met '*illness scripts*'. Een *illness script* kan worden beschouwd, zoals eerder beschreven, als een schematisch mentaal model waarin prototypische informatie over een ziekte is opgeslagen. *Illness scripts* stellen artsen in staat om via patroonherkenning snel en nauwkeurig diagnoses te stellen, ofwel: om problemen op te lossen. De arts herkent in een huidige patiënt symptomen, bijv. pijn op de borst, die overeenkomen met symptomen van patiënten met een bepaalde ziekte, bijv. arteriosclerose, die hij eerder heeft gezien. Met het toenemen van ervaring en het opbouwen van expertise, heeft de arts voldoende fundamenteel inzicht in de onderliggende principes van gezondheid en ziekte en is minder afhankelijk van extra wetenschappelijk onderzoek (Schmidt & Boshuizen, 1993).

Alhoewel medici in de loop van hun opleiding uitgebreid kennismaken met biologische en pathofysiologische processen, wordt deze kennis volgens Schmidt en Boshuizen naarmate de studenten kennismaken met werkelijke patiënten ingekapseld ('*encapsulated*') en bestaat deze veelal uit causale modellen die meestentijds bestaan uit diagnostische labels die verwijzen naar ziektekenmerken en -symptomen. Het onderscheid tussen de hypothetico-deductieve methode en het gebruik van *illness scripts* is nog wel onderwerp van onderzoek en discussie (zie onder meer Hardin (2003)) maar de toepassing van de cognitieve theorie om ontwikkeling van medische expertise en het onderscheid tussen beginnende en gevorderde medici te duiden (bijv. (Patel et al., 2000)) blijkt toch een stevige basis te zijn voor de inrichting van de opleiding van medische professionals. Medische studenten die aldus worden opgeleid om klinisch te kunnen redeneren, koppelen theorie aan de klachten en symptomen van de individuele patiënt, zie Fuks, Boudreau, & Cassell (2009). Het resultaat van de opleiding is daarmee een combinatie van domeinspecifieke kennis en vaardigheden in klinisch redeneren ter categorisatie en verklaring en vervolgens oplossing van een medisch probleem.

Het verwerven van domeinkennis en het toepassen van deze kennis bij het oplossen van problemen hangen sterk met elkaar samen. Een uitgebreide kennisbasis van domeinspecifieke kennis stelt artsen in staat om de problemen waarmee ze in de praktijk worden geconfronteerd effectief en efficiënt op te lossen (de Vries et al., 2006). Het betreft hier vooral categorisatieproblemen. De kenmerken van het probleem bepalen tot welke categorie de klacht behoort, en daarmee is de diagnose nagenoeg bepaald. Vervolgens zal via verworven en grotendeels geautomatiseerde causale als-dan constructies, in feite de categorisatie, de arts tot een behandeling besluiten. Doordat ervaren artsen adequate procedures (als-dan constructies) en minder uitgebreide procesanalyses gebruiken beschikken zij in toenemende mate over een arsenaal aan *illness scripts* en kunnen zij efficiënte en effectieve patiëntenzorg verlenen. Figuur 4.2 beeldt het proces uit waarin elementen van probleemttypen en oplossingswegen (beide via klinisch redeneren) een belangrijke rol spelen bij de vaststelling van de diagnose en het bepalen van de behandeling. Dit proces kan door een proces van automatisering leiden tot een expertniveau, waarmee artsen op grond hiervan kunnen worden gerekend tot de routine experts (Hatano & Inagaki, 1984). Voor hun dagelijkse routines kunnen zij dan vertrouwen op hun

klinische ervaring die voor een belangrijk deel is gebaseerd op patroonherkenning (Marcum, 2012). Zodra studenten beginnen met hun co-schappen leren ze domeinkennis toe te passen om medische problemen in de praktijk aan te pakken. Door het toepassen van domeinkennis wordt deze geïntegreerd met kennis over de uiting van diverse ziektes (ziektebeelden) bij patiënten. Er beginnen zich uitgebreide netwerken van causale biomedische en klinische kennis te vormen; de opgedane kennis wordt 'geëncapsuleerd' (Schmidt & Boshuizen, 1993). Deze 'encapsulatie' leidt ertoe dat grote hoeveelheden kennis snel kunnen worden geactiveerd en toegepast bij een specifieke patiënt met een specifiek probleem.

Figuur 4.2. Medisch probleem oplossen

Het proces van probleem oplossen van beginner tot expert verandert dus van een expliciete, tijdrovende en ineffektieve strategie in een snelle, effectieve en efficiënte strategie gebaseerd op patroonherkenning. Terwijl de beginnende arts nog een uitgebreide probleemanalyse moet uitvoeren om vervolgens regelmatig bij de verkeerde diagnose uit te komen, kan de medisch expert vertrouwen op zijn kennis en ervaring en snel tot een juiste diagnose komen. Bij het oplossen van problemen worden artsen steeds minder afhankelijk van een fundamenteel inzicht in het onderliggende systeem en kunnen zij meer vertrouwen op hun klinische ervaring en patroonherkenning (Patel et al., 2005).

Bovenstaande is te herkennen in de wijze waarop medisch professionals worden opgeleid. Dit opleiden tot denken en probleemoplossend handelen van een medisch professional kenmerkt zich door een drietal aspecten. Ten eerste zijn in het medisch denken en probleemoplossend handelen van de arts de klachten van de patiënt altijd het startpunt. Ten tweede wordt de oplossing gezocht in bestaande medische kennis. Artsen worden opgeleid in bestaande kennis en methodieken. Als laatste is de meester-gezel cultuur bepalend voor de manier waarop die bestaande kennis en vaardigheden worden overgedragen, zowel in het onderwijs als in de praktijk (Zie ook het

raamplan van de opleiding Geneeskunde met de niveaus tot en met de fase van beginnend beroepsbeoefenaar schema 1; Figuur 4.3). Met name tijdens de medische vervolgopleiding als arts-assistent wordt het meester-gezel model gehanteerd voor de overdracht van kennis en vaardigheden en vindt een cruciale ontwikkeling in medische expertise plaats. Wat de arts-assistent (gezel) leert wordt grotendeels bepaald door de, per definitie, hoeveelheid kennis en vaardigheden die de specialist (meester) bezit. Het leren van de arts-assistent wordt dus begrensd door het weten van de specialist. Op het moment dat de specialist wordt geconfronteerd met een probleem waar hij geen oplossing voor heeft, wordt het leren van de arts-assistent belemmerd. Het trainen in bestaande kennis en handelen heeft als voordeel dat medisch experts in hoge mate efficiënt en gespecialiseerd zijn in hun specifieke medische domein.

Figuur 4.3. Fasen tot en met het niveau van beginnend beroepsbeoefenaar

NIVEAUS TOT EN MET FASE VAN BEGINNEND BEROEPSBEOEFENAAR	
Niveau	Omschrijving
I	De student heeft kennis van en inzicht in medische relevante wetenschapsgebieden. De student toont in gestandaardiseerde situaties te beschikken over medisch relevante vaardigheden. De student toont te beschikken over basisvaardigheden professioneel gedrag.
II	De student gebruikt kennis, vaardigheden en professioneel gedrag geïntegreerd bij de adequate* aanpak van de in het competentieplan opgenomen technisch medische vraagstukken. De student toont deze bekwaamheid in contextrijke testsituaties.
III	De student voert de in de competenties van de arts omschreven professionele activiteiten adequaat* uit in specifiek daartoe ingerichte opleidingssituaties en/of gesimuleerde beroepssituaties.
IV	De student voert de in de competenties van de arts omschreven professionele activiteiten met voorafgaande casus specifieke instructie en intensieve begeleiding door een ervaren beroepsbeoefenaar, in een authentieke beroepssituatie adequaat* uit (de meester geeft een expliciete opdracht)
V	De student voert de in de competenties van de arts omschreven professionele activiteiten in een authentieke beroepssituatie zelfstandig adequaat* uit. Een ervaren beroepsbeoefenaar is op afroep door de student direct beschikbaar en geeft steeds achteraf supervisie (de meester beoordeelt)
*Van adequaat uitvoeren van professionele activiteiten is sprake als het handelen in overeenstemming is met de actuele stand van de wetenschap en de geldende standaarden en richtlijnen van de beroepsgroep.	

Het proces van probleem oplossen van de arts wordt dus gekenmerkt door het toepassen van actuele, state of the art kennis en vaardigheden, zowel in diagnostiek als in behandeling bij individuele patiëntproblemen. Het geleidelijk automatisch verlopende proces heeft als doel het oplossen van specifieke patiëntproblemen met behulp van wetenschappelijk gevalideerde medische kennis (*evidence based knowledge*) en ervaringskennis (*experience based knowledge*).

Beginnende artsen kunnen erop vertrouwen dat zij voor de oplossing van een probleem, waar zij zelf niet uitkomen, terecht kunnen bij hun meer ervaren collega's. Medisch experts kunnen op hun beurt erop vertrouwen, dat zij met de bestaande medische kennis, veel medische problemen kunnen oplossen.

Hier ontstaat de uitdaging bij het gebruik van technologie in de opleiding. Zeker bij nieuwe of ingewikkelde technologie is er geen meester. Er is dus geen beoordelaar die constateert wat goed is en wat fout. Hier is ook nog geen routine om op terug te vallen. Hierbij moet iemand in staat zijn om op basis van eigen deskundigheid een optimale toepassing vast te stellen. De vraag is of de beginnend arts in staat is een niet-routine situatie rondom technologie te herkennen. In de opleiding dient er daarom voor worden gewaakt dat er niet te snel routines, in de zin van geautomatiseerde *illness scripts*, worden opgebouwd waardoor onwenselijke automatisering ontstaat in het gebruik van medische technologie. Deze automatisering leidt tot een situatie waarin de beginnend arts tot *labeling* in staat is, maar waarbij de ingekapselde kennis niet meer toegankelijk is. Aldus ontstaan er beperkingen in de uitdrukking van medische expertise die zich manifesteren bij niet-routinematige, vaak technologisch gerelateerde situaties en bij het niet adequaat herkennen van dit type niet-routinematige situaties. Deze medische expertise kent geen flexibele inzet, de transfer blijft beperkt tot *near transfer* (overdracht van kennis en vaardigheden naar vergelijkbare contexten tussen leren en benutten) en het klinisch redeneren gebeurt zonder inzet van metacognitieve vaardigheden.

4.4 Oplossen van ontwerpproblemen: biomedisch ingenieur

Voor het oplossen van ontwerpproblemen is de ontwikkeling van een artefact essentieel. Een artefact heeft meer betekenissen. Het is ofwel een construct door mensen gemaakt (archeologie of een kunstwerk) of het is een ongewenst nevenverschijnsel bij geluidsopnames, fotografische processen of microscopische beelden. Maar het kan ook een misleidende aanwijzing zijn die het gevolg is van de keuze voor een bepaalde onderzoeksmethode. Hier wordt duidelijk de eerste betekenis bedoeld, namelijk dat de ingenieur iets maakt. Op basis van kennis en inzicht in onderliggende systemen creëert de ingenieur iets nieuws.

De biomedisch ingenieur lost ontwerpproblemen op door een artefact, bijvoorbeeld een instrument, een mechanisme, een stof, e.d. te ontwikkelen. Aan deze oplossing ligt een werkwijze ten grondslag waarbij de biomedisch ingenieur op een systematische wijze theorie toepast in een complexe situatie, vaak op basis van incomplete informatie en waarin de veronderstelde effecten van het artefact zijn meegenomen (vergelijk Smith (1988)). Eerder hebben we technologie gedefinieerd als het op systematische wijze toepassen van medisch-wetenschappelijke, natuurwetenschappelijke, technisch-wetenschappelijke en sociaal-wetenschappelijke kennis ter oplossing van medische problemen. Het plan dat daarbij kan worden gehanteerd wordt gekenmerkt door een probleemoplossende aanpak, afgeleid van de ontwerpleer, waarbij een

systematische en flexibele methodologie wordt gebruikt, die erop is gericht artefacten te optimaliseren door (1) iteratieve analyse, gevolgd door (2) een ontwerp- en ontwikkelfase, waarna de ontwikkelde interventie wordt (3) geëvalueerd, inclusief een formatieve evaluatie die het mogelijk maakt het artefact op de veronderstelde effecten te toetsen, en (4) vervolgens geïmplementeerd.

Volgens Meijers et al. (2005) geldt voor de technische universiteiten dat zij naast de academische vorming recht moeten doen aan de complexe wereld van de ingenieurswetenschappen. Dus wordt naast theorievorming ook aandacht geschonken aan ontwerpen en toepassen. Het gaat dan niet alleen om analyse, modellering, verklaring of interpretatie van fenomenen, maar vooral om de synthese van kennis ten behoeve van het ontwerpen en maken van nieuwe technische artefacten en systemen in een concrete maatschappelijke context. Daarom zijn voorstellingsvermogen, creativiteit, probleemoplossend vermogen en integratie belangrijke kenmerken van een academisch gevormde ingenieur. Het vermogen tot ontwerpen mag als een van de belangrijkste competenties worden beschouwd. Ontwerpen betekent hier een synthetische activiteit gericht op de totstandkoming van nieuwe of gewijzigde artefacten of systemen met de bedoeling waarden te creëren conform vooraf gestelde eisen en wensen (Meijers et al., 2005).

In een opleiding tot ingenieur is het van belang dat er binnen de kennis en vaardigheden verwerving aandacht is voor dimensies binnen dit leren, waar binnen niveaus kunnen worden vastgesteld. Meijers et al. (2005) noemen dit de dimensies die kenmerkend zijn voor het academisch denken en handelen van een ingenieur. Zij onderscheiden een *analytische dimensie*, waarin een deelsysteem of deelprobleem wordt uiteengerafeld tot kleinere eenheden. Hoe groter het aantal betrokken elementen, hoe complexer het probleem. Een *synthetische dimensie*, waarin elementen worden samengevoegd tot een samenhangende structuur, die een bepaald doel dient. Het resultaat kan een artefact zijn, een theorie, interpretatie of model. Een *abstracte dimensie*, waarin een uitspraak, model of theorie op een hoger aggregatieniveau wordt gebracht waardoor deze op meer situaties van toepassing kan zijn. En een *concrete dimensie*, waarin de algemene beschouwingswijze kan worden toegespitst op een voorliggend geval of situatie (Meijers et al., 2005).

Het probleemoplossend proces van een (biomedisch) ingenieur wordt gekenmerkt door het hanteren van deze dimensies in het streven naar nieuwe kennis en inzichten. Dus via analyseren, synthetiseren, abstraheren dan wel concretiseren komen tot innovaties, waarbij wetenschappelijke evidentie kan worden ingezet voor een soepel verloop van het probleemoplossend proces. Deze evidentie is op wetenschappelijke wijze verkregen en bestaat uit geverifieerde kennis die een zodanige verdere behandeling heeft ondergaan dat er betrouwbaar mee kan worden omgegaan (Van den Kroonenberg et al., 1996). Ingenieurs verschillen daarin van meer fundamentele wetenschappers dat het probleem oplossen voornamelijk gericht is op het vinden van innovatieve oplossingen voor problemen (Christiansen & Rump, 2007; Smith, 1988). Voor het merendeel betreft dit actuele problemen, maar ook toekomstige problemen, die nu nog niet eens zijn onderkend (Smith, 1988). Technologie wordt ontwikkeld op zoek naar problemen die hierdoor kunnen worden opgelost (Wieringa, 2009).

Figuur 4.4. Technologisch probleem oplossen

De probleemoplossende strategie in het ingenieursdomein (zie Figuur 4.4.) wordt gekenmerkt door een uitgebreide probleemanalyse, wat mede benoemd is in een onderzoek van Hartman naar de expertise van de ingenieur (Hartman, 2004). Ligt de nadruk bij de arts op de systematische analyse (anamnese) om te komen tot een adequate (bekende) oplossing, bij de ingenieur ligt de nadruk op het vinden van een nieuwe (onbekende) oplossing. Christiansen & Rump (2007) geven aan dat de problemen waar ingenieurs aan werken, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de diagnostische problemen waar artsen aan werken, vele dagen, weken, dan wel jaren kunnen beslaan. Daarbij stellen zij dat de uitkomst van het probleem oplossingsproces in hoge mate onvoorspelbaar is: het gaat om unieke problemen waar veel, vaak zeer verschillende oplossingen voor mogelijk zijn. De intensieve probleemanalyse resulteert in het ontdekken van generiek valide regelmatigheden (algoritmes) over de onderliggende mechanismen van het probleem. De oplossing is gebaseerd op deze regelmatigheden en is gericht op het genereren van nieuwe kennis en inzichten en daarna op het ontwerpen van nieuwe technologie dan wel nieuwe technologische oplossingen.

Dit probleemoplossend proces van de biomedisch ingenieur leidt tot technologische oplossingen die toepasbaar zijn op generieke problemen, maar niet noodzakelijk toepasbaar voor een specifiek probleem van een arts of een patiënt, vergelijk Cook & Woods (1996). De resultaten van het technologisch onderzoek zijn zelden een nieuw, direct te gebruiken product. De industrie en het midden en klein bedrijf zijn erop gericht om resultaten uit onderzoek te vertalen naar verkoopbare producten. Ingenieurs werkzaam in deze branches zullen proberen producten te

ontwerpen op zoveel mogelijk problemen als mogelijk toepasbaar zijn. Ingenieurs vervullen daarmee de rol van innovatieve experts. Biomedisch technologische expertise kent daardoor ook zijn beperkingen: technologische oplossingen zijn toepasbaar op generieke problemen maar zijn niet direct toepasbaar op elke individuele patiënt. Bovendien maakt technologie gebruik van wetten en algoritmes en volgt de dimensie concretiseren op abstraheren, waardoor het concrete ontwerp altijd is gebaseerd op het hoogste abstractieniveau, waardoor een adequate toepassing op individueel patiënt-niveau niet gegarandeerd is.

4.5 Oplossen van ontwerp- en verklaringsproblemen: de technisch geneeskundige

Uit voorgaande analyses van zowel de medische expertise als de expertise van de ingenieur komt naar voren dat beide ontoereikend zijn als het gaat om het oplossen van technisch-medische problemen in de directe patiëntenzorg. Bij de arts is de technologische expertise met complexe medische technologie in veel gevallen in onvoldoende mate aanwezig. Bij de ingenieur is het inzicht in de vele variaties van hetzelfde ziektebeeld zoals die zich bij individuele patiënten kunnen manifesteren beperkt. Bij technisch-medische problemen die in de termen van Holmberg (2013) vanuit medisch oogpunt goed te verklaren zijn en waarbij de technologie uitgekristalliseerd is, zullen weinig problemen te verwachten zijn met de inzet van technologie. Echter, bij de andere typen van technisch-medische problemen zijn zowel inzicht in het ziektebeeld van de individuele patiënt als inzicht in de specifieke technologie een vereiste om deze technologie adequaat en veilig in te zetten bij een bepaalde patiënt.

Het zorgvuldig, systematisch, veilig en ook creatief gebruik van medische technologie in de directe patiëntenzorg kan geschieden door professionals die in staat zijn de synthese tot stand te brengen tussen geneeskunde en technologie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van oplossingsheuristieken voor ontwerp- en verklaringsproblemen. Technologen gaan uit van het algemeen gemiddelde van een patiëntenpopulatie en van algoritmes en wetten uit de natuurwetenschappen. Artsen zijn opgeleid tot klinisch redeneren, dus vanuit de patiënt specifieke anamnese en aanvullend onderzoek komen tot waarschijnlijkheidsdiagnoses. Het vaststellen van de waarschijnlijkheid gebeurt op basis van klinisch redeneren en het gebruik van *illness scripts*.

Het klinisch redeneren is een iteratief proces van waarschijnlijkheden bedenken en toetsen door middel van aanvullend onderzoek. Ook de technisch-medisch professional moet in staat zijn om klinisch te redeneren of te wel om vanuit waarschijnlijkheidsredeneringen te komen tot specifieke mogelijkheden voor diagnostiek en therapie en hier de technologische algoritmes en wetten op af te stemmen. De kernvaardigheid die hiervoor nodig is, is dat er een vertaling gemaakt moet kunnen worden van de door de ingenieur gemaakte generiek functionerende technologie naar de specifieke behoefte van de individuele patiënt.

Om de veiligheid en de adequaatheid te garanderen in het optimaliseren van bestaande technisch-medische interventies en technologisch gestoelde nieuwe toepassingen te vinden voor diagnostiek en therapie, is de aanpak van een wetenschapper gewenst, in combinatie met die van een professional in de klinische praktijk. Het begrip *scientist-practitioner*, in 1949 tijdens een conferentie van klinisch psychologen in Boulder (USA) geïntroduceerd, is hierop van toepassing. Shapiro (1985) verwijst in dit verband naar de dubbelrol die psychologen vervullen. Psychologen

als wetenschappers die bijdragen aan de kennisbasis van (in dit geval) de klinische psychologie (Wilson, 1994). Maar die ook een verplichting hebben om de kennisbasis te benutten om nieuwe procedures en interventies te ontwikkelen voor de behandeling van psychische klachten. Shapiro is van mening dat deze manier van werken, als wetenschapper en als *practitioner*, ook opgaat voor andere domeinen binnen de gezondheidszorg. In de *The Psychologist* wordt deze relatie en de benutting van de kennisbasis als volgt beschreven: *"The evidence base will always be incomplete, and its application to many clinical situations uncertain. The most compelling need for scientist-practitioner skills arises when the evidence is equivocal or lacking; well-established treatments can be cost-effectively delivered by expert therapists, who need not be scientist practitioners."* Hetzelfde geldt voor de relatie tussen technisch geneeskundige (*de scientist-practitioner*) en de arts (*expert therapist*). Met dit als uitgangspunt worden TG-ers tot *scientist-practitioners* opgeleid die als *linking scientists* in staat zijn om deze translaties en ontwerpen op een wetenschappelijk verantwoorde manier te maken (Hutschemaekers, 2010). Daarbij is wel een gemeenschappelijke taal vereist die de communicatie in goede banen leidt. Het verschil tussen de werelden van wetenschapper en professionele praktijk en bijgevolg de communicatie, speelt zich ook af het niveau van de kennisopvatting, in de aard en functie van kennis en kennisontwikkeling. Hierbij kunnen we verwijzen naar het in hoofdstuk 3 geïntroduceerde onderscheid tussen Modus 1 en 2 van kennisproductie (Gibbons et al., 1994). De eerste vorm (Modus 1) is de traditionele academische vorm waarbij de regie in belangrijke mate gevoerd wordt door het universitaire onderzoek. Het afleggen van rekenschap vindt plaats binnen het wetenschappelijke systeem, bijv. via 'peer reviewing'. De verspreiding van kennis verloopt hiërarchisch en lineair van kennisproductie via disseminatie en toepassing naar uiteindelijke innovatie in de praktijk. De tweede, meer recente, vorm van kennisproductie (Modus 2) is niet hiërarchisch georganiseerd en vindt in een praktijkcontext plaats.

De aard van de kennis tussen de twee modi is verschillend. In de eerste modus is sprake van formele, gecodificeerde en geëxpliciteerde kennis. In de tweede modus is de kennis impliciet en praktisch. Ook het proces van kennisontwikkeling verschilt. In de eerste modus verloopt dit overwegend via de experimentele methode, en is aanvankelijk in beperkte mate gerelateerd aan de professionele praktijk. Zij is gericht op theoretische en technologische vernieuwing en vindt vooral plaats via een RDD benadering (zie ook hoofdstuk 3). In de tweede modus verloopt de kennisontwikkeling vaak impliciet via 'learning by doing' in de professionele praktijk. Het proces kent een meer iteratief karakter van ontwikkelen, toepassen, evalueren, aanpassen en toepassen. Ook het proces van kennisdisseminatie verloopt anders in de twee modi.

Kennis uit de eerste modus wordt gecommuniceerd via boeken, tijdschriften, conferenties, e.d. Praktische kennis (tweede modus) is door zijn impliciete karakter moeilijker via schrift te communiceren en stroomt vooral via interpersoonlijke interacties door coaching, supervisie en intervisie (Eraut, 1994, 2000; Nonaka & Takeuchi, 1995).

Het onderscheid tussen de typen kennis is sterk gerelateerd en parallel aan het onderscheid tussen de partijen, onderzoeker, ontwerper en gebruiker, in de professionele praktijk. Beide typen kennis zijn in zichzelf beperkt en hebben elkaar nodig. Nadeel van modus 1 is een beperkte betrokkenheid van de eindgebruiker bij de ontwikkelde oplossing en daardoor een gebrekkig toepassen van de in een gecontroleerde onderzoekscontext geproduceerde kennis. Nadeel van modus 2 is een beperkte verspreiding van plaatselijk ontwikkelde kennis, waardoor men binnen elke professionele praktijk als het ware het wiel opnieuw moet uitvinden en er nauwelijks

cumulatie van kennis plaatsvindt. Door de verschillen in opvatting ontbreekt een gemeenschappelijke taal die communicatie over de verschillen heen, mogelijk moet maken. In de professionele praktijk van patiënten in een ziekenhuis of in een gesimuleerde werkelijkheid waarin de complexiteit is vervat, zal de student de vertaling moeten leren maken van de medisch-technische bevindingen naar de toepassing in de praktijk van de individuele patiënt. Daarbij zal de student een probleemoplossende strategie moeten leren toepassen en gaande de rit optimaliseren, zoals dat ook wordt voorgesteld via de het gebruik van *illness scripts* (Schmidt & Boshuizen, 1993). Maar er wordt ook verwacht om in dat kader oplossingen te onderzoeken en te implementeren, vervolgens effectieve procedures te beschrijven in klinische richtlijnen en de oplossing zelf te gebruiken in de directe patiëntenzorg. De voor deze vaardigheden noodzakelijke competenties dienen tijdens de opleiding te worden geleerd in zeer contextrijke leeromgevingen, zodat er sprake is van optimale transfer van kennis en vaardigheden en van een adequate opbouw van flexibel in te zetten *illness scripts*.

Studenten moeten diverse perspectieven in hun onderzoek naar oplossingen voor nieuwe problemen kunnen betrekken, en moeten in staat zijn frequent hun eigen kennis kritisch te beschouwen en uit te breiden waar nodig. Om een ontwerp of een oplossing aan te kunnen passen aan een lokale context, dient de TG-er over specifieke kennis en vaardigheden te beschikken van het ontwerpen en onderzoeken in een klinische context. TG-ers vertonen daarmee trekken van adaptieve experts (Hatano & Inagaki, 1984) in plaats van routine-experts.

Het handelen van de arts start met de vraag (klacht) van de patiënt. Het handelen van een ingenieur start met een technologische vraag (probleem) en het handelen van een Technisch geneeskundige start met de klinische vraag van de arts over een specifiek probleem van de patiënt. De TG-er vervult, zoals hierboven als *linking scientist* aangeduid, de rol van vertaler en intermediair tussen de professionele praktijk en de wereld van de ingenieurswetenschappen, zoals gevisualiseerd en geschematiseerd in Figuur 4.5.

Figuur 4.5. Overzicht probleemoplossende strategieën van arts, ingenieur en Technisch geneeskundige

Artsen roepen een TG-er in consult als zij een optimalisatie zoeken in het diagnostische dan wel het therapeutische traject van een specifieke patiënt, dat mogelijk met hulp van technologie kan worden opgelost. Dit betreft veelal moeilijke, toegepaste, klinisch gedreven vragen, zoals de diffuse problemen waar met imperfecte technologie gewerkt wordt waarover Holmberg (2013) schrijft. De TG-er start zijn handelingsverloop met een uitgebreide probleemanalyse, waarbij hij gebruik maakt van zijn inzicht in de anatomie en de fysiologie van het menselijk systeem en het onderliggende pathofysiologisch principe van de klacht van de patiënt. Dit inzicht relateert hij aan zijn kennis en inzichten van de structuur en functionaliteit van de technologie. De probleemoplossende strategie is om nieuwe mogelijkheden of optimalisatie te vinden voor het diagnostisch dan wel therapeutisch traject van deze specifieke patiënt. Hierbij is de TG-er in staat tot klinisch redeneren. Dus hij is in staat om de waarschijnlijkheid van de diagnose vast te stellen op basis van het specifieke verhaal van de patiënt en aangevuld met gericht onderzoek (veelal uitgevoerd door de TG-er zelf).

De praktijk van de TG-ers zou moeten zijn ingebed in de directe patiëntenzorg. Via een erkenning in de wet op de Beroepen in de Individuele Gezondheidszorg (BIG) kunnen zij zelfstandig bevoegd zijn om voorbehouden handelingen te indiceren en uit te voeren bij patiënten. De zelfstandige bevoegdheid hebben zij verkregen omdat zij beschikken over de kennis en het inzicht wanneer en hoe zij medische en technische kennis moeten toepassen. Zij zijn bekwaam in zowel onderzoeken als in ontwerpen en hebben een kritische attitude in hun onderzoek, ontwerpen en hun eigen professioneel gedrag. Op basis van een uitgebreide declaratieve kennisbasis, zullen de TG-ers vaardig moeten zijn in het toepassen van deze kennis in technische dan wel medische procedures, zoals het programmeren van een robotarm voor een operatie of het inbrengen van een maagsonde (voor het analyseren van de ademhalingspijpen) ofwel procedurele kennis.

Een belangrijk deel van hun expertise is het in kaart brengen van mogelijkheden en risico's van een interventie op basis van inzicht in de werking van de technologie en het menselijk lichaam, waardoor zij in staat zijn de technologie zo te gebruiken dat het risico wordt geminimaliseerd en de mogelijkheden gemaximaliseerd. Als er zich iets onverwachts voordoet tijdens de interventie zullen TG-ers in staat zijn om a) de onverwachte situatie te beoordelen op risico's en b) waar mogelijk de inzet van de technologie aan te passen aan de nieuwe situatie of de interventie afbreken.

Dit handelen is gebaseerd op conditionele kennis. Conditionele kennis vereist inzicht in de wijze waarop bepaalde acties worden uitgevoerd en een adequate beoordeling van veranderde medische of technische condities oftewel een adaptieve expert te zijn (Hatano & Inagaki, 1986). Adaptieve expertise refereert aan het vermogen om domeinspecifieke kennis en ervaring toe te passen in onverwachte situaties. Het verschilt van routine-expertise die gebruik maakt van passende kennis om routineproblemen op te lossen. Ontwikkeling van adaptieve expertise is een belangrijk leerdoel voor technisch geneeskundigen omdat de disciplinaire wetten en kennisbasis gelijk blijven maar de toepassingen in de loop van hun carrière enorm kunnen verschillen door allerlei nieuwe ontwikkelingen.

4.6 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn als onderdeel van de ontwerpvrage de probleemoplossende strategieën van de medicus en de ingenieur belicht, om daarmee de keuzes in het ontwerp van de opleiding voor de probleemoplossende strategie van een technisch geneeskundige te kunnen bepalen.

De medicus heeft een eigen probleemoplossende strategie die gericht is op het bereiken van ervaringsdeskundigheid (Boshuizen & Schmidt, 1995). Het handelen van de medicus wordt begrensd doordat de technologie niet tot het eigen expertdomein behoort. Hierdoor bestaat het gevaar dat er geen directe oplossingen kunnen worden gevonden voor niet routine (technologische) situaties of dat er geen herkenning is van een niet-routine (technologische) situatie. Door de expertspecificiteit is er geen geleerde flexibiliteit en transfer van kennis en vaardigheden. De arts is niet opgeleid om tot nieuwe oplossingen te komen als het gaat om het innovatief inzetten van technologie.

De ingenieur kent een eigen probleemoplossende strategie, die vooral gericht is op het ontwerpen van nuttige nieuwe technische artefacten en systemen in een concrete maatschappelijke context. Daarin spelen naast theorievorming ook ontwerpen en toepassen een belangrijke rol. Daarom zijn voorstellingsvermogen, creativiteit, probleemoplossend vermogen en integratie belangrijke kenmerken van een academisch gevormde ingenieur. Beperkend is het feit dat de dimensie concretiseren volgt op abstraheren, waardoor het concrete ontwerp altijd is gebaseerd op het hoogste abstractieniveau. Hierdoor zijn de technologische oplossingen vooral toepasbaar op generieke problemen en niet direct toepasbaar op individuele patiënten (cf. Cook & Woods (1996)).

Technisch geneeskundigen onderzoeken complexe toegepaste klinische vragen. Dit vereist een specifieke onderzoek aanpak (Dede, 2005). Zij moeten namelijk niet alleen een oplossing ontwerpen, maar deze ook de implementatie toetsen en de effecten van deze oplossing nagaan in de klinische praktijk van de individuele patiënt. Om in staat te zijn een oplossing aan te passen aan de individuele patiëntenzorg dienen zij te beschikken over specifieke ontwerp- en onderzoekvaardigheden voor de klinische praktijk. Een verwijzing naar het begrip *scientist-practitioner* is hier op zijn plaats. De technisch geneeskundige beschikt als een *scientist-practitioner* over een probleemoplossende strategie, waardoor hij op een wetenschappelijk verantwoorde manier translaties in de vorm van ontwerpen van het generieke naar het specifieke kan maken. Hij doet dit in de complexe omgeving van patiënten in een ziekenhuis. In een gesimuleerde werkelijkheid, waarin de complexiteit is vervat zal de student deze probleemoplossende strategie moeten leren toepassen en gaandeweg optimaliseren. Onderdelen van deze probleemoplossende strategie zijn ook oplossingen te onderzoeken en te implementeren, vervolgens effectieve procedures te beschrijven in klinische richtlijnen en de oplossingen zelf te gebruiken in de directe patiëntenzorg. De voor deze vaardigheden noodzakelijke competenties dienen tijdens de opleiding te worden geleerd in zeer contextrijke leeromgevingen, zodat er sprake is van optimale transfer van kennis en vaardigheden.

Om passende antwoorden te ontwikkelen op nieuwe vragen, dienen de TG-ers een cognitieve flexibiliteit te hebben. Zij betrekken diverse perspectieven in hun onderzoek naar oplossingen voor nieuwe problemen, beschouwen frequent hun eigen kennis kritisch en breiden dit waar nodig uit. Om een ontwerp of een oplossing aan te kunnen passen aan een lokale context, dient de

TG-er over specifieke kennis en vaardigheden te beschikken omtrent ontwerpen en onderzoeken in een klinische context. TG-ers moeten adaptieve experts worden in plaats van routine-experts. Door het aanleren van een effectieve combinatie van medische, technische en professionele competenties in authentieke, contextrijke leeromgevingen is de doelstelling dat de TG-ers in staat zijn technologie te begrijpen en te doorgronden, op basis waarvan zij die technologie kunnen gebruiken om veilige en efficiënte nieuwe oplossingen voor een diagnostisch dan wel therapeutisch probleem te ontwerpen en toe te passen. Daartoe dient de student te beschikken over technisch-medische vaardigheden, die als onderdeel van de ontwerpvrage in het volgende hoofdstuk zullen worden toegelicht.

HOOFDSTUK 5

VAARDIGHEIDSONDERWIJS

HOOFDSTUK 5 VAARDIGHEIDSONDERWIJS

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk zal als onderdeel van de ontwerpvraag beschrijven hoe de Technisch Geneeskundige wordt opgeleid om in de klinische praktijk bekwaam te kunnen handelen. In de vorige hoofdstukken is de ontwikkeling van het beroepsprofiel, het competentieprofiel, de heuristiek en de ontwikkeling van expertise beschreven. In 2010 is het huidige beroepsprofiel gemaakt:

Een technisch geneeskundige zal met een zelfstandige bevoegdheid op basis van gedegen inzicht in het functioneren van het menselijk systeem en de technologie:

- complexe medisch-technische handelingen uitvoeren;
- bestaande complexe medisch-technische handelingen optimaliseren;
- met behulp van technologie nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie ontwerpen en ontwikkelen.

Een competentie bestaat uit een samenhangend geheel van kennis, vaardigheden, attitudes, eigenschappen en inzichten en is context gebonden (Van Merriënboer et al., 2002). In het competentieprofiel van de bachelor en naderhand in het profiel voor de master staan zeven competenties maar een ervan heeft een focus op het technisch-medisch handelen, die als volgt is omschreven:

De TM-professional is in staat op basis van een integratie van kennis, vaardigheden, planning en reflectie, medische technologie toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk. Dit handelen is tevens gericht op innovatie.

Vanaf de eerste definiëring van de technisch geneeskundige werd een belangrijke plaats ingeruimd voor de technisch-medische handelingen en de ontwikkeling ervan. Vooral de vaardigheden, de ontwikkeling via de opleiding en de toetsing ervan, die ten grondslag lagen aan de uitvoering van de handelingen kregen veel aandacht. Dat het handelen tevens gericht is op innovatie, is een specifieke toevoeging omdat het beroepsprofiel en de competentie onderzoeken en ontwerpen beiden gericht zijn op het genereren van nieuwe kennis en mogelijkheden.

Toch leek het in eerste instantie in 2004 bij het ontwerp van de masteropleiding, toen de focus wat specifiek op de vaardigheden kwam te liggen, vanzelfsprekend en aannemelijk om het vaardigheidsonderwijs van de medische opleidingen en dan met name van de medische faculteit van Maastricht als voorloper voor het incorporeren van het vaardigheidsonderwijs, te kopiëren. De aard van de uit te voeren handelingen, het doel waarmee de handelingen werden uitgevoerd en de eigenheid van de technisch-medische discipline, zie hoofdstuk 4 over het technisch-medisch probleem oplossen, verzetten zich echter tegen een ogenschijnlijk vanzelfsprekende vertaling van de medische opleiding naar de technisch-geneeskundige opleiding.

Om meer redenen is het kopiëren minder vanzelfsprekend dan op het eerste gezicht lijkt. De eerste reden is dat de medische basisopleidingen en meer specifiek Maastricht, de medische vaardigheden verdelen in vier categorieën (Scherpbier, Verwijnen, Schaper, Dunselman, & Van

der Vleuten, 2000), die in het technisch geneeskundig curriculum op een andere wijze zijn verwerkt.

- *Laboratoriumvaardigheden: eenvoudige diagnostische technieken, zoals bijvoorbeeld een huisarts ze zou kunnen toepassen. Ook wordt aandacht besteed aan indicatiestelling en interpretatie van begrippen als specificiteit en sensitiviteit van testen.*
- *Therapeutische vaardigheden: verschillende injectietechnieken, het aanleggen van verbanden, het hechten van een wond, resuscitatietechnieken, et cetera.*
- *Fysisch-diagnostische vaardigheden: de vaardigheden die de arts gebruikt bij het lichamelijk onderzoek.*
- *Communicatievaardigheden: de vaardigheden die de arts nodig heeft om een gesprek goed te laten verlopen en om gegevens te verzamelen via anamnese en onderzoek.*

De opleiding Technische Geneeskunde beschouwt laboratoriumvaardigheden als niet relevant voor een beroepsgroep die voornamelijk werkzaam zal zijn in een ziekenhuis en niet in een huisartsenpraktijk. Technisch geneeskundigen hebben kennis nodig van (bio)chemische processen, vandaar dat bij Technische Geneeskunde het onderzoeken in een klinisch chemisch laboratorium onder de categorie kennis valt en niet onder de categorie vaardigheden.

De fysisch-diagnostische vaardigheden zijn gericht op het verkrijgen van een diagnose door middel van gericht lichamelijk onderzoek. De technisch geneeskundigen zullen hun diagnostiek voornamelijk doen met behulp van technologie en nauwelijks met behulp van lichamelijk onderzoek. Het lichamelijk onderzoek zal hooguit dienen ter bevestiging van een gedachte over de diagnose. Toch wordt het lichamelijk onderzoek binnen de opleiding Technische Geneeskunde gedaan en wel om twee redenen. De eerste is een psychologische, namelijk dat er geen fysieke drempel is tussen de technisch geneeskundige en de patiënt. Het is daarom van belang dat een student leert om zijn patiënten aan te raken. Het lichamelijk onderzoek speelt daarom ook een rol in het onderwijs in communicatievaardigheden.

Ten tweede wordt het lichamelijk onderzoek binnen de opleiding niet beschouwd als een vaardigheid om tot een diagnose te komen, maar wordt beschouwd als een hulpmiddel om binnen het onderwijs in communicatie en professioneel gedrag te toetsen of een student een klinische casus bij een simulatiepatiënt heeft begrepen. Dat begrip moet namelijk blijken uit de keuze voor het lichamelijk onderzoek en het gesprek dat aansluitend hierop volgt. Bepaalde vormen van lichamelijk onderzoek worden dus wel onderwezen, maar niet als primair doel.

Communicatieve vaardigheden staan centraal in het onderwijs in communicatie en professioneel gedrag. Dit onderwijs staat uitgebreid beschreven in hoofdstuk 2 en 6.

Als laatste is er het onderwijs in therapeutische vaardigheden. Deze vaardigheden zijn voor technisch geneeskundigen onder meer de voorbehouden handelingen uit de wet BIG zoals genoemd in de doelstellingen meestal in combinatie met technologie (zie Figuur 5.1).

Medisch-technische handelingen waaronder de volgende voorbehouden handelingen uit te voeren:

1. heilkundige handelingen, waaronder wordt verstaan handelingen liggende op het gebied van de geneeskunst, waarbij de samenhang der lichaamsweefsels wordt verstoord en deze zich niet direct herstelt (III);
2. endoscopieën (III);
3. catheterisaties (III);
4. injecties (IV);
5. puncties (IV);
6. handelingen op het gebied van de individuele gezondheidszorg waarbij gebruik wordt gemaakt van radioactieve stoffen of toestellen die ioniserende straling uitzenden (IV);
7. electieve cardioversie (III);
8. defibrillatie (IV);
9. steenvergruizing voor geneeskundige doeleinden (III).

Figuur 5.1. Voorbehouden handelingen voor technisch geneeskundigen (Wet BIG)

De tweede reden waarom de opzet van het vaardigheidsonderwijs van de geneeskunde-opleiding niet is overgenomen, hangt samen met de aard en het doel van de desbetreffende medische handelingen. Pas in de medisch-specialistische vervolgoopleidingen is er aandacht voor het participierend leren van medische handelingen in een authentieke situatie. De primaire doelstelling voor het leren van vaardigheden in een *skillslab* is het leren van de basale grepen en de protocollen. Daarna is tijdens de co-assistentenschappen het doel deze medische handelingen zo te oefenen dat een welhaast automatisch niveau wordt bereikt. Het doel van dit onderwijs is experts op te leiden die getypeerd kunnen worden als een routine expert (zie hoofdstuk 1 voor een omschrijving van dit type expert). Echter, de aard en het doel (innovatie) van de handelingen en de eigenheid van de discipline van de technisch geneeskundige vereisen een ontwikkeling die niet op automatisering is gericht. Daarmee kan de technisch geneeskundige ten opzichte van de medisch specialist worden getypeerd als een adaptieve expert (zie hoofdstuk 1 en 4).

De derde reden is dat de technisch geneeskundige in staat moet zijn om innovatieve oplossingen en interventies te ontwerpen. Deze doelstelling is niet te verwezenlijken met een methodiek die tot doel heeft het handelen snel te automatiseren. Automatisering staat een adaptatie aan een veranderende context en flexibel handelen in de weg.

De vierde en laatste reden om het vaardigheidsonderwijs van een medische basisopleiding niet te kopiëren is de verantwoordelijkheid die uit de wet BIG volgt om eigen bekwaamheden te kunnen beoordelen en deze door zelfstudie uit te breiden. Elke student zal conform het beroepsprofiel gericht zijn op het optimaliseren van bestaande complexe technisch- medische handelingen en op het ontwerpen en ontwikkelen van nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek of therapie met behulp van technologie. In beide gevallen zal een technisch geneeskundige zich met innovaties bezig houden en deze toepassen bij patiënten. Als het sterk technologisch bepaalde handelingen betreft, zijn deze niet te beoordelen door een ervaren medisch specialist. Dus dient de student of

alumnus in staat te zijn eigen bekwaamheid te beoordelen. Bewustzijn van de eigen bekwaamheid is hierdoor een expliciete onderwijsdoelstelling geworden.

In dit hoofdstuk zullen deze redenen verder worden toegelicht en zal de inhoudelijke typering van medisch-technische vaardigheden worden onderbouwd en zal de daarvan afgeleide opleidingsheuristiek worden uitgewerkt. Bovendien wordt het vaardigheidsonderwijs beschreven, dat gericht is op het verwerven van bekwaamheid in medische handelingen.

5.2 Vaardigheid, Bekwaamheid, Expert en Expertise

Bij het ontwerpen van vaardigheidsonderwijs passend bij het huidige beroepsprofiel en competentieprofiel is het van belang om te beschrijven wat de rationale is achter het vaardigheidsonderwijs. Daarvoor dient de etymologische herkomst van een aantal begrippen nader onder de loep te worden genomen. Het betreft hier de begrippen vaardigheid, handelen, bekwaamheid en kundigheid. Daarnaast wordt een beschouwing gegeven van de begrippen expert en expertise.

Vaardig is afgeleid van vaart, gereed om te varen(gaan, reizen); bedreven. Vaardigheid is vlugheid, gezwindheid of het vaardig-zijn, een oefening om vaardigheid te verkrijgen, synoniem aan behendigheidsoefening of vingeroefening. Het opmerkelijke van deze omschrijving is dat zij naar twee begrippen verwijst, namelijk vaart en behendigheid, dus snelheid en handen. Of wel vaardig zijn is snel met je handen zijn, verkregen via langdurig oefenen.

Het begrip bekwaamheid wordt door Van Dale omschreven als: *kunde en geschiktheid voor een vak. Synoniem is capaciteit: de vereiste bekwaamheden bezitten. Het woord bekwaam komt voort uit: gepast, passend, geschikt. Door aanleg en oefening de vereiste kundigheden en geschiktheid voor een vak of een post bezittend. Doelmatig, geschikt en gepast. Een bekwaamheidsdiploma wordt ook wel een maturiteitsdiploma genoemd. Dus een diploma verkregen na langdurig oefenen.* De wet spreekt naast bekwaamheid van kundigheid. Is kundigheid hetzelfde als vaardigheid? Kunde is volgens de Van Dale: *abstractum van kond, (theoretische) bekwaamheid in enig vak van wetenschap of in algemene zin.* Kundigheid is dus eerder gelijk te stellen met bekwaamheid dan met het begrip vaardigheid. Bekwaamheid overstijgt het begrip vaardigheid, dat immers slechts synoniem is van handelen en snelheid. Men spreekt van een vaardigheid indien het praktisch handelen betreft. Van bekwaamheid spreekt men als het om een integratie gaat van theorie en praktijk.

In de vergelijking die we hierboven gemaakt hebben tussen de medische opleiding en de opleiding tot technisch geneeskundige spelen ook de begrippen expert en expertise een centrale rol. Deze twee begrippen behoeven toelichting voordat het soort vaardigheidsonderwijs gespecificeerd kan worden dat de technisch geneeskundigen krijgen. Een ruime hoeveelheid onderzoek en onderzoeksgegevens hebben in de loop van de tijd inzicht verschaft in het wezen van experts, te beginnen bij klassieke studies van De Groot (1946), De Groot (1978) en, Chase & Simon (1973) en van expertise (Chi et al., 1989). Voordat er sprake is van het begrip expert is de nodige tijd verstreken. De klassieke studie van Crossman (1959) laat zien dat het sigarenmakers meer dan zeven jaar kostte om uiteindelijk een plateau van expertise te bereiken. Van huisartsen is onderzocht dat zij pas na 21.800 uren een acceptabel niveau van expertise bereiken (Boshuizen (1989).

