

***Opleidings specifieke bijlage  
van het opleidingsdeel van het studentenstatuut  
inclusief de onderwijs- en examenregeling  
van de bacheloropleiding  
Technische Natuurkunde***

**(art. 7.13 en 7.59 WHW)**

## Inhoud

Preambule .....	1
Artikel 1 Doel van de opleiding .....	2
Artikel 2 Aansluitende masteropleiding .....	2
Artikel 3 Eindtermen van de opleiding .....	2
Artikel 4 Taal .....	2
Artikel 5 Het bachelorexamen .....	3
Artikel 5a Geldigheidsduur moduleonderdelen .....	5
Artikel 5b Dubbelstudie .....	5
Artikel 6 Overgangsregeling .....	6
Artikel 7 Veiligheid .....	6
Artikel 8 Volgorde onderwijseenheden .....	6
Artikel 9 Studiebegeleiding .....	6
Artikel 9a Bindend studieadvies (BSA) .....	6
Artikel 9b Kwaliteitszorg .....	7
Artikel 10 Wijziging .....	7
Artikel 11 Inwerkingtreding .....	7
Appendix 1 Modulebeschrijvingen .....	8

## Preambule

1. De regels in deze bijlage zijn van toepassing op de voltijds bacheloropleiding Technische Natuurkunde.
2. Deze opleidings specifieke bijlage vormt samen met het algemeen gedeelte (TNW17066/vdh) het opleidingsdeel van het studentenstatuut inclusief de onderwijs- en examenregeling van de bacheloropleiding Technische Natuurkunde van de faculteit Technische Natuurwetenschappen van de Universiteit Twente.
3. De regels die de examencommissie Technische Natuurkunde heeft vastgesteld over de uitvoering van haar taken en bevoegdheden volgens artikel 7.12b van de wet zijn opgenomen in de 'Regels van de examencommissie Technische Natuurkunde'.

Kenmerk: TNW 17072/esk/vdh  
Datum: 31 augustus 2017

## **Artikel 1 Doel van de opleiding**

De bacheloropleiding Technische Natuurkunde beoogt door een breed en oriënterend curriculum de afgestudeerde zodanige kennis, vaardigheid en inzicht bij te brengen op het gebied van de Natuurkunde en Technische Natuurkunde, dat deze een verantwoorde keuze kan maken voor een vervolgopleiding in de diverse specialisaties van de Technische Natuurkunde en in staat is om met succes een masteropleiding op het terrein van de Technische Natuurkunde te volgen. Voor afgestudeerden die onmiddellijk na het bachelordiploma de arbeidsmarkt wensen te betreden biedt de opleiding de mogelijkheid in het laatste studiejaar het studiepakket een afrondend karakter te geven.

## **Artikel 2 Aansluitende masteropleiding**

Het met goed gevolg afleggen van het bachelorexamen geeft tenminste toegang tot de masteropleiding Applied Physics van de faculteit TNW.

## **Artikel 3 Eindtermen van de opleiding**

De afgestudeerde van de bacheloropleiding Technische Natuurkunde

- heeft een gedegen theoretische en praktische basiskennis van de (technische) natuurkunde in samenhang met de daarvoor benodigde wiskunde en informatica, die toereikend is om met succes een natuurkundige Masteropleiding te selecteren en te volgen;
- heeft voldoende inzicht in de diverse specialisaties van de (technische) natuurkunde die voortbouwen op de bacheloropleiding om een verantwoorde keuze te maken voor een vervolgstudie;
- heeft kennis gemaakt met wetenschappelijke onderzoekvaardigheden en methoden op het gebied van de natuurkunde en is in staat basale fysische problemen in een beperkte context te herkennen, te analyseren en met wiskundige hulpmiddelen (inclusief computertoepassingen) op te lossen;
- is in staat het ontbreken van benodigde vakkennis en vaardigheden te onderkennen en deze zelfstandig te verwerven en te integreren in reeds opgedane kennis en vaardigheden;
- beheerst de algemene vaardigheden op het gebied van presenteren en rapporteren, informatie zoeken en verwerken, computergebruik, projectmatig werken en werken in teams;
- is zich bewust van de mogelijkheden op de arbeidsmarkt na een eventuele afsluiting van de studie met het bachelordiploma;
- is zich bewust van de rol en positie van de natuurkunde in de wetenschap en de maatschappij en van het internationale karakter van de natuurkunde.

## **Artikel 4 Taal**

1. De bacheloropleiding Technische Natuurkunde is een Nederlandstalige opleiding.
2. Studiematerialen zijn Engelstalig of Nederlandstalig.
3. Onderwijseenheden of delen daarvan kunnen in het Engels worden onderwezen of getoetst indien:
  - a) een docent of tutor van de betreffende onderwijseenheid niet-Nederlandstalig is, of
  - b) studenten van de betreffende bacheloropleiding samen met studenten van een Engelstalige bacheloropleiding onderwijs krijgen, of
  - c) de opleiding dat nodig acht om daarmee te kunnen voldoen aan één van haar eindtermen op het gebied van communicatievaardigen.
4. In overeenstemming met artikel 4.1 lid 10 van het algemeen gedeelte moet het opleidingsbestuur via het SIS (de onderwijscatalogus van Osiris) bekend maken welke taal of talen bij het onderwijs en de toetsing zullen worden gehanteerd.

## Artikel 5 Het bachelorexamen

Het bachelorexamen bestaat uit het programma van het eerste, tweede en derde studiejaar (B1, B2 en B3). Het kernprogramma bestaat uit het B1- en B2-programma.

Gebruikelijke onderwijsvormen zijn hoorcolleges, werkcolleges, practica, opdrachten en projecten. Toetsing vindt plaats door o.a. schriftelijke toetsen, mondelinge toetsen, verslagen, presentaties en posters. In het B1- en B2-programma wordt gewerkt in onderwijsseenheden van 15 EC (modules). Meer informatie over de inhoud van de onderwijsseenheden, inclusief leerdoelen en taal van instructie en toetsing, is te vinden in appendix 1.

In overeenstemming met art. 4.4 lid 4 van het algemeen gedeelte worden de onderwijs- en toetsvormen, alsmede de weging van de verschillende onderdelen in het eindcijfer van de module, in het toetschema opgenomen. Twee weken voor aanvang van de module zal het toetschema worden gepubliceerd op de opleidingsite van Technische Natuurkunde:

<https://www.utwente.nl/tn/algemene-onderwijsinformatie/studieprogramma/toetschemas/>.

Het B1-programma heeft een studielast van 60 EC. De onderdelen van het B1-programma in het collegejaar 2017-2018 zijn:

Code	Naam	Module-onderdelen	EC	Totaal EC
201700156	Dynamica en Relativiteit	Dynamica en Relativiteit	5,5	15
		Calculus 1	4,0	
		Experimenteren 1	1,5	
		Programmeren en Dataverwerking 1	1,5	
		Project portfysica	2,5	
201700163	Thermodynamica	Thermodynamica	4,5	15
		Calculus 2	4,0	
		Experimenteren 2	1,5	
		Programmeren en Dataverwerking 2	1,0	
		Project	4,0	
201700164	Elektromagnetisme en Meten	Elektriciteit en Magnetisme	5,0	15
		Vector Calculus	2,0	
		Instrumentatie	4,0	
		Analytisch Programmeren	1,0	
		Project	3,0	
201700165	Quantum en Geometrische Optica	Quantum Materie	5,0	15
		Lineaire Algebra	3,0	
		Geometrische Optica	2,5	
		Engineering Systems	4,5	
		Totaal B1		

Het B2-programma heeft een studielast van 60 EC. De onderdelen van B2-programma in het collegejaar 2017-2018 zijn:

Code	Naam	Module-onderdelen	EC	Totaal EC
201700096	Signalen, Modellen en Systemen	Signals	5,5	15
		Models	4,5	
		Systems	2,0	
		Project SMS	3,0	
201500155	Golven, Interferentie en Waarschijnlijkheid	Optica	7,0	15
		Quantummechanica	6,0	
		Hilbertruimte	2,0	
201600067	Fysica van Gecondenseerde Materie	Inleiding Vastestoffysica	7,0	15
		Statistische Fysica	6,0	
		Partiële Differentiaalvergelijkingen	2,0	
201600068	Continuüm Dynamica	Vloeistoffysica	7,0	15
		Elektrodynamica	6,0	
		Numerieke methoden voor PDV	2,0	
Totaal B2			60	

Het B3-programma heeft een studielast van 60 EC. De onderdelen van het B3-programma in het collegejaar 2017-2018 zijn:

Naam	Module-onderdelen			EC
Minor / profileringsruimte	Verschilt per minor. Zie onderwijscatalogus Osiris en <a href="http://www.utwente.nl/onderwijs/keuzeruimte/minor/">http://www.utwente.nl/onderwijs/keuzeruimte/minor/</a> O.a. mogelijk: a. HTHT module <sup>1</sup> b. Aanschuifmodule c. Verdiepende module <sup>2</sup> d. Exchange e. Schakelprogramma naar een andere master			15
Minor / profileringsruimte	Verschilt per minor. Zie onderwijscatalogus Osiris en <a href="http://www.utwente.nl/onderwijs/keuzeruimte/minor/">http://www.utwente.nl/onderwijs/keuzeruimte/minor/</a> O.a. mogelijk: a. HTHT module <sup>1</sup> b. Aanschuifmodule c. Verdiepende module <sup>2</sup> d. Exchange e. Schakelprogramma naar een andere master			15
Oriëntatie module	201700178	Voorbereiding bacheloropdracht	5,0	15
	191470241	10 EC keuze uit volgende vakken: Warmte- en Stofoverdracht	5,0	
	191420131	Fysische Materiaalkunde	5,0	
	191440201	Technische Optica	5,0	
	191407051	Inleiding Instrumentatie Computers	2,5	
	201700176	Computational Physics 1	2,5	
201700177	Computational Physics 2	2,5		
Bacheloropdracht	Algemene aspecten		7,5	15
	Fysische aspecten		7,5	
Totaal B3				60

<sup>1</sup> HTHT: High Tech Human Touch

<sup>2</sup> In overeenstemming met art. 3.2 lid 2h) van het algemeen gedeelte, mag een student maximaal één opleidings specifieke verdiepende minor van de eigen opleiding volgen.

Technische Natuurkunde biedt diverse verdiepende modules aan:

- Soft and Biological Physics (module 9)
- Capita Selecta Applied Physics
- Multidisciplinair project TN

## Artikel 5a Geldigheidsduur moduleonderdelen

1. Aanvullend op artikel 4.4 lid 4e van het algemeen gedeelte geldt dat deelname aan reparaties zoals vermeld in het toetschema altijd is toegestaan.
2. De geldigheidsduur van de resultaten van alle moduleonderdelen is onbeperkt.

## Artikel 5b Dubbelstudie

1. Studenten kunnen ervoor kiezen om een dubbelstudie te volgen. Regels om daarvoor in aanmerking te komen zijn vastgelegd in de Regels van de examencommissie TN.
2. Voor een student die tegelijkertijd een dubbelstudie Applied Mathematics en Technische Natuurkunde volgt, geldt een aangepast programma. Dat programma in het collegejaar 2017-2018 is hieronder samengevat.

<b>Eerste studiejaar (80,5 EC)</b>				
	<i>Wiskunde onderdelen</i>		<i>Natuurkunde onderdelen</i>	
Kwartiel 1 (21 EC)	Lineaire Structuren I	6,0 EC	Dynamica en Relativiteit	5,5 EC
	Calculus 1	4,0 EC	Experimenteren 1	1,5 EC
Kwartiel 2 (20,5EC)	Calculus 2	3,0 EC	Programmeren en Dataverwerking 1	1,5 EC
	Lineaire Structuren II	3,0 EC	Project Sportfysica	2,5 EC
	Analyse I	3,0 EC	Thermodynamica	4,5 EC
	Lineaire Optimalisatie	2,0 EC	Programmeren en Dataverwerking 2	1,0 EC
	Bewijslab	4,0 EC		
Kwartiel 3 (19 EC)	Signalen en Transformaties	5,0 EC	Instrumentatie	4,0 EC
	Kansrekening	5,0 EC		
	Project	5,0 EC		
Kwartiel 4 (20 EC)	Vector Calculus	5,0 EC	Elektriciteit en Magnetisme	5,0 EC
			Project	5,0 EC
			Quantum Materie	5,0 EC

<b>Tweede studiejaar (74,5 EC)</b>				
	<i>Wiskunde onderdelen</i>		<i>Natuurkunde onderdelen</i>	
Kwartiel 5 (19,5 EC)	Statistiek	5,0 EC	Models	4,5 EC
	Analyse II	5,0 EC	Systems	2,0 EC
			Project SMS	3,0 EC
Kwartiel 6 (15 EC)	Presentatievaardigheden	2,0 EC	Quantummechanica	6,0 EC
Kwartiel 7 (21 EC)			Optica	7,0 EC
	Discrete Wiskunde en Algebra	6,0 EC	Statistische Fysica	6,0 EC
			Inleiding Vastestoffysica	7,0 EC
			Partiële Differentiaalvergelijkingen	2,0 EC
Kwartiel 8 (19 EC)	Markov Chains	4,0 EC	Elektrodynamica	6,0 EC
			Vloeistoffysica	7,0 EC
			Numerieke methoden voor PDV	2,0 EC

<b>Derde studiejaar (65 EC)</b>				
	<i>Wiskunde onderdelen</i>		<i>Natuurkunde onderdelen</i>	
Kwartiel 9 (15 EC)	Minor / profileringsruimte			
Kwartiel 10 (15 EC)	Differentiaalvergelijkingen	4,0 EC		
	Systeemtheorie	4,0 EC		
	Numerieke Wiskunde	4,0 EC		
	Project	3,0 EC		
Kwartiel 11 (15 EC)	Reflectie op Wiskundig Onderzoek I (5,0 EC)			
	10,0 EC keuzevakken uit:			
	191520751 Grafentheorie (5,0 EC)		191470241 Warmte en Stofoverdracht (5,0 EC)	
	191550105 Theory of PDE (5,0 EC)		191420131 Fysische Materiaalkunde (5,0 EC)	
	201200135 Random Signals Filtering (5,0EC)		191440201 Technische Optica (5,0 EC)	
	201500372 Mathematical Optimization (5,0EC)		201700176 Computational Physics I (2,5 EC)	
			201700177 Computational Physics II (2,5 EC)	
			191407051 Incl. Instrumentatie Comp. (2,5 EC)	
Kwartiel 12 (20 EC)	201500405 Complexe Functietheorie (3,0 EC)			
	Reflectie op Wiskundig Onderzoek II (2,0 EC)			
	201500316 Bacheloropdracht (15,0 EC)			

3. Een student, die het bovengenoemde TN/AM dubbelprogramma volgt, moet ten aanzien van het Bindend Studieadvies voor de opleiding Technische Natuurkunde voldoen aan de eisen zoals beschreven in art. 9a van deze opleidingsspecifieke bijlage.

## Artikel 6 Overgangsregeling

1. Indien de in artikel 5 en 5b van deze bijlage opgenomen studieprogramma's worden gewijzigd, vervangt de nieuwe onderwijs- en examenregeling de oude; door het opleidingsbestuur wordt een overgangsregeling vastgesteld en bekendgemaakt<sup>1</sup>.
2. In art. 8.4 van het algemeen gedeelte is vastgelegd aan welke voorwaarden een overgangsregeling moet voldoen.
3. Curricula per generatie en bijbehorende overgangsregeling wordt gepubliceerd op de opleidingsite van Technische Natuurkunde: <https://www.utwente.nl/tn/algemene-onderwijsinformatie/curriculum/>

## Artikel 7 Veiligheid

Aan het werken in een laboratorium worden veiligheidseisen gesteld. De student is verplicht kennis te nemen van deze regels<sup>2</sup> en deze na te leven.

## Artikel 8 Volgorde onderwijseenheden

1. De student wordt geacht voor begin van een onderwijseenheid te voldoen aan de voorkennisvereisten van die onderwijseenheid, zoals beschreven in de onderwijscatalogus.
2. De student moet bij aanvang van een minor minimaal 75 EC (5 modules) hebben gehaald uit het B1- en B2-programma van de bacheloropleiding Technische Natuurkunde.
3. De student kan zich pas inschrijven voor het examenonderdeel bacheloropdracht als hij het B1-programma volledig heeft gehaald en als hij van het B2- en B3-programma exclusief de minor minimaal 60 EC heeft behaald.
4. Het opleidingsbestuur kan, na advies van de examencommissie, op verzoek van de student ontheffing verlenen van de in lid 1, lid 2 en lid 3 van dit artikel genoemde voorwaarde, indien strikte toepassing van het aldaar bepaalde een niet te rechtvaardigen vertraging in de studievoortgang met zich mee zou brengen.

## Artikel 9 Studiebegeleiding

1. Bij het begin van de studie wordt aan iedere student een lid van het wetenschappelijk personeel als mentor toegewezen.
2. De mentor houdt zich op de hoogte van de vorderingen van de aan hem toegewezen studenten en geeft hen gevraagd of ongevraagd advies.
3. De mentor houdt in het eerste verblijfsjaar een kennismakingsgesprek, en minimaal eenmaal per jaar een voortgangsgesprek met de studenten.
4. De studieadviseur heeft enerzijds als taak de studenten individueel te adviseren over alle aspecten van hun studie en anderzijds de opleidingsdirecteur in te lichten over de studievoortgang van de studenten.