Van experts kan gezegd worden (Chi et al., 1989; Singer & Janelle, 1999) dat zij (1) uitblinken op hun vakgebied, (2) relevante patronen en goed georganiseerde kennis bezitten op hun vakgebied, (3) problemen snel en accuraat oplossen, (4) een goed en efficiënt functionerend korte termijn geheugen bezitten, (5) een probleem op een diep niveau representeren, (6) veel meer tijd besteden aan een kwalitatieve analyse van het probleem, en (7) over betere self-monitoring vaardigheden beschikken. Daarenboven heeft Hatano & Inagaki (1984) (zie ook hoofdstuk 4) een interessant onderscheid gemaakt in routinematige experts en adaptieve experts. Adaptieve expertise refereert aan het vermogen om domeinspecifieke kennis en ervaring te gebruiken in het oplossen van problemen in onverwachte situaties. Het verschilt van routine-expertise, waarbij kennis op een juiste manier gebruikt wordt om routineproblemen op te lossen. Veel opleidingsprocessen leiden tot routinematige expertise. Deze vorm van expertise kenmerkt zich door een routinematige uitvoering van op zich complexe en *sophisticated* vaardigheden en de uitvoerders kunnen een hoog niveau van uitvoering bereiken. Routine experts worden gaandeweg efficiënter in de uitvoering van vaardigheden, maar de uitvoering blijft routinematig. Adaptieve experts daarentegen hebben het vermogen flexibel om te gaan met de vaardigheden die op zich geautomatiseerd zijn maar veranderen indien de situatie dat verlangt. Zoals in hoofdstuk 4 reeds is betoogd, kenmerkt het medisch onderwijs zich door de stapsgewijze methodiek om tot een routine expert te worden opgeleid. In de medische wereld zal degene die de stappen *see one, do one* onder de knie heeft gekregen, eindelijk de stap mogen zetten tot *teach one*. Dat betekent een meester die de gezelschap instrueert in het verwerven en toepassen van conceptuele, perceptuele en procedurele kennis en begeleidt om al deze kennis en vaardigheden te integreren in *illness scripts* (Boshuizen & Schmidt, 1995). De meester leidt de gezelschap op tot het niveau van het eigen kunnen, tot het niveau van de eigen bekwaamheid, tot het niveau van de eigen behendigheid. Medische technologie echter wordt niet onderwezen in het medisch curriculum en behoort daardoor niet tot het te verwachten expertdomein van de arts. (Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993; Schmidt & Boshuizen, 1993) Dat leidt tot op zijn minst twee vragen: (a) hoe verwerft de arts de noodzakelijke bekwaamheden voor het gebruik van medische technologie, en (b) hoe verwerft de gezelschap zijn bekwaamheid in deze zelfde technologie?

Het antwoord op beide vragen is dat het afhankelijk is van de toevallig persoonlijke verworven vaardigheden en of scholing door de industrie die de technologie introduceert.

De gezelschap wordt opgeleid door de meester en dient zijn eigen deficiënties te onderkennen en deze door (zelf)studie aan te vullen (Scherpbier et al., 2000). De medische competentie wordt getoetst door de meester. Maar in beide vragen geldt dat de kennisverwerving expliciet betrekking heeft op het eigen expertise-domein en dus niet voor competenties die buiten hun eigen expertise-domein vallen. Gegeven het aantal fouten als gevolg van verkeerd gebruik van medische technologie (Inspectie voor de Gezondheidszorg, 2008; World Health Organization, 2010) lijkt het erop dat de mate waarin de arts leert om de technologie te gebruiken, niet effectief is. Daaruit mag geconcludeerd worden dat de wijze waarop de arts technologie leert gebruiken wellicht ook niet de juiste didaktiek is voor een technisch geneeskundige.

In het ontwerp van de methodiek voor het vaardigheden-onderwijs van Technische Geneeskunde heeft de wet BIG met de twee grote begrippen bekwaam en bevoegd een grote rol gespeeld. De arts en de technisch geneeskundigen zijn bevoegd voor het uitvoeren van voorbehouden handelingen. De rechter acht hen slechts dan bevoegd, indien zij bekwaam zijn. Dat betekent dat elke arts en elke TG-er in staat moeten zijn om het eigen niveau van bekwaamheid vast te stellen

en bovendien in staat moeten zijn om of te verwijzen naar iemand die deze bekwaamheid wel heeft, of deze bekwaamheid door zelfstudie te verwerven.

De basis voor het ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde als geheel, en dus ook voor het vaardigheidsonderwijs is dat een technisch geneeskundige in staat moet zijn om zelf oplossingen te bedenken op basis van eigen kennis en inzichten en niet afhankelijk dient te zijn van een meester. Een technisch geneeskundige dient zijn eigen meester te zijn. Juist omdat de technisch geneeskundige een interventie moet kunnen ontwerpen zijn routine-vaardigheden een nadeel omdat deze vernieuwing of verandering in de weg staan.

5.3 Verschil tussen medisch en technisch-geneeskundig vaardigheidsonderwijs

In de inleiding is betoogd dat het vertalen van het vaardigheidsonderwijs van de medische opleidingen naar de opleiding Technische Geneeskunde om een aantal redenen niet verstandig is. De in de inleiding genoemde redenen worden hieronder verder toegelicht.

Ten eerste betreft het de wijze waarop dit vaardigheidsonderwijs is ingericht. Daarbij wordt de hiervoor genoemde definiëring van het begrip vaardigheid gehanteerd. Het medisch onderwijs heeft als doel om studenten op te leiden tot vaardige zorgverleners (Scherpbier et al., 1998). De methodiek die hiervoor wordt gehanteerd is een aanpak, die is gebaseerd op het onderwijs binnen de gildesystemen. De opleiding in Maastricht heeft, gebruik makend van de diverse standaarden, vaardigheidsboeken ontwikkeld, waarin is vastgelegd hoe de vaardigheden dienen te worden uitgevoerd (Scherpbier et al., 2000). Ervaring heeft geleerd dat deze medische vaardigheden het beste volgens deze standaarden worden geïnstrueerd en onder toezicht geoefend en getoetst. Inhoud en volgorde van de programmaonderdelen zijn tevoren in het medisch curriculum zorgvuldig gepland en liggen in een blokboek vast. Deze stapsgewijze systematische benadering wordt ook wel omschreven als "*Step by step instruction and continuous repetition*". Stapsgewijs worden van een handeling de beginselen uitgelegd en worden de bijbehorende vaardigheden aangeleerd. Vervolgens worden de vaardigheden uitvoerig op dezelfde wijze geoefend. Deze methodiek leidt tot routinematig uitgevoerde handelingen en is binnen het domein van leren en trainen een alom bekende en veel gepraktiseerde aanpak tot het automatiseren van vaardigheden (Anderson, 1992; Ericsson & Lehmann, 1996; Fitts, 1964). Dus is dit niet de didaktiek die toegepast moet worden bij het opleiden van professionals die juist niet vaardigheden moeten automatiseren.

Ten tweede is er een belangrijk verschil tussen de klassieke medische opleidingen en de opleiding Technische Geneeskunde voor wat betreft het opleidingsproces. Het opleidingsproces van de klassieke medische opleiding wordt gekenmerkt door een sterke nadruk op oefening met als resultaat een tot hoog niveau uitgevoerd stelsel van handelingen.

De vaardigheden van deze handelingen zijn sterk geautomatiseerd en routinematig van karakter. De beroepsbeoefenaar wordt in deze ook wel routine-expert genoemd. Tijdens de medische opleiding nemen kennis en vaardigheden voortdurend toe en ontwikkelt de student een zekere beroepsattitude. Een bepaald niveau in medische kennis en vaardigheden is essentieel voor het adequaat functioneren als arts maar biedt op zich hiervoor geen garantie. Het participierend leren in de praktijk is cruciaal om de beschikbare kennis en vaardigheden op het juiste moment correct

te leren toepassen en zo conditionele kennis te vergaren. Het huidige medisch curriculum draagt nog steeds de sporen van het meester-gezel concept waar het in de bloeitijd van de gilden uit is ontstaan (Ronteltap & Van der Straaten, 1995). Dit concept wordt ook wel *“see one; do one; teach one”*, genoemd (Papa & Harasym, 1999). Dus ook in de praktijk is het van belang dat er onder toezicht wordt geoefend en getoetst. Dit concept komt zichtbaar naar voren in het Raamplan voor de Geneeskundige opleiding, waarin de fasen zijn beschreven tot die van beginnend beroepsbeoefenaar (schema 1, p.29). Deze fasen laten zien hoe de novice stapsgewijs wordt ingewijd in het vaardig worden. In vijf fasen leert de student hoe hij vanuit een theoretisch kader, via simulaties, uiteindelijk vaardigheden leert in de praktijk. Als de novice het niveau heeft bereikt dat de opleider omschrijft als vaardig, is hij of zij gerechtigd om deze vaardigheid weer over te dragen op de volgende generatie.

Ten derde is er een verschil tussen de medische opleiding en de opleiding Technische Geneeskunde in de wijze waarop vernieuwingen worden ontwikkeld en geïmplementeerd. Conform het beroepsprofiel dient de technisch geneeskundige te worden opgeleid om op basis van een grondig inzicht in het menselijk systeem en de technologie (theorie) bestaande technisch geneeskundige handelingen te optimaliseren (theorie en praktijk) en om nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie te ontwerpen en te ontwikkelen met behulp van technologie (theorie en praktijk). Of het nu gaat over optimalisatie van bestaande interventies of om het ontwerpen van nieuwe interventies, in beide gevallen kan men niet spreken van routinematig handelen. Het betreft dus niet het onbewuste, routinematige handelen, doch het zeer bewust handelen gericht op aanpassing aan de praktijk.

Het vierde verschil tussen de medische opleidingen en de opleiding Technische Geneeskunde betreft het feit dat de opleiding Technische Geneeskunde professionals opleidt die hun eigen meester zijn. Dit vraagt om een nadere toelichting. De wet op de Beroepen in de Individuele Gezondheidszorg (BIG) die de kwaliteit van het handelen dient te waarborgen, beschrijft vaardigheid als bekwaamheid en veronderstelt dat de bekwaamheid wordt onderwezen door de meester. Als er geen meester is, dient de opleiding professionals op te leiden die in staat te zijn het eigen bekwaamheidsniveau te beoordelen om nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en of therapie te ontwerpen en te ontwikkelen en deze toe te passen bij de individuele patiënt. De wet BIG geeft aan in artikel 38 dat de technisch geneeskundige in staat moet zijn op basis van bekwaamheid en een zelfstandig oordeel voorbehouden handelingen uit te voeren. De arts roept de technisch geneeskundige in consult voor een specifieke casus, waarbij meer technologisch inzicht is vereist. De ene expert roept de andere expert in consult en dat betekent dat beide experts handelen op basis van hun eigen bekwaamheid.

5.4 Heuristiek vaardigheidsonderwijs

In de aanloop naar de erkenning binnen de wet BIG is er met diverse medici, juristen en politici een discussie gevoerd, waarom de technisch geneeskundige niet zou kunnen functioneren onder de zogenaamde “verlengde arm constructie” (Figuur 5.2).

Artikel 38

Het is degene die zijn bevoegdheid tot het verrichten van een bij of krachtens artikel 36 en 37 omschreven handeling ontleent aan het bij of krachtens die artikelen bepaalde verboden aan een ander opdracht te geven tot het verrichten van de handeling, tenzij:
in gevallen waarin zulks redelijkerwijs nodig is aanwijzingen worden gegeven omtrent het verrichten van de handeling en toezicht door de opdrachtgever op het verrichten van de handeling en de mogelijkheid tot tussenkomst van een zodanig persoon voldoende zijn verzekerd en
hij redelijkerwijs mag aannemen dat degene aan wie de opdracht wordt gegeven, in aanmerking genomen het onder a bepaalde, beschikt over de bekwaamheid die vereist is voor het behoorlijk verrichten van de handeling

Figuur 5.2. 'Verlengde arm constructie' (Wet BIG)

De situatie waarin een bevoegde uitvoerder, een niet-bevoegde maar wel bekwame uitvoerder een opdracht geeft wordt een *verlengde-arm constructie* genoemd en deze geldt alleen indien:

- de bevoegde een strikt omschreven opdracht geeft aan een bekwame niet-bevoegde uitvoerder;
- de uitvoerder bekwaam wordt geacht op basis van de genoten opleiding (bijvoorbeeld verpleegkunde);
- de uitvoerder de opdracht exact conform de opdracht uitvoert.

De “verlengde-arm constructie” werkt niet bij een arts en een technisch geneeskundige omdat er aan twee van de drie randvoorwaarden niet kan worden voldaan.

Ten eerste geeft de arts geen opdracht aan de TG-er, maar roept deze in consult omdat deze een expert is op het gebied van geneeskunde en technologie, dat buiten het expertdomein valt van de arts. De arts kan de interventie zelf niet doen. De TG-er wordt bekwaam geacht op basis van zijn opleiding en zijn titelbescherming en natuurlijk zijn eigen oordeel. De TG-er kan nooit voldoen aan de laatste conditie omdat er een eigen antwoord en oordeel wordt verwacht van de TG-er. Als de arts de vraag in een opdracht kan verwoorden, behoeft hij niemand in consult te roepen.

Voor het ontwerp van het vaardigheidsonderwijs voor de opleiding Technische Geneeskunde is vooral de tweede conditie interessant. Hoe kan een opleiding garanderen dat een student en daarmee alumnus bekwaam is maar vooral in staat is zijn eigen bekwaamheid te beoordelen en bovendien in staat is door zelfstudie zijn eigen deficiënties weg te werken? Het beoordelen van de eigen bekwaamheid is een vorm van bewustwording en bewustzijn. Om het ontwerp voor het vaardigheidsonderwijs goed uit te kunnen leggen en vooral de toetsing dienen er nog een paar begrippen te worden toegelicht. Het verschil tussen een handeling en een interventie. Een handeling kan worden gezien als een vaardigheid die met de handen wordt uitgevoerd. Met name worden hier de voorbehouden handelingen, zoals omschreven in de wet BIG, mee bedoeld.

Een interventie bestaat dan uit een of meer handelingen, die gezamenlijk en op gestructureerde wijze een eenduidig doel dienen. De uitvoerder van een interventie dient (technisch-)medisch competent zijn, dat wil zeggen te beschikken over de juiste integratie van kennis en vaardigheden en attitude, die op correcte wijze worden toegepast. Hoe vaker de interventie is uitgevoerd hoe meer ervaren de uitvoerenaar is. De innovatie zit voornamelijk op het interventieniveau. De technisch geneeskundige innoveert op basis van het anders samenstellen of gebruik van handelingen, waardoor de interventie verandert. Handelingen zijn geringer van omvang en vormen een onderdeel van interventies. Ter illustratie en weliswaar van een andere context, kan de metafoer van het breiden hierop van toepassing zijn. Om te leren breien, dient men handelingen te leren als steken opzetten, recht en averecht en afhechten. Indien iemand vaardig is in deze handelingen, wil het nog niet zeggen dat deze in staat is om een complexe interventie als een Noorse trui te breien. Elke handeling (breisteek) kan worden aangeleerd zoals de dokters

(breisters) dat gewend zijn te doen. Alleen is het doel niet om een routineniveau te bereiken, maar om de handeling zo te begrijpen dat hij op een andere wijze ook kan worden ingezet.

Deze metafoor kan weer worden terug vertaald naar een medische interventie. Een van de voorbehouden handelingen in de wet BIG heet *Heelkundige handelingen*. Deze bestaan uit een scala aan handelingen zoals: het realiseren van een toegang (snijden), het manipuleren van de weefsels (snijden, splijten en knippen) en het sluiten van de weefselstructuur (hechten en knopen). Deze handelingen kunnen worden uitgevoerd door een groot arsenaal aan instrumentarium binnen een groot aantal interventies. Elke interventie heeft een eigen doel (bijvoorbeeld een galblaas verwijderen) en is opgebouwd rondom een aantal handelingen (stappen) die worden uitgevoerd op basis van het doel van de interventie en aangepast aan de specifieke toestand van de patient. In onderwijskundige termen is het aanleren van de handeling an-sich niet moeilijk. Bijvoorbeeld het geven van een injectie is als handeling slechts het inbrengen van een hol buisje. Toch is injecteren een voorbehouden handeling, omdat het een risico voor de patient kan betekenen, indien deze handeling door onbekwame handen wordt uitgevoerd. Het moeilijkste onderdeel van een medische handeling is de patient. Omdat elke patient anders is, zal de handeling moeten worden aangepast aan de individuele patient. Dit verklaart de nadruk binnen de medische opleidingen en de toetsing van de kwaliteit op ervaring. Het duurt een hele tijd voordat een arts alle variaties van zijn patientenpopulatie echt heeft leren kennen. Ofwel de context van het leren is oneindig complex. Hoe krijgt de opleiding Technische Geneeskunde het dan voor elkaar dat de alumnus bekwaam is zonder die ervaring en die routine?

Figuur 5.3. Relatie tussen Kennis en handelingen en de oneindig complexe werkelijkheid.

Interventie

Hoe vaker de medisch expert de interventie heeft uitgevoerd, des te meer is hij een ervaringsdeskundige. De expert kan vanuit de kennis redeneren om de (reeks) handeling(en) aan te passen aan de complexe werkelijkheid van elke individuele patient. In Figuur 5.3 is deze relatie gevisualiseerd. Deze expertise is opgebouwd door de handelingen te oefenen in die complexe werkelijkheid onder toenemend minder toezicht en meer eigen verantwoordelijkheid.

De technisch geneeskundige hoeft niet alle variaties van interventies te kennen, maar moet juist in staat zijn een interventie aan te passen of te veranderen met behulp van technologie. Het is dus van belang dat het leerproces start met kennis, en via het gebruik van de heuristiek tot expertsise komt. Wederom via de heuristiek. Wat is de anatomie, de fysiologie, de pathologie van deze interventie bij deze patiënt? Vervolgens wat zijn de risico's en de mogelijkheden van deze interventie? Hoe kan de technologie behulpzaam zijn bij het verminderen van de risico's en het optimaliseren van de mogelijkheden?

De technisch geneeskundige heeft geen meester die de interventie beheerst, maar wel een meester die onderliggende handelingen kan aanleren. Het onderwijs is niet gericht op het verwerven van routines in het handelen, juist omdat de handelingen naar eigen inzicht moeten kunnen worden ingezet afhankelijk van de variatie van de context. Het onderwijs is gericht op kennisverwerving van zowel de functionaliteit van het menselijk systeem als de functionaliteit van de technologie. Inzicht in de variatie van de context maakt dat de student zich bewust wordt van het handelen bij een specifieke patient. Deze bewustwording wordt gestimuleerd door de context doorlopend te veranderen. Elke patient is immers anders en zal op een andere wijze dienen te worden benaderd.

In de gesimuleerde werkelijkheid van het ECTM worden de handelingen aangeleerd en geoefend conform de heuristiek tot en met niveau III uit het overzicht van de niveaus tot en met de beginnend beroepsbeoefenaar uit het Raamplan (zie figuur 4.3) en vooral in de stages wordt geoefend in niveau IV en soms zelfs V. Doel is dus dat het handelen niet wordt geautomatiseerd, maar wel dat het op een medisch correcte manier wordt aangeleerd, zodat een student goed weet wat de norm is en wat hij wil wijzigen.

Het vaardigheidsonderwijs is gericht op het principe van contextuele interferentie (Albaret & Thon, 1998; Helsdingen et al., 2009; Schneider et al., 2002). De automatisering van een handeling wordt uitgesteld door een variatie van de context aan te bieden. Deze aanpak verschilt van de stapsgewijze instructie die telkenmale wordt herhaald op dezelfde wijze.

Elke student leert de essentie van een handeling kennen, door een specifieke instructie door de docent. De start van de instructie is altijd een patiënt-specifieke casus. De student bereidt zich voor op de handeling door de anatomie en de fysiologie van dat deel van het lichaam goed te begrijpen waar de handeling zich afspeelt. Aansluitend onderzoekt de student in welke mate er sprake is van risico's en in hoeverre de technologie de risico's kunnen verminderen cq opheffen. Aansluitend gaat de student oefenen. De student zal aangeven in welke mate hij of zij zichzelf bekwaam genoeg acht en klaar is om te worden getoetst. Ook dit is een vorm van bewustwording. In de toetsing wordt gebruik gemaakt van een objectieve manier om vaardigheden te toetsen, namelijk via Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS) (Martin et al., 1997). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de algemene beoordelingsschaal van de OSATS zoals die door Martin en collega's beschreven is waarbij de student op een 11-tal aspecten beoordeeld wordt middels een 7 punt Likert schaal variërend van onder verwacht niveau tot boven verwacht niveau (zie bijlage 8). Dit is op een redelijk objectieve manier beoordelen of de student de handeling kan uitvoeren maar ook of deze in staat is de handeling aan te passen aan de context van een specifieke patiëntcasus.

De validiteit en betrouwbaarheid van de algemene beoordelingsschaal is in verschillende studies aangetoond (Det et al., 2011; Martin et al., 1997; Siddiqui, Stepp, Lasch, Mangel, & Wu, 2008) en is een van de meest gebruikte beoordelingsinstrumenten voor procedurele vaardigheden. De

OSATS wordt niet alleen binnen het onderwijs bij Technische Geneeskunde gebruikt maar ook in alle stages waar studenten (voorbehouden) handelingen uitvoeren, die kunnen worden beoordeeld. Het voordeel van de algemene beoordelingsschaal van de OSATS is dat deze gemakkelijk in het gebruik is, dat voor verschillende typen handelingen dezelfde beoordelingsschaal gebruikt kan worden en dat door verschillende soorten beoordelaars gebruikt kan worden.

Voor de meer algemene vaardigheden (niet specifiek de voorbehouden handelingen) wordt gebruik gemaakt van Korte Klinische Beoordelingen (KKB) (zie bijlage 9). Hiermee sluiten we aan bij de “Richtlijn korte praktijkbeoordeling” die in 2010 verschenen is (Ten Cate & Fluit, 2010). Uitgangspunten van het gebruik van een Korte Praktijkbeoordeling (KPB) dan wel een Korte Klinische Beoordeling (KKB) zijn dat 1) het instrument zowel gedurende de basisopleiding als de vervolgopleiding gebruikt kan worden, 2) het een korte observatie (5 – 10 minuten) betreft, 3) de student zowel schriftelijk als mondeling feedback ontvangt op zijn/haar functioneren. Ten Cate en Fluit geven aan dat de KPB dan wel de KKB specifiek ontwikkeld is voor beoordeling in de klinische praktijk waarbij de werkelijkheid zo optimaal mogelijk benaderd wordt. Daarmee is de validiteit van de KPB redelijk hoog, maar is een relatief groot aantal beoordelingsmomenten nodig om een tot een betrouwbare inschatting te komen van het functioneren van de student. Ten Cate en Fluit (2010) adviseren om minstens tien KPB's per jaar af te nemen om tot een valide en betrouwbaar oordeel te komen. De student vult zelf in welke competentie deze beoordeeld wil zien en beschrijft de uitvoering, zodat de beoordelaar deze op waarde kan toetsen.

Deze wijze van training en leren sluit aan bij de idealen van de *scientist-practitioner* waarmee een gecombineerde vorming in wetenschap en praktijk wordt gerealiseerd (zie hoofdstuk 4). De technisch geneeskundige beschikt over bijzondere expertise die hij heeft opgedaan gedurende zijn praktijkwerkzaamheden (praktijk kennis verworven binnen de opleiding in de stages) en is tegelijkertijd wetenschapper, in die zin dat hij veelvuldig gebruik weet te maken van wetenschappelijke kennis en deze zelf ook weet te genereren door wetenschappelijk onderzoek (Hutschemaekers, 2010).

5.5 Faciliteiten: ECTM

De opleiding beschikt over een faciliteit die uitstekend aansluit op de heuristiek die hiervoor is toegelicht en waarin de context is gesimuleerd het ‘*Experimental Centre for Technical Medicine*’ ofwel ECTM (zie voor kenmerken Figuur 5.4). Deze faciliteit is gestart in 2006 omdat toen de masteropleiding van start ging en daarmee de noodzaak helder werd om voorbehouden handelingen te trainen om zo studenten adequaat voor te bereiden op hun klinische stages. Technische Geneeskunde is geen medische faculteit met een nabijgelegen academisch ziekenhuis waar de medische studenten hun klinische ervaring op kunnen doen. Bovendien was vanaf het begin helder dat het vaardigheidsonderwijs anders moest worden opgezet, zoals hierboven is uitgelegd. Hoe het vaardigheidsonderwijs wel moest worden gedaan werd gaande de ontwikkeling van de opleiding helder. Er moest een simulatiecentrum worden ontwikkeld. Geen skillslab, omdat het doel niet het routinematig in trainen van skills was. Het moest een centrum worden waar studenten konden experimenteren met hun vaardigheden en hun gekozen adaptieve oplossingen. Vandaar dat is gekozen voor de naam Experimental Centre.

Dit centrum voorziet niet alleen in de toepassing van de heuristiek, maar ook in onderwijs dat binnen het ECTM plaatsvindt door het gehele curriculum van Technische Geneeskunde is geweven. Het verwerven van vaardigheden (competenties) start in het eerste jaar van de bachelor en gaat door tot het bereiken van het masterdiploma. In de bachelor ligt de focus binnen het ECTM op het verkrijgen van inzicht in de fysiologie van het menselijk systeem bijvoorbeeld met behulp van de Patiënt Simulator. Waarmee bekwaam worden geen unieke verantwoordelijkheid is van het ziekenhuis, maar van de opleiding.

- Gestart in 2004, vanaf 2010 in nieuw gebouw (Carre), officieel geopend begin 2011 1200 m² (netto), met o.a. gesimuleerde Intensive Care en Operatiekamer.
- Onderwijs & Research gaan hand in hand
- Veel onderwijsmogelijkheden, met vele gebruikersgroepen
- Sterk onderwijskundige expertise & focus op leerstrategie en toetsing
- Een greep uit de mogelijkheden – onderwijsmiddelen/simulatoren:
 - Intensive Care met Human Patient Simulator
 - Operatiekamer met imaging, navigatie en minimaal invasieve interventies
 - Virtual reality simulatoren voor: plaatsen stents, dotteren, angiografie, laparoscopie, bronchoscopie, endoscopie, echo
 - Oefenfantomen voor: behandeling aneurysmata, hechten, echo geleide puncties, injecties, ...
 - Echte medische apparatuur: Echo systemen, EEG, ECG, EMG, TMS robot, fiets ergometer, ...
 - Heel veel varianten van video observaties voor “debriefing” en kritische zelfbeoordeling na afloop.

Zie ook de website van het ECTM: <http://www.utwente.nl/tg/ectm/>

5.6 De technisch geneeskundige in de praktijk

De heuristiek en de toetsing sluiten direct aan bij de probleemoplossende strategie zoals deze is beschreven in de competentie van de technisch-medische deskundige in het competentieprofiel van de technisch geneeskundige in bijlage 1 + 2. Elke student leert om zijn eigen probleem te analyseren met behulp van de heuristiek (anatomie, fysiologie, pathologie). Hij vraagt zich af wat de risico's zijn en wat de mogelijkheden zijn voor het optimale resultaat voor een patiënt en gebruikt de technologie om de mogelijkheden te optimaliseren en de risico's te minimaliseren. In het eerste masterjaar krijgt de student onderwijs in de voorbehouden handelingen conform de heuristiek die hierboven is beschreven. Aan de start van elk semester wordt een casus voorgelegd door een arts, waar de student met hulp van het aangeboden onderwijs een oplossing voor moet bedenken. In het tweede masterjaar start elke stage met het definiëren van een technisch geneeskundig probleem waar de student zich mee bezig gaat houden. Ook het derde jaar start met de definitie van het technisch geneeskundig probleem waar de student een eigen oplossing voor moet bedenken en uitvoeren. Zo heeft de student gedurende zijn bachelor- en masteropleiding vele malen een vraag voorgelegd gekregen van de arts waar hij een eigen antwoord op moet geven. De alumnus is dus vrij bedreven in het zelf analyseren van een probleem en het vinden van een oplossing en in staat zijn eigen bekwaamheid te beoordelen en door zelfstudie uit te breiden. De alumnus is dus niet afhankelijk van een meester. Om de kwaliteit van het handelen te bewaken en tevens ter evaluatie van het artikel 36a van de wet BIG moet elke alumnus elke interventie die hij uitvoert, registreren in een eigen registratiesysteem van de Nederlandse Vereniging voor Technische Geneeskunde (NVvTG) en wel op de volgende wijze: Elke handeling die tijdens de

geregistreerde interventie wordt uitgevoerd, zal de alumnu op niveau aanleren en laten beoordelen middels OSATS door de opleider van de afdeling. De beoordelingen worden ook geregistreerd bij de interventie. Aangenomen kan worden dat elke handeling wordt beheerst tot en met niveau III (in een gesimuleerde werkelijkheid). De arts kan de TG-er inwijden in niveau IV. (op basis van een casus specifieke instructie onder supervisie uitvoeren van de handeling) en net zo lang oefenen tot niveau V is bereikt (op basis van een casusspecifiek plan de handeling uitvoeren met supervisie op afstand). Na afloop kan de TG-er de handelingen registreren op niveau VI (zelfstandige indicatiestelling en uitvoering van de handeling). Dit laatste niveau heeft de NVvTG zelf toegevoegd zodat het voor de beoordelingscommissie eenvoudiger is te toetsen in hoeverre de TG-er in de praktijk de interventies en handelingen op basis van een zelfstandige indicatiestelling uitvoert. Van elke interventie geeft het afdelingshoofd vervolgens aan wat de meerwaarde is voor de afdeling, voor de patienten, voor de medische staf, voor het ziekenhuis dat de TG-er deze interventie uitvoert. Hierdoor ontstaat per TG-er in de praktijk een dossier van alle uitgevoerde interventies. Dankzij het gerichte onderwijs is de alumnu in staat om eigen oplossingen te bedenken voor technisch-geneeskundige problemen. Hij is in staat om zijn eigen bekwaamheid te analyseren en zijn eigen deficiënties door studie uit te breiden. Het handelen van een technisch geneeskundige is transparant, omdat deze zich laat beoordelen door experts in het medisch handelen.

5.7 Conclusie

Dit hoofdstuk heeft als onderdeel van de ontwerpvrage beschreven hoe de Technisch Geneeskundige wordt opgeleid om in de klinische praktijk bekwaam te kunnen handelen. Het vaardigheidsonderwijs heeft tot doel een technisch-medisch professional op te leiden, die in staat is op basis van integratie van kennis, vaardigheden, planning en reflectie medische technologie toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk. Dit handelen is tevens gericht op innovatie.

Dit vaardigheidsonderwijs is niet gekopieerd van het medisch onderwijs omdat het handelen is gericht op innovatie en dat sluit het routinematige oefenen volgens het principe van *“see one, do one and teach one”* uit. De doelstelling is het opleiden van adaptieve experts die in staat zijn hun handelen aan te passen aan de context van de individuele patiënt. Automatisering van de uitvoering van handelingen staat echter adaptatie aan een veranderende context en flexibel handelen in de weg.

Doel van een technisch geneeskundige is om op basis van een grondig inzicht in de technologie en het menselijk systeem in staat te zijn om bestaande technisch-medische interventies te optimaliseren of door middel van technologie nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en of therapie te ontwerpen en te ontwikkelen. Dat betekent dat het handelen van een technisch geneeskundige wordt gekenmerkt door innovatie. En dat het nieuwe niet kan worden aangeleerd door de oude meester. Dus moet de handeling worden aangepast aan de context van de individuele patiënt.

Dat de technisch geneeskundige zijn eigen meester is en zich bewust is van zijn bekwaamheid, is hij tevens in staat de vereiste handelingen door zelfstudie of oefening te bewaken of verder te ontwikkelen.

Het ECTM is een simulatieomgeving met veel mogelijkheden voor het experiment op simulatoren, die niet zozeer een natuurgetrouwe afbeelding zijn van de werkelijkheid, maar meer gericht op specifieke onderwijsdoelstellingen met de heuristiek als uitgangspunt.

Het vaardigheidsonderwijs kent daarmee een eigen heuristiek die is gebaseerd op de heuristiek die in de bacheloropleiding al wordt aangeleerd, namelijk dat elk probleem wordt geanalyseerd door de anatomie, de fysiologie en de pathologie ervan te analyseren. In de master komt daarbij dat wordt geanalyseerd wat de mogelijkheden en de risico's zijn van de handeling die bij een patiënt wordt uitgevoerd. Aansluitend wordt bedacht welke technologie in staat is om de risico's te minimaliseren en de mogelijkheden te optimaliseren. Door deze aanpak aan te leren in het eerste jaar van de master en door telkenmale het onderwijs te laten starten met een klinisch probleem dat op deze manier moet worden geanalyseerd en opgelost, heeft de student aan het einde van zijn masteropleiding een dusdanige ervaring opgedaan met de probleemoplossende strategie, dat dit van de technisch geneeskundige een echte *scientist-practitioner* maakt.

Het volgende hoofdstuk beschrijft het laatste onderdeel van het ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde, de evaluatie van zowel interne als externe stakeholders en hun invloed op het curriculum.

HOOFDSTUK 6

EVALUATIE VAN HET ONTWERP EN AANPASSINGEN

HOOFDSTUK 6 EVALUATIE VAN HET ONTWERP EN AANPASSINGEN

6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk maakt gebruik van systematische methoden om het curriculum ontwerp te evalueren en in het kader van de (her) ontwerpvraag te relateren aan de bevindingen beschreven in de vorige hoofdstukken. In hoofdstuk 1 is het ontwerpmodel gepresenteerd dat ten grondslag lag aan de reconstructieve analyse, die is uitgevoerd op een onderwijskundig ontwerpproces. Met behulp van dit model kunnen de verschillende fasen van dit proces goed van elkaar worden onderscheiden. Aan het model ligt de centrale, generieke ontwerpvraag ten grondslag: hoe op een systematische en creatieve manier, via een geïntegreerde benutting van zowel wetenschappelijke kennis (via onderzoek) als praktische vaardigheden en binnen bepaalde randvoorwaarden, een oplossing voor een probleem te ontwerpen, te beproeven en te implementeren, die zo goed mogelijk voldoet.

Om inzicht te verkrijgen in het complexe proces van onderwijsontwikkeling en om dit op een systematische en creatieve manier te doen is vrij gebruik gemaakt van een methode, zoals beschreven door Van den Akker (2003), die een overzicht geeft van curriculumniveaus (figuur 6.1) en curriculumcomponenten (figuur 6.2).

Van den Akker maakt een onderscheid in niveaus van het curriculum, deze zijn gebruikt om de positie van de opleiding Technische Geneeskunde te typeren. Het macroniveau wordt gezien als het niveau, dat weergeeft welke landelijke ontwikkelingen van invloed zijn geweest op het ontwerp van Technische Geneeskunde. Het mesoniveau is vervolgens het niveau van de Universiteit Twente en de opleiding, terwijl het microniveau daadwerkelijk de vakken van het curriculum weergeeft.

Hierna wordt op elk niveau beschreven welke ontwikkelingen van belang zijn geweest voor het ontwerp en tot welke veranderingen die hebben geleid. Bovendien wordt aangegeven welke rol de (onderwijskundig) ontwerper had in deze ontwikkelingen en welke methode van evaluatie is gebruikt.

Macroniveau	Landelijke ontwikkelingen die van invloed zijn op het curriculum	Commissie zorg met technologie Commissie Miedema Wet BIG alle NVAO accreditatiecommissies
Mesoniveau	Ontwikkelingen vanuit de instelling en op opleidingsniveau die mede van invloed zijn op het curriculum	Overgang naar projectonderwijs (TOM)
Microniveau	Ontwikkelingen die van invloed zijn op de inrichting van de vakken binnen het curriculum	Curriculum Commissie, Examencommissies, Opleidingscommissies stage-verleners

Figuur 6.1. Curriculumniveaus

6.2 Macroniveau

In de vorige hoofdstukken is veel aandacht besteed aan de geschiedenis van Technische Geneeskunde waarin aan de hand van het politiek bestuurlijke perspectief is geschetst hoe de opleiding uiteindelijk toestemming heeft verkregen om te starten in september 2003. De politiek-bestuurlijke ontwikkelingen zijn niet gestopt bij de start van de opleiding en deze ontwikkelingen hebben elk hun invloed gehad op het uiteindelijke ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde. Deze ontwikkelingen zijn niet alleen van belang om de veranderingen in het ontwerp goed te beschrijven, ze geven ook een vorm van validatie van de opvattingen en overwegingen die in dit proefschrift zijn geformuleerd.

Doelstelling van dit proefschrift is een reconstructie om het ontwerpproces te beschrijven en om aan te geven dat ook de ontwerper werkt als *scientist-practitioner*. De keuzes die gemaakt zijn, zijn ontleend aan wetenschappelijke inzichten. Door dit proces te beschrijven wordt een referentiekader neergezet om deze keuzes te kunnen beoordelen.

Een belangrijk kenmerk van dit proces betreft verder de evaluaties die op gezette tijden hebben plaatsgevonden door vele commissies die gedurende een lange periode het ontwerp van Technische Geneeskunde hebben beoordeeld en elk oordeel heeft zijn eigen invloed gehad op het uiteindelijke resultaat. Daarmee hebben deze commissies een belangrijke rol als stakeholders gespeeld in het ontwerpproces. Het is voor een goed overzicht van de kenmerkende beoordelingsmomenten in dit proces en de waardering ervan instructief deze momenten expliciet te benoemen. Vandaar dat hierna op macroniveau een overzicht wordt gegeven in de tijd, welke commissies het ontwerp hebben beoordeeld en welke invloed dit heeft gehad.

1. Zoals beschreven in hoofdstuk 1 heeft de commissie Linschoten (Commissie Marktprikkels Medische Opleidingen, 2002) in 2002 het advies geformuleerd dat er behoefte is aan een nieuwe professional, een technisch geneeskundige, en dat er een opleiding Technische Geneeskunde kan worden ontwikkeld.

De medische faculteiten en academische ziekenhuizen zijn zich zeer bewust van hun zware verantwoordelijkheid bekwame artsen op te leiden. Een initiatief om meer technisch- medisch specialisten op te leiden aan een technische universiteit zonder enige medische historie werd vanuit dat perspectief kritisch beschouwd.

2. De commissie Sminia I had als opdracht om de positie van een technisch-medische opleiding binnen de gezondheidszorg te bepalen. Vanuit dit kritische perspectief was hun advies de opleiding een meer technisch karakter mee te geven en te laten registreren in het technologisch domein van het Centraal Register Opleidingen Hoger Onderwijs (CROHO) als een vijfjarige ingenieursopleiding onder de naam Klinische Technologie. De afgestudeerde zou dan de naam klinisch technoloog krijgen. Omdat dit een noemer is waar ook de klinisch fysicus, de klinisch chemicus, de medisch ingenieur en de medisch technicus onder vallen, accepteerde de Universiteit Twente dit voorstel niet. Het ministerie van OC&W stelde het volgende compromis voor: de opleiding heet Klinische Technologie en wordt ingebed in het CROHO-register onder de noemer gezondheidszorg en kent als zesjarige opleiding een gelijke financiering als de geneeskunde-opleidingen. De afgestudeerde technisch geneeskundige draagt niet de ingenieurstitel, maar is doctorandus en later Master of Science.

3. De commissie Sminia II had na de start van de opleiding de opdracht gekregen het ontwerpproces van de opleiding te volgen. De commissie benadrukte dat het voor studenten duidelijk moest zijn dat zij niet werden opgeleid tot het beroep van arts. Het klopte dat de studenten niet werden opgeleid tot arts, maar omdat de technisch geneeskundigen conform het beroepsprofiel *patiënten-effectief moeten kunnen behandelen, niet zijnde een arts*, is toen de start gemaakt met de procedure om de behandelingsbevoegdheid voor Technisch geneeskundigen wettelijk te registreren in de wet Beroepen in de Individuele Gezondheidszorg, om eenduidig de positie en de bekwaamheden van de afgestudeerden vast te leggen. Beide commissies maakten dat de ontwerper werd uitgedaagd om het specifieke van Technische Geneeskunde te beschrijven en dat heeft geleid tot het ontwerp van de heuristiek en de eigen probleemoplossende strategie. De idee dat de studenten een BIG-bevoegdheid zouden krijgen, heeft veel invloed gehad op het ontwerp van het onderwijs in professioneel gedrag. De alumni moesten immers in staat zijn om daadwerkelijk individuele patiënten te behandelen.
4. In 2005 vindt de toets nieuwe opleidingen plaats voor de masteropleiding Technical Medicine. Voor deze toets zijn het competentieprofiel en de heuristiek ontworpen. Maar er was nog geen eigen visie op het aanleren van vaardigheden. Deze opleiding is net zoals de bachelor ondergebracht in het CROHO onder de noemer gezondheidszorg. De accreditatiecommissie was in haar advies zeer positief over de studiebegeleiding, de kwaliteitszorg en het theoretisch onderwijs. De commissie adviseerde om meer aandacht te schenken aan de training en toetsing van vaardigheden. In dat jaar is tevens het ECTM ingericht en is het specifieke vaardigheidsonderwijs ontworpen.
5. In 2007 is de eerste aanvraag ingediend tot inbedding van de technisch geneeskundige in de wet BIG. Dit leidde tot de definiëring van de specifieke wijzen van training van de voorbehouden handelingen. De aanvraag werd begeleid door achtereenvolgens vier zeer gerenommeerde juristen uit de gezondheidszorg. Deze juristen gaven inzicht in de rationale achter de wet BIG, waardoor het vaardigheidsonderwijs maar ook het professioneel gedrag en de begeleiding in de master in de richting van het opleiden van een adaptieve *scientist-practitioner* met een eigen probleemoplossende strategie werd ontwikkeld.
6. In 2008 is de accreditatie commissie van de NVAO tot een positief oordeel gekomen over de bachelor opleiding klinische technologie/ *Technische Geneeskunde*. De bacheloropleiding was in 2003 bij wet geaccrediteerd, waardoor deze visitatie in wezen de eerste keer was dat de bacheloropleiding door een externe commissie werd beoordeeld. De commissie vond het moeilijk de doelstellingen en het bijbehorende curriculum te beoordelen zonder een internationaal geaccepteerd referentiekader. Dit maakte dat de ontwerper nog beter onder woorden moest brengen wat de doelen waren en hoe deze konden worden bereikt.
7. In 2009 geeft de toenmalige minister van Volksgezondheid, Klink, in een toespraak tijdens de opening van het academisch jaar van de UT aan dat hij er alles aan zal doen om de technisch geneeskundigen in de wet BIG te laten opnemen. Het was geen kwestie van of de technisch geneeskundigen in de wet BIG zouden komen, maar hoe. Uit de evaluatie van de wet BIG was naar voren gekomen, dat werd getwijfeld aan de houdbaarheid van de

voorbehouden handelingen en dat de wet open moest worden gesteld voor nieuwe beroepsgroepen (Wet BIG, 2004). Vanaf die dag waren de juristen en ambtenaren van het ministerie van VWS nauw betrokken bij de ontwikkelingen van Technische Geneeskunde.

8. In 2009 krijgt de commissie Gevers (Dute, Varkaik, Friele, & Gevers, 2009) de opdracht van het ministerie van VWS te onderzoeken of de voorbehouden handelingen in de wet BIG nog steeds actueel zijn en hoe er nieuwe beroepen kunnen worden opgenomen. De commissie adviseerde een nieuw artikel (36a) toe te voegen aan de wet BIG, dat de mogelijkheid biedt om nieuwe beroepen op te nemen in de wet BIG. De commissie Gevers is uitgebreid op bezoek geweest bij de opleiding en de opleiding heeft de commissie zeer intensief geïnformeerd over de opleiding en meer specifiek over het onderwijs in voorbehouden handelingen en professioneel gedrag. Men was zeer onder de indruk van onze wijze van bekwaamheidsverwerving. Daarom staat in het advies expliciet dat de technisch geneeskundigen zoals opgeleid in Twente een voorbeeld zijn van een dergelijk nieuw beroep.
9. In september 2009 zijn de eerste studenten afgestudeerd van de masteropleiding Technische Geneeskunde, maar de wet is nog niet gewijzigd. Zij werken dus nog steeds onder eindverantwoordelijkheid van de arts. Dit was een ongewenste situatie vandaar dat leden van de Tweede Kamer zijn benaderd om hun invloed uit te oefenen. De besturen van de medische wereld beschouwden de opleiding nog steeds kritisch, terwijl de medici zelf en zeker diegenen die kennis hadden gemaakt met de technisch geneeskundigen op hun afdelingen, heel positief waren.
10. Om te analyseren in welke mate de technisch geneeskundigen nu werkelijk in aanmerking moesten komen voor een inbedding in de wet BIG, hebben de Nederlandse Federatie van Universitair Medische Centra (NFU = alle academische ziekenhuizen en medische faculteiten) en de technische universiteiten (3TU) de opdracht gegeven aan de commissie Jaspers, "Commissie Zorg met Technologie", uit te zoeken welke nieuwe beroepen er zijn op het snijvlak van gezondheidszorg en technologie. Deze commissie heeft de behoefte aan deze nieuwe professionals en de competenties waar zij aan moeten voldoen, in kaart gebracht. De commissie heeft zich uitgebreid laten informeren over het beroepsprofiel en over de structuur van de opleiding Technische Geneeskunde.
11. Om een oordeel te kunnen vellen over de noodzaak tot het inbedden van een technisch geneeskundige in de wet BIG, vond men het noodzakelijk dat er een algemeen geaccepteerd competentieprofiel voor een technisch-medisch professional zou worden ontwikkeld. Daartoe stelt de commissie Jaspers in 2011 de werkgroep Miedema in. Deze werkgroep vertaalde het competentieprofiel van de technisch geneeskundige in de terminologie van de zogenaamde CanMeds (Commissie zorg met technologie, 2011; Rademakers, De Rooy, & Ten Cate, 2007). Deze terminologie wordt binnen de geneeskunde breed gebruikt en hierdoor is een vergelijk tussen de competenties van een TG-er versus een arts mogelijk (zie bijlage 2). De vertaling van de competenties in de rollen van de CanMeds maakten het handelingskader van de technisch geneeskundige nog duidelijker. De vaardigheden van de technisch geneeskundigen konden net als bij de artsen worden beoordeeld in vijf niveaus die leiden tot het niveau van de beginnend beroepsbeoefenaar (hoofdstuk 4). Daarnaast gaf de CanMed rol *technisch medisch professional* een soort gewenst handelingsverloop aan dat een praktische uitwerking

betrof van de probleemoplossende strategie. Dit gewenste handelingsverloop is toen inzet geweest van een transitie binnen het onderwijs in professioneel gedrag en de begeleiding van de studenten in hun stages. Dit gewenste handelingsverloop is naderhand mede onder invloed van het schrijven van dit proefschrift veranderd in het huidige inzicht dat de technisch geneeskundige handelt conform zijn eigen probleemoplossende strategie.

12. In 2012 worden zowel de bachelor- als de masteropleiding tegelijkertijd succesvol geaccrediteerd. In de accreditatiecommissie zaten experts, die even daarvoor de geneeskunde-opleidingen hebben gevisiteerd en een expert uit Harvard/MIT maakte ook deel uit van deze commissie. De commissie is zeer lovend over de beide opleidingen. Met name over de nieuwe doelstellingen van de masteropleiding.
13. In 2013 en in 2014 worden in de keuzegids Universiteiten zowel de bachelor als de master opleiding bekroond met de titel topopleiding van het jaar. In 2015 krijgt alleen de masteropleiding deze titel. Het predicaat is gebaseerd op oordelen van studenten en experts. Binnen de categorie Geneeskunde in de Keuzegids staan zowel de bachelor als de master op de eerste plaats. Ook op de website Kiesjestudie.nl behaalt Technische Geneeskunde in de Categorie Geneeskunde de eerste plaats. Ook op de website van studiekeuze 123.nl worden vergelijkbare scores verkregen, waarbij de opleiding vooral goed wordt beoordeeld op sfeer, faciliteiten, huisvesting, algemene vaardigheden, studiebegeleiding, voor bereiding op de beroepsloopbaan.
14. In 2013 zijn zowel de Tweede als de Eerste Kamer als de Raad van State akkoord met de *Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB)* en de bijbehorende *nota van toelichting*. In 2013 bekrachtigd de Koning de wetswijziging en zijn de technisch geneeskundigen per 1 januari 2014 opgenomen in artikel 36a van de wet BIG.