## Artikel 9a Bindend studieadvies (BSA)

In overeenstemming met art. 6.3 lid 7 van het algemeen gedeelte stelt de opleiding Technische Natuurkunde aanvullende eisen aan het BSA. Aan het definitieve studieadvies als bedoeld in art. 6.3 lid 1 van het algemeen gedeelte kan een afwijzing worden verbonden indien de student:

- a) minder dan 45 EC aan moduleonderdelen uit het B1-programma (zoals vermeld in art. 5) met een voldoende heeft afgerond, of
- b) minder dan 3 van de 4 wiskunde-onderdelen Calculus 1 (4 EC), Calculus 2 (4 EC), Vector calculus (2 EC), en Lineaire Algebra<sup>3</sup> (3 EC) met een voldoende heeft afgerond, of
- c) minder dan 3 van de 4 natuurkunde-onderdelen Dynamica en relativiteit (6 EC), Thermodynamica (4.5EC), Elektriciteit en magnetisme (5EC) en Quantummaterie (5 EC) met een voldoende heeft afgerond.

---

<sup>1</sup> Bij wijziging van het programma van de dubbelstudie zoals vermeld in artikel 5b worden met betreffende studenten individuele afspraken gemaakt.

<sup>2</sup> Zie het 'Arbo- en Milieureglement' op <http://www.utwente.nl/tnw/intra/diensten/amh> en de informatie van de Practicumgroep TNW, te vinden op <http://www.utwente.nl/tnw/slt>

<sup>3</sup> Lineaire structuren 1 voor studenten die de dubbelstudie TN/AM volgen.

## Artikel 9b Kwaliteitszorg

- Het opleidingsbestuur is verantwoordelijk voor het evalueren van de opleiding.
- De uitvoering van de interne kwaliteitszorg van de opleiding Technische Natuurkunde is opgedragen aan de coördinator Kwaliteitszorg van de faculteit TNW cluster Science & Technology en de medewerker Kwaliteitszorg. Zij worden daarbij ondersteund door de Onderwijskwaliteitcommissie TN die bestaat uit studenten. De coördinator Kwaliteitszorg is voorzitter van de Onderwijskwaliteitcommissie TN.
- De volgende instrumenten worden bij de evaluatie gebruikt:
  - a) panelgesprekken met studenten;
  - b) webenquêtes over gehele modules of over module-onderdelen;
  - c) opstellen van overzichten met kwantitatieve resultaten, zoals slaagpercentages;
  - d) docentpanelgesprekken met de moduledocenten en een vertegenwoordiging van het studentenpanel; hierbij worden alle evaluatie-uitkomsten van a t/m c besproken<sup>4</sup>.
- De uitkomsten van de interne kwaliteitszorg worden op de volgende manieren gepubliceerd:
  - a) per module wordt een evaluatierapport opgesteld op basis van het verslag van het in lid 3d genoemde docentpanelgesprek; dit evaluatierapport wordt toegezonden aan de betreffende docenten, de staf van de opleiding en de opleidingscommissie;
  - b) overzichten met kwantitatieve resultaten, samenvattingen van webenquêtes en evaluatierapporten worden geplaatst op de Blackboard organisation Kwaliteitszorg en evaluatie Technische Natuurkunde die voor alle studenten en docenten van de opleiding TN toegankelijk is.
- Voor het evalueren van het curriculum en de gehele opleiding wordt gebruikgemaakt van de volgende interne en externe evaluaties:
  - a) de exit-enquête over de gehele bacheloropleiding;
  - b) de Nationale Studenten Enquête (NSE)<sup>5</sup>;Het opleidingsbestuur geeft een reactie op deze evaluaties, voorzien van een verbeterplan. Evaluatie plus verbeterplan worden voorgelegd aan de opleidingscommissie.
- Het opleidingsbestuur stelt jaarlijks een verbeterplan op, gebaseerd op interne en externe evaluaties en nieuwe inzichten.
  - a) het verbeterplan wordt besproken in de opleidingscommissie;
  - b) het verbeterplan wordt opgenomen in het facultaire jaarplan;
  - c) het facultaire jaarplan wordt door de decaan en de portefeuillehouder onderwijs in het najaarsoverleg besproken met het college van bestuur.

## Artikel 10 Wijziging

Bij wijzigingen van de opleidingsbijlage is het bepaalde in de artikelen 8.3 en 8.4 van het algemeen gedeelte van toepassing.

## Artikel 11 Inwerkingtreding

Deze opleidingsbijlage treedt in werking op 1 september 2017 en treedt in de plaats van de regeling d.d. 15 juli 2016.

**Vastgesteld door de decaan van de Faculteit na advies bij de Opleidingscommissie Technische Natuurkunde te hebben ingewonnen en met instemming van de Faculteitsraad met artikel 5a, 9a en 9b.**

Enschede, 31 augustus 2017.

---

<sup>4</sup> Modules van het B1- en B2-programma worden jaarlijks geëvalueerd.

<sup>5</sup> De NSE wordt jaarlijks afgenomen.

## Appendix 1 Modulebeschrijvingen

In overeenstemming met art. 4.4 lid 2 van het algemeen gedeelte wordt per module een omschrijving<sup>6</sup> gegeven, waarin vermeld worden:

- de module-onderdelen,
- de studielast uitgedrukt in ECs,
- de taal van instructie en toetsing,
- de inhoud en leerdoelen van de module.

### Module 1 Dynamica en Relativiteit (201700156)

<b>Module-onderdelen</b>		<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Dynamica en Relativiteit		5,5	NL
Calculus 1		4,0	EN
Experimenteren 1		1,5	NL
Programmeren en Dataverwerking 1		1,5	NL
Project Sportfysica		2,5	NL
<b>Inhoud</b>	<p>Dynamica en Relativiteit: Wetten van Newton, Translatie, Type krachten, Botsingen en impuls, Rotatie, Krachtmoment, Impulsmoment, Massatraagheidsmoment, Arbeid en energie, Gravitatie, Trillingen, Golven, Twin paradox, Relativistische impuls en energie.</p> <p>Calculus: Systematisch tellen, Verzamelingen, Eigenschappen, Logica, Bewijstechnieken Functies, Integratie, Differentiatie, Eerste en tweede orde differentiaal vergelijkingen, Vectoren en geometrie van ruimte, Complexe getallen.</p> <p>Experimenteren 1: Veiligheid, Introductie Meetapparatuur, Foutenleer, Mechanische en elektrische slinger, journaliseren.</p> <p>Project Sportfysica: Studie in kleine groepjes van de effecten van rotatie, translatie en wrijving op de baan van een sport object. Experimenten en gebruik van theorie.</p>		
<b>Leerdoelen</b>	<p>The focus of this module is (the quantitative description of) the relation between forces and motions. Given the external forces (or torques), the motion of a (three-dimensional) object can be calculated and vice versa.</p> <p>To be able to do this, a spectrum of skills needs to be learned, by participating in (and qualifying for) the following parts: In Dynamics &amp; Relativity the student is trained in recognising the relevant aspects (type of motion, operating forces) and principles (conservation of energy, linear and angular momentum), translation of problem cases into mathematical expressions, solving the problem and critical judgement of the found results. The level of abstract-ness is significantly higher than in high school, especially with Relativity. Acquiring mathematical skills is an indispensable part of leaning Dynamics &amp; Relativity. Working with forces, torques and (angular) accelerations involves operations with vectors. Differentiation and integration of functions are needed to describe time-dependent motions, and integration over 1, 2 or 3 dimensional space is needed for the mass moment of inertia. Differential equations are necessary for understanding oscillations and waves. These operations, supplemented with more general mathematical skills are treated in Calculus 1. To measure forces and motions, general skills for physics experiments are needed. These include the setting up of experiments, working with standard (analytical) equipment, analysis of measurement errors and a systematic documentation of observations. These skills are acquired in Experiments 1. In experimental research (for example related to the understanding, design or optimization of complex motions), these skills are needed as well. The problems encountered are usually more involved, and are addressed in teams. In the Research project Sport physics, skills to be acquired include the searching and critical assessment of literature, translation of the research question into a research plan (including distribution of tasks and timetable) and presenting the results via a written report and a demonstration.</p>		

### Module 2 Thermodynamica (201700163)

<b>Module-onderdelen</b>		<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Thermodynamica		4,5	EN
Calculus 2		4,0	EN
Experimenteren 2		1,5	NL
Programmeren en Dataverwerking 2		1,0	NL
Project		4,0	EN
<b>Inhoud</b>	<p>Thermodynamica In de praktijk van alledag hebben we vaak te maken met systemen die uit extreem veel deeltjes bestaan. Om een keteltje water aan de kook te krijgen moet je toch al snel zo'n <math>10^{25}</math> watermoleculen zover weten te brengen.</p>		

<sup>6</sup> Omschrijvingen zijn zoals bekend waren bij het opstellen van deze opleidingsbijlage (juni 2017). Voor de meest recente versie verwijzen we naar de onderwijscatalogus en/of het toetsschema van de module. Toetsschema's zijn beschikbaar via de opleidingsite van Technische Natuurkunde:  
<https://www.utwente.nl/tu/algemene-onderwijsinformatie/studieprogramma/toetsschemas/>



	<p>Om het gedrag van zo'n veel-deeltjes systeem te beschrijven, kan onmogelijk elk deeltje afzonderlijk beschouwd worden (microscopisch). Vandaar de macroscopische benadering: eigenschappen worden beschouwd van het systeem als geheel, bijvoorbeeld warmtegeleidingsvermogen of warmtecapaciteit. Vaak hangen deze eigenschappen en het gedrag helemaal niet af van de microscopische details van zo'n systeem. Een gas zal bijvoorbeeld altijd expanderen om een groter volume te vullen terwijl het omgekeerde niet spontaan plaats zal vinden. Dit soort gedrag en de principes die daaraan ten grondslag liggen, worden beschreven door de thermodynamica. Belangrijk zijn de eerste en tweede hoofdwet van de thermodynamica. De eerste heeft vooral te maken met energie ('wet van behoud van energie') en de tweede met entropie ('wet van maximale entropie').</p> <p><b>Experimenteren 2</b> Het practicum is een vervolg op Experimenteren 1 uit het eerste kwartiel. Daar is een basis gelegd voor experimentele opdrachten vanuit een onderzoeksvraag. In dit practicum komt de nadruk meer te liggen aan de ontwerpkant. Er wordt gewerkt met een standaard journaal voor een ontwerpopdracht. Aan de hand van specificaties wordt gevraagd een (elektronica) opstelling te realiseren en te testen. Verder is er een verdiepende onderzoeksopdracht die aansluit bij thermodynamica.</p> <p><b>Programmeren en dataverwerking 2</b> Naast het practicum wordt verder gegaan met programmeervaardigheden in Matlab. Deze vaardigheden worden direct toegepast in foutenleer, waar ingegaan wordt op grafische functies.</p> <p><b>Project</b> Het project is gericht op de toepassing van thermodynamica in de praktijk. Studenten werken in groepen van 8 aan een ontwerpopdracht die gedurende de zeer beperkte tijd van de 10 weken in de module uitgevoerd moet worden. Het systematisch ontwerpen speelt hierbij naast de thermodynamica een belangrijke rol. Aan het begin van de module wordt in 2 colleges het systematisch ontwerpen geïntroduceerd. De kennis aangeboden in deze colleges en workshops wordt niet separaat getoetst maar moet worden gebruikt in de uitvoering van het project. Afronding is in de laatste twee weken van de module, middels een verslag, een presentatie-markt, en een mondelinge toelichting</p>
<p><b>Leerdoelen</b></p>	<p><b>Thermodynamica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschillen kunnen aangeven tussen een ideaal gas en een gas in werkelijkheid (dus niet-ideaal); aan kunnen geven wat de fysische achtergrond is achter de termen in de vergelijking van Van der Waals.</li> <li>• Fasendiagrammen van een stof kunnen schetsen in een P-V en in een P-T diagram (vast/vloeistof, damp/gas), met daarin het tripelpunt. Aan kunnen geven wat in dit verband de betekenis is van de kritische grootheden.</li> <li>• Eerste hoofdwet kunnen formuleren, de betekenis van de verschillende termen kunnen aangeven, en ermee kunnen werken. Arbeid en warmte kunnen berekenen in processen met ideale gassen: isotherm, isobaar, isochoor en adiabatisch. De inwendige energie kunnen formuleren in termen van thermische energie. Het begrip vrijheidsgraden uit kunnen leggen en toe kunnen passen op 1-atomig, en 2-atomig gas en op vaste stof (Einstein model).</li> <li>• De begrippen soortelijke warmte en warmtecapaciteit kunnen toelichten, met onderscheid tussen <math>c_P</math> en <math>c_V</math>. Toe kunnen passen op ideaal gas en vaste stof.</li> <li>• Aan kunnen geven wat het begrip enthalpie inhoudt en wat het verschil is met de inwendige energie. De regel van Hess kunnen toepassen: reactie-enthalpie kunnen bepalen vanuit vormingsenthalpiën. Enthalpieverandering kunnen bepalen bij processen met ideale gassen.</li> <li>• Tweede hoofdwet: Begrippen microtoestand, macrotoestand, en multipliciteit kunnen toelichten en deze kunnen bepalen voor systemen bestaand uit relatief beperkt aantal oscillatoren en energie-quanta (Einstein model). Het begrip entropie kunnen toelichten vanuit multipliciteit, en daarmee de tweede hoofdwet kunnen formuleren. Entropieverandering kunnen bepalen in reacties en processen met ideale gassen, en bij verwarming of afkoeling van een zekere warmtecapaciteit.</li> <li>• Kringlopen, die verlopen tussen twee temperatuurreservoirs, kunnen schetsen en toelichten: warmtemotor, koelkast, warmtepomp. In gegeven cycli, al dan niet werkend met ideaal gas, energiestromen kunnen bepalen en van daaruit het rendement van de cyclus. Voor niet-ideale gassen hierbij gebruik kunnen maken van beschikbare tabellen (b.v. stoomtabellen). Relatie kunnen leggen met het Carnot-rendement.</li> <li>• Uit kunnen leggen hoe Joule-Thomson expansie van een gas in zijn werk gaat, en waarom bij sommige gassen afkoeling optreedt en bij andere opwarming (dus begrip van inversie-temperatuur, relatie te leggen met interactie term in Van der Waals vergelijking).</li> <li>• Aan kunnen geven hoe de thermodynamische identiteiten tot stand komen <math>dU</math>, <math>dH</math>, <math>dG</math>, en <math>dF</math>. Maxwell relaties toe kunnen passen.</li> <li>• Veranderingen in Gibbs vrije energie en in Helmholtz vrije energie kunnen bepalen in reacties en van daaruit kunnen bepalen wat de benodigde arbeid is, dan wel de beschikbare arbeid.</li> </ul> <p><b>Calculus 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• work with limits and the definitions of continuity and differentiability and applications</li> <li>• investigate functions in two variables</li> <li>• work with elementary properties of integrals and calculate integrals using different techniques</li> <li>• work with power series and Taylor series</li> </ul> <p><b>Experimenteren 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Een eenvoudig natuurwetenschappelijk probleem kunnen analyseren en vertalen naar onderzoeksvragen en een foutenanalyse kunnen opstellen</li> <li>• Een natuurwetenschappelijk onderzoek systematisch kunnen opzetten en uitvoeren en vastleggen in een (voor)gestructureerd journaal.</li> <li>• Experimentele vaardigheden hebben zoals het gebruik van meetapparatuur, het omgaan met apparatuur documentatie.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>De meetresultaten bij een natuurwetenschappelijk experiment kunnen verwerken en interpreteren, en daar conclusies uit kunnen trekken.</li> <li>Bij een natuurwetenschappelijk experiment een foutenanalyse en foutenverwerking kunnen maken.</li> <li>Meetresultaten kunnen verwerken m.b.v. Matlab.</li> </ul> <p>Project</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Systematisch kunnen ontwerpen: probleemanalyse (eisen en wensen, weegfactoren), deelfuncties en werkwijzen, alternatieve concepten en keuze daaruit,</li> <li>Gekozen concept constructief kunnen uitwerken. Uitvoering van experimenten waarmee ontwerp en uitvoering worden geoptimaliseerd.</li> <li>Kennis verworven in Thermodynamica toe kunnen passen in de praktijk.</li> <li>Kunnen werken in een team: taakverdeling, samenwerking, planning en bijhouden van werk en afspraken in logboek</li> <li>Kunnen presenteren en rapporteren: met name schriftelijk</li> </ul>
--