Dit overzicht is opgenomen om te benadrukken dat de opleiding een uitgebreid traject heeft doorlopen met zonder meer positieve beoordelingen van vele facetten van de bachelor- als masteropleiding. De uitkomsten van de inschakeling van stakeholders vormen een uitgebreide *expert appraisal* en kunnen worden beschouwd als een duidelijke indicatie van de kracht van de opleidingen. Zij vormen een validatie van de effectiviteit van de gekozen en uitgewerkte oplossingen voor de opleidingskundige problemen die tevoren en werkende weg zijn geformuleerd.

6.3 Mesoniveau

Op dit niveau hebben het politiek bestuurlijk referentiekader (hoofdstuk 1) het technologisch perspectief (hoofdstuk 3) en het onderwijskundig perspectief (hoofdstuk 4) de meeste invloed gehad. De betekenis van deze perspectieven voor het ontwerp is voldoende beschreven in deze hoofdstukken. In meer algemene termen kan worden gesteld dat de primaire invloed terug is te voeren op de cultuur van de universiteit als ondernemende universiteit. De kenmerkende rol van het ontwerpen is van groot belang geweest. Het doel om de technologie en geneeskunde echt met elkaar in samenhang te brengen heeft uiteindelijk geleid tot de heuristiek. Deze vormt op zijn beurt de rode draad binnen de opleiding omdat elk vak in de bachelor maar ook in de master op basis van deze denkwijze is opgezet. De heuristiek dient als ordeningsprincipe voor het

curriculum en daarmee als referentiekader voor docenten, zodat zij hun keuzes kunnen maken over wat en hoe zij in hun onderwijs doceren. Maar ook leidt het tot de probleemoplossende strategie van de technisch geneeskundige zelf. De heuristiek is daarmee te bestempelen als leidend pedagogisch principe van de opleiding. En samen met het laatste beroepsprofiel biedt zij een helder kader voor de opleiding, dat als volgt is geformuleerd:

Een technisch geneeskundige zal met een zelfstandige bevoegdheid op basis van gedegen inzicht in het functioneren van het menselijk systeem en de technologie:

- complexe medisch technische handelingen uitvoeren;
- bestaande complexe medisch technische handelingen optimaliseren;
- met behulp van technologie nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie ontwerpen en ontwikkelen.

Op mesoniveau zijn achtereenvolgens door de ontwerper zelf ontworpen: de heuristiek en daarmee de integratie van het curriculum binnen het blokonderwijs, het competentieprofiel, het vaardigheidsonderwijs, het onderwijs in professioneel gedrag, de wijze van toetsing in de Multi-Disciplinaire Ontwerpopdracht (MDO), het onderwijs in de voorbehouden handelingen, de stage handleidingen met de opzet en structuur van de stages, en de mastereindbeoordeling.

Alleen het ontwerp maken is echter absoluut niet genoeg om een opleiding te maken. Gaandeweg het proces werd ontdekt dat de ontwerper van de opleiding twee typen rollen heeft vervuld. Ten eerste de rol van ontwerper, waarbij de ontwerper zelf verantwoordelijk is voor het eindresultaat en ten tweede die van stimulator tot ontwerpen. In deze laatste rol heeft de ontwerper andere experts gestimuleerd tot ontwerpen. Een onderwijskundige is geen expert in de natuurkunde en kan dus ook niet ontwerpen in de natuurkunde, maar kan wel natuurkundigen op basis van het beroepsprofiel, competentieprofiel, cultuur, heuristiek stimuleren tot ontwerpen. Dit is een tijdrovend proces, omdat er een constante vertaalslag nodig is. De ontwerper dient de doelen te vertalen in een voor de vakinhoudelijk expert adequaat te hanteren begrippenkader. Daarnaast dient de ontwerper in staat te zijn de diverse expertdomeinen met elkaar te laten praten door vertalingen te maken vanuit meer begrippenkaders naar een gezamenlijk conceptueel kader.

Maar het gaat niet alleen over de ontwerper. Om tot een goed ontworpen opleiding te komen, is een team van specialisten met diverse competenties van cruciaal belang. Een team dat werkelijk met elkaar samenwerkt. De curriculumcommissie die Technische Geneeskunde heeft ontworpen bestond uit stakeholders die zich daadwerkelijk verantwoordelijk voelden voor de realisatie van het onderwijs. Ook de psycholoog, twee werktuigbouwkundig ingenieurs, die zich ontwikkelden respectievelijk tot wetenschapper en tot manager, de studieadviseur en alle andere medewerkers hebben gemaakt dat elk zijn eigen expertise meebracht in de uiteindelijke realisatie van alle ontwerpen.

Toen de universiteit Twente in 2008 onderwijsbeleid maakte om het projectonderwijs een sturende rol te geven, werd dit binnen Technische Geneeskunde omarmd, omdat

projectonderwijs een mooie vorm is om een ondernemende attitude bij studenten te verwezenlijken. In wezen werd het curriculum van Technische Geneeskunde al gekenmerkt door deze attitude en dus was het veranderen van het curriculum naar projectonderwijs relatief eenvoudig.

In 2009 bleek dat het onderzoek binnen het wetenschappelijk instituut van *regenerative medicine* en *tissue engineering* zich minder snel ontwikkelde dan was voorzien. De gedachte was dat kunstkraakbeen en kunstbot en kunstmatig verkregen vaten een grote invloed zouden krijgen in de gezondheidszorg en dat er technisch geneeskundigen nodig zouden zijn om deze technologie op een adequate wijze in de gezondheidszorg te introduceren en te begeleiden. Het bleek heel ingewikkeld om stageadressen te vinden waar deze technologie daadwerkelijk werd toegepast. Dat heeft ertoe geleid dat de drie tracks uit de master zijn teruggebracht naar twee tracks: Medical Sensing and Stimulation (MSS) en Medical Imaging and Interventions (MII).

6.4 Microniveau

Op dit niveau is het curriculum vorm gegeven en heeft de ontwerper eerder een rol van stimulator van ontwerpen dan van ontwerper zelf. Het curriculum is ontworpen (zie bijlage 4 en 5) maar dan moeten er echte vakken van worden gemaakt. Om op een systematische wijze het ontwerp van het microniveau te kunnen beschouwen biedt wederom Van den Akker (2003) een overzicht van meer specifieke componenten op basis waarvan het onderwijs kan worden geëvalueerd (Figuur 6.2). De componenten zijn weergegeven in de vorm van een spinnenweb, omdat dit mooie metafoer is voor curriculumontwikkeling. “Een sterke en toch kwetsbare structuur, een complex geheel van inspanningen om te zorgen dat het onderwijs op een consistente, uitgebalanceerde en duurzame wijze wordt onderhouden en geoptimaliseerd. Het spinnenweb bevat de verschillende componenten, maar zoals bij een echt spinnenweb het geval, wordt het geheel bijeengehouden door de draden. Zodra een draad wegvalt wordt de integriteit van het web aangetast”. Eenzelfde samenhang of coherentie zien we bij de curriculumcomponenten. De grootste uitdaging in curriculumontwikkeling is een evenwichtig construct te maken van alle afzonderlijke componenten en vooral om dit te behouden. Walker (1990) geeft aan dat in wezen al die componenten zijn terug te voeren op drie kernelementen: inhoud, doel en organisatie van het leren. Maar voor het juiste oordeel is het beter om deze componenten op te delen in meer specifieke onderdelen.

Deze overzichten kunnen worden gebruikt om de methode te beschrijven van evaluaties in het onderwijs van Technische Geneeskunde. Aansluitend zullen de aanpassingen worden aangegeven die gedurende het ontwerp en implementatie en ontwikkelproces zijn gerealiseerd.

De eerste (rationale) refereert aan de centrale missie van het curriculum en dient als centraal oriëntatiepunt. De andere negen componenten zijn idealiter gelinkt aan de rationale en hebben als het goed is een consistente relatie met elkaar, zoals dat in een spinnenweb het geval is. Niet alleen om de onderlinge relaties te laten zien, maar ook om de kwetsbaarheid te laten zien. Gedurende de ontwikkeling en de uitvoering van het curriculum zal de nadruk op andere aspecten kunnen liggen, maar er moet een structuur worden gemaakt om de coherentie in het curriculum te kunnen borgen.

Figuur 6.2. Spinnenwebmodel van curriculumcomponenten (Van den Akker, 2003)

Aims and Objectives

De competenties en doelstellingen zijn als een logisch consistent geheel weergegeven in het competentieprofiel. Het competentieprofiel van een technisch-medisch professional, zoals beschreven door de commissie Miedema is in wezen een andere ordening van dezelfde doelstellingen. Dat profiel is samengesteld op basis van de rationale en het beroepsprofiel. In wezen zijn noch de competenties, noch de doelstellingen aangepast. Hooguit is het proces van technisch medisch handelen exacter omschreven en zijn de voorbehouden handelingen expliciet toegevoegd aan de doelstellingen van de masteropleiding Technical Medicine.

Content

De ordening van het curriculum wordt voornamelijk bepaald door de visie dat het menselijk systeem bestaat uit aan elkaar gerelateerde subsystemen. Elk subsysteem wordt volgens de heuristiek uitgewerkt zoals aangegeven in hoofdstuk 2.

Het beproeven ofwel de evaluatie van het ontwikkelde en uitgevoerde ontwerp gebeurde op een systematische wijze via PDCA-cycli en vanuit twee invalshoeken. De eerste is de interne evaluatie van het gegeven onderwijs op operationeel niveau en de reflectie hiervan op tactisch en strategisch niveau. Elk vak en elk semester zijn op een systematische wijze geëvalueerd, waarbij

de andere meer specifieke componenten uit het spinnenweb, zoals de leeractiviteiten, de rol van de docent, de materialen en bronnen, de samenwerkingsverbanden, de locatie, de duur en de toetsing aan bod zijn gekomen. Elk vak kende zijn eigen *plan, do, check, act* cyclus. De resultaten uit de *check*-fase werden altijd gevolgd door een reflectie, waarin vanuit technologische en onderwijskundige perspectieven betekenis werd gegeven aan de resultaten op tactisch en strategisch niveau. Na de reflectie werden pas conclusies getrokken voor nieuw beleid of nieuwe aanpassingen aan het curriculum.

Reflecteren en evalueren waren dus niet alleen belangrijke academische kernbegrippen voor de studenten en de docenten, maar ook voor de staf van de opleiding. Het strategisch niveau van de opleiding beschouwt het onderwijs als object van onderzoek. Daardoor ontstond niet alleen reflectie op het onderwijs, op operationeel of microniveau van de vakken en op tactisch of mesoniveau van de opleiding als geheel, maar ook op strategisch macroniveau op de ontwikkeling van de discipline in het technisch-geneeskundige domein. Dit werd medebepaald doordat de ontwerper zich verantwoordelijk voelde voor alle componenten van de opleiding en dus op elk niveau een rol speelde.

De evaluatie van het gegeven onderwijs op operationeel microniveau en de reflectie hiervan op tactisch en strategisch niveau wordt weergegeven in onderstaand schema dat afkomstig is uit het kwaliteitszorghandboek van Technische Geneeskunde. Het geeft de "Plan-Do-Check-Act" (PDCA) kwaliteitscirkel, zoals ontwikkeld vanuit procesmanagement door dr. Deming in de jaren vijftig (Taylor et al., 2013). Het magische verbeterwiel met de vier stappen wordt gezien als een krachtig instrument voor kwaliteitszorg. Binnen Technische Geneeskunde is het zeer consistent gebruikt. Een groot risico bij het gebruik van de PDCA-cyclus is dat men blijft steken plan- do cycli. Bij Technische Geneeskunde werd bewust gewerkt aan het doorlopen van alle fasen van het wiel, waardoor de kwaliteitscirkels gesloten worden. Elke evaluatie vindt plaats op vakniveau, semesterniveau en opleidingsniveau (Figuur 6.3).

Figuur 6.3. Kwaliteitszorgcomponenten en -cyclus

De kwaliteitscirkel stapsgewijs:

Op strategisch niveau wordt door de Curriculum Commissie(CC), mede aan de hand van geformuleerde competenties, doelstellingen en kernbegrippen, een concept gemaakt over de doelstelling en de hoofdlijn van een zeker blok. De CC stelt een blokcommissie(BC) samen van alle voor dit onderdeel relevante docenten en benoemt een blokcoördinator. Samen met de (ontwerper) curriculum-coördinator wordt het vak (onderwijs inhoud en -vorm) (her)ontwikkeld en worden indien nodig tussendoor adviezen aan de CC gevraagd. De BC legt een voorstel ter goedkeuring voor aan de staf (curriculum-coördinator) en de CC. De BC draagt zorg voor de uitvoering van het onderwijs.

De uiteindelijke output van het onderwijsproces blijkt uit de leerervaringen van studenten en de resultaten van de toetsen. De toets dient een adequate weergave te zijn van de te behandelen stof, zowel in inhoud als in vorm, waardoor de resultaten een maat zijn voor de verworven kennis en/of vaardigheden van de studenten en voor het bereiken van de doelstellingen. Docenten leveren de resultaten in bij Bureau Onderwijs Zaken (BOZ), die alle resultaten van het onderwijs verwerkt in de benodigde statistieken (overzicht van de behaalde resultaten, slagingspercentages, gemiddelden, normaalverdeling, maximum en minimum resultaten, aantal voldoende/ onvoldoende).

Na afloop van het vak komt de Student Vertegenwoordig Commissie (SVC= een relevante vertegenwoordiging van de studenten die het vak hebben gevolgd) bijeen om het vak te evalueren aan de hand van een standaard vragenlijst. De SVC maakt een rapport van alle leerervaringen van studenten voor de vergadering van de Evaluatie- en Kwaliteitszorg Commissie (EKC = verzameling docenten en vertegenwoordiging van de studenten). De EKC evalueert het vak kwalitatief en kwantitatief en bespreekt de verbeterpunten voor het volgende jaar dat het vak zal worden gegeven. In deze vergadering worden tevens besproken de rol van de docent, de wijze van leren van de studenten, de materialen en leermiddelen, de samenwerkingsverbanden, de locatie, de studietijd, en de toetsing.

Het rapport van de EKC wordt besproken door de CC, die hun aanbevelingen kan formuleren in verbeteringen. Al deze informatie wordt door de BC voor het herontwerp van het vak gebruikt. Hiermee is de PDCA-cyclus gesloten.

Er is geen ontwikkeling binnen het onderwijs dat geen onderdeel is geweest van een dergelijke cyclus van evaluatie, reflectie en herziening. Elke betrokkene van het onderwijs, student, docent, staf, ondersteunende dienst had en heeft de verantwoordelijkheid het onderwijs zo optimaal als mogelijk te krijgen. Deze vrij intensieve evaluatiemethode en de adequate verbeteringen hebben er mede toe geleid dat de opleiding meermalen het predicaat topopleiding heeft gekregen.

Jaarlijks wordt een zogenoemde heidag georganiseerd met de curriculumcommissie bestaande uit medisch experts, technologische experts, psychologen, onderwijskundigen en een bedrijfskundige, waarin de grote lijnen worden besproken van het onderwijs en reflectie van betrokkenen hierop. Hier worden ook de politiek-bestuurlijke ontwikkelingen besproken die van invloed zijn op het ontwerp van de opleiding. Zo wordt op strategisch niveau eenduidig beleid gemaakt op onderwijskundig, financieel en bedrijfsmatige niveau.

6.4.1 Uitkomsten van de interne evaluaties

Naast alle vakinhoudelijke kleinere veranderingen zijn er op grond van de interne evaluaties vijf veranderingen in het curriculum die onderwijskundig interessant zijn en bepalend zijn geweest

voor het karakter, het ontwerp en de effectiviteit van de opleiding. Dat zijn de veranderingen in de wiskunde en technologische vakken, de ontwikkeling van de leerlijn professioneel gedrag, de professionalisering van docenten, de ontwikkeling en toetsing van de vaardigheden en de ontwikkeling van het beroepsprofiel.

Wiskunde

Uit de evaluaties van de bachelor en het eerste jaar van de master bleek, dat het operationele niveau in wiskunde van de TG-student anders was dan de technologen en wiskundigen hadden verwacht. Studenten Technische Geneeskunde blijken vanuit een concrete klinische context te redeneren (inductie) en minder vanuit een abstracte context (deductie). Deze manier van redeneren leidde tot klinisch relevante oplossingen, maar de vraag is of het altijd op de meest effectieve manier gebeurde. En het was voor de inrichting van het vak noodzakelijk om te weten of het een bewuste keuze was om niet de wiskunde te gebruiken of dat de studenten de wiskunde niet voldoende beheersten om het op een adequate wijze toe te passen, of dat dit wellicht de juiste methode van probleem oplossen van een student Technische Geneeskunde was.

Uit evaluaties bleek dat een aantal studenten de wiskundige algoritmes en formules niet gebruikte, omdat zij geen beeld hadden van mogelijke toepassingen. Het bleef voor hun een apart vak, dat zij volgden en met succes afsloten, maar niet opnamen in hun probleemoplossende strategie. Hieruit bleek dat er te weinig was vertaald vanuit de monodiscipline naar de andere perspectieven. Dit werd zeker gevoeld door het feit dat wiskunde was ingevoerd als lijnonderwijs en dus als monodiscipline.

Wiskunde behoort tot de formele wetenschappen, waarbij empirie geen rol speelt. Het wiskundeonderwijs maakt gebruik van deductie als argumentatie of bewijstechniek. Het bewijs bestaat uit een redenering waarvoor geldt dat de conclusie logisch en onontkoombaar volgt uit de premissen.

Klinisch redeneren volgt echter meer de argumentatie en bewijstechnieken van de inductie. Deze werken veelal, maar niet uitsluitend, andersom. Vanuit een aantal specifieke waarnemingen komt men tot een waarschijnlijke maar niet onontkoombare gevolgtrekking. De tegenstelling Newton-Darwin kan hier ook op van toepassing worden verklaard. Newton werkt volgens de deductieve methode en Darwin volgens de inductieve methode. Technisch geneeskundigen behoren z gezegd tot de New Winners, die streven naar een combinatie van beide methoden.

De wiskundigen werden uitgedaagd samen met de andere docenten te zoeken naar de toepassingen van de wiskunde. Met als belangrijk doel hun onderwijs minder te richten op de bewijslast maar op de juiste toepassing in een klinisch context. Deze wijzigingen, zo bleek uit evaluaties, resulteerden erin dat de scores van studenten omhoog gingen en dat zij aangaven het beter te begrijpen.

Een zelfde redenering was de oorzaak van het verplaatsen van het vak Statistiek uit het eerste jaar naar het tweede jaar. Statistiek is binnen de ingenieurswetenschappen en de wiskunde gericht op pure kansberekening. In de sociale wetenschappen is statistiek het laatste kwadrant uit de empirische cyclus en betekent dat de statistiek behulpzaam kan zijn betekenis te geven in de mate waarin voldaan is aan de hypothese. Om dat inzicht te hebben is het logischer om eerst de essentie van de opzet van onderzoek uit te leggen dat meer is dan alleen het experiment, voordat de statistiek wordt uitgelegd.

Technologen

Biomedisch-elektrotechnisch ingenieurs, de -werktuigbouwkundigen, de -natuurkundigen en de -chemici werken volgens de structuur zoals beschreven in hoofdstuk 4. Ook hier weer was de uitdaging om niet te snel over te gaan tot algemeen geldende waarheden of gemiddelden, maar respect te houden voor de variatie van de mens. Tevens was het van belang niet te snel naar het abstractieniveau te gaan van het uitleggen van kernbegrippen op een conceptueel niveau. Dit zou pas moeten gebeuren nadat studenten het inzicht hadden verworven hoe zij het desbetreffende concept goed konden gebruiken in een probleemoplossend proces. Daarna pas zouden ze in goed staat zijnde problemen op een hoger abstractie niveau te benaderen met behulp van de wiskunde of hun eigen algoritmes. Ook dit bleek een proces dat vele iteraties kende voordat het resultaat voldeed voor alle betrokkenen. Vooral de docenten die tijdens de masteropleiding nauw werden betrokken bij de begeleiding van studenten in hun stages bleken enerzijds respect te hebben voor de variatie van de patiënt en anderzijds voor de specifieke probleemoplossende strategie van technisch geneeskundigen. En dit had positieve effecten op het onderwijs dat zij gaven in de bachelor.

Professioneel gedrag

Een van de competenties van de technisch geneeskundige betreft het professioneel gedrag.

De TG-er kenmerkt zich door professioneel gedrag. Dit houdt in betrouwbaarheid, betrokkenheid, nauwkeurigheid, vasthoudendheid, zelfstandigheid, respect voor de ander ongeacht diens levensfase, sociaal economische status, opleiding, cultuur, levensovertuiging, seksuele geaardheid, ras en sekse (zie bijlage 1).

Van groot belang wordt geacht het bewustzijn van de student over zijn of haar gedrag in specifieke situaties. Reflectie speelt een belangrijke rol in de persoonlijke en professionele ontwikkeling van de student. In elk jaar van het bachelorprogramma zit een vak communicatie en professioneel gedrag. De inhoud van het vak is gekoppeld aan de systeemvakken via het lichamelijk onderzoek. Ook de stages zijn gekoppeld aan de ontwikkeling van professioneel gedrag bij de student.

Het eerste jaar richt zich op basale communicatievaardigheden en de essentie van reflectievaardigheden. Het tweede jaar is georganiseerd rondom het patiënten gesprek. Studenten nemen anamneses af bij simulatiepatiënten en combineren dat met lichamelijk onderzoek. In het derde jaar wordt de student geconfronteerd met complexe situaties, zoals emotionele patiënten. Tijdens de stages krijgen de studenten feedback op de ontwikkeling van hun persoonlijke en algemene leerdoelen. In de masterstages wordt deze leerlijn toenemend expliciet, omdat de docenten 'professioneel gedrag' tevens de procesbegeleiders en mentor zijn van de studenten. Hiertoe is een specifiek studentvolgsysteem opgebouwd.

Het leren reflecteren was een weerbarstige doelstelling, omdat het door de studenten als een te abstracte opdracht werd beschouwd. In nauw overleg met de psychologen van de Radboud Universiteit die verantwoordelijk zijn voor het onderwijs in professioneel gedrag bij studenten van de Geneeskunde-opleiding werd gekozen voor een concreet perspectief per leerjaar. Het eerste jaar is gericht op de patiënt. Een student wordt geacht zich te verdiepen in het perspectief van de patiënt en te ervaren wat zorgafhankelijkheid betekent. Ook de stage had het patiëntperspectief als doelstelling.

Het tweede jaar is het perspectief veranderd van de organisatie of het klinisch proces van de patiënt naar de persoonlijke consultvoering. In elk jaar waren de doelstellingen van het onderwijs

en de stage congruent. Nadruk lag op de samenwerking van de diverse disciplines in het klinische pad van de patiënt. De stage in het tweede jaar is gesneuveld, omdat het in de praktijk heel lastig bleek de studenten te plaatsen. Een ziekenhuis kan een student vanuit het patiëntperspectief plaatsen op een afdeling onder eindverantwoordelijkheid van een verpleegkundige. In het derde jaar wordt de student geplaatst op een afdeling onder eindverantwoordelijkheid van een arts. Het tweede jaar kenmerkte zich door een procesanalyse, waarbij de student niet was gekoppeld aan een afdeling of een functie. Dat maakte dat verantwoordelijken in het gemiddelde ziekenhuis zich daar ongemakkelijk bij voelden en zij weigerden in toenemende mate deze stagiaires. In combinatie met het feit dat er ruimte werd gezocht in het tweede jaar voor uitbreiding van het blok neurale systeem, heeft dat er toe geleid dat er afscheid werd genomen van deze stage en het perspectief van het vak professioneel gedrag het tweede jaar werd gericht op de leerlijn algemene consultvoering.

In het derde jaar van deze leerlijn ligt de focus op de arts en de specifieke consultvoering. Hoe ervaart een arts de technologie in zijn of haar praktijk en hoe benadert een arts patiënten met emotionele of complexe situaties. En hoe verhoudt zich dit tot de relatie die de TG-er heeft met zijn patiënten.

Doordat in het ECTM themakamers zijn uitgerust met camera's, kan het onderwijs steeds meer worden gericht op reflectie op daadwerkelijke acties. De student ontvangt een simulatiepatiënt in zijn kamer en start het consult. De student beheerst afhankelijk van het probleem diverse gesprekstechnieken en doet het lichamelijk onderzoek. Na afloop van het consult bespreekt de student zijn handelen met zijn *peers* en met de simulatiepatiënt. Vervolgens schrijft de student een reflectie over het eigen handelen en stuurt deze samen met de filmopname naar de docent (expert). De toetsing is dus een complex geheel van *self-assessment*, *peer assessment* en *experts assessment*. Dit sluit mooi aan op de doelstelling om studenten bewust bekwaam te maken en op de doelstelling om studenten op te leiden tot adaptieve experts. Doel is technisch geneeskundigen op te leiden die vanuit meer perspectieven kunnen denken en handelen.

In 2004 wordt het competentieprofiel voor de master ontwikkeld, dat dezelfde omschrijving voor de competentie professioneel gedrag kent als de bachelor (zie bijlage 2a). Toen in 2009 door de commissie Miedema het competentieprofiel (zie bijlage 2b) van de master werd omgezet in de rollen van de Canmeds, is het professioneel gedrag onderdeel van meer rollen, zoals die van communicator, samenwerker en beroepsbeoefenaar. Door de specifieke beschrijving van het handelingsverloop van een technisch geneeskundige in de rol van de technisch-medisch deskundige, wordt de procesbegeleiding in de stages en in het vaardigheidsonderwijs meer gericht op het verkrijgen van deze deskundigheid.

In de master definieert de student per stage het technisch-geneeskundig probleem, dat hij wil onderzoeken en zoekt er een oplossing voor. Het proces in de stages wordt begeleid door docenten professioneel gedrag, die door middel van reflectie en coaching de student begeleiden in de bewustwording van zijn leerproces. Van belang is de ontwikkeling van een bewustzijn over de eigen bekwaamheid. De mate van bewustzijn bepaalt de mate van zelfsturing. Dan kan een student de controle over hetgeen hij moet leren houden.

Studenten ervaren veelal hun eerste stage als een onzekere verkennende periode. Toenemend ervaren zij hun meerwaarde in de klinische praktijk en dat stimuleert hun zelfvertrouwen. Uit de stageverslagen en de stageresultaten blijkt dat de studenten functioneren als adaptieve *scientist-practitioners*.

Docentprofessionalisering

Het professionaliseren van docenten en de rol van de docenten is een heel belangrijke ontwikkeling binnen de opleiding Technische Geneeskunde. Elke docent verbonden aan Technische Geneeskunde is afkomstig uit een ander vakgebied en heeft zijn eigen probleemoplossende strategieën. Van een docent werd gevraagd zijn eigen vakdomein te relateren aan de doelstellingen en het beroepsprofiel van de technisch geneeskundige en vervolgens keuzes te maken welke aspecten uit zijn vakgebied relevante kennis en of vaardigheden zijn voor de TG-er in de praktijk. Vooral in het begin van de opleiding was dit een volstrekt abstracte bezigheid en voor sommige docenten heel moeilijk te conceptualiseren en uit te voeren. Hoe groter het overzicht over het eigen vakdomein hoe eenvoudiger de keuzes bleken te zijn. Maar ook werd van docenten gevraagd hun eigen strategieën te veranderen, zoals bij de wiskunde- en technologiedocenten.

Dit proces vraagt om een grondige onderwijskundige begeleiding. De onderwijskundige moet in staat zijn de experts te stimuleren te gaan ontwerpen. Experts moeten hun eigen vakdomein leren weer te geven in kernbegrippen en leren om een keuze te maken uit de kernbegrippen. Vervolgens analyseren tot welk niveau de kennis of vaardigheid moet reiken. Hoe deze vervolgens moeten worden aangeleerd en welke vorm het onderwijs dient te krijgen. Hoe wordt er vervolgens getoetst?

Anatomen werden uitgedaagd om af te stappen van hun doelen om parate kennis te stimuleren en over te stappen naar het stimuleren van functionele kennis. Technisch geneeskundigen moeten immers zelf oplossingen bedenken op basis van inzicht in de werkingsmechanismen van het menselijk systeem, waardoor er veel aandacht in het curriculum is voor fysiologie. De relatie leggen tussen medische domeinen als anatomie, fysiologie en pathofysiologie met technische domeinen als wiskunde, fysica en elektrotechniek was een uitdaging. De oplossing werd gevonden door terug te gaan naar de basis van kernbegrippen en naar een gezamenlijke nadruk op de functionaliteiten in plaats van de fenomenologie (= de heuristiek).

De conclusie die hieruit getrokken mag worden is dat sturing en begeleiding van het onderwijs heel belangrijk zijn en dat het cruciaal is dat de interpretatie van docenten gelijk is aan het ideale curriculum. Er is een tijd geweest dat de aandacht voor het curriculum op ontwerpniveau niet zo groot was. De aandacht was gericht op de organisatie van het onderwijs. Elke docent wist dus wel waar hij wanneer wat moest doen, maar de interne consistentie van het onderwijs verdween in een zorgwekkend tempo. Hierop is vervolgens weer bijgestuurd met onderwijskundige begeleiding op ontwerpniveau.

Vaardigheidsonderwijs

De ontwikkeling van het vaardigheidsonderwijs is zo omvattend dat er in dit proefschrift een speciaal hoofdstuk (hoofdstuk 5) aan is gewijd. Het is voldoende om hier aan te geven dat er een ontwikkeling was van *skills training* en routine-expertise naar experimenteren, reflectie en adaptieve expertise.

Ook de toetsing van de vaardigheden heeft een sterke ontwikkeling doorgemaakt mede onder invloed van externe ontwikkelingen zoals de inbedding van de technisch geneeskundigen in de wet BIG.

De toetsing middels Korte Klinische Beoordelingen (KKB) (bijlage 9) en Objective Structured Assessments of Technical Skills (OSATS) (bijlage 8) is eveneens onderwerp van hoofdstuk 5 en wordt daar uitvoerig belicht.

6.5 Conclusie

In dit hoofdstuk is het laatste aspect van de ontwerpvrage beschreven, namelijk de evaluatie en de consequenties voor het herontwerp. Bij de reconstructie is als systematische benadering de aanpak van Van den Akker gebruikt, omdat deze goed aansluit bij de ontwerppraktijk binnen Technische Geneeskunde. Elk niveau van het ontwerp heeft zijn eigen specificaties en invloeden. Het macroniveau is lastig te beïnvloeden, omdat het zich in wezen buiten de opleiding afspeelt. Het vormt de politiek-bestuurlijke randvoorwaarden voor de opleiding i.e. het niveau van de politiek en de bestuurders. Het niveau van de ministeries en van de kamers, van Provinciale Staten, van de Raad van State, van de organisaties als de NFU, 3TU, KNMG, Medische Orde, LAD, Zorgverzekeraars. Het is belangrijk gebleken dat de ontwerper op dit niveau meepraat, waarbij deze echter binnen de instelling afhankelijk is van het College van Bestuur, de medisch en wetenschappelijk directeur en van de decaan als mede-onderhandelaar. Naast deze interne stakeholders is er met elke externe commissie, als verzameling van externe stakeholders, op meer niveaus uitvoerig gesproken. Dat kende verschillende overlegvormen tot er begrip van en inzicht in het beroepsprofiel ontstond. Van belang is gebleken dat er getoetst wordt dat het beroepsprofiel en de bijbehorende competenties zowel in ideaal perspectief als in gerealiseerd perspectief hetzelfde waren. In het overleg bleken externe stakeholders kritisch over de ontwikkeling van een meer medisch getinte opleiding aan een technische universiteit. De acties op macroniveau en de rol van de stakeholders en de ontwerper, waren bepalend voor een krachtig ontwerp van de opleiding op macroniveau.

Op mesoniveau bleek het van belang te zijn dat er te allen tijde een trekker is die verantwoordelijk is voor het resultaat van het onderwijs. De ontwerper die de structuur bepaalt, die de doelen vaststelt, de heuristiek vaststelt, enzovoort. Daarnaast bleek het ook van belang te zijn dat er een team werd gecreëerd met een variatie aan competenties. Dankzij dit team is de opleiding geworden tot wat die uiteindelijk nu is, als een nieuwe opleiding, die opleidt tot een nieuw beroep en zelfs een nieuwe discipline.

De inzet en de medewerking van docenten waren eveneens essentieel en vooral dat zij gewend zijn te werken, binnen de context van een ondernemende universiteit, die wordt gekenmerkt door een platte organisatiestructuur en een cultuur waarin men open staat voor vragen vanuit de markt. Een nieuwe opleiding opzetten kan worden gezien als een vraag vanuit de markt. Als het doel is een multidisciplinaire opleiding op te zetten, dient er te worden gezocht naar het verbindend element, een element dat zorgdraagt voor een interne consistentie, een verbindende cultuur. De ontwerper van de heuristiek, van het competentieprofiel, van de doelstellingen, van het vaardigheidsonderwijs was tevens de trekker van de opleiding en als zodanig in staat zorg te dragen voor dit verbindende element.

Op microniveau bleek een noodzaak dat alle docenten doordrongen zijn van hetzelfde concept. Door consequent vertaalslagen te maken tussen de verschillende disciplines en het beroepsprofiel en het competentieprofiel en daarbij de doelstellingen te bespreken en te gebruiken om docenten

te stimuleren tot inzicht in de specifieke vereisten voor het onderwijs van Technische Geneeskunde, is er een gezamenlijk beleefde visie ontstaan. Ook hier was belangrijk dat het curriculum, de doelstellingen etc. door een ieder op elk niveau gelijk werden geïnterpreteerd.

Zowel door de interne evaluaties als de externe evaluaties, met een grote rol voor de stakeholders, maar ook door de vragen en de kritische blik is ervoor gezorgd dat de opleiding een intern consistent construct is geworden.

Uit resultaten van de stages van studenten en van de alumni en van commentaren van hun begeleiders (zie ook hoofdstuk 7) wordt duidelijk dat technisch geneeskundigen in staat zijn om op basis van hun competenties bestaande technisch-geneeskundige interventies te optimaliseren en nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie te ontwerpen en te ontwikkelen met behulp van technologie. Hierdoor zorgen zij als adaptieve probleemoplossers voor een grotere effectiviteit, efficiëntie en veiligheid in het gebruik van medische technologie.

Het volgende hoofdstuk richt zich op de onderzoeksvraag naar de effecten van de verwerving van competenties (kennis, vaardigheden en houding in een authentieke context) op vier niveaus (reactie- of motivatieniveau, leerniveau, gedrags- of performanceniveau, en organisatieniveau) op het oplossen van technisch-medische problemen.

HOOFDSTUK 7

RESULTATEN

HOOFDSTUK 7 RESULTATEN

7.1 Inleiding

Het dit hoofdstuk zal de onderzoeksvraag worden beantwoord naar de effecten van de verwerving van competenties (kennis, vaardigheden en houding in een authentieke context) op vier niveaus (reactie- of motivatieniveau, leerniveau, gedrags- of performanceniveau, en organisatieniveau) op het oplossen van technisch-medische problemen. In 2003 is de bacheloropleiding Technische Geneeskunde gestart en in 2006 de masteropleiding Technical Medicine vanuit de overtuiging dat er behoefte is aan een technisch geneeskundige professional in de gezondheidszorg. Er is op basis van een politiek bestuurlijk perspectief (hoofdstuk 1), een technologisch perspectief (hoofdstuk 3) en een onderwijskundig perspectief (hoofdstuk 4 en 5) een beroepsprofiel, een bijbehorend competentieprofiel, doelstellingen en een curriculum ontwikkeld. Aansluitend is de rode draad voor het inrichten van het onderwijs in de vorm van een heuristisch ontworpen, die uiteindelijk resulteerde in een eigen probleemoplossende strategie van de alumni. Om deze ontwerpen goed te beschouwen in de praktijk is op elk niveau van het curriculumontwerp in de kwaliteitszorg een evaluatie ingebouwd. Er wordt hierbij niet alleen gekeken naar de resultaten in het onderwijs (mesoniveau) en de kwaliteit van de toetsen (microniveau), ook wordt regelmatig het ontwerp gerelateerd (macroniveau) aan de ontwikkelingen in een politiek bestuurlijke context, een technologische context en een onderwijskundige context, zoals beschreven in de eerdere hoofdstukken.

Naast een curriculumevaluatie is ook de evaluatie via de toetsing van de prestaties van de eerste studenten in de klinische praktijk van groot belang voor het bepalen van uitkomsten gemeten naar de verwachtingen. Deze tweede evaluatie kan ervoor zorgen dat er geen ontwerpersblindheid optreedt voor de werkelijke resultaten en dat telkenmale uit evaluaties de conclusie wordt getrokken die het eigen ontwerp bevestigt.

In het *Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation* of ADDIE-model (Gustafson & Branch, 2002) is het evalueren van de opleiding een continu proces. Evalueren is heel belangrijk om de kwaliteit van het ontwerp te toetsen en te waarborgen, maar reflecteren op het ontwerp en de uitkomsten is minstens zo belangrijk. Reflecteren heeft als doel bewustwording te realiseren: bewustwording van het nagestreefde doel maar ook van de resultaten gedurende het proces. Elke academicus heeft een professionele verantwoordelijkheid om het eigen handelen en denken openlijk ter discussie te stellen. Om gezichtsvernauwing te voorkomen, is reflectie en open discussie een pregnant onderdeel geweest van de kwaliteitszorg. De cultuur bij Technische Geneeskunde was en is om de doelen kritisch te beschouwen. Tijdens de eerder genoemde heidagen werden stafleden uitgedaagd te reflecteren op de doelen vanuit het eigen expertisedomein. Indien er een discrepantie werd geconstateerd, dan volgde een discussie. Er werd vervolgens gevraagd SWOT-analyses te maken en voorstellen in te dienen voor beleid. De resultaten van deze discussies werden vertaald in daadwerkelijk beleid.

Het was een heel spannend moment toen de eerste studenten in september 2007 voor het eerst in het tweede jaar van de Master in de ziekenhuizen stage gingen lopen. De stagiaires werden van

week tot week gemonitord door de procesbegeleiders vanuit de opleiding. Daarbij werd elke stagiair bezocht door een stafid van de opleiding, om samen met de klinische stagebegeleiders de resultaten te bespreken. Tijdens deze bezoeken werd in toenemende mate helder dat deze studenten daadwerkelijk een meerwaarde hadden in de gezondheidszorg. Zo moesten de begeleidende artsen wennen aan de studenten omdat ze anders waren dan de geneeskunde-studenten. TG-studenten hadden namelijk geen voorgeschreven pad, maar moesten een eigen probleem definiëren en analyseren en tot een mogelijke oplossing komen. Tijdens de gesprekken gaven de stagebegeleiders meermalen aan dat het innovatieve eigen oplossingen waren van de studenten, die niet waren bedacht door de arts, noch door de ingenieur.

Juist doordat de technisch-geneeskundige studenten dachten vanuit het specifieke patiëntprobleem kwamen zij met innovatieve direct toepasbare oplossingen die de kwaliteit van de zorg ten goede kwamen. De innovatie kon zowel iets totaal nieuws zijn of een optimalisatie van een bestaande interventie. Artsen moesten leren om alleen vragen te stellen en niet direct een idee voor een oplossing aan te dragen. Alleen door de studenten te stimuleren zelf hun eigen problemen te definiëren en eigen oplossingen te bedenken, groeide hun zelfvertrouwen en kwamen de meest innovatieve en klinisch toepasbare oplossingen naar voren.

In september 2009 studeerden de eerste studenten af. Sinds de eerste stages in 2007 is er een groeiende vraag naar studenten, zo zeer dat de vraag ruimschoots het aanbod ging overtreffen. Vele studenten volgen het pad van wetenschappelijk onderzoek zodat zij door middel van een promotie op wetenschappelijk niveau een bevestiging krijgen van hun innovatief vermogen. Dankzij de fellowships (klinische vervolgopleiding) krijgen de alumni een klinische opleiding gericht op de implementatie en toepassing van hun innovaties.

In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de resultaten van de opleiding tot nu toe: aantallen studenten en alumni, soorten stageplaatsen en alumnus-plaatsen en een overzicht van de onderzoekslijnen zoals deze zich op dit moment aftekenen. Voor het bepalen van de kwaliteit van de opbrengst van de opleiding Technische Geneeskunde is het evaluatiemodel van (Kirkpatrick, 1998) gehanteerd. Dit model bestaat al sinds de jaren vijftig, maar sinds de jaren negentig is het populair geworden onder evaluatieonderzoekers van bedrijfsopleidingen. In het eerste decennium van de 21^e eeuw is het model aangepast, onder meer door Guskey (2002) en Chyung (2008). Wij hanteren het model van Kirkpatrick (1998) en op twee niveaus de door Chyung (2008) genuanceerde typering, als kader voor het vaststellen van de resultaten van de opleiding Technische Geneeskunde. Het model kent vier niveaus. Niveau 1 kan worden getypeerd als het reactie- of motivatieniveau met vragen *'How well did the learners like the learning process?' en 'Are they motivated to learn and perform?'*. In dit hoofdstuk wordt de evaluatie op niveau 1 in sectie 7.7. besproken aan de hand van de uitkomsten van de NSE (Nationale Studenten Enquête). Niveau 2 wordt getypeerd als het leerniveau met de vragen *'What did they learn? (the extent to which the learners gain knowledge and skills)' en 'What knowledge, skills, and resources do they need in order to perform?'* In sectie 7.6 wordt ingegaan op de resultaten die behoren bij niveau 2. Niveau 3 wordt gekenmerkt door het gedrag of de vertoonde performance, met vragen als *'What changes in job performance resulted from the learning process? (capability to perform the newly learned skills while on the job)' en 'What do the employees have to perform in order to create the desired impact?'*. Sectie 7.4 en 7.5 bevatten de indicaties voor de prestaties op niveau 3. Niveau 4 is het uiteindelijk te bereiken niveau waarop de resultaten zich manifesteren, met vragen als *'What are the tangible results of the learning process in terms of reduced cost, improved quality,*

increased production, efficiency, etc.?’ en ‘What impact (outcome or result) will improve our business?’. De waardering van deze resultaten staat beschreven in secties 7.9, 7.10 en 7.11.

7.2 Bachelor

In 2003 is de opleiding gestart met een instroom van 50 studenten. Het tweede jaar kende een instroom van 75 studenten en vanaf 2005 tot 2014 is de instroom gegroeid van 100 naar 130 per jaar. Variatie in de instroomaantallen is mogelijk omdat bij de start van de opleiding een instellingsfixus is afgesproken. Primair was daarbij het doel om de kwaliteit van de opleiding door middel van een begrensde kwantiteit aan studenten te garanderen. Met name practica waren aan maximum-aantallen gebonden. Secundair was gekozen voor een fixus, zodat alleen studenten, die positief voor Technische Geneeskunde kozen, werden toegelaten.

Studenten mochten zich immers gedurende de lotingsperiode maar voor één lotingstudie tegelijkertijd aanmelden, waardoor werd voorkomen dat Technische Geneeskunde een *parkeerstudie* zou worden voor uitgelote geneeskunde-studenten. Vanaf 2016 zal de loting niet meer worden uitgevoerd door de overheidsorganen en zal Technische Geneeskunde zelf gaan selecteren. Er wordt nu ervaring opgedaan met de selectieprocedure. Voor een technische studie is het opvallend dat ongeveer 50% van de instroom vrouw is. Voor een medische opleiding is het opvallend dat 50% van de instroom man is.

De nevenstaande figuur 7.1 geeft de geografische herkomst van de studenten van 2010 - 2012 weer per provincie. Er is een goede spreiding over heel Nederland, waarbij wel gezegd moet worden dat er relatief gezien minder studenten uit de Randstad komen, waardoor er naar verwachting weinig hinder is van de start van de opleiding Klinische Technologie in de combinatie van de universiteiten van Delft, Leiden en Rotterdam in 2014.

Figuur 7.1. Geografische herkomst

7.3 Master

Elk jaar stroomt 70 – 75% van de bachelorstudenten door naar de master. Na het samenvoegen van de drie mastertracks tot twee, bleek de instroom in beide tracks redelijk evenwichtig. In dit hoofdstuk over de resultaten wordt een omschrijving gegeven van de beide tracks om een beeld te vormen van het soort werkzaamheden die technisch geneeskundigen in de praktijk uitvoeren.

7.3.1. De track Medical Imaging and Interventions (MII)

De track Medical Imaging and Interventions (MMI) richt zich op geavanceerde beeldvormende diagnostiek, beeldgeleide interventies, hoog complexe interventietechnieken en de toepassing van biomaterialen.

Het genoemde domein speelt een centrale en dominante rol in moderne tweedelijnszorg, en vindt toepassingen in vrijwel alle medische specialismen. Beeldvormende diagnostiek speelt een kernrol bij het inventariseren aard- en beloop van ziekte in de tweede lijn, terwijl beeldgeleide interventies in hoog tempo een deel van de klassieke chirurgie overnemen. Operaties in de buik- en borstholte worden tegenwoordig voornamelijk als endoscopische ingreep uitgevoerd, waarbij robots een steeds duidelijkere plaats gaan innemen. Endoscopische chirurgie vindt men o.a. in de heilkunde, gynaecologie, urologie, orthopedie, neurochirurgie, KNO, en cardiothoracale chirurgie. De technisch geneeskundige is bij uitstek van toegevoegde waarde in dit domein, dat gekenmerkt wordt door grootschalige toepassing van complexe medische technologie.

Biomaterialen worden toenemend belangrijker binnen het domein van deze track. Niet alleen de kunstmatige materialen van polymeren, keramieken, metalen, maar in groeiende mate materialen die zijn vervlochten met natuurlijke materialen, de biomaterialen. Materialen die erop gericht zijn op basis van een grote bio-comptabiliteit te kunnen worden toegepast ter herstel van de functionaliteit van het menselijk lichaam. Beeldgeleide interventies kan men op basis van verschillende technologische achtergronden verdelen in twee stromingen:

Video-scopische interventies of direct zicht-interventies: dit zijn alle interventies waarbij gebruik wordt gemaakt van het natuurkundig fenomeen: licht. Videocamera's brengen het werkterrein in beeld. Computer-augmentatie op basis van b.v. CT of MRI beelden is mogelijk, maar de essentie blijft het werken onder direct zicht van het operatieterrein op een monitor. Onder deze interventies vallen alle diagnostische en interventionele behandelingen met behulp van flexibele en starre endoscopen, en het volledige domein van de endoscopische chirurgie.

Beeldgeleide interventies: dit zijn alle interventies waarbij de uitvoerend specialist wordt geleid door beelden die vervaardigd zijn met geluid, straling of magnetisme. Dus doorlichting, echo, CT of MRI. De interventies kunnen interactief met beeldvorming plaatsvinden, of op basis van pre-operatieve beelden in combinatie met navigatie technologie. De twee belangrijkste pijlers van beeldgeleide interventies met doorlichting zijn traumachirurgie en endovasculaire interventies. Laatstgenoemde ingrepen vinden o.a. plaats binnen de domeinen van de radiologie, cardiologie, neurologie, neurochirurgie en vaatchirurgie.