### Module 3 Elektromagnetisme en Meten (201700164)

<b>Module-onderdelen</b>	<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Elektriciteit en Magnetisme	5,0	NL
Vector Calculus	2,0	NL
Instrumentatie	4,0	NL
Analytisch Programmeren	1,0	NL
Project	3,0	NL
<b>Inhoud</b>	<p>Elektriciteit en Magnetisme</p> <p>Dit module onderdeel behandelt statische elektriciteit en magnetisme en het model waarbinnen die twee begrepen kunnen worden. Door deze verschijnselen te beschrijven in de vorm van lijn, oppervlakte en volume integralen wordt de onderliggende structuur van de natuurkunde en de beschrijving in de vorm van vector velden en scalaire velden mogelijk. Het vak begint met elektrostatica vanaf de wet van Coulomb. Met de wet van Gauss worden de elektrostatica potentiaal en de veld energie afgeleid. Voor de beschrijving van velden in metalen en diëlectrica worden de polarisatie en de diëlektrische verplaatsing toegevoegd. Magnetostatica volgt een soortgelijke route vanaf de wet van Biot-Savart en de Lorentz-kracht wordt met de wet van Ampère de magnetische vector potentiaal en de magnetische veld energie afgeleid. Voor de toevoeging van materialen worden magnetisatie en magnetische inductie toegevoegd. Met de wet van Ohm wordt een eerste verbinding gelegd tussen elektriciteit en magnetisme. Daarna wordt via wederzijdse inductie elektrodynamica geïntroduceerd en worden de vier vergelijkingen van Maxwell afgeleid. De volgende onderwerpen worden behandeld:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>De wet van Coulomb, lijn-, oppervlak-, en volume-lading</li> <li>De structuur van elektrostatica velden, flux en de wet van Gauss</li> <li>De elektrostatica potentiaal</li> <li>Polarisatie van materialen, lineaire dielectrica</li> <li>Gebonden oppervlakte-, en volume-lading, de diëlektrische verplaatsing en randvoorwaarden</li> <li>Capaciteit, energie in velden</li> <li>De wet van Biot-Savart en van Lorentz, lijn-, oppervlak-, en volume-stroom</li> <li>De structuur van het magnetische veld, de wet van Ampère, de vector potentiaal</li> <li>Magnetisatie, Gebonden oppervlakte-, en volume-stroom, de magnetische inductie en randvoorwaarden</li> <li>De wet van Ohm, electromotieve kracht, elektrische circuits, De wet van Faraday, de wet van Lenz</li> <li>Magnetische zelfinductie, energie van het magnetische veld, Maxwells correctie op de wet van Ampère</li> <li>Maxwells vergelijkingen in vacuüm, vlakke golven</li> </ul> <p>Vectorcalculus</p> <p>In dit onderdeel wordt de wiskunde behandeld die essentieel is om veel problemen uit de natuurkunde en techniek te kunnen beschrijven. De centrale thema's in vectorcalculus zijn functies van meervariabelen, integratie over lijnen, vlakken en volumina en veldentheorie. In deze module zal vector calculus sterk verweven worden met het vak Elektriciteit en Magnetisme, dat zeer veel gebruik maakt van de wiskunde die in Vector calculus geleerd wordt. Dit geeft een directe toepassing van de abstracte begrippen en technieken die in vectorcalculus geleerd worden. Andere belangrijke toepassingsgebieden van vectorcalculus zijn bijvoorbeeld (kwantum)mechanica, warmteleer en stromingsleer. De volgende onderwerpen worden behandeld:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analytische meetkunde in drie dimensies, vectoren, vlakken en lijnen, inproduct en uitproduct van vectoren en determinanten.</li> <li>Speciale coördinatenstelsels, zoals pool-, bol- en cilindercoördinaten.</li> <li>Vectorfuncties van één variabele, krommen en vlakken in 3D.</li> <li>Functies van meervariabelen, limiet en continuïteit, partiële afgeleiden, differentiatie van functies van meervariabelen, Taylorreeks en lineaire benadering.</li> <li>Meervoudige integralen, transformatie van variabelen voor meervoudige integralen.</li> <li>Lijn en oppervlakte integralen.</li> <li>Vectorvelden, gradiënt, divergentie, rotatie, integralen van vectorvelden.</li> <li>Stellingen van Green, Gauss en Stokes.</li> <li>Extreme waarden met randcondities.</li> <li>Rijen en oneindige (macht)reeksen, convergentie van reeksen</li> </ul> <p>Project</p> <p>Het project beoogt de moderne en creatieve realisatie/onderbouwning van - en reflectie op experimenten die historisch aanleiding gaven tot het formuleren van kernbegrippen uit Elektriciteit en Magnetisme. De studenten</p>	

	<p>worden ingedeeld in groepen; elke groep kiest 1 experiment uit een voorgestelde lijst. De groep heeft als opdracht:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zich door zelfstudie alvast vertrouwd te maken met het experiment (de bijhorende 'stof' komt veelal pas later in de module aan bod);</li> <li>• Een concrete, moderne en haalbare realisatie van het experiment te plannen;</li> <li>• De geplande realisatie daadwerkelijk praktisch te verwezenlijken;</li> <li>• Het experiment te onderbouwen met expliciete verwijzing naar de andere vakken in de module en, waar mogelijk, kwantitatieve analyse van de resultaten;</li> <li>• Experiment te plaatsen in de historische ontwikkeling van inzichten in elektriciteit en magnetisme en de verhouding tussen wiskundige en fysische aspecten aan te geven;</li> <li>• Het experiment op duidelijke en aantrekkelijke wijze te demonstreren.</li> </ul> <p>Kerndoel van het project is te leren een duidelijk verband te leggen tussen een praktische wetenschappelijke demonstratie en een abstract geformuleerde natuurkundige wet of begrip; en dit verband ook helder te communiceren. Toetsing van het project is op basis van:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. evaluatie van de organisatie, inzet en samenwerking door de coaches;</li> <li>2. schriftelijke verslaggeving met voortgangsbespreking en uitgewerkte onderbouwing / analyse;</li> <li>3. mondelinge presentatie met expliciete verwijzing naar historisch belang;</li> <li>4. demonstratie van het gerealiseerde experiment.</li> </ol> <p>Instrumentatie</p> <p>Instrumentatie laat de studenten op praktische wijze kennis maken met belangrijke onderdelen van de analoge elektronica. In dit inleidend practicum ontwerpen, bouwen en testen de studenten een optische LED-fotodiode zender-ontvanger schakeling waarmee ze een muzieksignaal overbrengen. Het vak geeft concrete invulling aan elementaire concepten met betrekking tot halfgeleiders en junctie-fysica geleerd in Quantum Matter.</p>
<b>Leerdoelen</b>	<p>Elektriciteit en Magnetisme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• weten dat elektrische veldlijnen lopen van plus naar min en alleen beginnen en eindigen op ladingen.</li> <li>• een vorm kunnen kiezen voor een Gauss-dooosje en reproduceren wat de schaalconsequenties zijn van die keuze (<math>1/r</math>, <math>1/r^2</math> etc).</li> <li>• Weten dat de flux wordt bepaald door dat deel van veldlijnen loodrecht op het gekozen oppervlak.</li> <li>• Het veld, de lading en de potentiaal kunnen berekenen in een lege platte condensator.</li> <li>• Het veld, de lading en de potentiaal kunnen berekenen in anders gevormde condensatoren (cilinders en bolvormen)</li> <li>• Het veld kunnen berekenen uit een ladingsverdeling via de wet van Coulomb en een (3D) integratie.</li> <li>• Uit het veld de potentiaal kunnen berekenen.</li> <li>• Kunnen berekenen wat gebeurt met de potentiaal als een condensator wordt ontkoppeld en de platen worden verschoven.</li> <li>• De polarisatie in een materiaal als gevolg van een extern veld in een eenvoudige geometrie kunnen berekenen.</li> <li>• In een geometrie waar het veldlijn patroon voorspelbaar is, dit patroon voorspellen en de bijbehorende Gauss-dooos kiezen.</li> <li>• De displacement <math>D</math> berekenen en daaruit <math>E</math>.</li> <li>• Uit het verschil van <math>D</math> en <math>E</math> de gebonden oppervlakte lading kunnen berekenen.</li> <li>• De energie verandering in een condensator berekenen als er een materiaal wordt ingebracht.</li> <li>• De consequenties van het materiaal voor de ladingsverdeling (gebonden en ongebonden, voor een losgekoppelde en gekoppelde condensator in verschillende geometrie) kunnen berekenen.</li> <li>• De kracht op een diëlektricum (gedeeltelijk) in een condensator kunnen berekenen.</li> <li>• De energie in een (gevulde) condensator kunnen berekenen.</li> <li>• De breking van een elektrische veldlijn op een overgang van materiaal kunnen berekenen (met en zonder vrije oppervlakte lading).</li> <li>• De berekeningsvolgorde (oplossingsstrategie) van een gedeeltelijk gevulde condensator (of condensator met diëlektricum met een spleet) met een vaste spanning begrijpen (dat behelst zowel de relaties tussen <math>D</math> en <math>E</math> als de randvoorwaarden) kunnen toepassen.</li> <li>• Weten dat magnetische veldlijnen rechtsom de stroomrichting lopen en eindigen op zichzelf (er zijn geen monopolen)</li> <li>• een vorm kunnen kiezen voor een "Stokes" lijnintegraal en reproduceren wat de schaalconsequenties zijn van die keuze (<math>1/r</math>, <math>1/r^2</math> etc.) voor het veld.</li> <li>• Weten dat de flux wordt bepaald door dat deel van de veldlijnen die evenwijdig staan op het gekozen lijnelement.</li> <li>• Het veld, de stroom en de vector potentiaal kunnen berekenen in een lege oneindig lange spoel.</li> <li>• Het veld, de lading en de potentiaal kunnen berekenen in ander gevormde spoel (vierkante spoel of toroïde)</li> <li>• Het veld kunnen berekenen uit een stroom verdeling en een (3D) integraal (wet van Biot en Savart)</li> <li>• Uit het veld de vector potentiaal kunnen berekenen.</li> <li>• Kunnen berekenen wat gebeurt met de potentiaal als een spoel wordt uitgerekt.</li> <li>• Uit het verschil van <math>B</math> en <math>H</math> de gebonden oppervlakte stroom kunnen berekenen.</li> <li>• De energie verandering in een spoel berekenen als er een materiaal wordt ingebracht.</li> <li>• De consequenties van het materiaal voor de veldverdeling en stroom verdeling (<math>B</math>, <math>H</math> gebonden en ongebonden, voor een spoel en toroïde) kunnen berekenen.</li> <li>• De kracht op een diëlektricum (gedeeltelijk) in een condensator kunnen berekenen.</li> <li>• De energie in een (gevulde) spoel kunnen berekenen.</li> <li>• De breking van een magnetische veldlijn op een overgang kunnen berekenen</li> <li>• De berekeningsvolgorde (oplossingsstrategie) van een gedeeltelijk gevulde spoel (of spoel met materiaal met een spleet) met een vaste stroom begrijpen (dat behelst zowel de relaties tussen <math>B</math> en <math>H</math> als de randvoorwaarden) kunnen toepassen.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De richting van de Lorentz kracht kunnen berekenen.</li> <li>• De ladingverdeling in een lekkende condensator kunnen berekenen (zowel plat als bol)</li> <li>• De breking van een elektrische veldlijn in een Ohmse geleider kunnen berekenen.</li> <li>• De kracht op een bewegende geleider in een extern magnetisch veld kunnen berekenen.</li> <li>• De inductie tussen twee spoelen kunnen berekenen.</li> <li>• De golfvergelijking kunnen afleiden uit de Maxwell vergelijkingen.</li> <li>• De breking van een golf op een materiaaloppervlak kunnen berekenen.</li> </ul> <p>Vectorcalculus</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• werken met vectoren in <math>R^n</math>, inproduct en uitproduct van vectoren berekenen, vlakken en lijnen in de ruimte beschrijven en problemen definiëren in speciale coördinatenstelsels (pool-, bol- en cilindercoördinaten)</li> <li>• partiële afgeleiden bepalen, functies van meervariabelen differentiëren, inclusief kettingregel, Taylorreeksen berekenen, limieten en continuïteit van functies van meervariabelen berekenen, en extreme waarden van functies met randcondities berekenen.</li> <li>• krommen en oppervlakken in 3D parametriseren, vectorfuncties van 1 variabele definiëren, differentiëren en raaklijnen uitrekenen.</li> <li>• integreren langs een lijn, integreren over een 2D oppervlak, 3D volume en over oppervlaktes in de ruimte.</li> <li>• gebruik maken van de stellingen van Green, Gauss en Stokes om integralen van vectorvelden uit te kunnen rekenen.</li> <li>• verschillende typen reeksen herkennen en onderzoeken of een reeks convergeert is of niet.</li> </ul> <p>Project</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• is de student in staat samen met teamgenoten van verschillende disciplinaire achtergrond een coherent projectdoel te formuleren, te plannen en uit te voeren;</li> <li>• is hij/zij (in teamverband) in staat om door zelfstudie efficiënt nieuwe materie te assimileren en te vertalen naar een concrete toepassing;</li> <li>• kan hij/zij nieuw opgedane kennis praktisch implementeren in een zelfgebouwd experiment dat voldoet aan de opgelegde eisen i.v.m. relevantie, materiaalkeuzes en constructie, helderheid;</li> <li>• kan hij/zij de gekozen implementatie theoretisch onderbouwen met expliciete verwijzing naar de andere vakken in de module en bekomen tussenresultaten analyseren t.b.v. het bijsturen van het projectverloop;</li> <li>• is hij/zij in staat de gedemonstreerde elektromagnetische verschijnselen op coherente en duidelijke wijze te identificeren, toe te lichten en in historische context te plaatsen;</li> <li>• kan hij/zij de realisaties van andere projectgroepen op basis van objectieve criteria appreciëren en een beargumenteerde ranking opstellen.</li> </ul> <p>Instrumentatie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design and realize electronic circuitry with multiple components</li> <li>• Test and evaluate electronic circuitry with multiple components</li> <li>• Set up and carry out scientific research systematically, including experimental skills such as use of equipment, documentation and safe practices.</li> </ul>
--	--

#### Module 4 Quantum en Geometrische Optica (201700165)

<b>Module-onderdelen</b>	<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Quantum Materie	5,0	NL
Lineaire Algebra	3,0	EN
Geometrische Optica	2,5	NL
Engineering Systems	4,5	EN
<b>Inhoud</b>	<p>Quantum Matter The basic elements of quantum mechanics will be introduced using a series of examples from modern physics. The following topics will be addressed: duality of particles, diffraction, photo-electric effect, uncertainty relation of Heisenberg, Schrödinger equation, quantum mechanical particle in a box, atoms and molecules, free electron model, band theory of solids, semiconductors and superconductors. After the more intuitive approach, a start will be made with a more formal description of quantum mechanics.</p> <p>The students carry out a literature survey on a given quantum science topic. They receive instruction on literature analysis using databases and search strategy, and get feedback by an information specialist in their search strategy. All groups make a poster on which the topic of the essay is presented. The posters are presented at a poster session during a 1/2-day workshop.</p> <p>Lineaire algebra In this course the focus is on systems of linear equations (linear systems). The notions of linear combinations and linear (in)dependency of vectors, basis and dimension of a subspace will be introduced, as well as the null space, column space and rank of a matrix. Linear systems are examined where the number of equations equals the number of unknowns. Here the concepts of invertibility and determinant of a square matrix play an important role. Much emphasis is laid on the relations among the various concepts.</p> <p>Geometrische optica In dit onderdeel wordt de theorie rond geometrische optica behandeld en direct toegepast in de bijbehorende experimenten. Kennis van het VWO wordt uitgebreid naar een meer realistische zetting (meerlenzensysteem, lensfouten, golflengte afhankelijkheid brekingsindex). Er wordt gewerkt met een matrixmodel waarbij de kennis opgedaan bij lineaire algebra terugkomt.</p>	

	Bij nauwkeurighedsanalyse en foutenverwerking (met Matlab) wordt gekeken naar niet-lineaire functies, het maken van een fit en de analyse van het residu. Zowel vanuit foutenleer, als vanuit de modelvorming wordt onderzocht of de werkelijkheid met het model voldoende beschreven wordt. Mathematica wordt in de werkcolleges toegepast bij de optica opgaven. In aansluiting van eerdere practica kan de insteek bij de experimenten zowel onderzoekend als ontwerpend zijn.
<b>Leerdoelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• understand how and why Quantum Mechanics evolved, from a historical point of view</li> <li>• recognize and understand the Copenhagen interpretation of Quantum Mechanics</li> <li>• use the Schrodinger equation to solve problems, such as: the particle in a box, tunneling, atoms and chemical binding</li> <li>• recognize and understand the connection between the concepts of Quantum Mechanics and a few examples of applications in modern science and technology</li> <li>• search systematically for information, following a search strategy</li> <li>• make and present a poster on a given topic, and discuss findings</li> <li>• work with systems of linear equations, vectors, matrices, linear transformations and explain the connections between these concepts</li> <li>• work with subspaces of <math>R_n</math> and determinants and connect them with the previous concepts</li> <li>• analyze geometrical optical systems</li> <li>• set up and carry out scientific research systematically, including experimental skills such as use of equipment, documentation and safe practices.</li> </ul>