7.3.2 De track Medical Sensing & Stimulation (MSS):

De track *Medical Sensing & Stimulation (MSS)* richt zich op het gebruik van biomedische signalen voor diagnostiek en therapie. Het menselijk lichaam produceert een groot aantal signalen, zowel intern als extern, voor zeer uiteenlopende functies, variërend van het regelen van de homeostase tot het produceren en verwerken van signalen voor de interacties met de omgeving. Signalen kunnen op basis van de energiedrager verdeeld worden in elektrische, magnetische, mechanische, chemische en elektromagnetische.

De track MSS legt zich toe op het gebruik van medische en technologische kennis om met behulp van deze signalen diagnostische processen te verbeteren, inclusief vroegdiagnostiek, of verstoorde functies te verhelpen of te verbeteren. Toepassingen vinden vooral plaats binnen vier TG-domeinen: i) centrale en perifere zenuwstelsel, ii) motorische systeem, iii) hemodynamiek/-

cardiovasculair en iv) ventilatie, waarbij de klinisch-technische vraagstellingen met name binnen de intensive care geneeskunde, de longgeneeskunde, de revalidatiegeneeskunde, de cardiologie, neurochirurgie, neurologie en klinische neurofysiologie aanwezig zijn.

Gegeven de continue technische ontwikkelingen met betrekking tot (digitale) signaalverwerking en de toenemende mogelijkheden om lichaamsfuncties met (o.a.) elektrische signalen te moduleren, is de verwachting dat de groei van het vakgebied MSS binnen de Technische Geneeskunde verder zal toenemen.

Onderzoeksgebieden Medical Sensing and Stimulation

Hieronder is kort samengevat waar een aantal huidige ontwikkelingen zich afspeelt, en waar nieuwe ontwikkelingen verwacht worden.

- Sensing: Signalen voor diagnostiek en vroegtijdige detectie.
- Sensing: Signalen voor (real-time) monitoren van lichaamsfuncties en meten van effect van interventies
- Stimulation: Signalen voor het beïnvloeden van lichaamsfuncties

7.4 Eerste honderd afgestudeerden

De kwaliteit van de opleiding kan ook worden afgemeten aan de inhoud en de uitvoering van de theses die de studenten tijdens hun afstudeerfase hebben uitgevoerd. Een overzicht dat gemaakt is de abstracts van theses van de eerste honderd afgestudeerden

(<http://www.utwente.nl/tg/internships-theses/Abstracts%20master%20theses/Abstract%20Master%20Thesis/>)

laat zien dat de inhoud van de theses nauw aansluit bij de thema's van de afstudeertracks en van het onderzoek dat op deze terreinen binnen TG wordt uitgevoerd. Bovendien krijgen de studenten te maken met problemen die een dusdanige complexiteit kennen en ook een oplossing vereisen die geen routinematig gevolg is van de constatering van het probleem, dat geconcludeerd kan worden dat bij de meeste thesen van de studenten een adaptieve expertise wordt verlangd en dat zij zich moeten opstellen als *scientist-practitioner*. Deze typeringen sluiten nauw aan bij het niveau 3 (performance) van Kirkpatrick. Ter illustratie is hieronder het afstudeeronderzoek van de 100^e afstudeerder beschreven.

100e afstudeerder was Maarten Grootendorst, 21 december 2012

Schildwachtklier detecteren zonder radioactieve straling

Een nieuwe techniek voor het detecteren van de zogenaamde schildwachtklier, om te onderzoeken of borstkanker is uitgezaaid, heeft als voordeel dat geen radioactieve stof meer wordt gebruikt. Maarten Grootendorst, student Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente, is voor zijn afstudeeronderzoek nauw betrokken geweest bij de opzet van een trial van deze nieuwe techniek in zes ziekenhuizen waaronder Medisch Spectrum Twente. Hij is de 100ste afstudeerder van de jonge opleiding en presenteert zijn onderzoeksresultaten op 21 december.

De nieuwe techniek om de schildwachtklier te detecteren gebruikt minuscule ijzeroxidedeeltjes in plaats van radioactieve stof. Patiënt en medisch team worden zo niet langer blootgesteld aan radioactieve straling. Een groot voordeel is ook dat in landen waar radioactieve stoffen niet voorhanden zijn, wordt dankzij de nieuwe techniek voorkomen dat meer klieren worden weggehaald dan eigenlijk nodig is. Een schildwachtklierbiopsie, het weghalen van de klier, is tegenwoordig gebruikelijker dan het weghalen van alle klieren in de oksel – het 'okselklier toilet', omdat deze klier de grootste kans heeft, tumorcellen te bevatten bij uitgezaaide borstkanker. Behalve de radioactieve stof werd ook een blauwe kleurstof ingespoten, om de klier te detecteren.

MAGNETISCHE DETECTIE

De nieuwe techniek, van het Engelse bedrijf Endomagnetics, bestaat uit een injectie van ijzeroxidedeeltjes samen met de blauwe kleurstof, waarna de klier met een magnetometer is te detecteren. Maarten Grootendorst heeft in het Guy's Hospital in London de trial helpen opzetten voor vijf centra in het Verenigd Koninkrijk en in het Medisch Spectrum Twente in Enschede.

Maarten Grootendorst heeft voor zijn afstudeeronderzoek, als Technisch Geneeskundige, gefungeerd als 'spin in het web' tussen klinici en technici, dankzij kennis van zowel de schildwachtklierbiopsie als van de gebruikte beeldvormingstechniek. De kracht van de opleiding ligt in de combinatie van medische en technische bagage.

Op grond van zijn afstudeerwerk kreeg hij een promotieplaats aangeboden aan King's College London. Daarin zal hij zich richten op de ontwikkeling van een borstsparende techniek voor het intra-operatief bepalen van tumormarges

7.5 Master Stages

Technische Geneeskunde beschikt niet over een primair gelieerd academisch ziekenhuis noch over een vastgesteld adherentie-gebied met de daarin aanwezige andere ziekenhuizen. Dat is een enorm voordeel gebleken omdat de studenten in elk ziekenhuis in Nederland en in het buitenland stage kunnen lopen, mits de afdeling en arts voldoen aan de voorwaarden voor het begeleiden van een stagiair. Omdat de stage een sterk wetenschappelijk karakter heeft, stellen wij als eis dat de begeleider minimaal gepromoveerd dient te zijn. Bovendien dient de afdeling een wetenschappelijke ambitie te hebben hetgeen blijkt uit het onderzoek dat wordt gedaan. Daar komt bij dat de student minimaal 40% van zijn tijd klinisch actief moet zijn.

Deze situatie maakt dat Technische Geneeskunde nu beschikt over een zeer uitgebreid stage-netwerk met stages in alle UMC's, topklinische ziekenhuizen, en in vooraanstaande internationale centra. In totaal hebben bachelor- en masterstudenten TG sinds de start van de opleiding stage gelopen in 140 verschillende instellingen. (en daarbinnen in een verscheidenheid aan afdelingen). Hieronder zijn 106 ziekenhuizen, waarvan 88 in Nederland. Met deze aantallen heeft Technische Geneeskunde het grootste stage-netwerk van alle medische faculteiten in Nederland. Daarnaast zijn er stages bij 18 verschillende bedrijven geweest.

Het succes van technisch geneeskundigen kan daarom ook worden afgemeten aan het feit dat het gemiddelde aanbod aan stage-opdrachten/-afdelingen 2 tot 3 keer groter is dan het beschikbare aantal studenten! Het aantal studenten dat in het buitenland een stage volgt, neemt toe. Tabel 7.1 bevat een overzicht van buitenlandse stages. Ook voor deze stages geldt dat de context van uitvoering van de stage werkzaamheden er een is die een beroep doet op de adaptieve expertise van de student. De studenten creëren hun stage opdrachten veelal dusdanig dat de student als een *scientist-practitioner* in opleiding zijn werkzaamheden verricht. Een duidelijke indicatie van een waardering op niveau 3 (performance) van Kirkpatrick (1998).

Tabel 7.1. Internationale stageplekken

A*Star	Singapore
Guy's Hospital	London - UK
Kings College London	London- UK
Mount Sinai School of Medicine	Translational and Molecular Imaging Institute
Paul Scherrer Institute (PSI)	Villigen
Royal Brisbane and Women's Hospital	Herston, Brisbane
Scuola Superiore Sant'Anna (SSSA)	Pontedera (Pisa), Italy
Singapore General Hospital	Singapore
Stellenbosch University	Cape Town
UBC Okanagan	BC- Canada
Universitair Ziekenhuis Leuven	Leuven

University of Florida	Gainesville
University of Miami - Miller School of Medicine	Miami - USA
University of Sheffield	Sheffield - UK
Yale University School of Medicine	New Haven - USA
Geneva University Hospital	Geneva-Swiss
Montreal Neurological Hospital and Institute	Montreal-Canada
University of Chicago	Chicago-USA

Onderstaande tabel (7.2) geeft een goede indruk van het soort afdelingen waar stage wordt gelopen en uit welke track studenten afkomstig zijn. Door dit te koppelen aan de beschrijving van de beide mastertracks kan een beeld worden verkregen van het soort werk dat Technisch geneeskundigen doen in de praktijk. Ook hier geldt en daar zijn stages ook op geselecteerd, dat zij werk bieden voor een *scientist-practitioner* met adaptieve expertise.

Tabel 7.2. Stageafdeling en de bijbehorende track

Afdeling	Track
Intensive Care	MSS
Anesthesiologie	MSS
Heelkunde	MII
Traumatologie	MII
Vaatchirurgie	MII
Thoraxchirurgie	MII
Urologie	MII
Neurochirurgie	MII
Plastische chirurgie	MII
Mond- en Kaakchirurgie	MII
KNO	MII
Kinderchirurgie	MII en MSS
Kinder Intensive care	MSS
Gynaecologie	MII
Orthopedie	MII
Interne Geneeskunde	MSS
Cardiologie	MSS
Elektrocardiofysiologie	MSS
Catlab	MSS

Longgeneeskunde	MSS
Neurologie	MSS
Klinische neurofysiologie	MSS
Epilepsiecentrum	MSS
Hyperbare geneeskunde	MSS
Oncologie	MSS
Oncologische chirurgie	MII
MDL	MII
Nefrologie	MSS
Geriatric	MSS
Reumatologie	MII
Radiologie	MII
Interventie Radiologie	MII
Radiotherapie	MII
Nucleaire geneeskunde	MII
Revalidatiegeneeskunde	MSS
Medische fysica	MSS/MII
Pathologie	MII
Brandwonden centrum	MII

7.6 Kwaliteit van student en afgestudeerde

In de evaluatie-cyclus van de kwaliteitszorg wordt aandacht besteed aan het beoordelen van de kwaliteit van de bachelor- en de master-eindbeoordeling. De centrale vraag hierbij is die van de betrouwbaarheid (meten we de kennis en vaardigheden van de *scientist-practitioner* juist) en de validiteit (meten we de juiste kennis en vaardigheden). En kan een valide toets vervolgens een indicatie bevatten van de mate waarin de student zich manifesteert als *scientist-practitioner*?

Studenten dienen dus goed te scoren op de competenties die wij hen zelf aanleren. Want als de toets valide en betrouwbaar is dan meet de toets of de student de essentiële competenties heeft verworven. Om hier een indruk van te krijgen zijn verschillende eindbeoordelingen van de MDO (Bacheloreindopdracht, multidisciplinaire opdracht) bestudeerd en zijn ad random een tiental eindbeoordelingen van de master geanalyseerd (bijlage 4 en 5). De resultaten kunnen we rangschikken als een waardering op niveau 2 (leren) van Kirkpatrick (1998).

MDO

De bachelor-eindbeoordeling kent de vorm van een multidisciplinaire onderzoeksopdracht (MDO). De toetscriteria zijn rechtstreeks ontleend aan de competenties en bijbehorende doelstellingen. Het multidisciplinaire karakter is terug te zien in de opdrachtschrijvingen die zowel het medische vraagstuk benadrukken als de technologische uitdagingen. Om het multidisciplinaire karakter van de opdrachten te waarborgen, zijn bij de opdrachten zowel medici als ingenieurs, als begeleiders betrokken. Daarnaast wordt elke student-groep begeleid door een procesbegeleider die wekelijks met de groep de voortgang van de opdracht en de samenwerking in de groep bespreekt en daarmee frequent de persoonlijke ontwikkeling van de studenten ondersteunt en stimuleert.

Door middel van een multidisciplinaire opdracht kan worden getoetst in welke mate een student de werkwijze van een *scientist-practitioner* beheerst. Daarbij kan de student laten zien in welke mate hij/zij de verschillende competenties op een geïntegreerde wijze tot uiting brengt. Studenten werken in kleine groepen van 3 of 4 studenten, omdat zij in het latere werkveld zullen functioneren als onderdeel van een multidisciplinair team. Tijdens de 10 weken durende eindopdracht analyseren studenten een actueel technisch-medisch probleem, bieden mogelijkheden voor de oplossing van dit probleem en waar mogelijk testen ze deze in de klinische context.

De beoordeling van de MDO bestaat uit drie onderdelen: 1) het inhoudelijk eindverslag (groepsbeoordeling), door de medisch en technologisch (UT) begeleider, 2) de eindpresentatie (individuele beoordeling), door de medisch en de technologisch begeleider en de procesbegeleider en 3) een individueel reflectieverslag, door de procesbegeleider. Elk van deze onderdelen wordt afzonderlijk beoordeeld en dient met een 6 of hoger te zijn afgerond om het MDO te halen.

Hiervoor is gekozen om niet alleen de kennis, de vaardigheden en houdingen te toetsen maar in de wijze van toetsing komt ook het multidisciplinaire karakter van de opdracht tot uitdrukking en de vereiste adaptieve expertise als *scientist-practitioner*.

Om een indruk te krijgen van de mate waarin studenten aan het einde van de bachelorfase functioneren als *scientist-practitioner* zijn negen willekeurig gekozen beoordelingsformulieren geanalyseerd. De resultaten van deze analyse staan in Tabel 7.3. en geven een goed beeld van de verworven competenties die verbonden zijn aan de vereiste expertise. Van deze negen studenten hebben, twee studenten een vijf behaald, twee studenten een zes, twee studenten een zeven, twee studenten een acht en één student een negen.

Tabel 7.3 Scores op de MDO

		Score				
		5	6	7	8	9
Toetscriteria	Technisch inhoudelijk	+	-	+	+	++
	Medisch inhoudelijk	+/-	+	+	++	++
	Medisch toepasbaar	-	-	-	+/-	+
	Originaliteit	-	+	+/-	-	+
	Zelfsturend	-	+	+	+/-	++
	Reflecties	-	-	-	+	++
	Presentatie	-	+	+	+	++

Uit bovenstaande tabel kunnen we afleiden dat de studenten die hoog scoren, goed lijken te functioneren op alle facetten waarop ze zijn beoordeeld. De score op 'technisch-inhoudelijk' en 'medisch-inhoudelijk' zijn beoordelingen op wetenschappelijke criteria. 'Medisch toepasbaar' is een criterium uit de klinische praktijk. De mate van originaliteit geeft aan hoe creatief de student is geweest in zijn ontwerp. En het begrip zelfsturing geeft aan in welk mate de student meester van zijn eigen proces is geweest. De reflectie geeft de mate weer waarin de student zich hiervan bewust is geweest. In de presentatie wordt van een student verwacht dat hij kan discussiëren over de resultaten met experts uit zowel het technologisch als het medisch domein. Een student die voor zijn bachelor-eindopdracht een vijf scoort, heeft zijn eindopdracht niet behaald.

Mastereindbeoordeling

In de mastereindbeoordeling zijn de competenties uit het competentieprofiel vertaald naar afstudeeropdracht (zie bijlage 7). Deze opdracht mondt uit in een these en een presentatie.

De beoordelingscommissie van de laatste masterstage bestaat altijd uit: 1) een gepromoveerd medisch begeleider, 2) een gepromoveerde technologisch begeleider van de UT, 3) een procesbegeleider en 4) een onafhankelijk gepromoveerd buitenlid die mede het academisch niveau van de these toetst.

Door middel van de these, die beoordeeld wordt door de medisch begeleider, de technologisch begeleider en het buitenlid, worden de volgende competenties getoetst: 1) onderzoeken en ontwerpen, 2) wetenschappelijke benadering, en 3) intellectuele competentie. De presentatie is een beoordeelbare uitdrukking van de wetenschappelijke benadering en het professioneel gedrag. De competenties technisch- medisch handelen en situationele context worden beoordeeld door het klinisch functioneren van de student gedurende de stage te waarderen. De competentie 'professioneel gedrag' wordt mede gedurende de stage beoordeeld, zowel door de medisch begeleider als de procesbegeleider.

De procesbegeleider begeleidt en beoordeelt het professioneel gedrag van de studenten middels intervisiemomenten en schriftelijke reflecties op deze intervisiemomenten. De ontwikkeling van de student als *scientist-practitioner* wordt op deze manier door verschillende begeleiders en vanuit verschillende perspectieven beoordeeld.

In tabel 7.4 wordt een overzicht gegeven van de afstudeerbeoordelingen, waarbij uit alle beoordelingen willekeurig tien beoordelingen zijn gehaald met de volgende scores: twee maal een 6, 7, 8, 9 en 10.

Tabel 7.4 Eindbeoordeling van 10 TG-studenten

		Scores									
		6		7		8		9		10	
Toetscriteria	Afstudeerthesis	-	-/+	+	-	+	+	++	+	++	++
	Presentatie	+	-	+	+	+	++	+	++	++	++
	Wetenschappelijk functioneren	-/+	-	-/+	-/+	+	+	++	++	++	++
	Klinisch functioneren	+	++	-	++	+	++	+	++	++	++
	Persoonlijke ontwikkeling	-/+	+	-	+	+	+	++	+	++	++

De toetsen zijn duidelijk gerelateerd aan een evenwichtige bijdrage van de beoordelingen van de afzonderlijke competenties. Een student die afstudeert met een:

- Zes, presteert matig in de kliniek en matig in het onderzoek. De prestatie is in balans in die zin, dat de student niet goed is en in deze beoordelingen ook niet goed is in de reflectie.
- Zeven is in disbalans. Dus of matig in de kliniek en redelijk in de wetenschap of andersom.
- Acht is wederom in balans en scoort naar verwachting. Maar niet exceptioneel. Het is gewoon goed.
- Negen is wederom in disbalans. In principe scoort hij gewoon goed, maar is of in de kliniek (zowel in de technisch-medische competentie als in de directe toepassing van de vinding) of in de wetenschap heel erg goed. Dus de student is boven verwachting goed, maar op een van beide gebieden.
- Tien, zowel goed is in het onderzoek, in zelfsturing als in de kliniek. De student kan ook goed reflecteren. De student kan hetgeen zelf is bedacht en ontworpen ook direct toepassen in de kliniek bij patiënten.

In navolging van de medische faculteit in Maastricht die het eigen onderwijs object van onderzoek heeft gemaakt is in 2014 een start gemaakt met een onderzoekslijn naar de ontwikkeling van adaptieve expertise van de technisch geneeskundige.

Dit heeft geresulteerd in een eerste masterthese (Overkamp, 2014) waarin onderzocht is in hoeverre de werkwijze van technisch geneeskundigen bij het oplossen van technisch-medische problemen kenmerken van adaptieve expertise vertoont. Voor dit onderzoek heeft Overkamp aan negen afgestudeerde technisch geneeskundigen een representatief technisch-geneeskundig vraagstuk voorgelegd, passend bij de afstudeerrichting van de afgestudeerde. Bij het oplossen van het vraagstuk werd de deelnemers gevraagd om hardop na te denken zodat de gedachtegang geregistreerd en naderhand geanalyseerd kon worden. In totaal hebben drie afgestudeerden vanuit de richting Medical Sensing and Stimulation (MSS) aan het onderzoek deelgenomen en zes vanuit de richting Medical Imaging and Intervention (MII).

Uit het onderzoek komt naar voren dat over het geheel in de verbale protocollen van het probleem oplosproces twee onderdelen van adaptieve expertise zichtbaar waren: **efficiency en metacognitie** (Schwartz, Bransford, & Sears, 2005). Onder efficiency werd in het onderzoek van Overkamp verstaan dat de deelnemers met name **bekende procedures toepassen** op de casus. Hieronder vallen uitspraken over 1) de probleemanalyse, 2) het bepalen van de anatomie, (patho)fysiologie en technologie, 3) het geven van een samenvatting, en 4) het evalueren van de (gedeeltelijke) oplossing. Het percentage uitspraken over bekende procedures ten opzichte van het totale aantal uitspraken varieerde van 21 tot 40%.

Daarnaast benoemden de proefpersonen vaak dat ze **nieuwe informatie gebruiken** of trekken ze conclusies over de nieuwe informatie, bijv. 'voor deze techniek zullen drie artsen nodig zijn', 'de methode van eerdere onderzoeken naar deze techniek laat te wensen over'. Het percentage uitspraken over nieuwe informatie ten opzichte van het totale aantal uitspraken varieerde van 8 tot 28%.

Wat betreft **metacognitie** viel op dat proefpersonen vooral kritisch over hun eigen ideeën en kennis waren (bijv. 'klopt dit wel wat ik nu zeg?', 'weet ik nu al genoeg om een deel van de oplossing te beschrijven?') en niet zozeer op zoek waren naar feedback over hun probleem oplosproces dan wel de mogelijke oplossing van de casus. Verder kwamen deze uitspraken

gedurende het gehele proces van probleemoplossen voor, van probleemanalyse tot evaluatie van de gevonden oplossing. Het percentage meta-cognitie- uitspraken over ten opzichte van het totale aantal uitspraken varieerde van 13 tot 25%.

Hoewel het onderzoek van Overkamp slechts een beperkte studie betreft, valt op dat de combinatie van het toepassen van bekende procedures en integreren van nieuwe informatie gezien kan worden als kenmerkend voor adaptieve expertise. Dat daarbij het toepassen van bekende procedures (onderdeel van het concept 'efficiency') vaker voorkomt is in lijn van wat Schwartz et al. (2005) beschrijven over adaptieve expertise, namelijk dat het komen tot nieuwe ideeën juist een aanvulling vormt op een grote mate van efficiency.

7.7 Externe beoordelingen

De nadruk op kwaliteit wordt opgemerkt door externe partijen op grond van reacties van de primaire stakeholders, de studenten. De goede resultaten die inmiddels geboekt zijn in onafhankelijke analyses die beschreven staan in keuzegidsen voor het hoger onderwijs, zijn een duidelijke indicatie van de waardering op niveau 1 (reactie of motivatie) van Kirkpatrick (1998):

- In de keuzegids Universiteiten (bachelor opleidingen) Technische Geneeskunde twee jaar achter elkaar het keurmerk "Topopleiding" gekregen. En de keuzegids masters heeft de opleiding al drie jaar op een rij dit keurmerk verkregen. De waardering van de studenten uit zich vooral in een hoge score op de onderdelen inhoud, algemene vaardigheden, docenten, studiebegeleiding, groepsgrootte, stage ervaring, toetsing en beoordeling, en studiefaciliteiten. Ze zijn in vergelijking met het voorgaande jaar (2014) minder tevreden over de informatievoorziening, studierooster en studielast. Zaken die worden toegedicht aan de reorganisatie van de onderwijsadministraties. De studenten beoordelen de masteropleiding als heel goed, waarbij met name de voorbereiding op de studieloopbaan eruit springt met een hele hoge score (4,42). Maar ook inhoud, algemene vaardigheden, wetenschappelijke vaardigheden, studiebegeleiding, toetsing en beoordeling, groepsgrootte, stage en opleiding en stage ervaring scoren heel hoog (3,98 – 4,30). Als laagste scoort hier ook weer het studierooster en de studielast en informatievoorziening.
- Binnen de categorie "Geneeskunde" in de Keuzegids staat zowel de Bachelor als de Master Technische Geneeskunde in deze gidsen op de 1^e plaats. De waardering van de studenten komt op een vergelijkbare inhoudelijke waardering uit als in de keuzegids Universiteiten.
- Ook op de website Kiesjestudie.nl doet Technische Geneeskunde het goed. De Bachelor behaalde in 2013 plek 1 in categorie Geneeskunde en plek 4 (van 36) in categorie Gezondheidszorg. De Master behaalde toen tevens plek 1 in categorie Geneeskunde en plek 6 (van 82) in categorie Gezondheidszorg. De kenmerken van de opleiding die goed scoren, zijn onder meer inhoud, docenten, studiebegeleiding en faciliteiten.
- Op studiekeuze123.nl, die haar gegevens verkrijgt via de NSE (National Studenten Enquête) worden vergelijkbare scores verkregen. Volgens deze website wordt TG goed beoordeeld op sfeer, faciliteiten, huisvesting, algemene vaardigheden, studiebegeleiding, voorbereiding op de beroepsloopbaan en het "totale oordeel". Bovenstaande typering sluiten in essentie nauw aan bij een waardering op niveau 1 (reactie of motivatie) van Kirkpatrick (1998).

7.8 Docenten

In totaal zijn er bij de bacheloropleiding 140 verschillende docenten betrokken. Hiervan zijn er 75 afkomstig van de UT, 40 van het UMCN, en 25 van overige (meestal medische) instellingen. In het eerste jaar van de masteropleiding zijn in totaal 63 verschillende docenten betrokken waarvan 38 van de UT afkomstig zijn. Elke docent die start bij de opleiding Technische Geneeskunde wordt ingevoerd in de doelstellingen van de opleiding om de docent de mogelijkheid te bieden de vertaling te maken van hetgeen hij in zijn eigen opleiding heeft geleerd en binnen zijn eigen onderzoek van belang wordt geacht, naar datgene wat voor de student Technische Geneeskunde van belang is. Dit is een essentiële training in het waarborgen van de eigenheid van de opleiding. Indien het niet gebeurt, maakt de docent persoonlijke vertalingen en hoe oprecht ook gekozen, kunnen deze volstrekt afwijken van de doelstellingen van TG.

Bij voorkeur wordt gekozen voordocenten die als wetenschapper betrokken zijn bij onderzoek in hun expertisedomein, zodat de relatie tussen de nieuwe ontwikkelingen en het onderwijs is geborgd. Van elk vak of elke module wordt een half jaar voordat het vak wordt gedoceerd de blokcommissie bij elkaar geroepen. Het eerste document dat op tafel ligt zijn de evaluatieresultaten van het voorgaande jaar. dan start de bespreking over de doelen en hoe die zo optimaal mogelijk kunnen worden behaald. Elk jaar is er weer een focus op het vertalen van de eigen expertise naar die van de Technische Geneeskunde.

7.9 PAO-TG – Post Academisch Onderwijs TG

Technische Geneeskunde is gestart met een bacheloropleiding. Aansluitend is de masteropleiding ontwikkeld. Maar om werkelijk een nieuwe discipline in de medische wereld te introduceren dient er een helder opleidingscontinuüm te worden ontworpen dat de kwaliteit van de alumni borgt. Op dit moment zijn er 233 afgestudeerden van de opleiding Technische Geneeskunde.

Figuur 7.2. Het opleidingscontinuüm van de technisch geneeskundige

Het opleidingscontinuüm van de klinische expertise (figuur 7.2) start met de stages in de bacheloropleiding. In de masteropleiding volgen de studenten in het totaal vijf stages op diverse afdelingen in het ziekenhuis waar de expertise van hun afstudeerdifferentiatie het best tot zijn recht komt. Op dit moment zijn er vele alumni die hun expertise specificeren door middel van een promotietraject. Door hun bevindingen en hun oplossingen te publiceren krijgt de expertise van de technisch geneeskundige niet alleen lokale, en nationale, maar ook internationale erkenning. In dit traject leren de studenten te focussen op een heel specifiek onderwerp.

Na hun promotie kunnen zij een fellowship volgen, waarin zij gedurende twee jaar tijd hun specialisatie leren toepassen op een zo groot mogelijke populatie van patiënten. Zij extrapoleren hun bevindingen naar de oneindig complexe werkelijkheid. Indien er voldoende expertise is opgebouwd door de pioniers kunnen TG-ers, direct na hun afstuderen een fellowship volgen, waarin zij de expertise van hun voorgangers leren toepassen in een bredere context. Hiermee is de vervolgopleiding van een technisch-geneeskundig specialist geboren.

Op dit moment zijn er alumni die zijn gepromoveerd en die een fellowship volgen en zijn er zelfs al stafleden. Het is een kwestie van tijd voordat de eerste hoogleraar Technische Geneeskunde wordt benoemd. Deze kenmerken passen als waardering op niveau 4 (uiteindelijk resultaten) van Kirkpatrick (1998).

7.10 Fellowships

In 2013 is de opleiding gestart met het stimuleren van klinische vervolgopleidingen onder de noemer Fellowships. De opleiding stimuleert deze opleidingen door een financiële stimulans te geven bij de start en de afsluiting van de opleiding. De Nederlandse Vereniging voor Technische Geneeskunde (NVvTG) bewaakt de kwaliteit van deze opleidingen. Afdelingen die ruime ervaring hebben met technisch geneeskundige studenten (Ba, M2, M3), en alumni (liefst in een PhD-programma) en die bovendien heldere lijnen hebben waaruit de meerwaarde van een TG-er blijkt, kunnen in aanmerking komen voor een Fellowship. Doelstelling is dat wordt gestreefd naar een vervolg van de werkzaamheden van een fellow in een benoeming als staflid.

Zowel de promovendus als de fellow hebben als doel zich te ontwikkelen op het gebied van kennis, vaardigheden en professionele verantwoordelijkheid, zodat zij bouwen aan hun individuele expertisedomein door innovatie en optimalisatie van de zorg. Doel van een promovendus is gericht onderzoek uit te voeren naar een innovatie. Doel is eveneens het onderwerp op een wetenschappelijk verantwoorde wijze uit te diepen en hierover te publiceren, met het oog op een openbare discussie. Een PhD-student is aan het convergeren. De Fellow daarentegen is aan het divergeren. Deze dient in een klinische context uit te zoeken hoe breed toepasbaar de resultaten van het onderzoek zijn bij patiënten. Figuur 7.3 visualiseert het bouwwerk van TG met het vervolg van de opleiding TG in een PhD-traject en een Fellow-traject elk met hun eigen kenmerken.

De fellow heeft de uitdagende opdracht om uit te zoeken welke handelingen tot en met niveau zes (expert met een eigen indicatiestelling) moeten worden aangeleerd, om zichzelf bepaalde interventies eigen te maken, die niet langer tot het expertise-domein van de opleider (arts) behoren. Zolang de opleider nog geen technisch geneeskundige is, zal de fellow zich ervan bewust moeten zijn, dat hij de controle moet hebben over het eigen leerproces. Als hij alleen maar leert wat hij van de arts mag leren, zal het heel moeilijk worden de eigen meerwaarde te vinden en te

behouden. Dit is voornamelijk het dilemma van de fellow. Het opleidingsbouwwerk van TG is een duidelijke manifestatie van de bereikte resultaten op niveau 4 van Kirkpatrick (1998).

Figuur 7.3. De ontwikkeling van een technisch-medisch professional

7.11 Wet BIG

In 2014 is de technisch geneeskundige opgenomen in artikel 36a van de wet BIG, met als officiële titel; Klinisch Technoloog. Het artikel stelt dat de technisch geneeskundige als Klinisch Technoloog 9 van de 14 voorbehouden handelingen gedurende vijf jaar mag uitvoeren, als ware hij bevoegd. De periode van vijf jaar is een evaluatieperiode waarin een evaluatieonderzoek zal plaatsvinden, dat antwoord dient te geven op de vraag in hoeverre de zelfstandige bevoegdheid van de Klinisch Technoloog doeltreffend en doelmatig is met betrekking tot het verrichten van voorbehouden handelingen en voor welke voorbehouden handelingen dit geldt. Dus is het van belang dat de technisch geneeskundige tijdens de opleiding al leert hoe hij relevante vaardigheden moet verwerven, maar ook hoe hij ze kan laten toetsen middels OSATS en KKB's (bijlage 8 + 9), zodat de technisch geneeskundige in de praktijk een adequaat registratiesysteem kan opbouwen. Het ministerie van VWS heeft de opdracht voor dit onderzoek gegeven aan een onafhankelijke hoogleraar en zal de conclusies van dit onderzoek mede gebruiken in haar besluitvorming omtrent de toekenning van de zelfstandige bevoegdheid aan de Klinisch Technoloog. Het evaluatieonderzoek is ingericht om tijdens de experimenteerperiode de tijdelijke toekenning te onderzoeken op vier variabelen: continuïteit, kwaliteit, effectiviteit en efficiëntie. Deze vier concepten zijn terug te vinden in het registratie-instrument dat is ontwikkeld door de NVvTG. Elke TG-er zal de interventies registreren, die hij uitvoert. Binnen de interventie zal worden aangegeven welke handelingen hierin worden gebruikt en dat de TG-er deze op niveau heeft aangeleerd. Dit is getoetst met behulp van OSATS en KKB's. Van een interventie zal worden vastgesteld wat de meerwaarde voor de zorg is, dat de TG-er deze interventie uitvoert. Met deze registraties wordt een databank gevuld waarmee de vragen van continuïteit, kwaliteit,

effectiviteit en efficiëntie kunnen worden beantwoord. Het systeem dat leidt tot een BIG-registratie is vooral gebaseerd op de waardering van de uiteindelijk te bereiken van de opleiding tot technisch geneeskundige.

7.12 Conclusie

In dit hoofdstuk wordt de vraag beantwoord wat de studenten hebben geleerd. De opleiding startte in 2003 vanuit een vaststelling dat er behoefte was aan een technisch-medisch professional en na twaalf jaar kunnen we op grond van de verzamelde evidentie spreken van een geslaagde opleiding en zijn er geschikte afstudeerders. Er is een opleiding ontworpen, er is een nieuw beroep en dankzij de focus op de *scientist practitioner* ook een nieuwe discipline. De effecten op de respectievelijke niveaus van Kirkpatrick (1998) vormen gezamenlijk een duidelijke indicatie van het positieve effect en beoogde realisatie van de opleiding Technische Geneeskunde, zoals ook verwoord in de onderzoeksvraag van dit proefschrift.

Het ontwerp van de opleiding is tot stand gekomen door onderwijskundige principes met een engineering approach toe te passen in een medisch domein. Door gebruik te maken van bevindingen van wetenschappelijk onderzoek en van bijdragen van individuele wetenschappers die in het kader van de ontwikkeling van de opleiding zaken hebben bedacht, uitgezocht en vastgelegd, is er een wetenschappelijke verantwoording voor de opleiding ontstaan.

Naast de assessment van kennis, vaardigheden en houdingen van studenten en afgestudeerden, kan het effect van de opleiding ook worden afgemeten aan de aantallen studenten die de opleiding hebben gevolgd, en aan het feit dat de alumni voor de wetenschappelijke en beroepsmatige versterking de Nederlandse Vereniging van Technische Geneeskunde hebben opgericht. Alumni, die met elkaar in promoties en fellowships het beroep verder laten uitkristalliseren.

Het wachten is nu nog op de resultaten van het evaluatieonderzoek over de experimenteerperiode van de BIG-registratie van alumni (artikel 36a). Als het resultaat is dat de technisch geneeskundigen worden opgenomen als nieuw beroep in artikel 3 en als technisch-medisch specialisme conform artikel 14, is daarmee ook voldaan aan de vaststelling van de kwaliteit van de opleiding op niveau 4 van Kirkpatrick (1998).

Het volgende hoofdstuk is een antwoord op de rechtvaardiging van de opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente, waarmee het een antwoord is op de overkoepelende vraag, waarbij de drie eerdere deelvragen in gelijke mate antwoord geven. Naast dit antwoord biedt het volgende hoofdstuk een beschouwing op het ontwerp van deze opleiding, en nieuwe perspectieven op het ontwerpen van onderwijs.

HOOFDSTUK 8

REFLECTIE: ANATOMIE EN FYSIOLOGIE VAN HET ONTWERPEN

HOOFDSTUK 8 REFLECTIE: ANATOMIE EN FYSIOLOGIE VAN HET ONTWERPEN

8.1 Inleiding

Het volgende hoofdstuk is een antwoord op de rechtvaardiging van de opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente, waarmee het een antwoord is op de overkoepelende vraag, waarbij de drie eerdere deelvragen in gelijke mate antwoord geven. Naast dit antwoord biedt het volgende hoofdstuk een beschouwing op het ontwerp van deze opleiding, en nieuwe perspectieven op het ontwerpen van onderwijs.

Voor de reconstructie van het ontwerpproces, onderwerp van dit proefschrift, werd gebruik gemaakt van de ontwerpleer en een ontwerpmodel, respectievelijk als kader voor de analyse. Uiteindelijk bleek het ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde complexer dan het kader aangeeft. Het ging enerzijds om het vaststellen van de ontwerpprincipes voor het integreren van verscheidene expertdomeinen in een complexe context en anderzijds ging het om het verkrijgen van diepere inzichten in onderwijskundige ontwerpprocessen. In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op de ervaren complexiteit van het ontwerpproces, dat wordt gekenmerkt door een gelaagde structuur van ontwerp-niveaus, met daarbij een aparte rol van ingebrachte expertise, zowel onderwijskundig als domeinspecifiek. Deze reflectie mondt vervolgens uit in een overdenking over het ontwerpen van universitaire opleidingen. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal aanbevelingen.

De ontworpen opleiding Technische Geneeskunde, inclusief de veranderingen en aanvullingen die in de loop van de tijd zijn aangebracht, leidt, op grond van de resultaten die in hoofdstuk 7 zijn besproken, op tot adaptieve expertise en tot *scientist-practitioners*. Hiermee is de overkoepelende vraag van het proefschrift, naar de rechtvaardiging van de opleiding, positief beantwoord. De opleiding voorziet in een behoefte. De deelvragen naar de opleiding in specifieke zin, het ontwerp en het onderzoek leveren de volgende resultaten en conclusies op.

Over de beantwoording van de opleidingsvraag kan het volgende worden opgemerkt. De ontwikkeling van de opleiding geschiedde op basis van het bepalen van het beroepsprofiel. Dit profiel diende als het einddoel en als uiteindelijk resultaat van de opleiding. Hieruit volgde de ontwikkeling van het competentieprofiel, waarin tot uitdrukking werd gebracht wat voor type professional moest worden opgeleid en ook kon het antwoord op de vraag naar het wat en het hoe van de opleiding worden gespecificeerd. Het wat is weergegeven in de competenties in wetenschappelijke discipline, en het onderzoeken en ontwerpen. Het hoe is weergegeven in de competentie in de wetenschappelijke benadering en de intellectuele competentie. Het wat en het hoe komen samen in de competenties professioneel gedrag en het technisch medisch handelen. De gezondheidszorg wordt weergegeven in de context van de opleiding. Ook de master is beschreven in termen van deze competenties, zij het dat deze zijn geordend in de CanMed structuur van technisch medisch deskundige, communicator, samenwerker, organisator, academicus en beroepsbeoefenaar.

Het curriculum van de opleiding Technische Geneeskunde maakt gebruik van de specifieke kenmerken van een ontwerpersopleiding geplaatst in een medische context. De student leert te denken en te handelen vanuit het perspectief van de individuele patiënt, maar leert ook om innovatief te zijn. Dit kan doordat de student de mogelijkheid krijgt zich een gedegen inzicht te verwerven in de medische en technologische kernbegrippen en principes. Tegelijkertijd ontwikkelt de student een wetenschappelijke attitude en een academische houding. Daarmee voldoet de opleiding Technische Geneeskunde aan de kenmerken die via het beroepsprofiel en competentieprofiel zijn geformuleerd en aan de randvoorwaarden die voortkwamen uit de politiek-bestuurlijke context.

De beantwoording van de ontwerp vraag leidt tot de volgende beschouwing. De ontwerpleer en het gehanteerde ontwerpmodel dienden als basis voor niet alleen het ontwerpproces dat leidde tot de opleiding Technische Geneeskunde maar zij vormden ook de essentie van het denken en handelen van de technisch geneeskundige, zowel student als alumnus, als *scientist-practitioner* en als *linking scientist* die zich inzet voor de vertaling van medisch inhoudelijke als technologische kennis naar praktische toepassingen. Deze kenmerken kwamen tot uitdrukking in de ontwerpprincipes, zoals onder meer de heuristiek, die bepaald zijn op het terrein van technisch-medische problemen en oplossingsbepalingen (hoofdstuk 3), op het terrein van technisch-medisch probleemoplossen (hoofdstuk 4) en op het terrein van de uit te voeren handelingen door de technisch geneeskundige (hoofdstuk 5). In de interne en externe curriculumevaluatie die in hoofdstuk 6 is beschreven, komen de uitkomsten van de eerdere positiebepalingen tot uitdrukking in een aangescherpt curriculum.

De effecten van de verworven competenties zijn onderwerp van de onderzoeksvraag. Daarbij kan het volgende worden opgemerkt. Uit de evaluatie op grond van het vier-niveaus model van Kirkpatrick blijkt dat de verworven competenties met betrekking tot adaptieve expertise, alsmede *scientist-practitioner* en *linking scientist*, in positieve zin tot uitdrukking komen in de motivatie van studenten, het leerresultaat van de studenten, de performance van de studenten en alumni, en het functioneren van het gezondheidszorgsysteem. De adaptieve expertise en de *scientist-practitioner* geven uitdrukking aan de wijze waarop geneeskunde en technologie, de arts en de ingenieur, kunnen samenwerken doordat de technisch geneeskundige als intermediair zorgdraagt voor de vertaling en daarmee een *linking scientist* is die de kloof dicht tussen de arts en de ingenieur. De wijze waarop de opleiding met deze kenmerken en uitkomsten tot stand is gekomen, is onderwerp van reflectie in dit afsluitende hoofdstuk.

Aan het gehanteerde ontwerpmodel ligt de centrale generieke ontwerp vraag ten grondslag die ook in de analyse een centrale rol speelde: hoe op een systematische en creatieve manier, via een geïntegreerde benutting van zowel wetenschappelijke kennis (via onderzoek) als praktische vaardigheden en binnen bepaalde randvoorwaarden, een oplossing voor een probleem te ontwerpen, te beproeven en te implementeren, die zo goed mogelijk voldoet (paragraaf 1.4 van dit proefschrift).

Onderwijskundig ontwerponderzoek wordt gekenmerkt door een systematische en beargumenteerde analyse, ontwerp, ontwikkeling, implementatie en evaluatie van onderwijskundige interventies (Plomp & Nieveen, 2007). Hiervoor wordt een generiek ontwerpmodel (Gustafson & Branch, 2002) gehanteerd (ADDIE model, Analysis, Design, Development, Implementation & Evaluation). In dit slothoofdstuk wordt teruggeblikt op de rol van het onderwijskundig ontwerpmodel binnen de ontwerpprocessen. Het model geeft de

structuur aan van het onderzoek: er wordt een onderscheid gemaakt in een fase van vooronderzoek waarin het probleem wordt geanalyseerd en daarbij worden de factoren die bijdragen aan de oplossing van het probleem geïdentificeerd. Ten tweede een ontwerpfase waarin op grond van de uitkomsten van de analysefase de oplossing in de vorm van een interventie wordt ontwikkeld en formatief beproefd. Ten derde wordt de interventie geïmplementeerd in de feitelijke opleidingssituatie. En ten vierde vindt de uiteindelijke summatieve evaluatie plaats waarmee de effectiviteit van de oplossing van het oorspronkelijke probleem wordt bepaald.

De basis wordt gevormd door de kenmerken die volgens Van den Akker et al. (2006) en Plomp & Nieveen (2007) typerend zijn voor ontwerponderzoek: een interventie, een iteratief proces, actieve participatie van de praktijk, een nuttig resultaat en de aanwezigheid van een conceptueel kader zodat er een relatie met de theorie kan worden gelegd. Hiermee kan de reconstructie van het ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde een voorbeeld worden genoemd van ontwerponderzoek.

De reconstructie van het ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde had tevens als theoretische doelstelling bij te dragen aan het kennisbestand of het theoretisch construct van het onderzoekdomein. Daarnaast was een doelstelling om meer inzichten te genereren en bij te dragen aan het verbeteren van de praktijk alsook het ondersteunen van beleid, bestuur en ontwerpen in het medische domein.

Het praktisch-technologische doel van de reconstructie was te komen tot een ontwerpmodel voor het onderwijs in een complexe context, waarbij het ontwerpen als methodologie wordt gebruikt. In de beschrijving van dit ontwerp gaat het niet alleen over de wetenschappelijke beschrijving van de opleiding (hoe ziet een opleiding eruit die meer expertdomeinen combineert?) of vergelijking (wat is het verschil tussen de opleidingen Geneeskunde, Biomedische Technologie en Technische Geneeskunde?), maar ook over de evaluatie van het ontwerp (hoe verloopt het ontwerpproces en wat zijn de resultaten?) of de verklaring (hoe kun je ontwerpen op verschillende niveaus?). Deze reconstructie leidt tot het inzicht dat het ontwerpen wordt bepaald door het niveau waarop het onderwijs vorm gegeven wordt, de variatie aan expertdomeinen, wel of geen eindverantwoordelijkheid voor het ontwerp hebben en de rol van de ontwerper.

In dit hoofdstuk gaan we ten eerste in op de uitkomsten van de reconstructie, het ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde. Ten tweede komen de belangrijkste kenmerken aan bod van de opleiding zoals deze na een aantal aanpassingen op basis van het ontwerpproces is ontstaan. Tevens gaan we in op de inpassing van de opleiding binnen het opleidingsaanbod van de Universiteit Twente, op de rol van de onderwijsontwerper en op de complexiteit van de context waarbinnen ontworpen wordt. Ten derde blikken we terug op de belangrijkste kenmerken van de technisch geneeskundige als *scientist-practitioner*. En ten slotte gaan we in op aanbevelingen die kunnen worden geformuleerd op basis van de ervaringen met het ontwerpproces van Technische Geneeskunde voor het ontwerpen van opleidingen voor *scientist-practitioners* in een interdisciplinair verband.

8.2 Het ontwerpmodel en de ontwerpprocessen

De hieronder beschreven gedachten en opvattingen zijn ontleend aan de ervaringen met en de reconstructie van het ontwerpen van de opleiding Technische Geneeskunde en de vergelijking met theorieën over ontwerpen vanuit de literatuur.

Het ADDIE-model veronderstelt volgens sommigen een homogene visie (Gustafson & Branch, 2002) op ontwerpen, terwijl anderen aangeven dat ontwerpprocessen veel heterogener zijn (Kessels, 1993; Rowland, 1992; Visscher-Voerman & Gustafson, 2004). Ontwerpers blijken in zeer gevarieerde contexten te werken, maar zijn ook gevarieerd in hun financiële middelen, of in hun ervaring (Rowland, 1992). Reconstructie van ontwerpprocessen in een reële context, zoals dat van Technische Geneeskunde, is een belangrijke stap in het verkrijgen van inzicht in de relatie van het academisch construct als het ADDIE-model en de werkelijkheid van het ontwerpen (zie Figuur 8.1 voor een schematische voorstelling van een variant op het ADDIE-model van Verhagen et al. (1999).

Figuur 8.1. Ontwerpmodel voor onderwijskundig probleem oplossen

In het ADDIE-model en varianten op dit model zien we elementen van de empirische cyclus (observatie, analyse, hypothese en toetsing) van De Groot & Spiekerman (1969) en de regulatieve cyclus (probleem, diagnose, plan, ingreep, evaluatie) van Van Strien (1997). In beide aanpakken betreft het een systematische benadering van een probleem, die mogelijk tot een oplossing kan leiden. In het kader van de opleiding Technische Geneeskunde kan het model ook worden vergeleken met de anatomie van de mens. De basisstructuur is bekend en voor iedereen gelijk, maar in werkelijkheid zien we een grote variatie in de uiteindelijke werking van het systeem, met andere woorden elk mens is toch weer anders.

In de *Design Approaches in Training and Education study* (DATE) van Visscher-Voerman & Gustafson (2004) is de belangrijkste vraag, welke ontwerpstrategie gebruiken professionele ontwerpers van naam in een variatie van training- en onderwijs-contexten? De conclusie was dat er nauwelijks structuren en patronen in de activiteiten van deze ontwerpers te herkennen waren. Er bleek alleen een antwoord te vinden te zijn indien men niet zozeer keek naar de activiteiten van deze professionals als wel naar hun beweegredenen, redeneringen en rechtvaardigingen

onderliggend aan hun handelen. Visscher-Voerman & Gustafson (2004) analyseerden de ontwerpen aan de hand van de ontwerpfasen van het ADDIE-model en kwamen tot de conclusie dat er vier paradigma's en beweegredenen of persoonlijkheidstypes ten grondslag liggen aan aanpakken die in de fasen van het ADDIE-model worden gebruikt te weten:

1. Instrumenteel paradigma; planning op basis van doelen
2. Communicatief paradigma; communicatie om consensus te bereiken
3. Pragmatisch paradigma; interactief en herhaalde try-outs en revisies
4. Artistiek paradigma; creatie van producten gebaseerd op vakmanschap.

Binnen het domein van Technische Geneeskunde kunnen we ook voorbeelden zien van een ontwerp waarbij het lijkt alsof er geen structuren en patronen te ontdekken zijn in de activiteiten van een professional. Zo probeerde een ingenieur eens een virtuele omgeving te ontwerpen voor een chirurgische interventie, de liesbreuk (Sanders et al., 2005). De gedachte was dat als er een gesimuleerde omgeving zou kunnen worden gecreëerd, de dokter op elk gewenst tijdstip zijn vaardigheid zou kunnen oefenen. De ingenieur zocht volgens zijn op Newton gebaseerde probleemoplossende strategie (zie hoofdstuk 4) het algoritme achter de chirurgische interventie. Hij kwam op een model van een liesbreuk- operatie. Vervolgens keek hij in de praktijk wat de chirurg deed tijdens een operatie om erachter te komen dat de chirurg bij de vijf operaties die hij bijwoonde, vijf keer iets anders deed dan dat hij conform het model verwachtte.

De overeenkomst met het onderzoek van Visscher-Voerman en Gustafson (2004) is dat men in beide gevallen kijkt naar de praktijk vanuit een idee dat er een model is dat elke keer herkenbaar zou zijn in het handelen van een professional. Visscher-Voerman & Gustafson (2004) stellen dat de keuze voor de ontwerpaanpak grotendeels wordt bepaald door de persoonlijkheidsstructuur van de ontwerper. De liesbreukoperatie van de chirurg leek afhankelijk van de toevallige voorkeuren van de chirurg, maar toch bleek dat er vanuit een ander perspectief wel degelijk structuren te ontdekken zijn, namelijk de fases of stappen van een operatie die worden bepaald door de specifieke toestand van de patiënt. Is deze oud, jong, is de breuk ontstoken, is er sprake van co-morbiditeit? Dit zijn de specificaties van de context. De structuur van een operatie is, dat elke operatie altijd start met het maken van een toegang en eindigt met het sluiten van de toegang. Al deze context-specificaties maken dat het lijkt alsof de chirurg elke keer iets anders doet, net zoals de ontwerper elke keer iets anders lijkt te doen, maar in wezen zijn de fasen van de procedure net zo helder als de fasen uit het ADDIE-model of de fasen uit de empirische of regulatieve cyclus.

Voor de verdere analyse is het van belang een onderscheid te maken tussen het model en het proces waar het model de basis voor vormt. Om de vergelijking met het medische domein te continueren: als het ADDIE-model kan worden beschouwd als de anatomie van een systeem, dan kunnen de ontwerpprocessen worden beschouwd als de fysiologie van het systeem, namelijk het werkingsmechanisme van het model. Het gebruik van het model wordt aangepast aan de reële context. En vervolgens wordt elk proces gekenmerkt door een variatie in de context, de ontwerpvrage, het niveau van het ontwerp, de mate van verantwoordelijkheid voor het ontwerp en de ervaring van de ontwerper (Rowland, 1992). Hierna wordt ingaan op de niveaus van ontwerpen, de rol van de ontwerper en de complexiteit van de werkelijkheid waarbinnen wordt ontworpen. De terugblik en reflecties zijn gebaseerd op de ervaringen met het ontwerpen van de

opleiding Technische Geneeskunde en kunnen worden beschouwd als het resultaat van de reconstructie van het ontwerpproces.

8.2.1 Niveaus van ontwerpen

Het ontwerpmodel kan, zoals hiervoor is betoogd, worden beschouwd als een generiek anatomisch model en de uitvoering en aanpassing van het model, de fysiologische ontwerpprocessen, geschieden afhankelijk van de specificiteit van de context. Elk ontwerpproces wordt daarmee gekenmerkt door een iteratief verloop van de fasen van het model en wordt bepaald door de context, de ontwerpvrage, het niveau van het ontwerp, de mate van verantwoordelijkheid voor het proces, en de ervaring van de ontwerper. Bij het ontwerpen binnen het onderwijs bestaat de context uit de onderscheiden niveaus waarop het onderwijs wordt ontworpen (Van den Akker, 2003):

1. Het macroniveau, dat Van den Akker onderscheidt, betreft het systeem, maatschappij, land-niveau. Voor ons is dit het politiek-bestuurlijk perspectief van externe ontwikkelingen vanuit de overheid en gezondheidszorg,
2. Het mesoniveau betreft de gehele school of instelling. In dit geval de gehele opleiding,
3. Het microniveau betreft het niveau van de te ontwerpen onderwijseenheid, een vak of een module.

Het ontwerp voor de opleiding Technische Geneeskunde kent een ontwikkeling op elk van deze niveaus, die hieronder zullen worden beschreven en geanalyseerd.

Macroniveau

Elk ontwerpproces start met een probleem en dat is in dit geval het kostbare, ineffectieve en inefficiënte gebruik van technologie in de directe gezondheidszorg met alle (dramatische) consequenties.

Dit probleem is gediagnosticeerd als een opleidingsprobleem, vandaar de start van een vooronderzoek voor het ontwerp van een opleiding Technische Geneeskunde. Het ontwerp heeft niet plaatsgevonden in een begrensde en gecontroleerde omgeving van een laboratorium, maar in de complexe werkelijkheid van de Universiteit Twente en van de gezondheidszorg. Er is gekozen voor de ontwerpleer als aanpak, omdat er ervaring is binnen de UT met het ontwerpen van onderwijs conform de ingenieursaanpak. Tevens leek het ontwerpen de beste methodiek voor de studenten als systematische benadering voor het oplossen van hun kennis- en vaardigheidsproblemen. Zowel bij het object als subject van deze studie is gekozen voor de ontwerpleer of educational design research (McKenney & Reeves, 2012; Van den Akker et al., 2006; Verhagen et al., 1999). De vraag was een opleiding te maken die de geneeskunde en de technologie of Darwin en Newton met elkaar kon verbinden tot een nieuwe eenheid, die van de technisch geneeskundige of wel, met een knipoog, van een NewWin. Een samenvoeging van New(ton) en (Dar)win.

Visscher-Voerman en Gustafson (2004) verwonderen zich over het feit dat het vooronderzoek vaak zo kort is in een ontwerpproces. Toch is dit niet zo verwonderlijk. Volgens Ericsson et al. (1993) duurt het tien jaar training en leren voordat er sprake is van een expert. De specifieke expertise van de ontwerper (Rowland, 1992) maakt dat de analysefase korter kan duren in het

ontwerpproces omdat er al veel bekend is. Dat was in dit ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde ook het geval. Vandaar dat dit proefschrift ruim aandacht besteedt aan de beschrijving van het politiek-bestuurlijke proces, de uitleg over technologie en over onderwijskundige inzichten in de opleiding tot arts en ingenieur, omdat een deel van de expertiseontwikkeling van de ontwerper voorafgaand aan het eigenlijke ontwerpproces van Technische Geneeskunde plaats vond en dus in wezen het vooronderzoek vormt. Het onderwijskundige expertdomein van de ontwerper maakte het mogelijk dat de start van de opleiding in 2003 ook de daadwerkelijke start kon zijn van het ontwerp en de realisatie tegelijkertijd.

Het is geen sinecure om een opleiding te starten in een geheel nieuw domein, dat nergens ter wereld een expliciet voorbeeld heeft. Indien er een strikt programma van eisen aanwezig is, is het relatief eenvoudig om hieruit een ontwerp te destilleren. Het was echter veel moeilijker om een nieuwe discipline te ontwerpen waarbij er geen enkel direct referentiekader voorhanden was, anders dan de beschreven onderwijskundige expertise, en een context van gezondheidszorg en technologie. Het ontwerp was gebaseerd op een theoretisch construct en conceptueel kader over de kennis, de vaardigheden en de attitude van een technisch geneeskundige. Deze fase werd gekenmerkt door een hoog abstractionniveau van ontwerpen. De eigenlijke opleiding is vormgegeven en uitgevoerd in een iteratief ontwerpproces waarbij de ontwikkeling van elk vak de ontwerpfases kende van ontwerp, uitvoering en implementatie en evaluatie.

Achteraf is het van belang gebleken inzicht te hebben in de structuur, organisatie en opleidingen van de gezondheidszorg en de bijbehorende probleemoplossende strategieën. Dit inzicht is noodzakelijk om de opleiding daadwerkelijk in te kunnen bedden in de gezondheidszorg als een geaccepteerde nieuwe loot aan de stam van opleidingen. Met als vereiste dat de Technische Geneeskunde een nieuw technisch-medisch specialisme zou worden. Een specialisme ingebed, via de erkenning in de wet BIG, in de structuur en organisatie van de gezondheidszorg. De technisch geneeskundige moest, net zoals de dokter denken vanuit de patiënt en niet vanuit de technologie, zoals de ingenieur om daarmee van meerwaarde te kunnen zijn in de directe patiëntenzorg.

Inzicht in de organisatie en structuur van technologische opleidingen en biomedisch technologisch onderzoek was noodzakelijk om de keuzes te maken voor de ingenieursaanpak, i.e. de ontwerpleer, maar ook voor de inhoud. Kennis en inzicht in de technologie worden als een doel beschouwd indien de technologie als inhoudelijk onderwerp van vakken wordt ingezet. Technologie is een middel zodra gebruik wordt gemaakt van gesimuleerde werkelijkheden. Maar technologie kan ook worden gebruikt als methode en dan wordt de ontwerpleer bedoeld. Juist door deze analyses kon er een steeds meer genuanceerd programma worden gecreëerd.

De reconstructie leverde veel later in het ontwerpproces de expliciete inzichten op, dat er voor- en nadelen zijn verbonden aan experts en dat expertise domeinspecifiek is (zie hoofdstuk 4). Dit is achteraf een belangrijk inzicht geweest voor het ontwerp van de opleiding, omdat het tevens inzicht gaf in de noodzaak dat experts moeten worden gestimuleerd om kennis, vaardigheden en inzicht te vertalen van hun eigen domein naar een ander domein, namelijk van de nieuwe opleiding.

De rapporten van de Inspectie voor de Gezondheidszorg (2008) en de World Health Organization (2010) en het rapport Medische technologie at risk van de Expertgroep, Verkerke et al. (2011), in opdracht van het ministerie van VWS, kunnen gezien worden als bevestigingen van deze aannames. Zij leerden dat de arts de technologie gebruikt alsof die is aangepast is aan alle individuele verschillen van de patiënt, en dat de ingenieur apparaten ontwikkelt op basis van het

algemeen gemiddelde van patiënten-populaties. In het laatste rapport (World Health Organization, 2010) werd gesproken van *dual use*, ofwel het gebruik van technologie in de gezondheidszorg dat hier nooit specifiek voor was ontworpen, zoals lasertechnologie en geavanceerde robots. *Dual use* vereist kennis van de technologie voordat het veilig en effectief en efficiënt kan worden gebruikt in de gezondheidszorg. En als laatste punt dat er aandacht dient te zijn voor de substantiële inefficiëntie van het niet gebruiken van potentieel goede technologische ontwikkelingen.

Wat in het begin een aanname was, maar in toenemende mate werd bevestigd, was dat de kloof tussen de arts en de ingenieur niet zou worden gedicht door een van beide disciplines. Er moest een stabiele oplossing worden gevonden in de vorm van een geheel nieuwe opleiding, een nieuwe beroepsgroep en daarmee ook een nieuwe discipline. Dit inzicht werd in toenemende mate gedeeld door de ministeries en door diverse belangenorganisaties vanuit de medische wereld, zoals de Nederlandse Federatie voor Universitair Medische Centra (NFU) (Commissie zorg met technologie, 2011). Zij stimuleerden de start van een commissie zorg en technologie, die de diverse opleidingen en onderzoek op het gebied van zorg en technologie in kaart moesten brengen. Op haar beurt gaf de commissie een opdracht aan de werkgroep Miedema om een competentieprofiel te ontwikkelen voor een landelijk erkend eindniveau van de opleiding Technische Geneeskunde. Samen met de opleidingsdirecteur van de medische faculteit van Nijmegen is het competentieprofiel van de master vertaald naar de structuur van de CanMeds (Frank, 2005) zoals deze bekend zijn in de medische wereld. Het competentieprofiel verschilt inhoudelijk wezenlijk niet van de CanMed-structuur, maar de vertaling diende ervoor begrip en dus erkenning vanuit de medische professie te verkrijgen.

Toen de UT in 2008 het beleid formuleerde om projectonderwijs in te voeren als leidend didactisch principe voor al het bacheloronderwijs aan de UT, was het mogelijk om de vertaling te maken van deze principes en uitgangspunten naar de opleiding Technische Geneeskunde, maar ook Biomedische Technologie, omdat projectonderwijs in feite een belangrijk kenmerk van de UT is. Projectonderwijs biedt namelijk een goede structuur voor de door de studenten te hanteren ontwerpleer of de ingenieursaanpak.

Mesoniveau

Dit is het niveau van de opleiding. De kenmerken van de discipline zijn essentieel voor het ontwerpen van een opleiding. De start van het ontwerp is het benoemen van een eindniveau en de achterliggende rationale voor het onderwijs, als een soort vervanger van het ontbrekende domeinspecifieke referentiekader. Vervolgens is het beroepsprofiel en het competentieprofiel van de technisch geneeskundige ontworpen. Hieruit vloeiden de doelstellingen, de eindtermen, de leerlijnen en de opleidingsheuristiek voort.

Het ontwerpen van het curriculum en het verfijnen ervan hebben plaatsgevonden terwijl het onderwijs al werd gegeven. Vandaar dat de fases van het model van ontwerp, implementatie en evaluatie door elkaar heen liepen. Elke fase is wel doorlopen maar in de tijd niet na elkaar. Voortschrijdend inzicht en onderzoek dat eerdere aannames bevestigde verstevigden het ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde. Daarnaast zorgden technologische en onderwijskundige ontwikkelingen, zoals beschreven in hoofdstukken 3 en 4, gedurende het ontwerp en implementatie voor een groeiende behoefte en acceptatie van de technisch geneeskundige als zelfstandige professional in de zorg.

Het zich met het ontwerpen van de opleiding ontwikkelende doel van de opleiding Technische Geneeskunde is het opleiden van een *scientist-practitioner*. Hiermee wordt een professional aangeduid die in staat is de wetenschap te integreren in zijn handelen in de praktijk en omgekeerd de praktijk vragen te beschouwen als een wetenschapper (Hutschemaekers, 2010). Voor de opleiding Technische Geneeskunde betekent dit een professional die in staat is op basis van inzicht in het menselijk systeem en de technologie, bestaande technisch-medische interventies te optimaliseren en met behulp van technologie nieuwe mogelijkheden voor diagnostiek en therapie te ontwerpen en te ontwikkelen. Ervaringen uit het domein van de psychologie waarin dit model toegepast is in de opleiding tot klinisch psycholoog laten zien dat deze integratie expliciete aandacht behoeft in de opleiding om professionals zoveel mogelijk te ondersteunen in hun rol als *scientist-practitioner* (Shapiro, 2002).

Het hele bachelor-curriculum is opgebouwd rondom de probleemoplossende strategie die een Technisch geneeskundige als een *scientist-practitioner* dient te gebruiken. Deze strategie wordt gekenmerkt door de systematische benadering uitgaande van een technisch-geneeskundig probleem waarbij de anatomie, de fysiologie, de pathofysiologie en de technologie worden geanalyseerd. Bij een mogelijke oplossing dienen de risico's en de mogelijkheden om de risico's zo klein mogelijk te houden, expliciet te worden benoemd.

De integratie van de diverse expertdomeinen in het onderwijs werd mogelijk door het ontwerp van de opleidingsheuristiek en daaruit voortvloeiend de probleemoplossende strategie. De heuristiek wordt als algemeen onderwijskundig principe gekenmerkt door via een methodische weg tot ontdekkingen of uitvindingen te komen en is in de opleiding geoperationaliseerd en geïmplementeerd op niveau van het opleidingscurriculum, op het niveau van jaarcurriculum, en op het niveau van het curriculum van vakken en modules. Van even groot belang was het ontwerp voor het vaardigheidsonderwijs, vandaar dat er hier een apart hoofdstuk aan is gewijd. De onderwijskundige heeft in al deze zaken de rol van ontwerper. De ontwerpen zijn door de onderwijskundige/ontwerper samen met de curriculumcommissie en de staf verder uitgewerkt. Zowel de heuristiek als het ontwerp van het vaardigheidsonderwijs kunnen worden beschouwd als uitingen van het artistieke paradigma in ontwerpen (Visscher-Voerman & Gustafson, 2004). In een soort openbaring, een vlag van inspiratie, kwam het inzicht in het ontwerp. Dit ontwerp is meer dan alleen een synthese van al het voorgaande, maar het voorgaande zit er wel in verwerkt. De heuristiek is niet alleen leidend voor de integratie van de domeinen en daarmee voor de structuur van het curriculum, zij is ook leidend voor de probleemoplossende strategie van de student. Zowel de structuur van het onderwijs als de structuur van de heuristiek zijn daarmee identiek. De heuristiek is gebaseerd op de gedachte dat het menselijk lichaam wordt beschouwd als een systeem bestaande uit diverse aan elkaar gerelateerde subsystemen. Elk subsysteem kent een zelfde opbouw die gericht is op het verkrijgen van inzicht, zodat een student ermee kan redeneren. De anatomie wordt gegeven vanuit de evolutie van een embryo naar het volgroeide systeem. Daar wordt de fysiologie aan gekoppeld, zodat de student leert begrijpen wat de essentie is van het construct en de werking ervan. De pathofysiologische kernbegrippen geven inzicht in het zieke systeem. De kernbegrippen van de technologie maken dat de student de relatie leert leggen tussen de natuurwetenschappelijke fenomenen van technologie en de mens.

Deze heuristiek van anatomie, fysiologie, pathologie en technologie vormen ook de eerste vragen die een student dient te stellen bij de analyse van een technisch geneeskundig probleem. Dus de probleemoplossende strategie volgt uit de heuristiek die de opbouw van het curriculum bepaalt.

De ondersteunende vakken zijn wiskunde, als formele taal van de technologie, maar ook het leren redeneren, professioneel gedrag en communicatie, en juridisch denken. De laatste vormen de basis voor het competent zijn in de professionele complexe werkelijkheid van de gezondheidszorg. Het academisch denken wordt mede gevormd door de vakken filosofie, epidemiologie, statistiek en *health technology assessment (HTA)*.

De heuristiek is niet alleen bepalend voor het bacheloronderwijs, maar ook voor de master. In de bachelor leert de student alle subsystemen van de mens kennen, doordat deze aan de hand van de anatomie, de fysiologie, de pathofysiologische kernbegrippen en de technologie worden uitgelegd. Door projecten, die bij elke onderwijseenheid behoren, waarin een relevantie klinische vraag centraal staat, wordt de student toenemend ervaren in het hanteren van het proces van de probleemoplossende strategie: het leren specificeren van het probleem, het analyseren, aan de hand van de heuristiek, en het ontwerpen van mogelijke oplossingen.

De master heeft als doelstelling in het eerste jaar om een verdieping aan te brengen in het competentieniveau van de technologie en het verhogen van de bekwaamheden door het vaardigheidsonderwijs in het Experimental Centre for Technical Medicine (ECTM). Elk semester begint met een relevante klinische vraag. De student heeft al een zekere ervaring in toepassen van de heuristiek in het analyseren van de vraag bij aanvang van de master. Daar wordt nu het klinisch redeneren aan toegevoegd, dat wil zeggen dat de student leert dat elke patiënt anders is en dat de toepassing van de technologie moet worden vertaald naar het individuele niveau van de patiënt. Dat betekent dat de student niet alleen vraagt wat de anatomie, fysiologie, pathologie en technologie is bij deze specifieke vraag van de patiënt, maar ook kijkt naar de risico's van het gebruik van de technologie bij deze patiënt en hoe de veiligheid zo goed mogelijk kan worden geborgd. Het simulatiecentrum ECTM staat de studenten ter beschikking om te experimenteren met hun eigen gekozen oplossingen voor problemen. Centraal staat de ontwikkeling van eigen deskundigheid en eigen bekwaamheid en vooral de eigen professionele verantwoordelijkheid hierin.

In de stages verkrijgt de student een toenemende ervaring in het analyseren van de klinische vraag en de eigen professionele verantwoordelijkheid om te bepalen of hij al bekwaam is of nog moet worden. Daarbij speelt de verdere ontwikkeling in professioneel gedrag een belangrijke rol zodat de technisch geneeskundige zich ook leert profileren en manifesteren als zelfstandige en academische professional in de complexe en dynamische omgeving van de gezondheidszorg. De ontwikkeling van het onderwijs in professioneel gedrag om dit te ondersteunen, wordt tevens gekenmerkt door iteratieve ontwerpprocessen: veel discussies met inhoudsdeskundigen om gezamenlijk tot een ontwerp te komen, dat naderhand door de experts tot een kwalitatief zeer hoog niveau is uitontwikkeld, waarover meermalen is gepresenteerd op congressen op het gebied van medisch onderwijs (Groenier, Katwijk, & Overkamp, 2014; Groenier, Sippel, Geelkerken, Wilhelm, & Schraagen, 2014; Katwijk, Burie, Dobbels, & Dorsman, 2007; Lovink, Cramer Bornemann, Prenger, & Barneveld, 2013). In dit onderwijs, gericht op het verwerven van professioneel gedrag, ligt de nadruk op het bewustwordingsproces bij de student over wie hij is, wat en vooral hoe hij doet. Er wordt veel gewerkt met videoregistraties waar de student, zijn *peers* en zijn docent commentaar op geven. Deze combinatie van *self-assessment*, *peer-assessment* en *expert-assessment* bevordert het leren van studenten optimaal (Dochy et al., 1999).

De voorgaande kernpunten laten zien dat het curriculum erop gericht is dat studenten leren om op basis van inzicht in het systeem met nieuwe oplossingen te komen.

Toetsen worden daarom ontworpen om niet zozeer naar feiten te vragen, oftewel naar reproductie van kennis, maar zijn juist gericht op het niveau inzicht en toepassing. Doel is dat de student laat zien te kunnen redeneren en al redenerend tot een nieuwe oplossing te komen.

Doel van het onderwijs is ook om de kwaliteit van het gebodene continu te bewaken. Vandaar dat er een uitgebreid kwaliteitszorgsysteem is ontwikkeld dat volgens de richtlijnen wordt gebruikt. Elk half jaar voordat de onderwijseenheid wordt uitgevoerd, wordt de onderwijseenheid (her)ontworpen op basis van de evaluatie, en van eventuele nieuwe inzichten in het algemene kader. Na de fase van het ontwerp volgt de fase van uitvoering (implementatie) en evaluatie.

Microniveau

Dit is het niveau van afgebakende onderwijseenheden, waarin de docenten worden gestimuleerd om op basis van de doelstellingen, het beroepsprofiel, de leerlijnen, de heuristiek en de plaats in het curriculum, hun eigen onderdeel c.q. vak te ontwerpen. De rol van de onderwijskundig ontwerper is hier die van stimulator van het ontwerpproces bij anderen. De onderwijskundige kan het ontwerpproces wel ondersteunen, maar is niet bekwaam om inhoudelijk het onderwijs van specifieke vakdomeinen, zoals bijvoorbeeld de natuurkunde, vorm te geven. De disciplinaire experts worden daarom gestimuleerd door de onderwijskundige op basis van het competentieprofiel en de heuristiek een vertaling te maken vanuit hun eigen expertdomein naar het expertdomein van de Technische Geneeskunde. Een natuurkundige zal niet de probleemoplossende strategieën die hij heeft geleerd in zijn eigen onderwijs naadloos kunnen gebruiken om technisch geneeskundigen op te leiden juist omdat deze strategieën op essentiële punten niet met elkaar overeen komen. Er dient een vertaling te worden gemaakt van de kernbegrippen van de natuurkunde naar het behoefteniveau van een technisch geneeskundige. Uit de praktijkervaringen lijkt de TG-er iemand te zijn die generiek gesproken een voorkeur heeft om vanuit een concreet niveau naar een abstract niveau te gaan. Uiteindelijk bereikt de TG-er ook het abstractieniveau van de natuurkundige, maar omdat de TG-er ook de natuurkundige principes weer op zijn beurt moet vertalen om het voor een medicus of patiënt of een andere betrokkene begrijpelijk te maken, is het van belang dat er veel aandacht wordt besteed aan het begrip van de student op conceptueel niveau. De student wordt geacht op basis van de vraag vanuit de kliniek iets toe te voegen dat vanuit de technologie noch vanuit de geneeskunde zou kunnen worden bedacht en hij dient dus een hoog niveau van inzicht in de materie te hebben.

De prominente rol van de onderwijskundig expert in het begin van de vertaalprocessen was die van de communicator zoals beschreven door Visscher-Voerman & Gustafson (2004). De expert had een stimulerende, faciliterende rol om andere experts (docenten uit andere disciplines) te stimuleren hun onderwijs te ontwerpen. De onderwijskundig expert hanteerde hierbij een meer instrumenteel paradigma door de docenten telkenmale het einddoel en de kaders voor ogen te houden. Van belang is de bewustwording dat elke disciplinaire expert expliciet moet verwoorden welke betekenis of waarde hij toekent aan de kernbegrippen uit zijn expertdomein voor de doelstellingen van de opleiding Technische Geneeskunde. Hierbij gaat het niet alleen over conceptuele kennis, maar ook over de (lab)vaardigheden en vooral over de attitude.

Uit onze ervaringen met Technische Geneeskunde blijkt dat, indien de docenten goed worden begeleid in dit proces en het daarmee een uitdaging wordt om het didactisch proces zo goed mogelijk in te richten, de resultaten een belangrijke bijdrage leveren aan het interdisciplinaire karakter van de opleiding. De medicus moet leren om van uit zijn voorliefde voor de parate kennis en de variatie van het menselijk systeem te komen tot een hoger niveau van abstractie, terwijl de

ingenieur moet leren om zijn voorkeur van het abstracte niveau terug te brengen naar een concreter niveau. Dit vertalen en deze betekenisgeving is niet iets dat vanzelf gaat, maar dat continu moet worden begeleid. Indien een periode wordt overgeslagen blijken docenten intuïtief terug te vallen op hun eigen disciplinair georiënteerde probleemoplossende strategieën of hun eigen domeinspecifieke didactiek.

De heuristiek maakt dat de kerndocenten, die de anatomie, de fysiologie, de technologie en de pathofysiologie onderwijzen, leren om samen te werken en leren om hun onderwijs zo vorm te geven binnen de kaders van een humaan subsysteem, dat de studenten het subsysteem als geheel begrijpen. De synthese ontstaat door een goed begeleid ontwerpproces. Wordt het ontwerpproces niet goed begeleid, dan resulteert dat in vier docenten die los van elkaar hun onderwerp doceren en is het voor een student niet duidelijker waarom deze onderwerpen bij elkaar zijn gevoegd. Daarmee wordt de verplichting tot synthese bij de student gelegd, wat niet elke student even goed af zal gaan, terwijl het ontwerpproces deze synthese als resultaat zou moeten hebben. Dit is dus een cruciale stap in elk ontwerp waar meer expertdomeinen bij zijn betrokken: het vertalen van het eigen domein naar het domein van een ander, om daarmee de beoogde en verlangde synthese via de docenten tot stand te brengen. Dat kan van de ene discipline naar de andere zijn, maar het kan ook zijn van de wetenschap naar de praktijk binnen een discipline.

Bij het tot stand komen van de synthese spelen de betekenis van concepten en de hantering ervan binnen verschillende domeinen een belangrijke rol. Wat bij het hiervoor bedoelde vertalen opviel, was dat een bepaald begrip in het ene domein iets totaal anders kan betekenen in een ander domein en vervolgens kan leiden tot misverstanden. Een voorbeeld is het begrip modelleren. Dit betekent voor een anatoom iets vormgeven naar de werkelijkheid. Bijvoorbeeld een anatomisch model. Voor een ingenieur betekent het een praktisch en creatief proces waarbij realistische problemen in wiskundige vorm worden vertaald, of "... het mathematiseren van een realistische of wiskundige situatie door een formule of vergelijking op te stellen"(cTWO, 2007). Het stimuleren van het vertalen is dus niet alleen belangrijk voor die ene docent die les gaat geven, maar hij moet zich ook bewust worden van het feit dat hij in het onderwijs samenwerkt met docenten met een geheel eigen expertdomein. Stimuleren van vertalen, maakt dat docenten worden getraind in het expliciteren en daarmee het vaststellen van de waarde van de kernbegrippen en de oplossende strategieën van hun eigen discipline voor die van de technisch geneeskundige.

Ook de medici, die in de stages de studenten moesten begeleiden hadden tijd nodig om te ontdekken wat de specifieke expertise van deze nieuwe discipline was, maar ook dat er anders moest worden opgeleid. Een co-assistent of arts-assistent wordt opgeleid in het eigen domein conform impliciet aanwezige structuren en redeneerlijnen. Eigenlijk herhaalt elke docent daarmee zijn eigen opleiding. Nu komt er een andere discipline die niet zozeer is gericht op het verkrijgen van routines en ervaring in het bekende domein, maar gericht is op het verkrijgen van een adaptieve expertise door nieuwe oplossingen te bedenken. Ook deze verandering van perspectief kost tijd en veel aandacht.

In een monodisciplinaire omgeving handelt een expert op basis van een impliciet aanwezig referentiekader. In een opleiding tot natuurkundige of arts, heeft het grootste deel van de docenten dezelfde opleiding genoten en participeren zij in disciplinair onderzoek en geven disciplinair onderwijs. In een dergelijke omgeving is het niet direct noodzakelijk om de structuur en methoden van het onderwijs te expliciteren of de probleemoplossende strategie van de

studenten, maar in een multidisciplinaire opleiding zonder expliciet referentiekader, dient elke doelstelling op een expliciete wijze te worden gerealiseerd.

8.2.2 Rollen van de ontwerper

Uit de reconstructie lijkt het alsof er binnen de verschillende niveaus telkens twee rollen zijn die de ontwerper zou moeten beheersen.

De rol waarin de ontwerper zelf ontwerpt en de rol waarin de ontwerper anderen stimuleert tot ontwerpen. Dit zijn gescheiden rollen omdat het gescheiden expertdomeinen betreft. Een onderwijskundig ontwerper kan onderwijskundig ontwerpen in het eigen onderwijskundige expertdomein. Veelal het domein waar hij zelf voor verantwoordelijk is, maar niet voor ontwerpen in de natuurkunde, de wiskunde, of de anatomie, omdat dat andere expertdomeinen zijn. Deze experts zullen zelf keuzes moeten maken voor de structuur en de methoden van hun ontwerp gegeven de kaders van het ontwerp van de structuur van de opleiding.

Op het macroniveau van de opleiding Technische Geneeskunde heeft de onderwijskundige, in de rol van zelf ontwerpen, het principe van een nieuwe discipline ontworpen, gebaseerd op de gedachte van een NewWin. Op mesoniveau heeft de onderwijskundige, in de rol van ontwerper, het beroepsprofiel, het competentieprofiel, de doelstellingen, de heuristiek en het vaardigheidsonderwijs ontworpen. Samen met de curriculumcommissie en een adequate staf bestaande uit medische, technologische en psychologische experts, veranderde de rol van ontwerper in die van stimulator en is vervolgens het beroepsprofiel aangescherpt tot dat wat het nu nog steeds is. Vervolgens zijn de eindtermen vastgesteld en is de heuristiek aangescherpt met bijvoorbeeld de pathofysiologische kernbegrippen. Samen met de curriculumcommissie en de staf is de structuur van het curriculum tot stand gekomen op basis van een aantal iteratieve processen die elk werd gekenmerkt door een ontwerpfase, een implementatiefase en een aanpassing op basis van de evaluatiegegevens. Op microniveau zijn de blokken tot stand gekomen doordat de onderwijskundige in de rol van stimulator de docenten stimuleerde tot ontwerpen. Het ECTM en het vaardigheidsonderwijs zijn voorbeelden van onderwijs dat ook is ontworpen door de onderwijskundige en daarna is uitgewerkt in combinatie met andere disciplines. Telkenmale was er de wisseling van rol, die van ontwerper of van stimulator tot ontwerpen.

Op al deze niveaus zijn de diverse paradigma's en rationaliteiten zoals verwoord door Visscher-Voerman & Gustafson (2004) helder terug te vinden. In het ontwerp van Technische Geneeskunde lijken deze keuzes niet zozeer het gevolg van persoonlijkheidskenmerken van de ontwerpers, maar eerder als gevolg van het niveau, de ontwerpvrage en de rol van de expert. Op macroniveau is er sprake van een artistiek paradigma. De ontwerpspecificaties komen voort uit inzichten van de ontwerper zelf. Op mesoniveau is herkenbaar dat zodra de ontwerper zelf ontwerpt, er sprake is van een artistiek paradigma in combinatie met een meer instrumenteel paradigma. Immers de ontwerpspecificaties zijn deels ontleend aan de eigen inzichten en deels het resultaat van een analyse. Zodra de rol van de expert verandert in die van stimulator, is er sprake van een communicatief of pragmatisch paradigma.

Het ontwerp is het gevolg van veel overleg en van proefballonnetjes. De opleiding is direct ontworpen en gerealiseerd in een continu iteratief proces van *plan, do, check, act-cycli*. Vandaar dat in het ontwerpproces dat geleid heeft tot de opleiding Technische Geneeskunde de fases ontwerp, constructie/ realisatie en implementatie door elkaar heen liepen.

Dit creatief gebruik van het ontwerpmodel is de laatste jaren steeds meer typerend voor *design based research* in de onderwijskunde (McKenney & Reeves, 2012). Binnen het onderwijskundig

onderzoek zijn geen wetmatigheden of algoritmen, maar wel veel heuristieken en modellen. Al deze modellen zijn vormen van een wetenschappelijk verantwoorde en systematische benadering van een probleem en daarmee vaak variaties op de empirische cyclus of de regulatieve cyclus. Het vergt goed academisch denken om de modellen te gebruiken in de werkelijkheid en vice versa, de ervaringen uit de werkelijkheid gebruiken om de modellen aan te passen. Dit is het kenmerk van een *scientist-practitioner* die kan vertalen van het ene domein naar het andere. Dus ook van het wetenschappelijk domein naar het domein van de praktijk en vice versa. Dit betekenis verlenen noemen we het vertalen. Dit is een van de belangrijkste begrippen uit het ontwerp van Technische Geneeskunde: VERTALEN. De synoniemen van vertalen geven ook goed weer welk begrip we willen overdragen: overbrengen, vertolken, verwoorden, converteren, omzetten dan wel overzetten.

8.2.3 Ontwerpen in een complexe werkelijkheid

In 2003 zijn wij gestart met de opleiding Technische Geneeskunde. In de jaren daarna zijn er op gezette tijden veranderingen in de opleiding aangebracht op basis van evaluaties en van gewijzigde inzichten. Er was sprake van een continu proces van ontwerpen en ontwikkelen van de opleiding Technische Geneeskunde. Vele jaren van ervaring met dit ontwerpproces en van doorlopende reflectie door studenten, staf en docenten hebben geleid tot een gewijzigde zienswijze op ontwerpen van opleidingen en is er sprake van een eigen methodiek voor het ontwerpen van onderwijs.

Er was lange tijd een trend in de wereld van de sociale wetenschappen om de onderzoeksmethodiek van de natuurwetenschappelijke disciplines over te nemen. Dit betekende een voorkeur voor experimenteel onderzoek (Newton), waarbij een begrensde (verkleinde) werkelijkheid wordt gecreëerd in een laboratoriumomgeving, waarin condities worden gecreëerd waarmee relevante variabelen onder controle gehouden worden. Dit is een goede methodiek voor onderzoek dat gebruik maakt van wetmatigheden, deductie en algoritmes. Maar in een complexe werkelijkheid van de mens, de sociale wetenschappen en de biologie (Darwin) beperken de onderzochte wetmatigheden zich niet tot het laboratorium. In de medische wereld wordt gestreefd naar *evidence based medicine*, geneeskunde op basis van resultaten van wetenschappelijk onderzoek. Maar er is veel in de medische praktijk dat niet is gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek maar op basis van ervaringen en dus veeleer kan worden beschouwd als *experience based medicine* (Jenicek, 2006). Een complexe werkelijkheid is niet voor niets complex en daarom ook vaak weerbarstig. Er spelen zoveel variabelen een rol, die in een realistische context niet alle onder experimentele controle kunnen worden gehouden, zodat er nauwelijks wat valt te voorspellen. Juist omdat het complex is, zal men geneigd zijn om het aantal variabelen terug te brengen tot beheersbare, dat wil zeggen onder experimentele controle vallende, aantallen. Echter, daarmee doet het onderzoek de complexiteit van de werkelijkheid geweld aan.

Bevindingen vanuit sociaal-wetenschappelijk onderzoek zijn niet direct toepasbaar in de echte wereld. Er dient een vertaling plaats te vinden. Een vertaling op basis van een goed inzicht in de totstandkoming van resultaten van onderzoek, zodat kan worden aangenomen wat de waarde is van de variatie in de variabelen. *Design based research* erkent deze vertaling niet in de vorm van een transfer van bevindingen van onderzoek nadat het onderzoek is uitgevoerd, maar in de vorm van een welgekozen ontwerp waarin de wetenschappelijke bevindingen opgenomen zijn en die

via een evaluatie van ontwerp of interventie aan de praktijk kan worden getoetst. Honderd jaar geleden formuleerde de psycholoog Münsterberg (1913) het onderscheid tussen deze twee vormen van toegepast onderzoek in de psychologie aldus: *"The whole system of psychotechnical knowledge might be subdivided under either of the two aspects. Either we might start from the various mental processes, and ask for what end each mental factor can be practically useful and important, or we can begin with studying what significant ends are acknowledged in our society and then we can seek the various psychological facts which are needed as means for the realization of these ends."* De tweede optie van Münsterberg kan worden beschouwd als een vorm van *design based research*, waarin de uitkomsten van wetenschappelijk onderzoek niet het uitgangspunt vormen maar het middel om tot effectieve ontwerpen te komen.

De geneeskunde kent niet veel wetmatigheden, maar wel redeneringen, waardoor soms inductie meer op zijn plaats is dan deductie. Voor studenten Technische Geneeskunde is het van belang om de variatie binnen de populatie te leren kennen, naast het inzicht in de gemiddelde waarden van deze populatie. Dit is niet alleen van belang voor studenten Technische Geneeskunde maar ook voor iedereen die in een complexe werkelijkheid problemen moet oplossen.

Juist door telkens de complexe werkelijkheid toe te laten in de discussies rondom het ontwerp, wordt het ontwerp breder toepasbaar en betrouwbaarder. Het is dus van belang om niet de werkelijkheid te verkleinen, maar de context te respecteren in al zijn diversiteit en verscheidenheid en in termen van Münsterberg te beschouwen als *'significant ends'*. Elke expert moet dus leren om zijn eigen expertise te vertalen naar de expertiseontwikkeling van een gebruiker. Dit vertalen is niet alleen van belang bij het vooronderzoek. Het dient te gebeuren op elk niveau van ontwerpen. In het ontwerpmodel (Figuur 8.1) is het belang van de continue evaluatie en de vertaling naar de implementatie weergegeven.

Het is eveneens van belang erin te betrekken dat expertise domeinspecifiek is en dat niet alleen de kernbegrippen maar ook de probleemoplossende strategieën kunnen verschillen over domeinen, zie hoofdstuk 4. Vertaling is een noodzaak voor en door een *scientist-practitioner* met een multidisciplinaire achtergrond om in een multidisciplinaire omgeving te kunnen werken. Dit geldt ook voor de vertaling van nieuwe kennis en inzichten verkregen uit onderzoek in een bepaald domein, naar het gebruik ervan in de praktijk van datzelfde domein. Zoals onderzoek verkregen in een onderwijskundige setting niet direct toepasbaar hoeft te zijn in een onderwijskundige praktijk.

Vele onderwijskundige modellen zijn gemaakt om de gebruiker een handvat te bieden en een systematische benadering te presenteren voor het oplossen van onderwijskundige problemen. Er zijn modellen die een generieke geldigheid hebben, omdat ze op een hoog abstractieniveau zijn geformuleerd, zoals het model van Verhagen et al. (1999). Zie Figuur 8.1 aan het begin van dit hoofdstuk.

Wademan (2005) heeft deze en andere kenmerken, ook de hierboven gememoreerde samengebracht in een generiek ontwerpgericht onderzoeksmodel (Figuur 8.2). Dit model omvat de hiervoor geduide complexe werkelijkheid inclusief de stakeholders (bij het ontwerpproces betrokken deelnemers maar ook diegenen voor wie de uitkomsten bedoeld zijn en diegenen die belang hebben bij de oplossing van het probleem via een interventie). In het model komen duidelijk de posities van de bij het ontwerpproces betrokken ontwerper, onderzoeker en *practitioners* tot uitdrukking. Vanuit de ervaringen met het ontwerpproces van de opleiding Technische Geneeskunde lijkt het zinvol om de onderscheiden ontwerprollen en de combinatie van onderzoeker/ontwerper en *practitioner* verenigd in de *scientist-practitioner* op te nemen in

het model. Deze aanvulling betekent enerzijds een nuancering en anderzijds een uitbreiding van het model.

Figuur 8.2. Generic Design Research Model (Wademan, 2005)

In aanvulling daarop is een kritische opmerking gepermitteerd, ingegeven door de eigen ervaring met het ontwerpproces. Alleen bij de identificatie van het probleem wordt een poging gedaan het probleem in zijn context te benaderen, maar hier wordt niet aangegeven hoe de onderzoeker de bevindingen vertaalt naar een probleemdefinitie. Indien de wetenschapper zich niet bewust is van het feit dat er vertaald dient te worden van het ene expertdomein naar het andere, kunnen er verkeerde conclusies worden getrokken en zijn de ontwikkelde oplossingen slechts beperkt bruikbaar.

Vertalen moet op elk niveau in een ontwerpmodel plaatsvinden. Er dient een bewustzijn te zijn voor het feit dat er moet worden vertaald tussen de wetenschapper en de ervaringsdeskundige (*practitioner*), tussen de ingenieur en de dokter, in woorden van John Dewey die meer dan honderd jaar geleden al opmerkte (Dewey, 1900): "(...) *Do we not lay a special linking science everywhere else between the theory and practical work? We have engineering between physics and the practical workingmen in the mills; we have a scientific medicine between the natural science and the physician*" (p.110). De vertaling komt tot stand via een *linking science*. Als dit bewustzijn er niet is, bij gebrek aan een *linking science*, zal de ontvanger het probleem van de aangever vanuit zijn eigen perspectief vertalen in een construct dat voor hem relevant is, maar niet werkbaar voor de aangever.

Onderliggend aan het begrip vertalen, is van belang dat de expert de eindverantwoordelijkheid heeft over het ontwerpproces. Hierdoor kan hij keuzes maken om zelf te ontwerpen en daarmee het wetenschappelijk kennisdomein te vertalen naar een meer praktische oplossing of om andere experts te ondersteunen en te stimuleren in het vertalen. De twee hiervoor reeds genoemde rollen van de ontwerper laten zich combineren met de niveaus die ook hiervoor zijn onderscheiden (Tabel 8.1).

Tabel 8.1. Ontwerprollen en curriculumniveaus

	Onderwijskundige ontwerpt zelf (paradigma)	Onderwijskundige is stimulator (paradigma)
Macroniveau	Het ontwerpen van concepten, principes Artistiek paradigma	
Mesoniveau	Beroepsprofiel, competentieprofiel, doelstellingen, heuristiek, vaardigheidsonderwijs, professioneel gedrag Artistiek en instrumenteel paradigma	Beroepsprofiel, eindtermen, curriculum, leerlijnen Communicatief en pragmatisch paradigma
Microniveau	Heuristiek, vaardigheidsonderwijs, professioneel gedrag Artistiek en instrumenteel paradigma	Blokken en vakken en lijnonderwijs en modules Communicatief en pragmatisch paradigma

8.3 Wetenschap, technologie en praktijk

8.3.1 Technisch geneeskundige als scientist-practitioner

Een *scientist-practitioner* is een professional die werkt als wetenschapper en als hulpverlener (Hutschemaekers & van Nijnatten, 2008; Hutschemaekers, 2010). Het model voor de *scientist-practitioner* is van oorsprong een opleidingsmodel dat in 1949 tijdens een conferentie in Boulder (USA) is opgesteld als ideaal model voor een opleiding tot klinisch psycholoog⁴. De eerste klinisch-psychologen waren in dienst van, en wat het niveau van de werkzaamheden betreft, afhankelijk van de psychiater. Met een toenemende behoefte aan een eigen beroep met een eigen verantwoordelijkheid, werd een opleidingsmodel ontwikkeld dat een combinatie maakt van een opleiding tot wetenschapper en hulpverlener. In woorden van Hutschemaekers (2010) treffend geformuleerd: *“Wetenschap en praktijk kunnen op vele wijzen aan elkaar worden gekoppeld. De scientist-practitioner is voortdurend bezig met de vraag of hij het goede wel goed genoeg doet.*

⁴ Boulder Conference, 1949

Wetenschappelijke methoden helpen hem die vraag telkens te stellen en vervolgens te beantwoorden. Beantwoording vindt plaats op basis van informatie uit de relevante wetenschappelijke literatuur. Deze weet hij te vinden, te begrijpen, op zijn merites te beoordelen en te vertalen naar zijn praktijk. Beoordeling vindt daarnaast plaats op basis van reflectie op zijn professionele handelen, en explicitering en systematische analyse van dat handelen. Als wetenschapper weet hij naar zijn eigen praktijk te kijken en die als wetenschapper te onderzoeken.” De keuze voor het model van een *scientist-practitioner* is ook ingegeven door de beperking van het RDD model (hoofdstuk 3). *Design based research* past daarmee goed als wetenschappelijke methode bij het model van een *scientist-practitioner*.

Een technisch geneeskundige zal als *scientist-practitioner*, vanuit zijn eigen domein, niet alleen de wetenschap verbinden met de praktijk, maar ook de praktijk met de wetenschap.