**Module 5** Signalen, Modellen en Systemen (201700096)

<b>Module-onderdelen</b>		<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Signals		5,5	EN
Models		4,5	EN
Systems		2,0	EN
Project		3,0	EN
<b>Inhoud</b>	<p>This module provides an introduction in the principles of modeling and analyzing dynamic systems. A sufficiently realistic description of a (sub-) system is translated to a model that allows a mathematical description in the form of a set of differential equations. The models are based on basic principles like conservation laws and continuity relations. These principles are introduced using a wide range of examples from physics and chemistry, i.e. from different disciplines like dynamics, electrical networks, fluid and heat transport. The ability to probe system dynamics via signal response is elucidated. The description of signals in both time and frequency domain (Fourier Transform) will be used to elucidate mathematical techniques for solving linear differential equations (Eigenvalues, Laplace Transform). The dynamic behaviour of systems is further analysed by simulations and the adequacy of the model description will be discussed. The description and analysis of stochastic signals will be treated. The theoretical description will be facilitated with a few experiments.</p> <p>The system analysis part starts with an introduction to Labview. After this 4 experimental problems have to be solved. These are in the area of 1) system characterization, 2) feedback dynamics and control systems, 3) Modelling of distributed systems and 4) Digital filtering. In the project students have to solve a problem formulated by themselves in the field of signals, models and systems using (part of) the techniques acquired in this course.</p>		
<b>Leerdoelen</b>	<p>After this course the student is able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe a physical system in mathematical terms: <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Create a description of physical (electrical, thermal, mechanic and physical transport) systems in terms of a set of (ordinary) differential equations, using principles like conservations laws and continuity relations.</li> <li>b) Transform a set of ordinary differential equations to a state model.</li> <li>c) Translate a distributed system into a set of linked lumped systems.</li> <li>d) Understands the concept of linearization and can calculate a linearized set differential equations in a working point.</li> </ol> </li> <li>2. Solve analytically and via simulation tools the response of a set of differential equations and is able to interpret the solutions. <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Understand the properties of basic ordinary differential equations and can analyze the solution in terms of stability, eigenvalues and eigenmodes.</li> <li>b) Is able to analyze system properties via the response of probe signals (pulse, step and trend). Understands the relation between these probe signals and their frequency content.</li> <li>c) Is able to compare the observed behavior of systems and model solutions (in Simulink) and discuss the validity of the derived model.</li> <li>d) Can reproduce the definitions and the accompanying properties of the Laplace transform and use these to evaluate (inverse) Laplace transformations for solving differential equations.</li> </ol> </li> <li>3. Describe continuous and discrete signals in time and frequency domain. <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Understand the concept of projection of a function on an orthonormal basis.</li> <li>b) Understand the relation between time and frequency domain.</li> <li>c) Can describe and use the basic properties of Fourier series and Fourier Transformation.</li> <li>d) Can calculate the inverse Fourier Transform.</li> <li>e) Understands the properties of convolution and Parseval's theorem.</li> <li>f) Understands the difference between the continuous and discrete time and frequency domain. Can apply the Shannon criterium.</li> <li>g) Is able to perform a discrete Fourier transform and understand the influence of a window function.</li> <li>h) Can solve a set of differential equations with a z-transform.</li> </ol> </li> </ol>		

	<p>i) Can use z-transform techniques to develop a digital filter. Understands the difference between analogue and digital filtering.</p> <p>j) Can calculate and use Power Spectral Density, (auto and cross) correlation and convolution.</p> <p>k) Can design digital filters for digital signal processing.</p> <p>4. Stochastic signals.</p> <p>a) Understands the basics of probability theory and the relation to distribution functions</p> <p>b) Can describe stochastic signals with zero order statistical methods (moments: mean, variation, skewness, etc)</p> <p>c) Can describe signals with first order statistical methods using correlation techniques.</p> <p>d) Is able to use auto and cross-correlation techniques and Power Spectral Density.</p> <p>e) Is able to solve ODE's with noise.</p> <p>5. Understands the principles and influence of feedback and system control.</p> <p>a) Can evaluate the change in system dynamics upon implementation of a feedback loop.</p> <p>b) Can analyze intrinsic feedback in system dynamics.</p> <p>c) able to use open loop and close loop response.</p> <p>d) Can apply the Nyquist criterium for system stability.</p> <p>e) Can design a feedback loop and implement a P, PI or PID controller.</p> <p>f) Can implement a simple system control problem in Labview.</p> <p>6. Project and practicals.</p> <p>a) Can understand and develop a small Labview program to control a measurement.</p> <p>b) Can define milestones in a design/research project and defend the choices made to achieve the goals set by the milestones.</p> <p>c) Can report on results from a design/research project and reflect on the quality of this work.</p> <p>d) Is able to search for information, can evaluate the validity and use this information.</p>
--	---

#### Module 6 Golven, Interferentie en Waarschijnlijkheid (201500155)

<b>Module-onderdelen</b>	<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Optica	7,0	EN
Quantummechanica	6,0	EN
Hilbertruimte	2,0	EN
<b>Inhoud</b>	<p>In de fysische Optica wordt licht beschreven als een elektromagnetische golf. Golven kunnen interfereren en de superpositie van lichtgolven kan tot een herverdeling van de licht intensiteit leiden. Veel optische verschijnselen kunnen hieruit verklaard worden. Een aantal optische verschijnselen wordt experimenteel onderzocht in een aantal kleine en grotere experimenten. Over het afsluitende experiment moet een artikel geschreven worden.</p> <p>In de Kwantummechanica beschrijft de golf functie als oplossing van de Schrödingervergelijking de waarschijnlijkheid om bepaalde waarden voor meetbare grootheden te vinden. Ook de kwantummechanische golf functie kan interfereren en dit heeft, in analogie met de optische golven, een herverdeling van waarschijnlijkheid tot gevolg.</p> <p>De module bevat ook een wiskunde onderdeel waarin de mathematische kennis wordt aangereikt welke nodig is voor de overige onderdelen van de module.</p> <p>De volgende concepten komen aan bod:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Optica principe van Huygens en Fermat, golfkarakter van licht (superpositie, coherentie, Fresnel vergelijkingen), polarisatie, Fresnel en Fraunhofer diffractie, tralies, interferentie van licht, interferometers.</li> <li>• Kwantummechanica Schrödingervergelijking en de golf functie, operators, stationaire toestanden, lineaire algebra van kwantumtoestanden, interpretatie en onzekerheidsprincipe, gebonden en vrij deeltje, harmonische oscillator, draaiimpuls, spin en spinkoppeling, kwantummechanica in 3 dimensies, scheiden van variabelen, waterstofachtige atomen, identieke deeltjes, onafhankelijke deeltjes benadering, het periodiek systeem, het variatie principe en gedegenereerde en niet-gedegenereerde tijdsafhankelijke verstoringstheorie.</li> <li>• Hilbertruimte Lineaire subruimte van vectoren, functies en matrices, basis, in-product, eigenwaarden en eigenvectoren (eigenfuncties), orthogonaliteit en volledigheid, lengte van een vector en hoek tussen vectoren, systeem van lineaire differentiaal of algebraïsche vergelijkingen, matrices en lineaire operatoren, Hilbert ruimte, spectrale decompositie, orthogonale en orthonormale matrices.</li> </ul>	
<b>Leerdoelen</b>	<p>Aan het eind van deze module moet de student bekend zijn met de fysische concepten zoals beschreven bij de inhoud van de module en in staat zijn om deze concepten uit te leggen aan vakgenoten en toe te passen in het oplossen van relevante problemen. Tevens moet de student in staat zijn om de concepten toe te passen op het ontwerp van experimenten en het verklaren van de verkregen resultaten. Aan het eind van de module moet een student ook bekend zijn met hoe een artikel te schrijven.</p>	

#### Module 7 Fysica van Gecondenseerde Materie (201600067)

<b>Module-onderdelen</b>	<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Inleiding Vastestoffysica	7,0	NL
Statistische Fysica	6,0	NL
Partiële Differentiaalvergelijkingen	2,0	EN