Belangrijkste vaardigheid hierbij is wederom het vertalen. Vertalen van wetenschappelijke concepten naar de klinische praktijk, ofwel het vertalen van het generieke uit de technologie naar het specifieke niveau van de individuele patiënt, waarbij men zowel ontwerpt als hulpverlener is. In zijn oratie verwoordt Hutschemaekers het zo: “(...) *de scientist-practitioner (onderscheidt) zich ten opzichte van collega-professionals en academisch onderzoekers vooral (...) door (zelf)reflectie. Als praktiserend psycholoog kan hij reflecteren op de wetenschap, en als wetenschapper op de praktijk. Daarbij gaat het ook om reflectie op zichzelf: vanuit het perspectief van zijn ene rol kan hij reflecteren op zijn werkzaamheden behorend bij zijn andere rol. De scientist-practitioner is wat dat betreft van nature een twijfelaar, in die zin dat zijn twijfel niet van ziekelijke aard is (gebrek aan zelfvertrouwen), maar een methodische twijfel. Door die methodische twijfel ontstaat oog voor de context en aandacht voor verschil in perspectieven. Dat nuanceert en relativeert. De scientist-practitioner weet dat zijn kennis en expertise uiteindelijk mensenwerk zijn, met alle voor- en nadelen van dien. De ideale scientist-practitioner is niet alleen deskundig, hij is ook wijs.*”

Dit inzicht is de rationale van het vaardigheidsonderwijs binnen het ECMT en de nadruk binnen de procesbegeleiding op het reflecteren en *deliberate decision making* en *deliberate practice* (Ericsson et al., 1993).

8.3.2 Kennistransfer: wetenschap en technologie

Er is een relatie tussen de markt en het technologisch wetenschappelijk onderzoek te ontdekken, die ook weer specifiek is voor de Universiteit Twente als ondernemende universiteit. Van den Kroonenberg stelt in zijn rede bij zijn benoeming tot hoogleraar Management van Technologie Transfer (Van den Kroonenberg, 1992) dat de kennistransfer tussen wetenschap (*science*) naar technologie (*engineering*) en vervolgens naar de markt als lineair model niet werkt. Tussen de wetenschap en de technologie is er sprake van een *science push* en een *technology pull*. Tussen de technologie en de markt is er sprake van *technology push* en *market pull*. In dit lineaire model wordt aangenomen dat kennistransfer eenrichtingsverkeer is. Dat de kennis stroomt van wetenschap naar de markt. De ervaring heeft geleerd dat deze situatie zich niet vanzelf voordoet. Het echte *science push* model werkt niet. De kennis vanuit de *engineering* wordt naar de markt gebracht zonder dat duidelijk is of de markt deze kennis nodig heeft dan wel op waarde kan schatten. Echter, een beter uitgangspunt is wanneer de markt zelf om kennis vraagt en deze vraag neerlegt bij de ingenieurs. De vraag is of de markt, bijv. beleidsmakers en artsen, weet wat ze moet vragen? En hoort de wetenschap de vraag uit de markt op een adequate wijze?

In het lineaire model stroomt de kennis naar rechts via *science push* en *technology push* en komt de vraag van links via de *market pull* en de *technology pull*. In de woorden van Van den Kroonenberg *“Transfer komt alleen tot stand indien er communicatie is tussen de stations. Als de stations zijn bemand met “reinfiguren” zijnde achtereenvolgens de pure wetenschapper, de pure technoloog en de pure business man, dan is er geen overlapping in belangstelling en blijven de stations van elkaar gescheiden. Deel- overlappingen zijn mogelijk, waardoor lokale transfer plaatsvindt. In dit geval technologie-ontwikkeling, waarvan niet bekend is of er een markt voor is. Deze ontwikkelingen blijven in de universiteiten of researchinstituten. Er kan ook een deeloverlap zijn van de technologie en de markt, maar dan is de vraag of die producten en diensten niet veel beter zouden zijn als er een voeding zou zijn geweest met de wetenschap. Van den Kroonenberg (1992) pleit voor een cirkelvormig kennistransfer-model met een maximale overlapping, waarbij de affiniteit van de wetenschapper zich zelfs tot in het marktgebied voortzet en de reikwijdte van de ondernemer op zijn beurt reikt tot in het wetenschappelijk gebied.”*

Deze beschrijving is een geschikte omschrijving van een *scientist-practitioner* en zij geeft tevens de kracht van Technische Geneeskunde aan. De technisch geneeskundige is als de ondernemer die vanuit het zorgproces een reikwijdte heeft tot in de technologie en de wetenschap en omgekeerd als wetenschapper een reikwijdte heeft tot in de zorg.

De TG-er borgt de communicatie tussen de wetenschap, technologie en zorg, door de gerichte vragen die vanuit de zorg kunnen worden gesteld. Op het niveau van de wetenschap wordt er binnen de UT onderzoek gedaan naar licht, geluid, straling en magnetisme. Op het niveau van de technologie wordt er onderzoek gedaan naar mogelijke nieuwe *imaging*-toepassingen door bijvoorbeeld licht en geluid te combineren en zo zonder schadelijke bijwerking in staat te zijn om kanker te detecteren. Of door geluid in te zetten als mogelijkheid voor lokale medicijnafgifte (met behulp van geluid nanobolletjes gevuld met medicatie op locatie stuk maken). Binnen de geneeskunde kan de technisch geneeskundige toepassingen bedenken van deze technologische mogelijkheden om in de diagnostiek beter te lokaliseren, waardoor de interventie kan worden geoptimaliseerd door een adequate navigatie.

Volgens Van den Kroonenberg (1996) ontstaat optimale kennistransfer waar er optimale communicatie is tussen de markt (gezondheidszorg), de technologie en de wetenschap. Deze communicatie ontstaat als er sprake is van een netwerkmodel, waarbij de juiste keuze voor de actoren op de knooppunten in het netwerkmodel essentieel is. In dit netwerkmodel ontstaan bovendien twee nieuwe acties, namelijk *science pull* en *market push*. Onder *science pull* wordt de vraag verstaan van de wetenschap aan de markt, welke ontwikkelingen nuttig kunnen zijn voor de wetenschapsbeoefening. In het hierboven gesignaleerde onderscheid tussen de RDD-benadering en het *design based*-onderzoek komt deze tegenstelling ook tot uitdrukking. Bij de RDD-benadering bepalen de wetenschappers veelal zelf een toepassing. De *market push* benadering daarentegen betekent in feite dat de markt de wetenschap dwingt iets aan te pakken. De toegepaste ingenieursbenadering of de *design based*-benadering is hiervoor geschikt. Vragen van de technisch geneeskundigen worden vertaald in een voor een ingenieur adequaat begrippenkader. Dit kan worden beschouwd als een primaire doelstelling van TG, zoals we hiervoor ook hebben betoogd.

8.4 Aanbevelingen

8.4.1 Aanbevelingen voor ontwerpen van opleidingen

Het ontwerp van een nieuwe opleiding start met een vooronderzoek en met het bepalen van de rol van ontwerper. Ontwerpt deze zelf of stimuleert deze het ontwerpproces bij anderen? Onze analyse van het ontwerptraject van Technische Geneeskunde laat zien dat afhankelijk van de ontwerpdoelen, van het ontwerpniveau en van de betrokkenheid van de stakeholders, de ontwerprollen kunnen worden gecombineerd, dan wel dat de expert zich opstelt als ontwerper of als stimulator (zie Tabel 8.1). Zij vormen de belangrijke uitgangspunten van het ontwerpproces die wij in onze analyse hebben kunnen identificeren.

Na bepaling van de ontwerpdoelen, het niveau, de betrokkenheid en de rollen is het van belang dat per niveau het eindpunt wordt bepaald van het ontwerp. Voor het vaststellen van het eindpunt dient het referentiekader expliciet te worden gemaakt. Is er een vergelijkbare opleiding of is het geheel nieuw opleidingsdomein? Bij deze vragen dient ook te worden vastgesteld of het gaat om de soorten van experts die bij het onderwijs betrokken zijn. Dit bepaalt de mate van vertalen die noodzakelijk is. Hoe meer disciplines hoe groter de vertaling, maar ook binnen een vakgebied moet er vertaald worden. Bijvoorbeeld van de wetenschap naar de praktijk of omgekeerd.

Vervolgens wordt vastgesteld waartoe er moet worden opgeleid. Dat kan in de vorm van een beroepsprofiel of een wetenschappelijk profiel. In elk profiel dient niet alleen het kennis-bestand te worden beschreven maar vooral ook de probleemoplossende strategie.

Daarnaast kan worden gekozen voor een leidend didactisch principe zoals probleemgestuurd onderwijs of projectgestuurd onderwijs. In deze fase van het vooronderzoek worden alle essentiële keuzes gemaakt en wordt het plan van eisen voor het ontwerp gespecificeerd. De ontwerper speelt in deze fase een zeer actieve rol zowel als ontwerper als stimulator.

Dan start de constructiefase. Vanuit het eindpunt, de probleemoplossende strategie en het didactisch principe kunnen per niveau de doelstellingen worden bepaald die sturend zijn voor het curriculum en de vakken. In het curriculum zullen de leerlijnen moeten worden ontworpen. Er moet een logisch construct worden gebouwd op basis van een vanzelfsprekende ordening van kennis, vaardigheden en attitudes per vakgebied. Dit construct per vakgebied moet weer een vanzelfsprekende ordening worden van leerlijnen die starten bij het bachelorniveau en doorlopen naar het mastereindniveau. In de constructiefase is het tevens van belang aandacht te schenken aan de training van docenten. Elke docent zal moeten worden gestimuleerd tot vertalen en dus tot ontwerpen van zijn eigen bijdrage. Dit vergt per docent een explicietatie van de doelstellingen maar ook een acceptatie van deze doelstellingen.

Als de doelstellingen per vakniveau, jaarniveau en eindniveau zijn bepaald kan worden begonnen met de keuze voor toetsvormen. Toetsvormen, zowel formatief als summatief kunnen het beste aan het einde van de constructiefase worden ontworpen. De rol van de ontwerper is in deze fase zowel ontwerper als stimulator.

De implementatiefase start met het daadwerkelijk uitvoeren van het onderwijs. Het is aan te bevelen de daadwerkelijke toetsen pas te maken tijdens het geven van het onderwijs na een of meer voorlopige toetsen. Het blijft moeilijk om exact voorafgaand aan het onderwijs vast te stellen wat het daadwerkelijke niveau is dat de studenten bereiken. Een summatieve toets wordt adequater en de werking ervan effectiever, indien deze halverwege de daadwerkelijke uitvoering van het onderwijs als resultaat van een iteratieve procedure wordt ontwikkeld. Tijdens de

implementatiefase dient goed geregistreerd te worden wat in het onderwijs gebeurt, zodat in de evaluatie van het onderwijs niet alleen wordt gekeken naar de cijfers van studenten, maar ook naar de beleving van docenten en van de studenten. Hierdoor wordt een genuanceerd beeld verkregen op basis waarvan het nieuwe onderwijs kan worden geoptimaliseerd. Het belangrijkste aspect in deze fase is communicatie. Is het voor een ieder helder waartoe, waarom en hoe wordt onderwezen? De kwaliteit van de implementatie hangt mede af van de communicatie. De rol van de ontwerper is gedurende deze fase bijna uitsluitend die van stimulator en dus degene die expliciet maakt wat de doelen zijn.

De evaluatiefase vindt plaats na afloop van elk vak, elk jaar of opleiding. In het ADDIE-model wordt dit weergegeven dat zowel de implementatiefase als de evaluatiefase naast alle andere fasen plaatsvinden en invloed hebben op deze fasen. Het ontwerpen van onderwijs wordt gekenmerkt door het naast elkaar bestaan van diverse fasen van het onderwijsontwerp-model. In elke fase kan de rol van de ontwerper verschillen en het is aan te bevelen deze rol expliciet te maken zodat er afhankelijk van het niveau waarop het ontwerp plaatsvindt en afhankelijk van de context en van de rol van de ontwerper, een bewuste keuze kan worden gemaakt voor gedrag en handelingen.

8.4.2 Aanbevelingen voor onderzoek

Dit proefschrift leidt tot drie soorten onderzoeksvragen over ontwerpen, leren van vaardigheden en de realiteit van een *scientist-practitioner*.

Ten eerste betreft het de vraag of het inderdaad zo is dat de ontwerper zijn rol kan kiezen afhankelijk van de context? In welke mate is deze keuze bepaald door de persoonlijkheidsstructuur van de ontwerper? Het zou informatief zijn voor toekomstige ontwerptrajecten waarbij verschillende ontwerprollen aan de orde zijn, om het onderzoek van Visscher-Voerman & Gustafson (2004) nogmaals uit te voeren, waarin deze vraag centraal staat.

Ten tweede roept het ontwerp van de opleiding Technische Geneeskunde onderzoeksvragen op over het verwerven van adaptieve expertise met behulp van simulatoren, die gebaseerd is op inzicht in medische en technologische kernbegrippen. Elke arts, wiens expertisedomein bestaat uit vaardigheden, zoals een chirurg, zou het belang kunnen blijven benadrukken van parate kennis, van kennis van de symptomatologie. De vergelijking dringt zich op en die zou onderwerp van studie kunnen zijn, in hoeverre een arts opgeleid als *scientist-practitioner* en gewapend met adaptieve expertise beter in staat zou zijn tot het stellen van een diagnose en het voorschrijven van een behandeling? Een aanvullende vraag kan zijn welke rol de aard en de inhoud van een simulatie of simulator speelt en elk type transfer daarmee kan worden bereikt?

Ten derde betreft het de vraag naar de rol van de *scientist-practitioner*. Is een *scientist-practitioner* alleen maar van toegevoegde waarde indien een vakgebied wordt opgebouwd en er nog geen sprake is van een wetenschappelijk domein of indien er sprake is van een zich ontwikkelend domein dat nog een status in de praktijk dient te verwerven? In welke mate moeten wetenschap en praktijk met elkaar verweven zijn (in een symbiotische in plaats van lineaire relatie) om tot een eenduidig opleidingsprofiel te komen?

SUMMARY

PHYSICIAN AND ENGINEER: AND EVER THE TWAIN SHALL MEET

This thesis sets out the design process of the academic program Technical Medicine at the University Twente from the perspective of an overarching question of its justification that consists of the following sub-questions: an education-related question, a design question and a research question. The question regarding the educational program concerns the 'what and how' that are to be learned in order to graduate as a Technical Physician. The design question aims to determine the design principles for developing the competences for appropriate and optimal technology use, by integrating diverse expert domains within the interdisciplinary context of healthcare. Finally, the research question relates to the effects of students' competences (knowledge, skills, attitude in an authentic context) on their solving of technical medical problems, at four levels of evaluation (reaction or motivation; learning; behavioural or performance; and organisation).

The first chapter describes the context, the political administrative perspective and history of the Technical Medicine ("TM") program and the structure of this thesis. A significant reason for initiating the curriculum design process was the increasing use of technology in the healthcare sector and a dedicated industry focused on further developments of medical technology. At the same time, developments such as the decrease in the level of mathematics studied in the second grade, the decrease in enrolment in university-level studies of physics and chemistry and the lack of attention to technology in medical curricula, resulted in the University of Twente's conclusion to address the need for a technical medicine program that would produce technical medical professionals. Such a professional could integrate technical and medical knowledge and would be competent to use such knowledge in direct patient care. This need was confirmed by reports about an increasing number of errors resulting from medical technology misuse. An analysis of those reports indicates that an educational problem has emerged. Should the university educate medical doctors to be more technologically competent or engineers to be more medically competent? We argued the need for a specific new program that would deliver a new expert who has expertise in scientific and technological knowledge as well as medicine and is competent at enhancing the effective use of technology in direct patient care.

The central generic design question of the thesis therefore is: how to design an instructional program that would produce professionals who can design, test and implement a solution for to the aforementioned educational problem in a systematic and creative way and complying as much as possible with certain conditions, using both scientific knowledge (through research) and practical clinical skills. Or to phrase it differently, who can move from a problem analysis to utilization of technological knowledge for designing clinical solutions. The design approach that characterises engineering programs can create the structure for development of this kind of expertise. Accordingly, design theory offers the scientific frame that solves the educational problem of creating the synthesis between medical and technological knowledge that can be implemented in order to develop technical-medical expertise in medical practice. Design science, also known as an 'engineering approach', aims to design new solutions and can be the solution to the educational problem (i.e. how can students learn to apply learned knowledge and skills in a real situation to solve clinical problems) and a design problem (i.e. how can a program solve the

transfer problem so that students can use technology to solve technical-medical problems in a medical practice).

The research question of the thesis focusses on evaluating the outcomes of the TM program in which technology and medicine are effectively and efficiently joined to deliver professionals who are competent to solve technical-medical problems by continually using innovative medical, technological and social scientific knowledge in a flexible and inventive way. Design-based research as a frame requires further analysis of technical and medical insights necessary for the solution of medical problems.

Chapter 2 answers the program question regarding the characteristics of the trained scientific professional and 'what and how' must be learned in order to graduate as a "Technical Physician". The starting point of the development of the curriculum was to define the professional profile that served as a final objective and outcome of the TM program. The competence profile was derived from this professional profile and specified 'what and how' must be taught. In Technical Medicine, the 'what' (i.e. content) involves competences in the scientific discipline as well as competences in research and design. The 'how' (i.e. pedagogy) involves competence in scientific approach and intellectual competence. The 'what' and 'how' come together in professional behaviour and technical medical skills. Fundamentally, the program is set in the context of the healthcare sector. The Master's degree competences are described in the CanMed structure as including the following roles: technical medical expert, communicator, collaborator, manager, scholar and professional.

The curriculum of Technical Medicine applies the specific characteristics of a design education in a medical context. The students learn to think and act from the patient's perspective, whilst also learning to be innovative. This is possible because the students have the opportunity to gain thorough insight into medical, technological core concepts, skills and principles. At the same time the students develop an academic attitude and appropriate professional behaviour.

The means of reaching these objectives are the structure of the various subjects in the curriculum, where the order is determined by the choice to use design as the central as the central guiding mechanism. The principles of design-based science are used in designing the education that will develop the students' competence to design, as well as in the management of the professors. The heuristic of design is a leitmotiv for the curriculum design as a whole. By teaching students a systematic approach to analyse their problems, they learn a strategy that enables them to solve any future problem. The heuristic gives the professors the possibility of giving meaning to their disciplinary core concepts in developing a new discipline like Technical Medicine. In addition, by using the heuristic as an ordering principle for the curriculum, the goals and the means became very clear and transparent for each professor or staff member involved, allowing them to endorse the common objectives. According to systems theory, the human body is considered as a system that consists of diverse interrelating sub-systems. Each sub-system is taught by presenting core concepts from anatomy, physiology and patho-physiology, together with the healthcare technologies that relate to that sub-system.

Because the professors were all well-prepared to endorse the program goals and the underlying problem solving strategy, all students were challenged to develop their own strategies. In each course in the Bachelor's as well as in the Master's degree program, students were confronted with clinical problems they had to solve. This is the operational definition of the program's professional

profile. Students became aware of the value of their own problem-solving strategies during the internships in their Master's program, because of their perceived their abilities to solve real clinical problems.

The design question set out in Chapter 3 focusses on technology, in order to determine the design principles for developing competences for appropriate and optimal use of technology in medicine. Additionally the answer to the design question results in making scientifically accountable choices during the design of the TM program. Technology plays an increasingly important role in the healthcare sector, which relates significantly to the mismatch between the current and future needs of medical doctors, the possibilities offered by technology and its current use in the medical practice. Errors caused by misuse of medical technology are seen as proof of this mismatch. The TM program, which has an engineering approach as a key feature, might be able to develop the relevant competences for transforming technology use so that it will safely fulfil the patient's personal needs. The inappropriate use of technology in medicine seems to stem specifically from a lack in the ability to translate from the capabilities of the high-tech medical devices to effective and safe use for individual patients. As stated above, design theory can provide Technical Medicine with a systematic and flexible methodology, which involves optimizing situations and structures by an iterative analysis, followed by a design and development phase, after which the developed intervention can be evaluated and implemented. In order to utilize all the force and effectiveness of technology in the process of medical problem-solving, an adequate commitment to the steps of analysis, possible solution, implementation and evaluation of technological interventions is essential. This commitment demands a thorough scientific, medical and technical basis, realised in the new discipline, where both the technical as well as the medical domain are integrated into a new domain of expertise. The analysis of the design process in this thesis supports the arrangement of the conceptual and operational encounter of a medical doctor and an engineer to achieve adequate technical solutions for medical problems. This encounter can be arranged through the linking of science with the combination of medical research and technology, on the one hand, and the practice of the technical-medical professional with an integrated professional knowledge base for design and development of technology-based solutions for medical problems, on the other.

Chapter 4 addresses, as part of the design question and the justification of the TM program, the problem-solving strategies of the medical doctor and that of the engineer, in order to determine the choice of the ultimate problem-solving strategy of a technical physician.

A medical doctor has, becoming an expert, developed his own experience-based problem-solving strategy. However, the medical doctor's experience limits his use of medical technology because this does not belong to his area of expertise. Hence, this creates a significant risk of not finding appropriate solutions for non-routine (technical) problems or not correctly identifying non-routine (technical) situations.

An engineer has his own problem-solving strategy as well, which enables him to design useful new technological devices and systems in a practical social context. Therefore, in addition to having the expertise to develop theories and designs, it is important for an academic engineer to possess creativity, imagination as well as problem-solving abilities. However, engineers generally make designs at a high level of abstraction and are based on general calculations, which in the medical

sector can result in devices that should be applicable to general problems, but are not immediately suitable for utilisation in practice due to variations in the characteristics of individual patients.

Technical Medicine should be the synthesis of these two domains. Technical Physicians can not only design a solution for a clinical problem, but also implement and evaluate the effects of this solution on individual patients in clinical practice. To this end they should acquire specific design and research skills to appropriately apply in clinical practice. As a true scientist-practitioner, the Technical Physician has a problem-solving approach that enables him to make scientifically sound translations from the generic to the specific and instantiate them into patient specific designs. This flexible ability allows the Technical Physician to behave like an adaptive expert instead of a routine expert.

The principal TM program goal for teaching an effective combination of medical, technical and professional competences in authentic and rich learning environments is that Technical Physicians will thoroughly understand and effectively apply technology in medicine. This means that they can use technology to design and develop new possibilities in diagnosis and therapy and apply these in a safe and efficient way in direct patient care.

Chapter 5 is also part of the design question and describes how the Technical Physician is trained to act appropriately in clinical practice. This chapter also substantiates the choices made in designing the TM program. The skills training does not copy the medical training, because the goal is not to achieve routine expertise, but to achieve adaptive expertise paired with innovative ability. To become a routine expert, one must train routines and this tendency to automation shuts off innovations. Hence, automation of acquired skills blocks adaptation to a changing context and flexible operations. The goal is to train adaptive experts who are able to adapt their actions in the context of individual patients and by using technology, design, develop and implement innovative opportunities for diagnostics and therapies and apply these in immediate patient care. Without the presence of an expert master, the Technical Physician must be able to be his own master and assess whether he is skilled or not and he must be able to train himself to the suitable level.

The Experimental Centre of Technical Medicine (ECTM) is a simulation centre with numerous possibilities of experimenting with dedicated simulators. The TM program has a specific heuristic for skills training: every problem is analysed in terms of anatomy, physiology, and pathophysiological core concepts. The student must analyse and identify risks and possibilities of the treatment and determine which technology can help to optimise the treatment and minimise associated risks.

All courses in the program start with a clinical problem for which the students have to find a solution by applying the heuristics. Consequently, by the end of the Master's program all students gain important experience in applying the problem-solving strategy; this experience makes them true scientist-practitioners.

In Chapter 6 the final aspect of the design question is addressed, namely the evaluation of outcomes and its consequences for (re)design. The systematic evaluation views education on a macro, meso and micro level.

The macro level is the national level of policy and administration, which is important because it sets the conditions for the TM program. On this national level, multiple committees representing a collection of external stakeholders have assessed the TM program, or parts of it, and have

advised as to its contents. These assessments and recommendations helped to establish a powerful design for the TM program.

On the meso level of the program, it proved to be necessary that the designer was also the academic manager responsible for the outcomes of the program. The designer determines the structure, objectives and heuristics that together determine the academic culture of the program. The next crucial aspect was the building of a team of individuals with a variety of competences. Thanks to this team, the program became what it is today, leading to a new profession and even a new discipline. In addition to the development of a core team, it is highly important to have the commitment and cooperation of the participating professors. The professors are used to working in the context of the entrepreneurial university that is known for its flat organisational structure and culture, where one is open to questions from the market, from health care or even from other programs. With a multidisciplinary education it is especially important that the management looks for a common element, that creates an internal consistency and a binding culture. The culture was created by the design heuristic, the competence profile, the objectives and the skills training.

On the micro level, which is the level of the courses in the curriculum, all professors must share the same philosophy about the objectives and concepts of the TM program. By continually translating and discussing across the different disciplines and about TM's professional profile, competence profile and learning objectives, the professors are stimulated to value their own domain in the light of the new objectives. Through these discussions and the open translations, a shared vision and a shared interpretation of the learning goals was created. These discussions, the internal and external evaluations whereby the stakeholders fulfilled an important role, as well as the internal critical culture, made the TM program internally consistent and externally valid.

Chapter 7 addresses the question to what the students have learned and to what extent the goals have been reached. The research question focusses on the outcomes of the TM program, with its effective and efficient combination of technology and medicine, in order to deliver professionals who can solve medical problems in a flexible and innovative way, using innovative medical and technological knowledge.

The research question pertains to the effects of the acquisition of the competences on four levels; (1) the reaction or motivation level (i.e. does the TM program meet expectations and are the students motivated?), (2) the learning level (i.e. what has been learned?), (3) the behaviour or performance level (i.e. what behavioural and performance changes are observed?) and (4) the level of results (i.e. is there the eventual manifestation of desired performance in the relevant context of the hospital?).

The TM program began in 2003 from the need for technical medical professionals, and now, twelve years later, a successful program has been established with esteemed graduates. A program has been designed, and a new profession and a new discipline have been created, thanks to the focus on the scientist-practitioner.

The results for Kirkpatrick's four levels taken together give a clear indication of the positive effect and the planned realisation of the TM program, as described in the research question in the thesis. These results achieved by the TM program is clearly shown in the number of students who have gone through the program and by the alumni who founded a scientific and professional association, the Dutch Association of Technical Medicine. The alumni in this association further develop the profession by providing support to PhD students and fellowships.

The evaluation of the outcomes can be enhanced by looking at the results from the professional registration of Technical Physicians by the government. And by the acknowledgement of the new profession as a technical medical specialization can provide evidence on evaluation level 4 of Kirkpatrick's model.

The eight and final chapter includes a summary of the main results, a reflection on the outcomes of the study, in particular about the effectiveness of the design of the TM program and the design of university programs in general, and recommendations for research and practice.

The designed Technical Medicine program, including the changes and additions that have been made over the course of time, leads, based on the results set out in chapter 7, to the development of adaptive expertise and to scientist-practitioners. The overarching question of the thesis, the justification of the program, has been answered positively. The program fulfils the need outlined in the introduction. The sub-questions on the specific aspects of training, the design and the research produce the following results and conclusions.

The development of the TM program is based on the determination of the desired professional profile. This profile served as the ultimate goal and outcome of the training. It was followed by the development of the desired competences, which were expressed in terms of the professional who had to be trained; the answer to the question about the 'what' and the 'how' of the training could thus be specified. The 'what' was specified through the academic discipline, research and design. The 'how' was reflected through the scientific approach and intellectual competence. They come together in the competences and professional conduct of technical medical practice. Healthcare is the context for the program. The Master's degree program is described in terms of competences, although they are organised in the CanMed structure of the roles of technical medical expert, communicator, collaborator, organiser, academic and professional.

Answering the design question leads to the following considerations. The engineering approach and design model serve as the basis not only for the design that led to the Technical Medicine program but they also form the essence of the thought and actions of the Technical Physician; both the student and alumnus, as scientist-practitioner and as linking scientist dedicated to the translation of content and technological knowledge into practical applications. These characteristics are reflected in the design principles, including heuristics, which determine technical medical problems and their solutions (Chapter 3), the field of technical and medical problem solving (Chapter 4) and the field of the operations to be performed by the technical physician (Chapter 5). In the internal and external curriculum evaluation described in Chapter 6, the results of the earlier evidence are reflected in a strengthened curriculum.

The effects of the acquired competences are subject of the research question. In addition, the following may be noted. The evaluation based Kirkpatrick's four-level model demonstrates that the acquired skills regarding adaptive expertise, as well as being a scientist-practitioner and linking scientist, are positively reflected in the students' motivation, the students learning results, the performance of students and alumni and their functioning in the healthcare system. The resulting adaptive expertise of a scientist-practitioner expresses how medicine and technology and the doctor and the engineer can work with the Technical Physician as the intermediary to ensure translation between them and thus as a linking scientist who bridges or even better fills the gap between the doctor and the engineer. The way the program with these characteristics and outcomes came about was the subject of further reflection in this final chapter. From our reflection

on the design process, it showed that the roles of a designer or stimulator are dependent on the goals, the level of the design, and the commitment of the stakeholders. These may therefore be identified as the guiding principles of the design process.

REFERENTIES

- Aggarwal, R., Moorthy, K., & Darzi, A. (2004). Laparoscopic skills training and assessment. *British Journal of Surgery*, 91(12), 1549-1558.
- Albaret, J.-M., & Thon, B. (1998). Differential effects of task complexity on contextual interference in a drawing task. *Acta Psychologica*, 100(1), 9-24.
- Amoore, J., & Ingram, P. (2002). Quality improvement report: learning from adverse incidents involving medical devices. *BMJ: British Medical Journal*, 325(7358), 272.
- Anderson, J. R. (1992). Automaticity and the ACT theory. *The American journal of psychology*, 165-180.
- Argote, L., Ingram, P., Levine, J. M., & Moreland, R. L. (2000). Knowledge transfer in organizations: Learning from the experience of others. *Organizational behavior and human decision processes*, 82(1), 1-8.
- Benneworth, P., & Olmos Peñuela, J. (2014). Resolving tensions of research utilization: The value of a usability-based approach. Enschede: Universiteit Twente, CHEPS.
- Bleker, O., ten Cate, T. J., & Holdrinet, R. (2004). De algemene competenties van de medisch specialist in de toekomst. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 23(1), 4-14.
- Boshuizen, H., & Schmidt, H. (1995). De ontwikkeling van medische expertise; implicaties voor het praktisch en theoretisch medisch onderwijs. Metz JCM, Scherpbier AJJA, Vleuten CPM van der, redactie. *Medisch onderwijs in de praktijk*. Assen: Van Gorcum, 25-39.
- Boshuizen, H. P. A. (1989). *De ontwikkeling van medische expertise: Een cognitief-psychologische benadering*. Maastricht University.
- Capaciteitsorgaan. (2000). Raming studie medische en tandheelkundige vervolgopleidingen.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive psychology*, 4(1), 55-81.
- Chi, M. T. (2006). Two approaches to the study of experts' characteristics. *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, 21-30.
- Chi, M. T., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive science*, 13(2), 145-182.
- Christensen, C. M., Bohmer, R., & Kenagy, J. (2000). Will disruptive innovations cure health care? *Harvard business review*, 78(5), 102-112.
- Christensen, C. M., Horn, M. B., & Johnson, C. W. (2008). *Disrupting class: How disruptive innovation will change the way the world learns* (Vol. 98): McGraw-Hill New York, NY.
- Christiansen, F. V., & Rump, C. (2007). Getting it right: conceptual development from student to experienced engineer. *European Journal of Engineering Education*, 32(4), 467-479.
- Chyung, S. Y. (2008). *Foundations of instructional performance technology*: Amherst: HRD Press.
- Clark, B. R. (1998). *Creating Entrepreneurial Universities: Organizational Pathways of Transformation*. *Issues in Higher Education*: ERIC.
- Collins, F. S., & Varmus, H. (2015). A new initiative on precision medicine. *New England Journal of Medicine*, 372(9), 793-795.
- Commissie Marktprikkels Medische Opleidingen. (2002). Advies: capaciteit en bekostiging. Zoetermeer: IOO.
- Commissie zorg met technologie. (2011). Opleidingen en onderzoek op het grensvlak van technologie en zorg: Nederlandse Federatie van Universitair Medische Centra (NFU); 3TU.
- Cook, D. A., Hatala, R., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J. H., Wang, A. T., . . . Hamstra, S. J. (2011). Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *Jama*, 306(9), 978-988.
- Cook, R. I., & Woods, D. D. (1996). Adapting to New Technology in the Operating Room. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 38(4), 593-613.
- Crossman, E. (1959). A theory of the acquisition of speed-skill *Ergonomics*, 2(2), 153-166.

- cTWO. (2007). Vernieuwing Wiskunde 2004-2012.
- Dawson, S. (1995). Never mind solutions: what are the issues? Lessons of industrial technology transfer for quality in health care. *Quality in Health Care*, 4(3), 197.
- De Groot, A. D. (1978). *Thought and choice in chess* (Vol. 4): The Hague: Mouton.
- De Groot, A. D., & Spiekerman, J. A. (1969). *Methodology: Foundations of inference and research in the behavioral sciences*: Mouton Amsterdam/Berlin/New York.
- de Vries, A., Custers, E., & ten Cate, T. J. (2006). Leren klinisch redeneren en het ontwikkelen van ziektescripts: mogelijkheden in het medisch onderwijs. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 25(1), 3-13.
- De Vries, B., & Pieters, J. (2007). Knowledge sharing at conferences. *Educational Research and Evaluation*, 13(3), 237-247.
- de Vries, C., Doggen, C., Hilbers, E., Verheij, R., IJzerman, M., Geertsma, R., & Kusters, R. (2015). Results of a survey among GP practices on how they manage patient safety aspects related to point-of-care testing in every day practice. *BMC family practice*, 16(1), 9.
- Dede, C. (2005). Commentary: The growing utilization of design-based research. . *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 5.
- Det, M. J., Meijerink, W. J. H. J., Hoff, C., Middel, L. J., Koopal, S. A., & Pierie, J. P. E. N. (2011). The learning effect of intraoperative video-enhanced surgical procedure training. *Surgical endoscopy*, 25, 2261-2267.
- DeVita, M., Schaefer, J., Lutz, J., Wang, H., & Dongilli, T. (2005). Improving medical emergency team (MET) performance using a novel curriculum and a computerized human patient simulator. *Quality and Safety in Health Care*, 14(5), 326-331.
- Dewey, J. (1900). Psychology and social practice. *Psychological review*, 7(2), 105.
- Deyo, R. A. (2002). Cascade effects of medical technology. *Annual review of public health*, 23(1), 23-44.
- Dijkstra, S., & van Merriënboer, J. J. (1997). Plans, procedures, and theories to solve instructional design problems *Instructional design international perspective: Solving instructional design problems* (Vol. 2, pp. 23-43).
- Dochy, F., Segers, M., & Sluijsmans, D. (1999). The use of self-, peer and co-assessment in higher education: A review. *Studies in Higher Education*, 24(3), 331-350. doi: 10.1080/03075079912331379935
- Duchateau, D. C., & Vink, M. D. H. (2011). *Medisch-technologische ontwikkelingen zorg 20/20*. Den Haag: Broese en Peereboom.
- Dute, J. C. J., Varkaik, R., Friele, R. D., & Gevers, J. K. M. (2009). Voorbehouden handelingen tegen het licht: de regeling van artikel 35-39 Wet BIG heroverwogen (September 2009 ed., pp. 108). Amsterdam: AMC/Universiteit van Amsterdam Instituut voor Sociale Geneeskunde.
- Engel, G. L. (1981). The clinical application of the biopsychosocial model. *Journal of Medicine and Philosophy*, 6(2), 101-124.
- Eraut, M. (1994). *Developing professional knowledge and competence*: Psychology Press.
- Eraut, M. (2000). Non-formal learning and tacit knowledge in professional work. *British journal of educational psychology*, 70(1), 113-136.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological review*, 100(3), 363.
- Ericsson, K. A., & Lehmann, A. C. (1996). Expert and exceptional performance: Evidence of maximal adaptation to task constraints. *Annual review of psychology*, 47(1), 273-305.
- Etzkowitz, H. (2003). Research groups as 'quasi-firms': the invention of the entrepreneurial university. *Research policy*, 32(1), 109-121.
- European Parliament, C. o. t. E. U. (2007). *active implantable medical devices, medical devices and the placing of biomedical products on the market*. Official Journal of the European Union.
- Evenblij, M. (2005). *Kiezen is delen*: Assen: Van Gorcum.
- Fitts, P. M. (1964). Perceptual-motor skill learning. *Categories of human learning*, 47, 381-391.

- Fluit, C., & Klaassen, T. (2011). Achtergronden bij de Richtlijn simulatie teamtraining. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 30(1), 11-27.
- Ford, J. K., & Weissbein, D. A. (1997). Transfer of training: An updated review and analysis. *Performance improvement quarterly*, 10(2), 22-41.
- Frank, J. R. (2005). *The CanMEDS 2005 physician competency framework: better standards, better physicians, better care*: Royal College of Physicians and Surgeons of Canada.
- Frensch, P. A., & Sternberg, R. J. (1989). Expertise and intelligent thinking: When is it worse to know better. *Advances in the psychology of human intelligence*, 5, 157-188.
- Fuchs, V. R., & Sox, H. C. (2001). Physicians' views of the relative importance of thirty medical innovations. *Health Affairs*, 20(5), 30-42.
- Fuks, A., Boudreau, J. D., & Cassell, E. J. (2009). Teaching clinical thinking to first-year medical students. *Medical teacher*, 31(2), 105-111.
- Geertsma, R. (2008). Nieuwe technologieën: Rapportage ten behoeve van IGZ-2008. : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
- Gelijns, A., & Rosenberg, N. (1994). The dynamics of technological change in medicine. *Health Affairs*, 13(3), 28-46.
- Gezondheidsraad. (2011). Medische producten: nieuw en nodig! Den Haag.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies*: Sage.
- Glaser, R. (1976). Components of a psychology of instruction: Toward a science of design. *Review of educational research*, 1-24.
- Glaser, R. (1982). Instructional psychology: Past, present, and future. *American Psychologist*, 37(3), 292.
- Goldchstein, M. (2009). Syllabus Entrepreneurship: Erasmus Universiteit.
- Grantcharov, T. P., Kristiansen, V., Bendix, J., Bardram, L., Rosenberg, J., & Funch-Jensen, P. (2004). Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. *British Journal of Surgery*, 91(2), 146-150.
- Groen, G., & Patel, V. L. (1985). Medical problem-solving: some questionable assumptions. *Medical education*, 19(2), 95-100.
- Groenier, M., Katwijk, P. v., & Overkamp, L. (2014). *Ouderejaars studenten als procesbegeleiders: ontwikkeling van een training voor procesbegeleiding*. Paper presented at the Poster presentatie Nederlandse Vereniging voor Medisch Onderwijs Congres, Egmond aan Zee.
- Groenier, M., Sippel, I., Geelkerken, R., Wilhelm, P., & Schraagen, J. M. C. (2014). *De rol van cognitieve vaardigheden en ervaring bij het leren van basis navigatie vaardigheden in endovasculaire chirurgie*. Paper presented at the Paper presentatie Nederlandse Vereniging voor Medisch Onderwijs Congres, Egmond aan Zee.
- Guskey, T. R. (2002). Professional development and teacher change. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 8(3), 381-391.
- Gustafson, K. L., & Branch, R. M. (2002). What is instructional design. *Trends and issues in instructional design and technology*, 16-25.
- Hardin, L. E. (2003). Research in medical problem solving: a review. *Journal of veterinary medical education*, 30(3), 230-235.
- Hartman, N. W. (2004). The development of expertise in the use of constraint-based CAD tools: Examining practicing professionals. *Engineering Design Graphics Journal*, 68(2), 14-26.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1984). Two courses of expertise. *Research and Clinical Center for Child Development*, 27-36.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1986). Two courses of expertise. In H. Stevenson, H. Azuma, & K. Hakuta (Eds.), *Child development and education in Japan* (pp. 27-36). New York, NY: WH Freeman.
- Hauser, R. G. (2012). Here we go again—another failure of postmarketing device surveillance. *New England Journal of Medicine*, 366(10), 873-875.

- Hays, R. T., Jacobs, J. W., Prince, C., & Salas, E. (1992). Flight simulator training effectiveness: A meta-analysis. *Military Psychology*, 4(2), 63-74.
- Helsdingen, A., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. (2009). Critical thinking instruction and contextual interference to increase cognitive flexibility in complex judgment. *Open University, Heerlen*.
- Hofmann, B. M. (2015). Too much technology. *BMJ*, 350, h705.
- Holcomb, J. B., Dumire, R. D., Crommett, J. W., Stamateris, C. E., Fagert, M. A., Cleveland, J. A., . . . Hira, K. (2002). Evaluation of trauma team performance using an advanced human patient simulator for resuscitation training. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 52(6), 1078-1086.
- Holmberg, L. (2013). Problem perception, technology and effectiveness in medical practice. *Journal of evaluation in clinical practice*, 19(5), 868-874.
- Hoyer, W. J., & Rybash, J. M. (1994). Characterizing adult cognitive development. *Journal of Adult Development*, 1(1), 7-12.
- Huizingh, E. (2011). *Innovatie Management*. Amsterdam: Pearson Education.
- Hutschemaekers, G., & van Nijntjen, C. (2008). De scientist practitioner en de evidence-based practice.
- Hutschemaekers, G. J. M. (2010). Wetten in de weg en praktische bezwaren. Mediators gewenst tussen wetenschap en (zorg) praktijk.
- IJzerman, M. J., & Steuten, L. M. (2011). Early assessment of medical technologies to inform product development and market access. *Applied health economics and health policy*, 9(5), 331-347.
- Inspectie voor de Gezondheidszorg. (2008). *Risico's van medische technologie onderschat*. Den Haag: Inspectie voor de Gezondheidszorg.
- Issenberg, S. B., McGaghie, W. C., Hart, I. R., Mayer, J. W., Felner, J. M., Petrusa, E. R., . . . Gessner, I. H. (1999). Simulation technology for health care professional skills training and assessment. *Jama*, 282(9), 861-866.
- Jenicek, M. (2006). The hard art of soft science: Evidence-Based Medicine, Reasoned Medicine or both? *Journal of evaluation in clinical practice*, 12(4), 410-419.
- Joseph, G.-M., & Patel, V. L. (1990). Domain knowledge and hypothesis generation in diagnostic reasoning. *Medical Decision Making*, 10(1), 31-44.
- Kallenberg, A. J., van der Grijpsaarde, L., ter Braak, A., & Baars, G. (2003). *Leren (en) doceren in het hoger onderwijs*: Boom Lemma Uitgevers.
- Katwijk, P. v., Burie, R., Dobbela, G. M. v. d., & Dorsman, K. (2007). *Wat te toetsen: de vaardigheid zelf of de verantwoording en reflectie achteraf?* Paper presented at the Workshop Nederlandse Vereniging voor Medisch Onderwijs Congres, Egmond aan Zee.
- Kessels, J. W. M. (1993). Towards design standards for curriculum consistency in corporate education. *Enschede: Twente University*.
- Kirkley, S. E., & Kirkley, J. R. (2004). Creating next generation blended learning environments using mixed reality, video games and simulations. *TechTrends*, 49(3), 42-53.
- Kirkpatrick, D. L. (1998). The four levels of evaluation *Evaluating corporate training: Models and issues* (pp. 95-112): Springer.
- KNAW. (2014). Evaluation of new technology in health care. In need of guidance for relevant evidence. Amsterdam.
- Laan, R., Bulte, J., Daelmans, H., Snellen-Balendong, H., & Borleffs, J. (2007). Eindtermen voor de bacheloropleiding geneeskunde. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 26(1), 14-21.
- Landry, R., Amara, N., & Lamari, M. (2001). Climbing the ladder of research utilization evidence from social science research. *Science Communication*, 22(4), 396-422.
- Levin, D. Z., & Cross, R. (2004). The strength of weak ties you can trust: The mediating role of trust in effective knowledge transfer. *Management science*, 50(11), 1477-1490.
- Lovink, A. G., Cramer Bornemann, N. S., Prenger, H. C., & Barneveld, S. v. (2013). *Leren van het onderwijs dat je geeft*. Paper presented at the Poster presentatie Nederlandse Vereniging voor Medisch Onderwijs Congres, Egmond aan Zee.

- Marcum, J. A. (2012). An integrated model of clinical reasoning: dual-process theory of cognition and metacognition. *Journal of evaluation in clinical practice*, 18(5), 954-961.
- Markiewicz, K., van Til, J. A., & IJzerman, M. J. (2014). Medical devices early assessment methods: systematic literature review. *International journal of technology assessment in health care*, 30(02), 137-146.
- Martin, J. A., Regehr, G., Reznick, R., Macrae, H., Murnaghan, J., Hutchison, C., & Brown, M. (1997). Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *British Journal of Surgery*, 84, 273-278.
- Martin, T., Rayne, K., Kemp, N. J., Hart, J., & Diller, K. R. (2005). Teaching for adaptive expertise in biomedical engineering ethics. *Science and Engineering Ethics*, 11(2), 257-276.
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2012). *Conducting educational design research*: Routledge.
- McKenney, S., & Reeves, T. C. (2013). Systematic review of design-based research progress is a little knowledge a dangerous thing? *Educational Researcher*, 42(2), 97-100.
- Meijers, A., Borghuis, V., Mutsaers, E., Overveld, v. C., & Perrenet, J. (2005). Criteria voor academische bachelor en master curricula: Criteria for academic bachelor's and master's curricula.
- Meria, P., & Colchen, A. (1998). Medical device surveillance. *Progres en urologie: journal de l'Association francaise d'urologie et de la Societe francaise d'urologie*, 8(6), 1083-1086.
- Metz, J. C. M., Verbeek-Weel, A., & Huisjes, H. (2001). *Raamplan 2001 artsopleiding: bijgestelde eindtermen van de artsopleiding*.
- Miedema, H. A. T. (2000). *Voorstel voor een opleiding Algemene Gezondheidswetenschappen*. Enschede: Universiteit Twente.
- Miedema, H. A. T. (2001). *Voorstel voor een opleiding Geneeskunde*.
- Miedema, H. A. T. (2002). *Voorstel voor een opleiding Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente*. Enschede: Universiteit Twente.
- Miedema, H. A. T., & van Alsté, J. A. (1999). *Voorstel voor een opleiding Biomedische Technologie*. Enschede: Universiteit Twente.
- Migchelbrink, J., & Coördinatiecentrum Biomedische Technologie. (1988). *Bio Medische Technologie: onderzoeksoverzicht*: Universiteit Twente.
- Münsterberg, H. (1913). Psychology and industrial efficiency.
- Mylopoulos, M., & Regehr, G. (2009). How student models of expertise and innovation impact the development of adaptive expertise in medicine. *Medical education*, 43(2), 127-132.
- Mytton, O. T., Velazquez, A., Banken, R., Mathew, J. L., Ikonen, T. S., Taylor, K., . . . Ruelas, E. (2010). Introducing new technology safely. *Quality and Safety in Health Care*, 19(Suppl 2), i9-i14.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*: Oxford university press.
- Nowotny, H., Scott, P., & Gibbons, M. (2003). Introduction:Mode 2'Revisited: The New Production of Knowledge. *Minerva*, 41(3), 179-194.
- NVAO Toets Nieuwe Opleiding. (2006). *Wo-master Technische Geneeskunde Universiteit Twente*. Den Haag: Nederlands-vlaamse accreditatie organisatie.
- Overkamp, L. (2014). *Adaptive expertise in solving technical-medical problems*. (Master's thesis), Universiteit Twente, Enschede.
- Papa, F. J., & Harasym, P. H. (1999). Medical curriculum reform in North America, 1765 to the present: a cognitive science perspective. *Academic Medicine*, 74(2), 154-164.
- Patel, V. L., Arocha, J. F., & Zhang, J. (2005). Thinking and reasoning in medicine. *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*, 14, 727-750.
- Patel, V. L., Glaser, R., & Arocha, J. F. (2000). Cognition and expertise: acquisition of medical competence. *Clinical and Investigative Medicine*, 23(4), 256-260.
- Plomp, T., & Nieveen, N. (2007). *An introduction to educational design research*. Paper presented at the Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai,(China).
- Rademakers, J. J., De Rooy, N., & Ten Cate, O. T. J. (2007). Senior medical students' appraisal of CanMEDS competencies. *Medical education*, 41(10), 990-994.