<b>Inhoud</b>	In de klassieke vastestoffysica worden de eigenschappen van bulk materialen beschreven uitgaande van periodieke rangschikking van de elementaire bouwstenen, de individuele atomen in het kristal. De laatste jaren is gebleken dat veel moderne onderzoeksgebieden, waaronder bijvoorbeeld nanotechnology, zonne-energie en spintronica hun oorsprong vinden in de vastestoffysica. Een aantal disciplines komt samen in dit multidisciplinaire vakgebied, waaronder de quantummechanica, statistische fysica, klassieke mechanica en electrodymanica. Binnen de beperkte tijd in deze module zullen we een aantal aspecten behandelen en daarmee het werkveld van de vastestoffysica en daaraan gekoppelde vakken verkennen; de nadruk ligt bij Statistische Fysica. Het onderwijs in deze module bestaat uit hoorcolleges, werkcolleges en practica.
<b>Leerdoelen</b>	After this module, the student can: <ul style="list-style-type: none"> <li>• [SSP] Identify the structure of a crystal, its reciprocal lattice and calculate a diffraction pattern.</li> <li>• [SSP] Describe the concept of phonon dispersion relations and determine the thermal properties of a solid (Debye, Einstein, thermal expansion).</li> <li>• [SSP] Describe the behavior of electrons in a periodic potential, and explain the concept of band structures.</li> <li>• [SSP] Quantitatively describe the conductivity of a semiconductor in terms of charge carriers, and explain the working principle of simple semiconductor devices (p-n junction, MOSFET).</li> <li>• [StaPhy] Apply the Gibbs sum formalism to systems in diffusive equilibrium.</li> <li>• [StaPhy] Understand the properties of degenerate fermion gases at the level of the Fermi-Dirac distribution.</li> <li>• [StaPhy] Understand the properties of photons and phonons at the level of the Planck distribution.</li> <li>• [StaPhy] Understand the nature of a Bose-Einstein condensate.</li> <li>• [PDE] Identify linear second-order partial differential equations.</li> <li>• [PDE] Apply various analytical approaches to solve hyperbolic, parabolic and elliptical partial differential equations.</li> </ul>

### Module 8 Continuüm Dynamica (201600068)

<b>Module-onderdelen</b>		<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Vloeistoffysica		7,0	EN
Elektrodynamica		6,0	EN
Numerieke methoden voor PDV		2,0	EN
<b>Inhoud</b>	In Fluid Physics the statics and (in particular!) dynamics of flowing media like gases and liquids are described using the density, flow and temperature fields. As such, Fluid Physics is a classical field theory and has close connections to those physics subjects that constitute the foundation of these field theories, like classical mechanics, and other classical field theories, electrodymanics. Mathematically, it is connected directly to partial differential equations, with emphasis on the numerical solution thereof, given the importance of numerical simulations to the field. These are the subjects that will be covered in Module 8.		
<b>Leerdoelen</b>	Acquiring knowledge and insight in classical continuum theories, more specifically in fluid physics and electrodymanics, in solving partial differential equations that describe them, and applying this knowledge and insight in solving typical problems that are encountered in these fields, both from a theoretical and a practical perspective. Refer to 'Toetschema en Vakinformatie TN Module 8' for further details.		

### Module 11 Oriëntatie module

<b>Module-onderdelen</b>		<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Voorbereiding Bacheloropdracht		5,0	NL
Keuzevakken (onderdelen van 5,0EC of 2,5EC)		10,0	NL/EN
<b>Inhoud</b>	<p>In deze module bieden we studenten de gelegenheid om zich (verder) te oriënteren op de mogelijkheden na afronding van de bacheloropleiding Technische Natuurkunde.</p> <p>Voor informatie aangaande inhoud en leerdoelen van de keuzevakken (vaak betreft het bestaande mastervakken) verwijzen we naar de beschrijving van die individuele vakken.</p> <p>In het onderdeel 'Voorbereiding bacheloropdracht' gaan we middels workshop-achtige bijeenkomsten en opdrachten dieper in op een aantal onderwerpen gerelateerd aan de bacheloropdracht en aspecten van de loopbaan na afstuderen. We zullen werken aan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhoudelijke voorbereiding op de bacheloropdracht</li> <li>• Communicatieve vaardigheden</li> <li>• Beroep- en loopbaanoriëntatie</li> <li>• Professionele houding</li> </ul>		
<b>Leerdoelen</b>	<p>De leerdoelen van deze oriënterende module, en ook het onderdeel 'Voorbereiding bacheloropdracht' in de kunnen worden samengevat als:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Prepare and explore options after finishing bachelor programme</li> <li>Samenvatten, herhalen, uitbreiden en toepassen van vaardigheden die gedurende de hele opleiding TN aan bod zijn gekomen</li> <li>Ontwikkelen van een professionele houding in een onderzoeksomgeving</li> </ol> <p>Het voornaamste doel van de keuzevakken is om een overzicht en inleiding te geven in de hoofdrichtingen van het onderzoek binnen de master Applied Physics bij de Universiteit Twente. Ook bieden de keuzevakken gelegenheid om kennis te maken met verschillende werkvormen en toepassing van de Technische Natuurkunde.</p>		

**Module 12** Bacheloropdracht (201500316)

<b>Module-onderdelen</b>		<b>EC</b>	<b>Taal</b>
Algemene aspecten		7,5	NL/EN
Fysische aspecten		7,5	NL/EN
<b>Inhoud</b>	<p>De bacheloropdracht vormt de afronding van de bacheloropleiding Technische Natuurkunde. Ze biedt de student de gelegenheid om kennis en vaardigheden, die in de bachelorfase van de opleiding zijn verworven op het gebied van experimenteren, gebruik van theoretische modellen, data-analyse en mondelinge en schriftelijke presentatie, toe te passen in een onderzoeksproject van enige omvang.</p> <p>De student zoekt zelf contact met een onderzoeksgroep en stelt in onderling overleg een opdrachtbeschrijving op. Vóór de aanvang van de bacheloropdracht moet de opdrachtschrijving inclusief de beoogde beoordelingscommissie (standaard formulier) voorgelegd worden aan de opleiding; toetsing van de beoordelingscommissie wordt gedaan door de secretaris van de examencommissie.</p> <p>Uitvoering vindt in principe plaats gedurende 10 weken fulltime (of in deeltijd, waarbij de opdracht langer duurt) bij de betrokken leerstoel onder begeleiding van een dagelijks begeleider (tutor) en een docent. De opdracht begint met een kennismaking en literatuurstudie. Vervolgens stelt de student aan de hand van de onderzoeksvraagstelling een onderzoeksplan op inclusief een planning, waarna onder begeleiding op een doelgerichte wijze wetenschappelijk onderzoek wordt verricht.</p> <p>Het onderzoek heeft een zowel in tijdsbesteding als in vraagstelling een wel-afgebakende omvang en complexiteitsniveau en maakt meestal deel uit van een omkaderend wetenschappelijk onderzoek van de betreffende onderzoeksgroep.</p> <p>Tussentijds bespreekt de student de voortgang met begeleider en docent en past indien nodig de planning aan.</p> <p>De opdracht wordt afgesloten met een verslag en een mondelinge presentatie, voor beide met als referentieniveau collega B3-studenten TN. De beoordeling wordt gedaan door de tutor, begeleidend docent en referentie-docent. Beide docenten moeten onafhankelijk en gepromoveerd zijn, en komen uit twee verschillende groepen behorende tot de discipline Applied Physics; voor de tutor/dagelijks begeleider geldt deze eis niet.</p>		
<b>Leerdoelen</b>	<p>Algemene aspecten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Een onderzoek doelmatig in te richten en te plannen, van probleemanalyse tot en met terugkoppeling.</li> <li>• Voldoende zelfstandigheid te tonen bij de voorbereiding en uitvoering van een onderzoek en een wetenschappelijk kritische werkhouding aan te nemen.</li> <li>• Professioneel te functioneren: duidelijk te communiceren met medestudenten en begeleiders, samen te werken in de onderzoeksgroep en te communiceren met anderen van binnen en buiten de Technische Natuurkunde gemeenschap.</li> <li>• Adequaat schriftelijk over het onderzoek te rapporteren, middels een inhoudelijk gestructureerd, duidelijk geschreven verslag.</li> <li>• Adequaat mondeling het onderzoek te presenteren middels een inhoudelijk gestructureerd en helder betoog en erover te discussiëren ten overstaan van medestudenten en vakgenoten.</li> <li>• In de oordeelsvorming omtrent de resultaten aandacht te schenken aan de sociaalmaatschappelijke context, de eventuele veiligheids- en milieu-implicaties en de wetenschappelijke en/of ethische aspecten.</li> </ul> <p>Fysische aspecten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wetenschappelijke informatie t.b.v. onderzoek te verwerven, te selecteren en te verwerken waarbij adequaat gebruik gemaakt wordt van de begrippen en theorieën uit het relevante vakgebied die aansluiten bij de laatste ontwikkelingen.</li> <li>• Technisch Natuurkundig onderzoek te verrichten in overeenstemming met het eindniveau van de bachelor opleiding. Hij/zij beschikt over de kennis en de vaardigheden om op een systematische wijze wetenschappelijk onderzoek te verrichten, bestaande uit: probleemanalyse, formulering onderzoeksdoel, theoretische en experimentele aanpak, uitvoering en resultaatanalyse, waarbij het toepassen van wiskundige hulpmiddelen (inclusief computer) worden toegepast. Hij/zij maakt beargumenteerde keuzes in de uitvoering van het onderzoek</li> </ul>		