- Reeves, T. C., Herrington, J., & Oliver, R. (2005). Design research: A socially responsible approach to instructional technology research in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 16(2), 96-115.
- Ronteltap, C. F. M., & Van der Straaten, J. H. M. (1995). *Medisch onderwijs in de praktijk*. Assen: Uitgeverij Van Gorcum.
- Rowland, G. (1992). What do instructional designers actually do? An initial investigation of expert practice. *Performance improvement quarterly*, 5(2), 65-86.
- Ruijter, K., & Miedema, H. A. T. (2010). *Ontwerpen, Onderzoeken en Organiseren. 30: het nieuwe onderwijsconcept van de Universiteit Twente*. Universiteit Twente: Enschede.
- Sanders, A., Warntjes, P., Geelkerken, R., Mastboom, W., Klaase, J., Rodel, S., . . . van Houten, F. (2005). Open surgery in VR: inguinal hernia repair according to LichtensteinStudies in health technology and informatics (Vol. 119, pp. 477-479).
- Scalese, R. J., Obeso, V. T., & Issenberg, S. B. (2008). Simulation technology for skills training and competency assessment in medical education. *Journal of general internal medicine*, 23(1), 46-49.
- Scherpbier, A. (2004). Het medisch onderwijs en het NVMO-congres. Waar staan we en hoe moet het verder? *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 23(4), 172-177.
- Scherpbier, A., Kerkhofs, E., Verhoeven, B., van Gerwen, A., Wolfhagen, H., & van der Vleuten, C. (1998). Trends in de aanwezigheid bij het vaardigheidsonderwijs. *Bulletin Medisch Onderwijs*, 17(4), 143-148.
- Scherpbier, A., Verwijnen, G., Schaper, N., Dunselman, G., & Van der Vleuten, C. (2000). Vaardigheidsonderwijs nu en in de toekomst. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 19(1), 6-15.
- Schmidt, H., Norman, G., & Boshuizen, H. (1990). A cognitive perspective on medical expertise: theory and implication: theory and implication. *Academic Medicine*, 65(10), 611-621.
- Schmidt, H. G., & Boshuizen, H. P. (1993). On acquiring expertise in medicine. *Educational psychology review*, 5(3), 205-221.
- Schneider, V. I., Healy, A. F., & Bourne, L. E. (2002). What is learned under difficult conditions is hard to forget: Contextual interference effects in foreign vocabulary acquisition, retention, and transfer. *Journal of Memory and Language*, 46(2), 419-440.
- Schout, B. (2010). Proefschrift: Training in Urology - from Virtual to Reality. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 30(1), 50-53.
- Schutte, F. (1999). The University-Industry Relations of an Entrepreneurial University: the Case of the University of Twente. *Higher Education in Europe*, 24(1), 47-65.
- Schwartz, D. L., Bransford, J. D., & Sears, D. (2005). Efficiency and innovation in transfer. *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective*, 1-51.
- Shapiro, D. (2002). Renewing the scientist-practitioner model. *Psychologist - Leicester-*, 15(5), 232-235.
- Shapiro, M. (1985). A reassessment of clinical psychology as an applied science*. *British journal of clinical psychology*, 24(1), 1-11.
- Siddiqui, N. Y., Stepp, K. J., Lasch, S. J., Mangel, J. M., & Wu, J. M. (2008). Objective structured assessment of technical skills for repair of fourth-degree perineal lacerations. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 199, 676.e671-676.e676.
- Simon, H. A. (1969). *The sciences of the artificial*. Cambridge, MA.
- Singer, R. N., & Janelle, C. M. (1999). Determining sport expertise: from genes to supremes. *International Journal of Sport Psychology*.
- Slobbe, L., Smit, J., Groen, J., Poos, M., & Kommer, G. (2011). Kosten van Ziekten in Nederland 2007: Trends in de Nederlandse zorguitgaven 1999-2010. *RIVM rapport 270751023*.
- Smith, K. A. (1988). The nature and development of engineering expertise. *European Journal of Engineering Education*, 13(3), 317-330.
- Smith, S. D., Heffler, S. K., & Freeland, M. S. (2000). The impact of technological change on health care cost spending: An evaluation of the literature. *Health Care Financing Administration Health Care Financing Administration*.

- Sorenson, C., Drummond, M., & Khan, B. B. (2013). Medical technology as a key driver of rising health expenditure: disentangling the relationship. *ClinicoEconomics and outcomes research: CEOR*, 5, 223.
- Stelfox, H. T., Palmisani, S., Scurlock, C., Orav, E. J., & Bates, D. W. (2006). The "To Err is Human" report and the patient safety literature. *Quality and Safety in Health Care*, 15(3), 174-178.
- Sternberg, R. J., & Frensch, P. A. (1992). On being an expert: A cost-benefit analysis *The psychology of expertise* (pp. 191-203): Springer.
- Taylor, M. J., McNicholas, C., Nicolay, C., Darzi, A., Bell, D., & Reed, J. E. (2013). Systematic review of the application of the plan-do-study-act method to improve quality in healthcare. *BMJ quality & safety*, bmjqs-2013-001862.
- Ten Cate, T. J., & Fluit, C. (2010). Richtlijn korte praktijkbeoordeling. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 29(5, suppl. 4), 105-134.
- Thijssen, J. G. L. (1996). *Leren leeftijd en loopbaanperspectief. Opleidingsdeelname door oudere personeelsleden als component van Human Resource Development*. Katholieke Universiteit Brabant.
- Valiathan, P. (2002). Blended learning models. *Learning circuits*.
- Van den Akker, J. (2003). *Curriculum perspectives: An introduction*: Springer.
- Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). *Educational design research*: Routledge.
- Van den Kroonenberg, H., Weverink, D., & van Eerden, H. (1996). *Ondernemen met kennis*: Twente University Press.
- Van den Kroonenberg, H. H. (1992). *Het vinden.....* . (Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Management van Technologie Transfer), Universiteit Twente, Enschede.
- Van den Kroonenberg, H. H., & Siers, F. J. (1974). *Methodisch ontwerpen*: Universiteit Twente.
- Van der Velden, L., Hingstman, L., Nienoord-Bure, C., & van den Berg, M. (2001). De vraag naar artsen becijferd: een prognose van de opleidingscapaciteit 2000-2010. *Medisch Contact*(12).
- Van Merriënboer, J. J., De Croock, M. B., & Jelsma, O. (1997). The transfer paradox: Effects of contextual interference on retention and transfer performance of a complex cognitive skill. *Perceptual and Motor Skills*, 84(3), 784-786.
- Van Merriënboer, J. J., Van der Klink, M. R., & Hendriks, M. (2002). *Competenties: van complicaties tot compromis: over schuifjes en begrenzers*: Onderwijsraad Den Haag, the Netherlands.
- van Mook, W., van Luijk, S., Fey-Schoenmakers, M., Oudhuis, G., Gulikers, M. D. M., Schuwirth, L., & van der Vleuten, C. (2007). Bespreking en beoordeling van professioneel gedrag aan de Faculteit Geneeskunde te Maastricht. *Tijdschrift voor Medisch Onderwijs*, 26(5), 181-187.
- Van Strien, P. J. (1997). Towards a methodology of psychological practice the regulative cycle. *Theory & Psychology*, 7(5), 683-700.
- Van Wijk van Brievingh, R., & Peuscher, F. (1984). *Methodisch ontwerpen van medisch-technologische apparatuur*: Delftse Universitaire Pers.
- Verbeek, P. (2013). *Op de vleugels van Icarus. Hoe technieken moraal met elkaar meebewegen* (Vol. 23): Lemniscaat.
- Verhagen, P., Kuiper, W., & Plomp, T. (1999). *Onderwijskundig ontwerpen in het onderwijsprogramma van Toegepaste onderwijskunde* (Vol. 20).
- Verhagen, P. W. (2000). *Over het opleiden van onderwijskundig ontwerpers*. Enschede: Universiteit Twente.
- Verkerke, G., ten Cate Hoedemaker, H., Drost, R., Pot, J., Lansbergen, M., Bouwman, C., . . . Kooijman, O. (2011). Medische Technologie at risk? Onderzoek naar risico's bij medische technologie en mogelijkheden om deze te voorkomen of te reduceren.
- Visscher-Voerman, I., & Gustafson, K. L. (2004). Paradigms in the theory and practice of education and training design. *Educational Technology Research and Development*, 52(2), 69-89.
- Wademan, M. R. (2005). Utilizing development research to guide people capability maturity model adoption considerations.
- Walker, D. F. (1990). *Fundamentals of Curriculum*. San Diego: Harcourt Brace Jovanovich.

- Ward, J. R., & Clarkson, P. J. (2004). An analysis of medical device-related errors: prevalence and possible solutions. *Journal of medical engineering & technology*, 28(1), 2-21.
- Webb, R., Currie, M., Morgan, C., Williamson, J., Mackay, P., Russell, W., & Runciman, W. (1993). The Australian Incident Monitoring Study: an analysis of 2000 incident reports. *Anaesthesia and intensive care*, 21, 520-520.
- Wessels, R. W.-B., Ineke. (2012). Kritische reflectie bacheloropleiding Gezondheidswetenschappen, Self-evaluation of the master programme Health Sciences. Enschede: Universiteit Twente.
- Westwood, J., Hoffman, H., Stredney, D., & Weghorst, S. (1998). Validation of virtual reality to teach and assess psychomotor skills in laparoscopic surgery: results from randomised controlled studies using the MIST VR laparoscopic simulator. *Medicine Meets Virtual Reality: art, science, technology: healthcare and evolution*, 124.
- Wet BIG. (2004). Ontwikkelingen in het klacht-en tuchtrecht.
- Wheelwright, S. C., & Clark, K. B. (1992). *Creating project plans to focus product development*: Harvard Business School Pub.
- Wieringa, R. (2009). *Design science as nested problem solving*. Paper presented at the Proceedings of the 4th international conference on design science research in information systems and technology.
- Wilson, J. E., Barkham, M., Clarkson, P., & Pokorny, M. (1994). A practitioner-scientist approach to psychotherapy process and outcome research. *The handbook of psychotherapy*, 49-72.
- World Health Organization. (2010). Medical devices: managing the mismatch: an outcome of the priority medical devices project: World Health Organization.
- Yesavage, J. A., Mumenthaler, M. S., Taylor, J. L., Friedman, L., O'Hara, R., Sheikh, J., . . . Whitehouse, P. J. (2002). Donepezil and flight simulator performance: effects on retention of complex skills. *Neurology*, 59(1), 123-125.
- Yock, P. G., Zenios, S., Makower, J., Brinton, T. J., Krummel, T. M., Kumar, U. N., . . . Denend, L. (2015). *Biodesign*: Cambridge University Press.
- Zorgnota, VWS. (2002). Zorgnota 2002 (pp. 26). Den Haag.

DANKWOORD

Bij de start van de opleiding in 2003 ontwikkelde zich al snel de gedachte, het ontwerp en de ontwikkeling van de opleiding Technische Geneeskunde object van onderzoek te maken. Het doen van onderzoek zou, dankzij de bijbehorende kritische, beschouwende cultuur, dienen als kwaliteitsbewaking van de ontwikkeling, maar tevens de legitimatie vormen van het opleidingsdomein en van de discipline der Technische Geneeskunde. Door alle ontwikkelingen rondom Technische Geneeskunde, het ECTM, de wet BIG, de toetsingscommissie nieuwe opleiding, de accreditatie commissies, de start van Biomedische Technologie, het nieuwe onderwijs model duurde de start van het onderzoek iets langer, dan ik dacht. Promoveren is lang ondergeschikt geweest aan de primaire doelstelling om het onderwijskundig onderzoek op te zetten. Door suggesties van Kees Slump en Frans Jaspers werd deze prioriteit verhoogd, maar vooral is het te danken aan het niet aflatende vertrouwen van Jules Pieters en Marleen Groenier dat ik nu dit dankwoord zit te schrijven.

Het voorstel ontwerpen als kernthema van het proefschrift te nemen viel in goede aarde bij mijn promotor, Jules Pieters, omdat het ontwerpen tot de karakteristieke kenmerken van de UT (en van de Onderwijskunde) behoort. Jules, dank je wel voor jouw wijze van vragend aansturen. Een stille kracht, die steun geeft en waar ik zo veel van heb geleerd. Je bent voor mij een enorm stimulerende mentor en coach geweest en hoop dat je dit nog even wilt blijven doen. Marleen dank je wel voor je trouwe ondersteuning, je vragen en discussies, ook in tijden dat het met jou niet zo goed ging! Sterkte.

De ontwikkeling van Technische Geneeskunde start met Frans van Vught, omdat alle opleidingen onder jouw beleid zijn gemaakt. Dank je wel, Frans, dat je mij meenam in jouw dromen en dat je mij hebt geleerd mijn dromen te vangen en te realiseren. Ook de staf van het toenmalige beleidsbureau heeft mij veel geleerd, waarvoor ik hen bedank.

Startend in het Paviljoen met Paul van Katwijk, als psycholoog, verantwoordelijk voor de ontwikkeling van het professioneel gedrag bij HAIO's en TG-ers. Paul, dank je wel voor het ontwerpen, klankbord zijn en vooral dat je elke keer weer de hoop hebt dat ik nu echt om 7.45 uur ga fietsen. De club van professioneel gedrag is gegroeid tot nu zeven professionals, die ik zeer erkentelijk ben. Professioneel gedrag wordt mede ondersteund door het stagebureau, waarvoor ik Selma Kamphuis en Daniëlle Heskamp bedank.

De curriculumcommissie in het Paviljoen, Pim van Aken, John Kauer, Peter Veltink, Bart Koopman, Bennie ten Haken en later Michel van Putten, Frans de Jongh, elk van jullie was bereid de vertalingen te maken van jullie vakgebied naar dat van de TGers. Jullie inzet voor Technische Geneeskunde waardeer ik meer dan ik kan zeggen. In het paviljoen kwam Remke Burie erbij. Remke, jij hebt je via een MBA ontwikkeld tot een zakelijke professional, die zijn weerga niet kent. Je bent inspirator, klankbord, criticus, eigen wijs en loyaal. Dank je wel.

In deze periode werkte ik samen met Maria van de Blij, mijn onderwijskundig geweten. Zonder jou, Maria, was dit ontwerp er niet geweest.

In 2003 nam Peter Vooijs afscheid van zijn werkzame leven, als decaan van de medische faculteit aan de Radboud Universiteit met een rumoerig en gloedvol betoog over het nut en noodzaak van een opleiding Technische Geneeskunde. Peter, dank je wel dat je als medisch directeur een grote

stempel hebt gedrukt op het ontwerp, de stages en het onderzoek. Staf en studenten wisten dat ze op je konden bouwen en dat resulteerde in je erelidmaatschap van de NVvTG. Peter, dank je wel. Op een ochtend kwam Marieke Hofman binnen voor een open sollicitatie naar de functie van studieadviseur. Dit was een geval van *veni, vidi, vici*. Dank voor alles, dat jij hebt bijgedragen aan Technische Geneeskunde. Benno Lansdorp, heeft vele stempels op het ontwerp van het onderwijs gedrukt. Daarnaast ben en blijf je gewoon een TG-er. Dank je wel voor jouw betrokkenheid en kom nog maar vaak logeren.

Een sterk team bestaat uit een variatie van persoonlijkheden en competenties en dat is bij TG meer dan gelukt. Daniëlle Heskamp, dank je wel dat je samen met Sandra Schele de eindredactie van deze thesis op je hebt genomen. Het onderwijs valt onder de aardige en zeer professionele Ineke ten Dam, waarvoor ik haar zeer erkentelijk ben. In wezen hebben alle mensen die bij TG werken hun bijdrage geleverd aan de uiteindelijke uitvoering van de opleiding en daarmee van dit werk. Al deze mensen wil ik hierbij bedanken. Speciaal woord van dank gaan naar Arthur Veugelers voor het fraaier maken van mijn presentaties en Erik Groot Jebbink en Iris Schmidt voor de inwijding in de hogere school van Endnote. Alle docenten, alle artsen, alle ingenieurs, die bij TG zijn betrokken, dank jullie wel.

Mijn grootste dank gaat uit naar de eerste lichting, 2003. Jullie hoorden tot vervelens toe, dat ik jullie beschouwde als mijn 'broddellapje'. Waarmee ik bedoelde, dat ik mogelijk meer van jullie leerde, dan dat jullie leerden van de opleiding. Dank ook het prachtige kunstwerk, van Frans Houben, dat een zo mooie metafoer is voor Technische Geneeskunde, dat ik het heb gebruikt ter illustratie van dit proefschrift. Ook alle volgende generaties studenten en/of alumni, met name ook de bestuurders van de NVvTG, bedank ik zeer voor hun vertrouwen.

Het nadeel van promoveren op mijn leeftijd is dat er teveel mensen, die hebben bijgedragen aan jouw ontwikkeling en daarmee aan dit ontwerp. Een speciaal woord van dank reserveer ik dan ook voor alle mensen die binnen de Universiteit Twente hebben bijgedragen aan de ontwikkeling, uitvoering en stimulans van TG en daarmee aan dit proefschrift. Speciaal woord van dank aan Susanne Wichman voor jouw adviezen en Petra de Weerd voor jouw ondersteuning.

Mijn familie vormt mijn ruggengraat. Dankzij de onvoorwaardelijke steun en liefde van Rene, Kim en Cees heb ik kunnen doen, wat ik heb gedaan. Rene, dank voor jouw constante stimulans en vertrouwen. Kim, dank voor alle ondersteuning en Cees, dank je wel voor je correcties! (gelukkig geen billable hours!). Tom, voor het design van mijn thesis en Nina, voor de algemene ondersteuning! Kim en Cees, mijn paranimfen! Zou er ooit een promovendus zo trots op haar paranimfen zijn geweest?

BIJLAGE 1

HET COMPETENTIEVIGNET BACHELOROPLEIDING

Figuur 4. Competentie vignet Technische Geneeskunde Bachelor

Domein = Wat?

- Competent in de Discipline Technische Geneeskunde

- Competent in Onderzoeken en Ontwerpen
- Competent in Medisch Technisch handelen

Werkwijze = Hoe?

- Competent in Wetenschappelijke Benadering

- Intellectuele competentie
- Competent in Professioneel Gedrag

Context = Waar?

- **Situationele competentie** / Competent in Contextgericht handelen

Domein = Wat

1 Competent in de discipline Technische Geneeskunde:

De Technisch Geneeskundige is vertrouwd met bestaande wetenschappelijke kennis en is in staat deze door studie uit te breiden.

- De TG-er begrijpt de kennisbasis van de gezonde staat van het totale menselijke systeem en al zijn subsystemen.
- De TG-er begrijpt de kennisbasis van de algemene kenmerken en hun consequenties van de essentiële pathofysiologische begrippen op elk der subsystemen.
- De TG-er begrijpt de structuur van de kernbegrippen en daarmee in de structuur en de samenhang van de relevante technologische vakgebieden. Hiervan begrijpt de TG-er de kennisbasis van essentiële aspecten, zoals theorieën en nieuwe methoden & technieken en actuele vragen.
- De TG-er begrijpt de kennisbasis van de essentiële begrippen en daarmee van de globale structuur en samenhang van de ondersteunende disciplines.
- De TG-er bezit kennis van en enige vaardigheid in de wijze waarop theorievorming, modelvorming en validatie plaatsvinden in het eigen en andere relevante vakgebieden en kan deze toepassen. De TG-er bezit tevens kennis van en enige vaardigheid in de wijze van interpretatie, experimenteren, gegevensverzameling, simuleren en besluitvorming.
- De TG-er is zich bewust van de vooronderstellingen van standaardmethoden en van het belang ervan
- De TG-er is in staat kennis te signaleren en door studie kennis te herzien en (onder begeleiding) uit te breiden. De TG-er is zich bewust van de noodzaak van life-long learning en van toetsing.

2 Competent in het onderzoeken en het ontwerpen:

De Technisch Geneeskundige is in staat door onderzoek nieuwe wetenschappelijke kennis te verwerven en nieuwe behandelplannen en diagnosemethoden te ontwerpen.

Onderzoeken betekent hier: het op doelgerichte en methodische wijze ontwikkelen van nieuwe kennis en inzichten.

Ontwerpen betekent hier een synthetiserende activiteit gericht op de totstandkoming van nieuwe of gewijzigde diagnostische en/of therapeutische strategieën en middelen.

- De TG-er is in staat te analyseren welke pathofysiologische kernbegrippen behoren bij een ziektebeeld.
- De TG-er is in staat te analyseren welke technologische kernbegrippen kunnen worden gebruikt bij het oplossen van medische problemen.
- De TG-er is in staat op basis van de analyse van de betrokken pathofysiologische kernbegrippen met behulp van de technologie een plan maken voor een oplossing van een medisch probleem en er een ontwerp voor te maken (onder begeleiding).
- De TG-er is in staat de essentiële begrippen van ondersteunende disciplines te benoemen voor het professioneel handelen in een klinische context.
- De TG-er is in staat op basis van een analyse en interpretatie van resultaten van onderzoek een onderzoeksplan op te zetten om een mogelijke oplossing van een probleem te toetsen, een ontwerpplan te maken en uit te voeren. (onder begeleiding)
- De TG-er is in staat bepaalde verbanden vanuit diverse gezichtspunten te beschouwen, hypotheses te verzinnen of toepassingen te ontdekken.
- De TG-er is in staat interdisciplinair te werken en bezit het vermogen te analyseren wanneer bij het onderzoek of het ontwerpproces de inbreng van andere disciplines gewenst is.
- De TG-er is zich bewust van de veranderlijkheid van het onderzoeks- en ontwerpproces door externe omstandigheden of voortschrijdend inzicht.
- De TG-er is in staat binnen de betreffende discipline een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van wetenschappelijke kennis (onder begeleiding).

- De TG-er is in staat ontwerpproblemen te (her)formuleren en kan deze interpretatie verdedigen tegenover betrokken partijen.
- De TG-er bezit synthetische vaardigheden ten aanzien van medische problemen en kan een ontwerpplan maken en uitvoeren (onder begeleiding).
- De TG-er is in staat onderzoeksvragen te (her)formuleren op basis van een ontwerp- of uitvoeringsprobleem.
- De TG-er is in staat ontwerpbeslissingen te nemen en deze op systematische wijze te rechtvaardigen en te evalueren.

Competent in het medisch technisch handelen:

- 3 *De Technisch Geneeskundige is in staat op basis van een integratie van kennis, vaardigheden, planning en reflectie medische technologie toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk. Dit handelen is tevens gericht op innovatie.*

- De TG-er heeft de kennis en de vaardigheid van het proces van technisch-medisch probleemoplossen eigen gemaakt. Hij kan pathofysiologische afwijkingen duiden en een adequate behandeling bedenken.
- De TG-er is in staat op basis van de soort hulpvraag tot het systematisch doorwerken van het diagnostisch proces.
- De TG-er is in staat na analyse van de situatie strategische handeling voor te stellen op basis van de generalisatie van het geleerde (op basis van de overeenkomsten) en de specificatie vanuit het inzicht in het uitzonderlijke van de situatie (op basis van de verschillen).
- De TG-er is in staat de (theoretische) klacht van de patiënt naar aard en ernst te beoordelen en de noodzaak tot interventie te bepalen (onder begeleiding).
- De TG-er stelt op grond van een werkhypothese een behandelplan voor met inachtneming van medisch-ethische aspecten.
- De TG-er heeft basisvaardigheden in technisch medische handelingen.

Werkwijze = Hoe

- 4 **Competent in de wetenschappelijke benadering:**

De Technisch Geneeskundige heeft een systematische aanpak, gebaseerd op de klinisch empirische cyclus en gekenmerkt door de ontwikkeling en het gebruik van theorieën, modellen en samenhangende interpretaties, heeft een kritische houding en heeft inzicht in wetenschap en technologie.

- De TG-er heeft de kennis en de vaardigheid voor een medisch probleem informatie te verzamelen, te analyseren en te interpreteren en met inachtneming van de medisch technologische kernbegrippen en de essentiële technologische begrippen te komen tot een verantwoorde aanpak voor het oplossen van een medisch probleem (onder begeleiding).
- De TG-er heeft de kennis en de vaardigheid resultaten van onderzoek te analyseren en te interpreteren op basis van de medische, technologische en ondersteunende kernbegrippen.
- De TG-er is in staat op basis van een analyse en de interpretatie van de resultaten van onderzoek een keuze te maken voor een verantwoorde aanpak van een klinisch probleem (onder begeleiding).
- De TG-er heeft inzicht in de aard van wetenschap en technologie (doel, methoden, verschillen en overeenkomsten tussen wetenschapsgebieden, aard van wetten, theorieën, verklaringen, rol van experiment, objectiviteit, etc).
- De TG-er heeft inzicht in de wetenschappelijke medisch technologische praktijk.
- De TG-er is in staat resultaten van onderzoek en ontwerpen adequaat te documenteren met de bedoeling bij te dragen aan de kennisontwikkeling van het vakgebied Technische Geneeskunde.

5 **Intellectuele competentie:**

De Technisch Geneeskundige is in staat te redeneren, te reflecteren en zich een oordeel te vormen. Dit zijn vaardigheden die in de context van een discipline worden geleerd of aangescherpt en daarna generiek toepasbaar zijn.

- De TG-er kan kritisch reflecteren op eigen overwegingen, besluiten en handelen en op basis hiervan zijn gedrag bijsturen.
- De TG-er kan logisch redeneren in het vakgebied en daarbuiten, zowel 'waarom' als 'wat-als' redeneringen.
- De TG-er kan redeneerwijzen zoals inductie, deductie, analogie en dergelijke herkennen.
- De TG-er kan adequate vragen stellen en heeft een kritisch constructieve houding bij het analyseren en oplossen van eenvoudige klinische problemen.
- De TG-er kan een beredeneerd oordeel vormen in het geval van incomplete of irrelevante data
- De TG-er kan een standpunt innemen ten aanzien van een wetenschappelijk betoog in het vakgebied.
- De TG-er beschikt over numerieke basisvaardigheden en het besef van grootteordes.

6 **Competent in Professioneel Gedrag:**

De Technisch Geneeskundige heeft een persoonlijke werkstijl (tot uitdrukking komend in woord, gedrag en uiterlijk), waarin normen en waarden van de beroepsuitoefening zichtbaar zijn. Deze betreffen gedragsdimensies in de omgang met taken/werk, anderen en zichzelf.

- De TG-er kenmerkt zich door professioneel gedrag. Dit houdt in betrouwbaarheid, betrokkenheid, nauwkeurigheid, vasthoudendheid, zelfstandigheid, respect voor de ander ongeacht diens levensfase, sociaal economische status, opleiding, cultuur, levensovertuiging, seksuele geaardheid, ras en sekse.
- De TG-er is in staat op basis van een inschatting / analyse van het deskundigheidsniveau van de ander en diens informatiebehoefte ideeën, zowel mondeling als schriftelijk op een wetenschappelijk verantwoorde en voor de ander begrijpelijke wijze over te dragen.
- De TG-er heeft kennis van en vaardigheid in dialogen met de patiënt en draagt zorg voor een medisch verantwoorde, gezamenlijke besluitvorming.
- De TG-er kan projectmatig werken; bezit pragmatisme en verantwoordelijkheidsbesef; kan omgaan met beperkte bronnen; kan omgaan met risico's; kan compromissen sluiten.
- De TG-er kan in een tweede taal mondeling en schriftelijk communiceren over onderzoeksresultaten, ontwerpen en oplossingen met patiënten, vakgenoten en anderen.
- De TG-er kan debatteren over het vakgebied en de plaats van het vakgebied in de maatschappij en kan presentaties houden over zijn vakgebied.
- De TG-er kan in een multidisciplinair team werken. Dat wil zeggen dat de TG-er inzicht heeft in en kan omgaan met teamrollen en sociale dynamiek. De TG-er kan de rol van teamleider op zich nemen.
- De TG-er bezit een kritische kijk op zijn eigen technisch-medisch handelen en is in staat te reflecteren, dwz het eigen functioneren en het effect ervan (op zichzelf, anderen en werk) vanuit diverse invalshoeken te onderzoeken en hier (passende) consequenties aan te verbinden en is zich bewust van zijn verantwoordelijkheid voor het welzijn van de patiënt.
- De TG-er bewaakt de voortgang van het eigen leerproces en kan daartoe ontvangen feedback hanteren en verwerken in het eigen handelen.

Context = Waar

7 **Situationele Competentie:**

De Technisch Geneeskundige is in staat de maatschappelijke en organisatorische situatie te integreren in het medisch technisch handelen.

- De TG-er begrijpt de relevante interne en externe ontwikkelingen in de geschiedenis van de relevante vakgebieden en de interactie tussen beiden.
- De TG-er is in staat de maatschappelijke consequentie van nieuwe ontwikkelingen in relevante vakgebieden te analyseren, te bespreken met vakgenoten en niet-vakgenoten.
- De TG-er is in staat de consequenties van wetenschappelijk denken en handelen op de patiënt en zijn omgeving te analyseren.
- De TG-er is in staat de ethische, juridische en normatieve aspecten van de gevolgen en aannamen van wetenschappelijk denken en handelen te analyseren en te bespreken met vak- en niet vakgenoten en in het handelen te integreren.
- De TG-er heeft oog voor de verschillende rollen van professionals in de samenleving en kiest bewust voor een eigen rol.
- De TG-er houdt bij zijn besluiten rekening met financiële, logistieke en andere beperkende factoren binnen de gezondheidszorg.
- De TG-er is in staat zijn kennis, vaardigheden en attitudes aan te passen aan de zich wijzigende gezondheidszorg, aan de wetenschappelijke en maatschappelijke mogelijkheden en ontwikkelingen en aan de economische, juridische en ethische grenzen.

BIJLAGE 2.A COMPETENTIEPROFIEL VAN DE MASTEROPLEIDING

Domein = Wat

1 Competent in de discipline Technische Geneeskunde:

De technisch geneeskundige is vertrouwd met bestaande wetenschappelijke kennis en is in staat deze door studie uit te breiden.

- De TG-er heeft kennis van en inzicht in de gezonde staat van het totale menselijke systeem en al zijn subsystemen.
- De TG-er heeft kennis van en inzicht in de algemene kenmerken en hun consequenties van de essentiële pathofysiologische begrippen op elk der subsystemen.
- De TG-er heeft kennis van en inzicht in de technologische kernbegrippen en daarmee in de structuur en de samenhang van de relevante technologische vakgebieden. Hiervan begrijpt de TG-er cruciale aspecten, zoals theorieën en nieuwe methoden & technieken en actuele vragen.
- De TG-er heeft kennis van de essentiële begrippen en daarmee van de globale structuur en samenhang van de ondersteunende disciplines.
- De TG-er bezit de kennis van de wijze waarop theorievorming, modelvorming en validatie plaatsvinden in het eigen en andere relevante vakgebieden en kan deze toepassen. De TG-er begrijpt tevens de wijze van interpretatie, experimenteren, gegevensverzameling, simuleren en besluitvorming.
- De TG-er kan reflecteren op standaardmethoden en gehanteerde vooronderstellingen; kan deze in twijfel trekken; kan aanpassingen voorstellen en de reikwijdte ervan inschatten.
- De TG-er is in staat kennishiaten te signaleren en door studie kennis te herzien en uit te breiden. De TG-er is zich bewust van de noodzaak van life-long learning en van toetsing.

2 Competent in het onderzoeken en het ontwerpen:

De technisch geneeskundige is in staat door onderzoek nieuwe wetenschappelijke kennis te verwerven en nieuwe behandelplannen en diagnosemethoden te ontwerpen.

Onderzoeken betekent hier: het op doelgerichte en methodische wijze ontwikkelen van nieuwe kennis en inzichten.

Ontwerpen betekent hier een synthetiserende activiteit gericht op de totstandkoming van nieuwe of gewijzigde diagnostische en/of therapeutische strategieën en middelen.

- De TG-er is in staat te analyseren welke pathofysiologische kernbegrippen behoren bij een ziektebeeld.
- De TG-er is in staat te analyseren welke technologische kernbegrippen kunnen worden gebruikt bij het oplossen van medische problemen.
- De TG-er is in staat op basis van de analyse van de anatomie, de fysiologie en de betrokken pathofysiologische kernbegrippen van een medische vraagstelling met behulp van de technologie een oplossing te vinden en er een ontwerp voor te maken.
- De TG-er is in staat de essentiële begrippen van ondersteunende disciplines te gebruiken bij het professioneel handelen in een klinische context.
- De TG-er is in staat op basis van een analyse en interpretatie van resultaten van onderzoek zelfstandig onderzoek op te zetten om een mogelijke oplossing van een probleem te toetsen er een ontwerp van te maken en uit te voeren in een reële of virtuele wereld.
- De TG-er is in staat bepaalde verbanden vanuit diverse gezichtspunten te beschouwen, hypothesen te verzinnen of toepassingen te ontdekken.
- De TG-er is in staat interdisciplinair te werken en bezit het vermogen te analyseren wanneer bij het onderzoek of het ontwerpproces de inbreng van andere disciplines gewenst is.

- De TG-er is zich bewust van de veranderlijkheid van het onderzoeks- en ontwerpproces door externe omstandigheden of voortschrijdend inzicht. De TG-er kan dit proces vervolgens bijsturen.
- De TG-er is in staat binnen de betreffende discipline zelfstandig een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van wetenschappelijke kennis.
- De TG-er is in staat ontwerpproblemen te (her)formuleren en kan deze interpretatie verdedigen tegenover betrokken partijen.
- De TG-er bezit synthetische vaardigheden ten aanzien van medische problemen en kan zelfstandig een ontwerpplan maken en uitvoeren.
- De TG-er is in staat nieuwe onderzoeksvragen te formuleren op basis van een ontwerp- of uitvoeringsprobleem.
- De TG-er is in staat ontwerpbeslissingen te nemen en deze op systematische wijze te rechtvaardigen en te evalueren.

3 Competent in het medisch technisch handelen:

De technisch geneeskundige is in staat op basis van een integratie van kennis, vaardigheden, planning en reflectie medische technologie toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk. Dit handelen is tevens gericht op innovatie.

- De TG-er heeft zich het proces van technisch-medisch probleemoplossen eigen gemaakt. Hij kan pathofysiologische afwijkingen duiden en een voor de individuele patiënt adequate behandeling uitvoeren.
- De TG-er is in staat op basis van de soort hulpvraag tot het systematisch doorwerken van het klinisch probleem en een eigen diagnose stellen en zo te komen tot een adequate aanpak voor het probleem.
- De TG-er is in staat na analyse van de situatie strategisch te handelen op basis van de generalisatie van het geleerde (op basis van de overeenkomsten) en de specificatie vanuit het inzicht in het uitzonderlijke van de situatie (op basis van de verschillen).
- De TG-er differentieert de klacht van de patiënt naar aard en ernst en beoordeelt de noodzaak tot interventie.
- De TG-er stelt op grond van een werkhypothese een behandelplan op en voert dat uit binnen het multidisciplinaire behandelteam, voor zover zijn kennis en ervaring hiervoor toereikend zijn en met inachtneming van medisch-ethische aspecten.
- De TG-er draagt eigen verantwoordelijkheid binnen een multidisciplinair team en neemt medisch technologische beslissingen, voor zover zijn kennis en ervaring hiervoor toereikend zijn en met inachtneming van medisch-ethische aspecten.
- De TG-er bezit de deskundigheid tot bekwaam uitvoeren van technisch medische handelingen, waaronder tenminste de volgende voorbehouden handelingen:
 - Het verrichten van heelkundige handelingen, waaronder wordt verstaan handelingen liggende op het gebied van de geneeskunst, waarbij de samenhang der lichaamsweefsels wordt verstoord en deze zich niet direct herstelt
 - Het verrichten van endoscopieën
 - Het verrichten van catheterisaties
 - Het geven van injecties
 - Het verrichten van puncties
 - Het verrichten van handelingen op het gebied van de individuele gezondheidszorg waarbij gebruik wordt gemaakt van radioactieve stoffen of toestellen die ioniserende straling uitzenden
 - Het verrichten van electieve cardioversie
 - Het toepassen van defibrillatie
 - Steenvergruizing voor geneeskundige doeleinden

Werkwijze = Hoe

4 Competent in de wetenschappelijke benadering:

De technisch geneeskundige heeft een systematische aanpak, gebaseerd op de klinisch empirische cyclus en gekenmerkt door de ontwikkeling en het gebruik van theorieën, modellen en samenhangende interpretaties, heeft een kritische houding en heeft inzicht in wetenschap en technologie.

- De TG-er is in staat voor een medisch probleem informatie te verzamelen, te analyseren en te interpreteren en met inachtneming van de medisch technologische kernbegrippen en de essentiële technologische begrippen te komen tot een verantwoorde aanpak voor het oplossen van een medisch probleem.
- De TG-er is in staat de resultaten van onderzoek te analyseren en te interpreteren op basis van de medische, technologische en ondersteunende kernbegrippen.
- De TG-er is in staat op basis van een analyse en de interpretatie van de resultaten van onderzoek een keuze te maken voor een verantwoorde aanpak van een klinisch probleem.
- De TG-er heeft inzicht in de aard van wetenschap en technologie en heeft kennis van actuele discussies hierover. (doel, methoden, verschillen en overeenkomsten tussen wetenschapsgebieden, aard van wetten, theorieën, verklaringen, rol van experiment, objectiviteit etc).
- De TG-er heeft inzicht in de wetenschappelijke medisch technologische praktijk en de actuele discussies hierover.
- De TG-er is in staat resultaten van onderzoek en ontwerpen adequaat te documenteren en te publiceren met de bedoeling bij te dragen aan de kennisontwikkeling van het vakgebied Technische Geneeskunde.

5 Intellectuele competentie:

De technisch geneeskundige is in staat te redeneren, te reflecteren en zich een oordeel te vormen. Dit zijn vaardigheden die in de context van een discipline worden geleerd of aangescherpt en daarna generiek toepasbaar zijn.

- De TG-er kan zelfstandig kritisch reflecteren op eigen overwegingen, besluiten en handelen en op basis hiervan zijn gedrag bijsturen.
- De TG-er kan logisch redeneren en redeneerwijzen zoals inductie, deductie, analogie en dergelijke toepassen.
- De TG-er kan adequate vragen stellen en heeft een kritisch constructieve houding bij het analyseren en oplossen van klinische problemen.
- De TG-er kan een beredeneerd oordeel vormen in het geval van incomplete of irrelevante data
- De TG-er kan een standpunt innemen ten aanzien van een wetenschappelijk betoog in het vakgebied en kan dit kritisch op waarde schatten.
- De TG-er beschikt over numerieke vaardigheden en het besef van grootteordes

6 Competent in Professioneel Gedrag:

De technisch geneeskundige heeft een persoonlijke werkstijl (tot uitdrukking komend in woord, gedrag en uiterlijk), waarin normen en waarden van de beroepsuitoefening zichtbaar zijn. Deze betreffen gedragsdimensies in de omgang met taken/werk, anderen en zichzelf.

- De TG-er kenmerkt zich door professioneel gedrag. Dit houdt in betrouwbaarheid, betrokkenheid, nauwkeurigheid, vasthoudendheid, zelfstandigheid, respect voor de ander ongeacht diens levensfase, sociaal economische status, opleiding, cultuur, levensovertuiging, seksuele geaardheid, ras en sekse.
- De TG-er is in staat op basis van een inschatting / analyse van het deskundigheidsniveau van de ander en diens informatiebehoefte, onderzoeksresultaten, ontwerpen, ideeën, oplossingen, zowel mondeling als schriftelijk op een wetenschappelijk verantwoorde en voor de ander begrijpelijke wijze over te dragen.
- De TG-er is in staat een constructieve dialoog met de patiënt te houden en bij te dragen aan een medisch verantwoorde besluitvorming.
- De TG-er kan projectmatig werken; bezit pragmatisme en verantwoordelijkheidsbesef; kan omgaan met beperkte bronnen; kan omgaan met risico's; kan compromissen sluiten.

- De TG-er kan in een tweede taal mondeling en schriftelijk communiceren over onderzoeksresultaten, ontwerpen en oplossingen met patiënten, vakgenoten en anderen.
- De TG-er kan debatteren over het vakgebied en de plaats van het vakgebied in de maatschappij en kan presentaties houden over zijn vakgebied.
- De TG-er kan in een multidisciplinair team werken. Dat wil zeggen dat de TG-er inzicht heeft in en kan omgaan met teamrollen en sociale dynamiek. De TG-er kan de rol van teamleider op zich nemen.
- De TG-er bezit een kritische kijk op zijn eigen technisch-medisch handelen en is in staat te reflecteren, dwz het eigen functioneren en het effect ervan (op zichzelf, anderen en werk) vanuit diverse invalshoeken te onderzoeken en hier (passende) consequenties aan te verbinden en is zich bewust van zijn verantwoordelijkheid voor het welzijn van de patiënt.
- De TG-er bewaakt de voortgang van het eigen leerproces en kan daartoe ontvangen feedback hanteren en verwerken in het eigen handelen.

Context = Waar

7 Situationale Competentie:

De technisch geneeskundige is in staat de maatschappelijke en organisatorische situatie te integreren in het medisch technisch handelen.

- De TG-er begrijpt de relevante interne en externe ontwikkelingen in de geschiedenis van de relevante vakgebieden en de interactie tussen beiden .
- De TG-er is in staat de maatschappelijke consequentie van nieuwe ontwikkelingen in relevante vakgebieden te analyseren, te bespreken met vakgenoten en niet-vakgenoten.
- De TG-er is in staat de consequenties van wetenschappelijk denken en handelen op de patiënt en zijn omgeving te analyseren.
- De TG-er is in staat de ethische, juridische en normatieve aspecten van de gevolgen en aannamen van wetenschappelijk denken en handelen te analyseren en te bespreken met vak- en niet vakgenoten en in het handelen te integreren.
- De TG-er heeft oog voor de verschillende rollen van professionals in de samenleving en kiest bewust voor een eigen rol.
- De TG-er houdt bij zijn besluiten rekening met financiële, logistieke en andere beperkende factoren binnen de gezondheidszorg.
- De TG-er is in staat zijn kennis, vaardigheden en attitudes aan te passen aan de zich wijzigende gezondheidszorg, aan de wetenschappelijke en maatschappelijke mogelijkheden en ontwikkelingen en aan de economische, juridische en ethische grenzen.

BIJLAGE 2.B COMPETENTIEPROFIEL OP MASTER NIVEAU

Om het competentieprofiel van de TM-professional te beschrijven is aansluiting gezocht bij de systematiek van het Raamplan arts opleiding 2009.

Het Raamplan arts opleiding 2009 gaat ervan uit dat de arts competenties verwerft in zeven onderscheiden rollen. De rol als medisch deskundige is het meest kenmerkend voor de arts. De competenties die horen bij de overige zes rollen maken het de arts mogelijk als beginnend beroepsbeoefenaar adequaat te functioneren in de curatieve en preventieve gezondheidszorg. Als medisch deskundige beschikt de arts over een breed kennis- en vaardighedenpakket uit het medisch domein en past dit toe in de medische praktijk. De arts integreert daarbij competenties uit de andere rollen met die van de rol als medisch deskundige. De arts verzamelt en interpreteert gegevens, maakt een probleemanalyse, neemt de juiste klinische beslissingen en voert deze uit met inachtneming van de grenzen van de eigen deskundigheid en bekwaamheid. De arts controleert of de gekozen beslissing en bijbehorende uitvoering van voldoende kwaliteit zijn en of het gezochte effect wordt bereikt. De arts levert zorg conform de actuele professionele standaard en waar mogelijk evidence based, ethisch onderbouwd en kostenbewust. De arts communiceert doeltreffend mondeling, schriftelijk, elektronisch met patiënten en hun naasten en met andere werkers in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg.

De TM-professional vervult primair de rol van technisch medisch deskundige. De competenties binnen deze rol verschillen wezenlijk van de van de arts in zijn rol als medisch deskundige. In de overige rollen zijn er veel meer overeenkomsten tussen artsen en TM-professionals. Dat is ook nodig om te waarborgen dat TM-professionals, net als artsen, adequaat kunnen functioneren in de individuele gezondheidszorg. De TM-professional wordt opgeleid om inzichten in het medisch en technologisch kennisdomein toe te passen bij het oplossen van medisch technische vraagstukken. Hij/zij is in staat door onderzoek nieuwe wetenschappelijke kennis te verwerven en nieuwe behandelplannen en diagnostische methoden te ontwerpen en deze toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk.

Een TM opleiding kent verschillende fasen. De eerste fase is een driejarige bachelor's studie , gevolgd door een tweede fase, de driejarige masteropleiding (aan de UT). Na deze initiële opleiding kan de TM-professional worden aangeduid als beginnend beroepsbeoefenaar. Hoe een mogelijke volgende fase van de opleiding eruit zal zien is nog onduidelijk. Waarschijnlijk zal dit een specifieke vervolgopleiding tot expert betreffen.

Dit competentieplan omschrijft de landelijke eindtermen van de opleiding tot TM-professional die moeten zijn bereikt bij het afronden van een universitaire TM opleiding.

Dit geaccepteerde eindniveau draagt er aan bij dat maatschappij, en meer in het bijzonder de artsen en de patiënten, erop kunnen vertrouwen dat de juist afgestudeerde TM-professional, als beginnend beroepsbeoefenaar, een bepaald niveau van kennis en vaardigheden heeft bereikt. Dat niveau is af te leiden uit de combinatie van het profiel van de TM-professional en de competenties van de TM-professional aan het einde van de TM opleiding.

Het te bereiken niveau kan op verschillende manieren worden omschreven. Conform de methodiek van het Raamplan Arts opleiding is gekozen voor het onderscheiden van vijf deskundigheidsniveaus.

Het verwerven van de opgenomen competenties vergt dat de student tijdens de opleiding intensief in aanraking komt met authentieke beroepssituaties en daarbij in toenemende mate zelfstandig leert

werken. In de laatste fase van de opleiding wordt de student in de positie van een beginnend beroepsbeoefenaar geplaatst. Aan het einde van die periode moet dan blijken in welke mate de student over de noodzakelijke competenties beschikt. Bij de beschrijving van de competenties in hoofdstuk 6 wordt per competentie aangegeven welk niveau (III, IV of V) beoogd wordt.

Het profiel van de TM professional aan het einde van de masteropleiding wordt beschreven conform het model CanMeds 2005 en omvat de volgende zes rollen c.q. competentiedomeinen:

Technisch Medisch Deskundige

Communicator

Samenwerker

Organisator

Academicus

Beroepsbeoefenaar

Voor elke rol wordt een korte definitie of omschrijving gegeven. Deze rollen worden uitgewerkt aan de hand van competenties van dit competentieplan. Ten opzichte van het Raamplan Artsopleiding 2009 is de rol "gezondheidsbevorderaar" weggelaten en is de rol "medisch deskundige" vervangen door "technisch medisch deskundige". De andere rollen komen grotendeels overeen. Ook de omschrijving is gebaseerd op de omschrijving in het Raamplan Artsopleiding.

COMPETENTIES

TECHNISCH-MEDISCH DESKUNDIGE	ORGANISATOR
COMMUNICATOR	ACADEMICUS
SAMENWERKER	BEROEPSBEOEFENAAR

TECHNISCH-MEDISCH DESKUNDIGE

De juist afgestudeerde TM-professional als technisch medisch deskundige bezit een breed kennis- en vaardighedenpakket uit het medisch en technisch kennisdomein en past dit toe in de medisch-technische praktijk.

De TM-professional levert na verwijzing door een arts een zelfstandige bijdrage aan de diagnostiek en/of behandeling van een patiënt. Hij verzamelt en interpreteert gegevens, maakt een probleemanalyse, neemt de juiste klinische beslissingen en voert deze uit met inachtneming van de grenzen van eigen deskundigheid en bekwaamheid. De TM-professional controleert of de gekozen beslissing en bijbehorende uitvoering van voldoende kwaliteit zijn en of het gezochte effect bereikt wordt.

De TM-professional levert zorg conform de actuele professionele standaard en waar mogelijk evidence based, ethisch onderbouwd en kostenbewust.

De TM-professional communiceert doeltreffend mondeling, schriftelijk, elektronisch met patiënten en hun naasten, en met andere werkers in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg.

De juist afgestudeerde TM professional als technisch medisch deskundige heeft de bekwaamheid als

1. *een breed pakket aan kennis uit het medisch en technologisch kennisdomein toe te passen bij het oplossen van medisch-technische vraagstukken;*
- verworven kennis van en inzicht in de gezonde staat van het totale menselijke systeem en al zijn subsystemen in de medisch-technische praktijk toe te passen;
- verworven kennis van en inzicht in essentiële pathofysiologische begrippen en hun gevolgen voor ieder van de subsystemen in de medisch-technische praktijk toe te passen;

- verworven kennis van en inzicht in technologische kernbegrippen en over de structuur en de samenhang van de relevante technologische vakgebieden, inclusief daarbij horende theorieën, nieuwe methoden en technieken en actuele vragen, in de medisch-technische praktijk toe te passen;
- verworven kennis van en inzicht in essentiële begrippen uit ondersteunende disciplines (wiskunde, natuurkunde, scheikunde, elektrotechniek en werktuigbouwkunde) en van hun globale structuur en onderlinge samenhang in de medisch-technische praktijk toe te passen;
- verworven kennis van de wijze waarop theorievorming, modelvorming en validatie plaatsvinden in het eigen en andere relevante vakgebieden en begrip van de wijze van interpretatie, experimenteren, gegevensverzameling, simuleren en besluitvorming, in de medisch-technische praktijk toe te passen;

2. *in het medisch-technisch domein door onderzoek nieuwe wetenschappelijke kennis te verwerven en nieuwe behandelplannen en diagnostische methoden te ontwikkelen met behulp van het ontwerpproces (competenties aanvullend aan de competenties beschreven bij de rol academicus).*

- te analyseren welke technologische kernbegrippen kunnen worden gebruikt bij het oplossen van medische problemen;
- op basis van de analyse van de anatomie, de fysiologie en de betrokken pathofysiologische kernbegrippen van een medische vraagstelling met behulp van de technologie een oplossing te vinden en er een ontwerp voor te maken;
- de essentiële begrippen van ondersteunende disciplines te gebruiken bij het professioneel handelen in een klinische context;
- op basis van een analyse en interpretatie van resultaten van onderzoek zelfstandig onderzoek op te zetten om een mogelijke oplossing van een probleem te toetsen er een ontwerp van te maken en uit te voeren in een reële of virtuele wereld;
- bepaalde verbanden vanuit diverse gezichtspunten te beschouwen, hypothesen te genereren of toepassingen te ontdekken;
- interdisciplinair te werken en bezit het vermogen te analyseren wanneer bij het onderzoek of het ontwerpproces de inbreng van andere disciplines gewenst is;
- het onderzoeksproces bij te sturen op basis van inzicht in veranderingen door externe omstandigheden of voortschrijdend inzicht;
- binnen de betreffende discipline zelfstandig een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van wetenschappelijke kennis;
- problemen te (her)formuleren en kan deze interpretatie verdedigen tegenover betrokken partijen;
- zelfstandig een ontwikkelingsplan te maken en uit te voeren op basis van synthetische vaardigheden ten aanzien van medische-technische problemen;
- nieuwe onderzoeksvragen te formuleren op basis van een ontwerp- of uitvoeringsprobleem;
- ontwikkelbeslissingen te nemen en deze op systematische wijze te rechtvaardigen en te evalueren.

3. *op basis van een integratie van kennis, vaardigheden, competentieplanning en reflectie medische technologie toe te passen in het diagnostisch en therapeutisch proces van de geneeskundige praktijk. Dit handelen is tevens gericht op innovatie.*

- de door de arts voorgelegde vraag te verhelderen en in relatie te brengen met het door de individuele patiënt geïmagineerde probleem;
- na analyse van de situatie strategisch te handelen op basis van de generalisatie van het geleerde (op basis van de overeenkomsten) en de specificatie vanuit het inzicht in het uitzonderlijke van de situatie (op basis van de verschillen);
- op basis van de soort hulpvraag het klinisch probleem conform de heuristiek, systematisch door te werken, een eigen voorlopige conclusie te trekken en zo te komen tot een adequate aanpak voor het probleem;

- een gerichte anamnese af te nemen en een gericht lichamelijk onderzoek uit te voeren voor zover relevant in het kader van het medisch-technische vraagstuk;
- indicaties te stellen voor aanvullend onderzoek, het uit te voeren en de uitslagen te interpreteren;
- een probleemanalyse te maken waarin alle onderzoek- en testresultaten worden geduid en een voor de individuele patiënt adequate diagnostisch en/of therapeutisch beleid wordt voorgesteld;
- het diagnostisch en/of therapeutisch competentieplan uit te voeren
- het effect van het ingestelde behandelplan te controleren;
- patiënt/familie/derde(n) te informeren en/of te adviseren aangaande het voorgenomen te voeren beleid, rekening houdend met de persoonlijke omstandigheden en voorkeuren van de patiënt als ook de fysieke en emotionele belasting van de patiënt **(IV)**;
- bevindingen en afspraken over het patiëntenprobleem schriftelijk / elektronisch vast te leggen;
- persoonlijke grenzen van eigen kennis en kunde te herkennen en te benoemen en tijdig te besluiten of, en zo ja wanneer, derden geconsulteerd moeten worden **(V)**;
- te verwijzen naar specialistische medische zorg op basis van een eigen overzicht van mogelijke specialistische behandelingen **(IV)**;
- basale eerste hulp te geven;
- medisch-technische handelingen waaronder de volgende voorbehouden handelingen uit te voeren:
 1. heilkundige handelingen, waaronder wordt verstaan handelingen liggende op het gebied van de geneeskunst, waarbij de samenhang der lichaamsweefsels wordt verstoord en deze zich niet direct herstelt **(III)**;
 2. endoscopieën **(III)**;
 3. catheterisaties **(III)**;
 4. injecties **(IV)**;
 5. puncties **(IV)**;
 6. handelingen op het gebied van de individuele gezondheidszorg waarbij gebruik wordt gemaakt van radioactieve stoffen of toestellen die ioniserende straling uitzenden **(IV)**;
 7. electieve cardioversie **(III)**;
 8. defibrillatie **(IV)**;
 9. steenvergruizing voor geneeskundige doeleinden **(III)**.

Het basale inzicht in deze klinische vaardigheden wordt verworven in het bachelor's programma door het onderwijs in anatomie, fysiologie, pathofysiologie. In het master onderwijs worden alle voorbehouden handelingen getraind behalve de steenvergruizing voor geneeskundige doeleinden. Deze wordt op niveau III onderwezen in het bachelor vak: nier en urinewegen.

4. *relevante informatie ten aanzien van het medisch-technische probleem op te zoeken en te integreren in de eigen praktijk;*

- de wetenschappelijke waarde van informatiebronnen in te schatten;
- schriftelijke en elektronische informatiebronnen te raadplegen en de gegevens daaruit te interpreteren;
- andere deskundigen te raadplegen.

5. *met andere zorgverleners doeltreffend te communiceren in woord, geschrift en elektronisch, over de aan hem/haar toevertrouwde patiëntenzorg;*

- zich goed in de Nederlandse taal uit te drukken;
- te signaleren wanneer inzet van een tolk-vertaler nodig is en deze in te schakelen;

- respect te tonen voor en adequaat om te gaan met andere denkwijzen en ander jargon van zorgverleners uit andere disciplines.

6. *te reflecteren op het eigen medisch-technisch handelen en op de invloed hierop van eigen attitude, normen en waarden;*

- te reflecteren over de sterke en zwakke punten in het eigen medisch-technisch handelen;
- morele standpunten te verduidelijken en deze te verantwoorden tegenover patiënten en collega's in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg;
- impliciete en expliciete morele en ethische kwesties die in de praktijk spelen te herkennen en daarbij de eigen mening over wat goed medisch-technisch handelen is kritisch tegen het licht te houden;
- een eigen opvatting over verantwoordelijkheid in concrete situaties rondom patiëntenzorg en zorgbeleid te verwoorden.

COMMUNICATOR

De juist afgestudeerde TM-professional als communicator gaat een doeltreffende relatie aan en onderhoudt deze met patiënten, hun naasten en andere werkers in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg. De TM-professional gebruikt (medisch) communicatieve vaardigheden om hooggekwalificeerde zorg te bieden.

De juist afgestudeerde TM professional als communicator heeft de bekwaamheid:

- met patiënten een therapeutische relatie op basis van wederzijds begrip, empathie en vertrouwen aan te gaan en te onderhouden;
- te zorgen voor open en respectvolle communicatie en empathie en betrokkenheid te tonen;
- basale en waar nodig meer complexe gespreksvaardigheden toe te passen in een gesprek met patiënten, hun naasten en collega's in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg (ook opgenomen in de rol "samenwerker" (IV));
- een goed evenwicht tussen persoonlijke en professionele rollen te bewaren en respect te tonen voor de intermenselijke verschillen in professionele relaties (III);
- de Nederlandse taal in woord en geschrift goed toe te passen.
- informatie over het patiëntprobleem van de patiënt te verzamelen en de verzamelde informatie te integreren;
- op patiëntgerichte wijze de anamnese af te nemen waarbij gelet wordt op zowel de medische als op de communicatieve aspecten;
- de hulpvraag van de patiënt te exploreren;
- voor open en respectvolle communicatie tijdens het lichamelijk onderzoek te zorgen.
- relevante informatie met de patiënt, de familie en naasten of andere werkers in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg te bespreken om zo optimale zorg aan de patiënt te kunnen leveren;
- een patiënt/familie/derde(n) te informeren;
- een patiënt/familie/derde(n) te adviseren aangaande de diagnose en het voorgenomen te voeren beleid, rekening houdend met persoonlijke omstandigheden en voorkeuren van de patiënt alsook de fysieke en emotionele belasting voor de patiënt (IV).
- adequaat om te gaan met diverse patiëntengroepen zoals kinderen, ouderen, mannen en vrouwen en patiënten met verschillende culturele achtergronden;
- met interculturele situaties in de zorg om te gaan en de eigen interpersoonlijke sterktes en zwaktes daarin te evalueren;
- rekening te houden met mogelijke etnische achtergronden en met culturele en maatschappelijke onderwerpen die in de samenleving een rol spelen welke van invloed kunnen zijn op het leveren van zorg aan individuen in de samenleving (ook opgenomen in de rol "beroepsbeoefenaar");

- een gesprek met een patiënt en diens familie (tweegesprek) te voeren **(IV)**;
- een gesprek met een patiënt te voeren rekening houdend met de leeftijd van de patiënt.

SAMENWERKER

De juist afgestudeerde TM-professional als samenwerker bouwt een collegiale samenwerking op en werkt doeltreffend samen in een multidisciplinair samenwerkingsverband om te komen tot besluitvorming rond optimale patiëntenzorg, onderwijs en/of onderzoek.

De TM-professional werkt doeltreffend samen met patiënten, patiëntengroepen en andere werkers in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg. De TM-professional brengt informatie over, onderhandelt, geeft leiding, voert consultaties uit en participeert in intercollegiale toetsing.

De juist afgestudeerde TM professional heeft als samenwerker de bekwaamheid:

1. in samenspraak met de patiënt op doeltreffende wijze tot samenwerking te komen met andere zorgverleners binnen de maatschappelijke zorg en de gezondheidszorg;

- een zorgplan voor de patiënt te ontwikkelen in samenspraak met andere zorgverleners en de patiënt; en toe te zien op de uitvoering **(IV)**;
- basale en waar nodig meer complexe gespreksvaardigheden toe te passen in een gesprek met patiënten, hun naasten en andere werkers in de maatschappelijke zorg en gezondheidszorg (ook opgenomen in de rol "*communicator*") **(IV)**.

2. een doeltreffende bijdrage aan interdisciplinaire teams op het gebied van patiëntenzorg, onderwijs en onderzoek te leveren;

- samen te werken in teamverband (ook opgenomen in de rol "*organisator*");
- om de mening van andere teamleden te accepteren, te overwegen en te respecteren om aldus te komen tot besluitvorming;
- verschillende rollen van professionals in de samenleving te herkennen en bewust te kiezen voor een eigen rol;
- inzicht te tonen in groepsprocessen en hun invloeden op het zorgproces.

ORGANISATOR

De juist afgestudeerde TM-professional als organisator levert een bijdrage aan besluiten over beleid en de toewijzing van beperkte financiële, materiële en personele middelen. De TM-professional stemt op een verantwoorde wijze taken onderling op elkaar af in het werk - op strategisch, tactisch en operationeel niveau - en daarbuiten. De TM-professional prioriteert taken, voert deze, waar nodig in een team, uit en evalueert.

De juist afgestudeerde TM professional heeft als organisator de bekwaamheid:

- doelgericht en doeltreffend gebruik te maken van informatietechnologie;
- in de medische praktijk gebruik te maken van geautomatiseerde apparatuur;
- waar relevant een elektronische patiëntadministratie en/of elektronisch patiëntendossier te gebruiken;
- om te gaan met beveiligingsaspecten rondom elektronisch dataverkeer van patiëntgegevens.
- de eigen werkzaamheden adequaat te organiseren, rekening houdend met de context waarin gewerkt wordt;
- hoofd- en bijzaken te onderscheiden;
- het werk te organiseren en prioriteiten te stellen;
- samen te werken in teamverband (ook opgenomen in de rol "*samenwerker*");
- problemen in de organisatie van het werk te signaleren en mogelijke oorzaken op te sporen.
- te laten blijken goed geïnformeerd te zijn over het Nederlandse gezondheidszorgsysteem en de invloed hierop van maatschappelijke en politieke ontwikkelingen. Deze kennis doeltreffend en efficiënt voor de eigen functie en/of organisatie te benutten;

- kennis van de structuur, werking en financiering van het Nederlandse maatschappelijke en gezondheidszorgsysteem in de praktijk toe te passen;
- waar nodig adequaat beslissingen te nemen over het effectief inzetten van gelimiteerde middelen voor gezondheidszorg en ter zake bewust actie te nemen **(IV)**.
- uitgangspunten van kwaliteitszorg (bewaking, bevordering, waarborging) in de praktijk toe te passen.
- kritische situaties en risico's tijdig te onderkennen en hierop adequaat in te spelen;
- waar relevant een kwaliteitsmodel in de praktijk toe te passen **(IV)**.

ACADEMICUS

De juist afgestudeerde TM-professional als academicus levert een wetenschappelijke bijdrage aan de beoordeling, opbouw en begrip van kennis en kunde van de gezondheidszorg. De TM-professional geeft onderwijs en/of bevordert onderwijs aan studenten, patiënten en anderen. De TM-professional neemt klinische beslissingen waar mogelijk op wetenschappelijk verantwoorde wijze, erkent het belang van levenslang leren en fungeert hierin als rolmodel.

De juist afgestudeerde TM professional heeft als academicus de bekwaamheid:

- een empirisch wetenschappelijk onderzoek op te zetten en uit te voeren;
- een probleem- en vraagstelling te formuleren;
- een literatuuronderzoek uit te voeren;
- een methodologisch verantwoorde opzet te maken;
- gegevens te verzamelen;
- een data-cleaning en -invoer uit te voeren;
- een statistische analyse uit te voeren;
- onderzoeksresultaten schriftelijk te rapporteren;
- onderzoeksuitkomsten te presenteren en te bespreken.
- onderwijs voor patiënten, studenten en anderen te ontwerpen en te verzorgen **(III)**.
- onderwijskundige principes toe te passen in contacten met patiënten, studenten, opleiders en zorgverleners;
- anderen te helpen hun leerbehoeften te identificeren.
- een systematische aanpak te hanteren, gebaseerd op de klinisch empirische cyclus en gekenmerkt door de ontwikkeling en het gebruik van theorieën, modellen en
- samenhangende interpretaties te maken, heeft een kritische houding en inzicht in wetenschap en technologie;
- voor een medisch probleem informatie te verzamelen, te analyseren en te interpreteren en met inachtneming van de medisch technologische kernbegrippen en de essentiële technologische begrippen te komen tot een verantwoorde aanpak voor het oplossen van een medisch probleem
- de resultaten van onderzoek te analyseren en te interpreteren op basis van de medische, technologische en ondersteunende kernbegrippen
- op basis van een analyse en de interpretatie van de resultaten van onderzoek een keuze te maken voor een verantwoorde aanpak van een klinisch probleem;
- inzicht in de aard van wetenschap en technologie en kennis van actuele discussies hierover toe te passen (doel, methoden, verschillen en overeenkomsten tussen wetenschapsgebieden, aard van wetten, theorieën, verklaringen, rol van experiment, objectiviteit etc);
- inzicht in de wetenschappelijke medisch technologische praktijk en de actuele discussies hierover toe te passen;
- resultaten van onderzoek en ontwerpen adequaat te documenteren en te publiceren met de bedoeling bij te dragen aan de kennisontwikkeling van het technisch medische vakgebied.
- te redeneren, te reflecteren en zich een oordeel te vormen

- reflecteren op standaardmethoden en gehanteerde vooronderstellingen; kan deze in twijfel trekken; kan aanpassingen voorstellen en de reikwijdte ervan inschatten;
- zelfstandig kritisch te reflecteren op eigen overwegingen, besluiten en handelen en op basis hiervan zijn gedrag bij te sturen;
- logisch te redeneren en redeneerwijzen zoals inductie, deductie, analogie en dergelijke toe te passen;
- adequate vragen te stellen en een kritisch constructieve houding te hanteren bij het analyseren en oplossen van klinische problemen;
- een beredeneerd oordeel te vormen in het geval van incomplete of irrelevante data;
- een standpunt in te nemen ten aanzien van een wetenschappelijk betoog in het vakgebied en dit kritisch op waarde te schatten;
- objectief en verstandig om te gaan met informatie verstrekt door belanghebbende(n);
- numerieke vaardigheden te gebruiken en een oordeel te vormen op basis van besef van grootte-orde.
- een persoonlijke leerstrategie te ontwikkelen, implementeren en documenteren;
- persoonlijke leerbehoeften te identificeren en een geschikt studie- / bijscholingsplan te ontwerpen;
- de eigen vakbekwaamheid te onderhouden en te bevorderen door zichzelf voortdurend op de hoogte te houden van de belangrijkste ontwikkelingen in de technische en medische wetenschappen;
- het nieuw geleerde in de praktijkvoering te integreren.
- op sterke en zwakke kanten in het eigen functioneren te reflecteren en daardoor sturing te geven aan het eigen leerproces en verantwoordelijkheid te nemen voor de eigen professionele groei met als doel levenslange ontwikkeling als TM professional
- adequaat vast te stellen of de ontwikkeling van de verschillende competenties op het gewenste niveau is en als dat niet het geval is, te analyseren welke vaardigheden, kennisgebieden of persoonlijke aspecten extra aandacht behoeven;
- adequate acties te ondernemen om de competenties naar het gewenste niveau te tillen;
- tot een weloverwogen beroepskeuze te komen die past bij de eigen mogelijkheden.

BEROEPSBEOEFENAAR

De juist afgestudeerde TM-professional als beroepsbeoefenaar vervult een unieke maatschappelijke rol om de gezondheid en het welbevinden van de samenleving naar een zo hoog mogelijk niveau te brengen. De TM-professional beoefent de patiëntenzorg volgens de hoogst geldende medische en ethische standaarden binnen het Nederlandse en Europese juridische kader. De TM-professional spant zich voortdurend in om de standaarden van zijn vakgebied volledig te beheersen

De juist afgestudeerde TM professional heeft als beroepsbeoefenaar de bekwaamheid:

- op een eerlijke, betrokken wijze hooggekwalificeerde zorg te leveren, met aandacht voor de integriteit van de patiënt;
- rekening te houden met mogelijke etnische achtergronden en met culturele en maatschappelijke onderwerpen die in de samenleving een rol spelen welke van invloed kunnen zijn op het leveren van zorg aan individuen in de samenleving (ook opgenomen in de rol '*communicator*');
- de grenzen ten aanzien van de privé-sfeer van de patiënt te respecteren waar deze buiten het kader van de hulpverlening valt;
- op professionele wijze een relatie met een patiënt te beëindigen.
- professioneel gedrag in de gezondheidszorg, wetenschappelijk onderzoek en onderwijs te demonstreren;
- objectief om te gaan met informatie verstrekt door belanghebbende(n) (ook opgenomen in de rol van '*academicus*');)

- een goed evenwicht te bewaren tussen persoonlijke en professionele rollen en respect te tonen voor de intermenselijke verschillen in professionele relaties (ook opgenomen in de rol '*communicator*') **(III)**;
- (medisch) onprofessioneel gedrag te herkennen en hierbij adequate actie aan te geven **(III)**;
- Inzicht te tonen in het belang open en integer relaties met de belanghebbende partijen in de gezondheidszorg te onderhouden en het belang van de patiënt en patiëntengroepen in deze relaties voorop te stellen **(III)**.
- hun medisch-technische praktijk op een ethisch verantwoorde manier te beoefenen en de juridische en professionele verplichtingen van het lidmaatschap van een zelfregulerende groep te respecteren;
- zich verantwoordelijk te tonen voor eigen handelen, zich te verantwoorden en toetsbaar op te stellen;
- ethische dilemma's te herkennen en kennis van ethische concepten relevant voor de gezondheidszorg in de praktijk te hanteren;
- rekening te houden met de afhankelijke positie van de patiënt;
- gevoelens van onvrede aanwezig bij de patiënt en/of zichzelf over de relatie te signaleren en deze bespreekbaar te maken;
- kennis van de juridische concepten in de gezondheidszorg in de praktijk toe te passen;
- medische fouten te (h)erkennen en te melden bij de daarvoor bestemde instanties;
- inzicht te tonen in de belangen van de beroepsgroep en aan te geven hoe deze kunnen worden behartigd **(IV)**.
- op het eigen handelen in de medisch-technische praktijk te reflecteren, in relatie tot de eigen gevoelens en cognities;
- inzicht te tonen in de onzekerheden die aan de eigen medisch-technische beroepsuitoefening verbonden zijn en hiermee om te gaan;
- te reflecteren op het eigen functioneren in moeilijke, indrukwekkende of schokkende situaties; eigen gevoelens, normen en waarden in relatie tot existentiële vragen over leven, dood, ziekte en gezondheid te onderkennen **(IV)**;
- adequaat om te gaan met fouten van zichzelf of van anderen, eigen fouten tegenover patiënten en collega's te erkennen en er lering uit te trekken **(IV)**;
- te reflecteren op de wederzijdse beïnvloeding van werk en privé-leven, stoornissen in de verhouding werk en privé-leven te herkennen en hierop adequaat te reageren **(III)**;
- inzicht te tonen in eigen gevoelens, remmingen, normen en waarden in relatie tot bepaalde gevoelens oproepen door contact met een patiënt (of iemand in de directe omgeving van de patiënt), zoals gevoelens van irritatie, afkeer, schaamte, genegenheid, verliefdheid en erotiek **(IV)**.

BIJLAGE 3 TECHNOLOGISCHE KERNBEGRIPPEN

Onderwerpen	Kernbegrippen
Dynamica & statica	<ul style="list-style-type: none"> - Beweging meten/ kijken - Begrip kracht - Evenwicht in kracht en moment Dynamica: <ul style="list-style-type: none"> - Kracht, massa en versnelling (Newton) - Kinetische en potentiële energie - Arbeid en vermogen - Momenten en rotatie - Eenvoudige statische constructies
Chemie	<ul style="list-style-type: none"> - Atoombouw - Zuren/basen - Entropie en vrije energie (in warmteleer vak) - Oxidatie/reductie - Functionele groepen
Biochemie	<ul style="list-style-type: none"> - Amino-zuren en eiwitten - Biopolymeren - Biochemische scheidingsmethoden - Enzymen - Enzymkinetiek - Biologische membranen - ATP synthese - Afbraak en synthese routes
Celbiologie	<ul style="list-style-type: none"> - Evolutie van cellen - Analyse van cellen - DNA replicatie - Genexpressie - Eiwitsynthese - Eiwitsortering - Cytoskelet - Celcyclus en celdeling - Cel-matrix interacties - Ontwikkeling en nieuwvorming
Histologie	<ul style="list-style-type: none"> - Histologische analysemethoden - Epitheel - Bindweefsel - Kraakbeen - Bot - Spierweefsel - Zenuwweefsel

Onderwerpen	Kernbegrippen
Drug delivery	<ul style="list-style-type: none"> - Farmacochemie - Farmacologie - Recombinant dna - Biomoleculaire informatica - Rational drug design - Bioinformatica <p><i>Opm: dit zou verweven kunnen worden met farmacologie.</i></p>
Thermodynamica	<ul style="list-style-type: none"> - Ideale gaswet - Warmte motor en koeling - Energie en enthalpie - Eerste en tweede hoofdwet - Entropie begrip - Wet van Boltzman, chemische reacties - Toepassingen: - Membraam potentiaal - Chemische reacties
Stromingsleer & transportfysica & warmteleer	<ul style="list-style-type: none"> - Vloeistof transport - Complexe stromingen - Oppervlakte spanning - Wet van Laplace - Druk, stroming en wrijving - Wet van Bernoulli - Viscositeit - Lam. stroming, wet v. Poiseuille - Turbulentie en getal van Reynolds - Bezinking en de wet van Stokes - Capillaire werking - Warmte transport - Energie balans voor warmte transport - Warmte afgifte - Warmte transport - Warmte opslag
Elektriciteit & Magnetisme	<p>Inleiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stroom en spanning, wet van ohm, serie en parallel schakeling - Elektrisch veld en lading, wet van Coulomb - Elektrische eigenschappen van (bio)materialen - Stroom en magneetveld, wet van Ampere, Lorentz-kracht - Magnetische eigenschappen van (bio)materialen <p>Vervolg:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wet van Gauss - Wet van Biot-Savart - Magnetische materialen - Wetten van Maxwell - Licht en golven <p><i>Opm: het vervolg gedeelte moet na vector analyse van wiskunde komen.</i></p>

Onderwerpen	Kernbegrippen
Beeldvorming	Optica <ul style="list-style-type: none"> - Licht, dunne lenzenformule, loep, hoekvergroting, resolutie - Fourieranalyse en optische systemen - Lasers - Wisselwerking tussen licht en materie Stralingsfysica <ul style="list-style-type: none"> - Geluid, intensiteit, decibel, spectrum, - Röntgen, genereren en detecteren van straling, - Röntgen, absorptie mechanismen - EM-straling SAR Geluid
Imaging/ Geavanceerde beeldvorming	<ul style="list-style-type: none"> - Verdieping Optica, stralingsfysica en Geluid - Beeldverwerking
DNA technologie	<ul style="list-style-type: none"> - Het humane genoom - Transcriptoom en proteoom - Rec. DNA technologie - DNA diagnostiek - Ziekten op moleculair niveau - Single nucleotide polymorfismen - Bioinformatica <p><i>Opn: dit kan gekoppeld worden met genetisch immunologische processen in blok 2.1</i></p>
Biomaterialen	<ul style="list-style-type: none"> - Vaste stoffen (elasticiteit, elektrische en magnetische eigenschappen) - Roosters en kristallen, - Keramische materialen - Wrijving Slijtage - Vervormingen van (bio)materialen/ mechanische eigenschappen - Functionele groepen - Polymeersynthese - Keramische materialen
Modelvorming en Regeltechniek	<ul style="list-style-type: none"> - Modelleren dynamische systemen <p><i>Opn: dit onderdeel kan in andere vakken/ blokken aan de orde komen.</i></p>
Metten en verwerken van signalen	<ul style="list-style-type: none"> - Sensoren - Meettechniek (met fouten) - Signaal analyse
Regeneratieve geneeskunde	<ul style="list-style-type: none"> - Werkingsmechanismen van groeifactoren - Stamcellen - Celadhesie en cel-matrix interacties
Immunologie en transplantatie	<ul style="list-style-type: none"> - Immunologische processen - Self / non-self - Immunotherapie
Personalized medicine	<ul style="list-style-type: none"> - Project systeem biologie

BIJLAGE 4 BACHELOR CURRICULUM

Eerste jaar				Studiejaar 2006-2007		
	Lijnonderwijs			Blokonderwijs		
	Naam	Vakcode	EC	Naam	Vakcode	EC
Semester 1.1	Functies van één veranderlijke	151260	5	Anatomie en Beeldvormende technieken Bodypainten Introductie L.O	330031	5
				Moleculaire Celbiologie, Biochemie en Genetica	330013	7
	Matlabcursus en Matrices	150547	2	Introductie Pathofysiologische kernbegrippen	3300150	7
	Signaalanalyse	156082	4			
Semester 1.2	(V)aardig Communiceren en Professioneel Gedrag 1 BLS cursus Verpleegkundige handelingen (voorbereiding stage)	330009	3	Meten en verwerken	121145	4
				Regulatie en Integratie	330018	6
				Inleiding Computergestuurde Toepassingen	2110411	4
	Filosofie van het Medisch Technisch Handelen	161310	3	Stage 1e jaar: de Patient	330004	3
				Bloedvormend en Immuunsysteem	330017	7

Tweede jaar

Studiejaar 2007-2008

	Lijnonderwijs			Blokonderwijs		
	Naam	Vakcode	EC	Naam	Vakcode	EC
Semester 2.1	Vectoranalyse voor TG	151089	4	Cardiovasculaire Systeem	3300280	7
				Respiratoire Systeem L.O cardiovasculaire- en respiratoire systeem	330220	7
	Statistiek / Epidemiologie	?	5	spijsverteringssysteem LO Buik	330290	7
Semester 2.2	(V)aardig Communiceren en Professioneel Gedrag 2 Geïntegreerd assessment LO	330270	3	Neurale systeem LO Neurale systeem	330230	7
	Medische ethiek	331000	3	Stage 2e jaar: de organisatie	330250	3
	Gezondheidsrecht I voor Technische Geneeskunde	411213	3	Bewegingsapparaat 05 LO Bewegingsapparaat	3302100	11

Derde jaar

Studiejaar 2008-2009

	Lijnonderwijs			Blokonderwijs		
	Naam	Vakcode	EC	Naam	Vakcode	EC
Semester 3.1	Epidemiologie / Statistiek/ MTA	330350	5	CO mmunication and DA ta Management	211042	4
				Zintuiglijk Systeem	330320	7
				Stage 3e jaar: de specialist	330330	3
				Urogenitale Systeem	3304300	11
Semester 3.1	(V)aardig Communiceren en Profesioneel Gedrag 3 Geïntegreerd assessment LO	330380	2	Keuzeblok 1		5
				Genetica	330500	5
	Medische techniekethiek	331010	3	Multi Disciplinaire Opdracht	330370	12
	Gezondheidsrecht II voor Technische Geneeskunde	411214	3			

Onderwijsaanbod 2014-2015

5-feb-15

Bachelor 1

Onderwijs eerste jaar Bachelor 2014- 2015	Module 1 - Bouwstenen van de Mens 201300130 15 EC	Module 2 - Zicht op Ziekte 201300133 15 EC	Module 3 201300165 15 EC	Module 4 201300166 15 EC
	Anatomie	Introductie Pathofysiologie Kernbegrippen	Meten en Verwerken van Signalen + Matlab	Bloedvormend en Immuunsysteem
	Beeldvormende Technieken	Signaalanalyse	Regulatie en Integratie TG	Ruimtetwiskunde
	Biochemie	Communicatie en Professioneel Gedrag	Communicatie en Professioneel Gedrag	Communicatie en Prof. Gedrag
	Cellbiologie	Project	Project	Project

Bachelor 2

Onderwijs tweede jaar Bachelor 2014- 2015	Module 5 - Spijsvertering en Navigatie 201400152 15 EC	Module 6 - Cardiorespiratoir Systeem en Technologie 201400153 15 EC	Module 7- Neurale Systeem en Onderzoek 201400154 15 EC	Module 8 - De Bewegende Mens 201400155 15 EC
	Spijsverteringssysteem (incl Academische Vaardigheden)	Cardiovasculair Systeem	Neurale Systeem	Mens en Beweging
	Vectoranalyse	Respiratoir Systeem	Statistiek en Epidemiologie	Gezondheidsrecht I voor TG
	Vaardig Communiceren & Prof Gedrag 2 di 1	Vaardig Communiceren & Prof Gedrag 2 di 2	Project/Casus	Casus/Project
	Project/Casus	Project/Casus	Project/Casus	Project/Casus

Bachelor 3

Onderwijs derde jaar Bachelor 2014- 2015	kwartiel 1		kwartiel 2		kwartiel 3		kwartiel 4		
	Zintuiglijk Systeem 201400245 7 EC		Stage: De Speciali st 1933 03300 3 EC	Uro-genitale Systeem 193304002 9 EC		Biomaterialen TG 201400174 5 EC		Toegepaste Celbiologie 201200162 4 EC	Multidisciplinaire Opdracht (MDO 2e sem) 201200181 15 EC
	Epidemiologie/Statistiek en MTA 201400246 8 EC			Med. Techniekethiek 193310100 3 EC		VCPG 3 201200182 3 EC			
						Gezondheidsrecht II 194112140 3 EC			

Multidisciplinaire Opdracht (1e sem)
201200181 15 EC

BIJLAGE 5 MASTER CURRICULUM

Master eerste jaar

Eerste Kwartaal		Tweede Kwartaal		Derde Kwartaal		Vierde Kwartaal	
Casus 1	5 EC Verplicht vak	5 EC Verplicht vak	Casus 1	Casus 2		5 EC Verplicht vak	5 EC Verplicht vak
	5 EC Verplicht vak	5 EC Keuzevak		5 EC Keuzevak			
	3 EC Skills	3 EC Skills	4 EC	Casus 2	3 EC Skills	3 EC Skills	

Master tweede jaar

Eerste Kwartaal		Tweede Kwartaal		Derde Kwartaal		Vierde Kwartaal	
15 EC Klinische Stage	Skills	15 EC Klinische Stage		15 EC Klinische Stage		15 EC Klinische Stage	
		Skills		Skills		Skills	

Master derde jaar

Eerste Kwartaal		Tweede Kwartaal		Derde Kwartaal		Vierde Kwartaal	
		3 EC Laboratory Animal Science 57 EC Klinische Specialisatie Stage					

Curriculum Technical Medicine 2014-2015

4-sep-14

Medical Sensing & Stimulation

Kwartiel 1	Kwartiel 2	Kwartiel 3	Kwartiel 4
Biological Control Systems 193810010 5 EC	Dynamic Behaviour of Neural Networks 193810100 5 EC	Advanced Techniques for Signal Analysis 193810020 5 EC	Identification of Human motor Control 193810070 5 EC
Circulation and Ventilation 193810140 5 EC	Optional Subject 5 EC	Biomedical Signal Acquisition 191210720 5 EC	Optional Subject 5 EC
Injections, punctures & catheterizations 193800070 3 EC	Surgical Skills 193800080 3 EC	Advanced Life Support 193800050 3 EC	Endoscopic Skills 193800060 3 EC
Case MSS 1	201200189 4 EC	Case MSS 2	201200190 4 EC

Medical Imaging & Intervention

Kwartiel 1	Kwartiel 2	Kwartiel 3	Kwartiel 4
Radiation Expertise 193640060 5 EC	Imaging Techniques 201200167 5 EC	Segmentation and Visualisation 201200168 5 EC	Regenerative Medicine 201400004 5 EC
Molecular Interactions for Imaging Technologies 193820010 5 EC	Optional Subject 5 EC	Optional Subject 5 EC	Surgical Navigation Technology 201000262 5 EC
Injections, punctures & catheterizations 193800070 3 EC	Surgical Skills 193800080 3 EC	Advanced Life Support 193800050 3 EC	Endoscopic Skills 193800060 3 EC
Case MII 1	201200191 4 EC	Case MII 2	201200192 4 EC

BIJLAGE 6 BEOORDELINGSCRITEIA BACHELOR

EINDOPDRACHT

Relatie beoordelingscriteria en de Bachelor competenties

Competenties →

1 2 3 4 5 6 7

Criteria ↓

Plan van Aanpak

een korte samenvatting van het voorstel	x			x	x	x	
een korte omschrijving van de doelen van het onderzoek, dan wel ontwerp	x	x		x		x	
Geformuleerde probleemstelling met eventuele deelvragen				x	x		
opzet van het onderzoek en de te volgen strategie		x		x	x		
Te gebruiken theorieën voor de beantwoording van de probleemstelling, blijkend uit een literatuurlijst	x			x		x	
Wijze van dataverzameling en argumentatie	x			x	x		x
te gebruiken methoden en technieken		x		x	x		
argumentatie voor de gemaakte keuzes					x	x	x
Tijdsplanning en taakverdeling						x	
de te verwachten eindresultaten	x	x	x	x	x	x	x

Eindverslag :

• Inhoud

Doelstelling en probleemstelling + onderzoeksvragen	x	x	x	x	x		x
Operationalisatie van begrippen	x	x	x		x	x	x
Literatuurstudie	x	x		x	x	x	x
Theoretisch kader en relevantie voor de probleemstelling	x	x	x	x	x	x	x
Wijze van dataverzameling of het ontwerp				x	x		
Wijze van gegevensanalyse of de ontwerpvalidering	x	x	x	x	x	x	x
Beantwoording van de probleemstelling	x	x	x	x	x	x	x
Conclusies	x	x	x	x	x	x	x

• Vorm

Opbouw :

x x

- Indeling in hoofdstukken, paragrafen, bijlagen, voetnoten en literatuurverwijzingen, literatuurlijst
- Logische opbouw van de tekst
- Inhoudsopgave, inleiding, leeswijzer, argumentatie en samenvatting

Stijl:

x x

- Begrijpelijkheid van de tekst, de mate van exactheid, informatiedichtheid
- Levendigheid
- Functionaliteit lay-out en illustraties
- Spelling en grammatica

Procesbeoordeling:

Tutoren

x

Peers

x

Student zelf

x

x

x

Presentatie en discussie

x

x

x

x

x

BIJLAGE 7 M3 EINDBEOORDELING

M3 Eindbeoordeling	UNIVERSITEIT TWENTE - TECHNICAL MEDICINE
NAAM KANDIDAAT	

PRESENTATIE	-	+	++	Toelichting
Presentatievaardigheid				
Inhoud				
Discussie				
AFSTUDEERTHESIS				
Onderzoeksvraag				
Wetenschappelijke analyse en methode				
Resultaten				
Conclusie en discussie				
Taal en vorm				
Originaliteit				
KLINISCHE ERVARING				
Technisch Geneeskundig Handelen				
Relatie met begeleiders en patiënten				
Klinisch professioneel handelen				
Zelfsturing / werkhouding				
PERSOONLIJKE ONTWIKKELING				
Reflectie				
Evenwicht				
Zelfsturing / werkhouding				

CONCLUSIE

Datum: Handtekening Voorzitter afstudeercommissie:

.....

PRESENTATIE	INDICATOREN
Vraagstelling en context	<ul style="list-style-type: none"> Heldere en begrijpelijke presentatie van de technisch geneeskundige vraagstelling Klinische relevantie De eigen specifieke bijdrage van de student
Inhoud	<ul style="list-style-type: none"> Het verrichte werk om de vraagstelling te beantwoorden De (innoverende) opbrengst Het wetenschappelijk niveau
Presentatievaardigheid	<ul style="list-style-type: none"> Logische opzet met duidelijke structuur/opbouw (Non)verbale presentatievaardigheden Aantrekkelijkheid van de presentatie
Mediagebruik	<ul style="list-style-type: none"> Functioneel gebruik van mediamogelijkheden
Discussie	<ul style="list-style-type: none"> Beantwoording vragen vanuit het publiek Reactie op vragen/opmerkingen van de afstudeercommissie
Reflectie	<ul style="list-style-type: none"> Blijk van inzicht in het belang van het onderzoek voor de wetenschap en/of de maatschappij en de eventuele ethische implicaties Kritische beschouwing van eigen wetenschappelijke inspanningen
PRODUCT	INDICATOREN
Onderzoeksvraag	<ul style="list-style-type: none"> Van klinisch probleem tot technisch geneeskundige vraagstelling (hypothese) tot onderzoek. Uitleg en motivering Beschrijving klinische relevantie van de onderzoeksvraag Relatie met lopend en relevant onderzoek Specifieke eigen bijdrage van de student aan het tot stand komen en beantwoorden van de onderzoeksvraag
Wetenschappelijke analyse en methode	<ul style="list-style-type: none"> Omschrijving en motivering gebruikte analyse- en onderzoeksmethoden Analyse van de gevormde hypothese op gedegen wetenschappelijk niveau
Resultaten	<ul style="list-style-type: none"> Uiteenzetting, interpretatie en presentatie van de resultaten, zowel kwalitatief als kwantitatief Gebruik van grafieken, figuren etc. Haalbaarheid publicatie in een wetenschappelijk tijdschrift
Conclusie en discussie	<ul style="list-style-type: none"> Vermelding belangrijkste resultaten Logica conclusies vanuit de onderzoeksvraag, -opzet en -resultaten Innovatieve inzichten cq ontwerpen t.b.v. diagnostische en/of therapeutische toepassingen De groepen patiënten, gebruikers etc. waarvoor de conclusies van het onderzoek (eventueel) relevant zijn en waarom Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

Lay-out	<ul style="list-style-type: none"> Vormgeving Toegankelijkheid Taalgebruik, zowel qua spelling als qua grammatica
KLINISCHE ERVARING	INDICATOREN
Relatie met begeleiders en patiënten	<ul style="list-style-type: none"> Communicatie over voortgang afstudeeropdracht en het procesverloop Reflectie over eigen voortgang en leerproces
Klinische kwaliteiten (KKB en OSATS)	<ul style="list-style-type: none"> Uitvoerende kwaliteiten Bekwaamheid binnen competentiedomein → behaalde KKB en OSATS
PROCES	INDICATOREN
Wetenschappelijke kwaliteiten, waaronder m.n. analyse en synthese	<ul style="list-style-type: none"> Inzet theoretische bagage Vinden en gebruiken van relevante bronnen Eigen, herkenbare opstelling/werkwijze Participatie in een klinisch wetenschappelijke omgeving
Zelfsturing/werkhouding	<ul style="list-style-type: none"> Eigen initiatief en inzicht in proces Duidelijke focus in de werkzaamheden en het proces Bij(zelf)sturing bij eventuele stagnaties Positionering op afdeling
Reflectieve vaardigheden	<ul style="list-style-type: none"> Reflectie op eigen leren en ontwikkeling Reflectie op eigen persoon in relatie tot werk

BIJLAGE 8

OBJECTIVE STRUCTURED ASSESSMENT OF
TECHNICAL SKILLS (OSATS)

Technische Geneeskunde - Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS)

Student		1		2		3		Studentnummer:		3		4		5		6	
Masterjaar								Handelingsniveau									
Beoordelaar								Datum:									
INTERVENTIE:								HANDELING:									
ITEM								Onder verwacht niveau		Op verwacht niveau		Boven verwacht niveau					
Algemene kennis								4		5		6		7		8	
1 Adequate indicatiestelling voor de handeling																	
2 Geeft blijk van inzicht in de relevante anatomie, fysiologie en pathofysiologie																	
Materiaalkennis																	
3 Selecteert de adequate materialen / instrumenten																	
Risico en complicaties																	
4 Voert de handeling veilig uit																	
Informatie aan patiënt																	
5 Informeert de patiënt en reageert adequaat op diens reacties																	
Handeling																	
6 Geeft blijk van inzicht in de procedure																	
7 Geeft blijk van een adequate interpretatie van casusspecifieke informatie (foto's e.d.)																	
8 Geeft blijk van een technische beheersing van de handeling																	
9 Voert de procedure effectief en efficiënt uit																	
10 Gebruikt technologie ter optimalisatie van de procedure																	
11																	
Goede punten:																	
Verbeterpunten:																	
Handtekening student:																	
Handtekening beoordelaar:																	

BIJLAGE 9 KORTE KLINISCHE BEOORDELING (KKB)

Naam student:		ZH-Afd:	
Stage: M2-1 / M2-2 / M2-3 / M2-4 / M3		Naam beoordelaar:	
Datum:		Functie:	
Probleemdefinitie:			
Gerichte patiëntanalyse:			
Uitvoering beleid:			
Rapportage en overdracht:			
Score:	4 5	6 7 8	9 10
Geef mondelinge feedback aan de student en noteer uw opmerkingen/adviezen:			
Paraaf student:		Paraaf beoordelaar:

Stellingen

Bij proefschrift 'Arts en ingenieur: And ever the twain shall meet' van Heleen A.Th. Miedema

1. Doelmatig en veilig gebruik van medische technologie vereist technisch geneeskundige expertise. (dit proefschrift)
2. Het ontwerpen van onderwijs wordt bepaald door het niveau van het onderwijs, de variatie aan expertdomeinen, en de eindverantwoordelijkheid en rol van de ontwerper. (dit proefschrift)
3. De overeenkomst van het beoogde curriculum met het gerealiseerde curriculum is afhankelijk van de mate waarin het impliciete expliciet wordt gemaakt. (dit proefschrift)
4. Om adequaat onderwijs te geven in een multidisciplinair domein dient de docent problemen in het nieuwe domein te leren oplossen in plaats van monodisciplinaire kennis toe te passen. (dit proefschrift)
5. Een klinisch technoloog is een technisch geneeskundige. (dit proefschrift)
6. Een ondernemende houding en een bureaucratische controledwang is een contradictio in terminis.
7. Zeker heden ten dage geldt dat het doel van opvoeden zelfverantwoordelijke zelfbepaling is. (vrij naar Langeveld, pedagoog)
8. *Transfer of learning* is een verplichting van de opleiding, niet van de student.
9. Slechts als de snelste student altijd de beste is, zijn de huidige prestatie indicatoren goed gekozen.
10. Om als meisje carrière te kunnen maken, moet je met jongens leren spelen. (vrij naar Adrienne Mendell en Sheryl Sandberg)

Beste familieleden, vrienden en collegae van Heleen,

Donderdag 10 september 2015 verdedigt Heleen haar proefschrift. Namens haar nodigen wij u van harte uit hierbij en bij het promotiefeest aanwezig te zijn.

De promotie plechtigheid begint om 12:30 uur (12:30 uur het lekenpraatje, 12:45 uur de openbare verdediging) in Gebouw De Waaier, zaal 4, van de Universiteit Twente te Enschede. Aansluitend een receptie in het restaurant van de Gallery. Tevens is er dan de mogelijkheid voor een rondleiding in het ECTM.

Vanaf 17:00 zal het promotiefeest met walking dinner plaatsvinden in Parklocatie de Jaargetijden, Parkweg 49, 7513 CN te Enschede.

Wij willen een sieraad kopen voor Heleen als aandenken aan deze dag. Wilt u meedoen aan dit gezamenlijk cadeau dan kun u uw bijdrage overmaken op rekeningnummer NL65 INGB 0002 6719 76 t.n.v. M.L. Brouwer onder vermelding "Heleen" Uiteraard kan Heleen toegesproken of toegezongen worden. Wilt u dit doen, dan verzoeken wij u met ons contact op te nemen.

De cheffkok moet inkopen, daarom vragen wij u om voor 05-09-2015 te berichten (rml.brouwer@home.nl) of u bij het diner aanwezig zult zijn.

Mede namens de paranimfen Kim en Cees Brouwer,

René ML Brouwer,
MH Tromplaan 37
7513 AB
Enschede
06-53247521

UITNODIGING