

Högskoleverkets kvalitetsutvärderingar 2011 – 2014

Självvärdering

Lärosäte: Lund universitet	Utvärderingsärende reg.nr 643- 01844-12
Område för yrkesexamen: Teknisk nanovetenskap	Civilingenjörsexamen

Inledning – Allmänt om utbildningen

Organisation och ledning

Civilingenjörsutbildningen i Teknisk nanovetenskap ges av Lund Tekniska Högskola (LTH) som utgör den tekniska fakulteten inom Lunds universitet. Utbildningsprogrammet är inrättat av Universitetsstyrelsen, men LTH har det fulla ansvaret för utbildningens genomförande. Internt inom LTH är ansvaret för planering, beslut om utbildnings- och kursplaner samt individärenden fördelat mellan fakultetsnivån och LTH:s fem utbildningsnämnder. Varje utbildningsnämnd ansvarar i sin tur för ett antal utbildningsprogram inom närliggande teknikområden. Varje program har programledningar med programledare som utses av LTH:s dekanus. Programledningarna har huvudsakligen beredande och uppföljande uppgifter, men fattar även vissa beslut delegation, exempelvis individbeslut. Kurserna genomförs av institutionerna som har fullt ansvar för examinationen utifrån de kursplaner som fastställts av ansvarig utbildningsnämnd. LTH har således en tämligen renodlad matrisorganisation.

Utbildningsplanen finns på:

http://www.student.lth.se/fileadmin/lth/utbildning/studiehandboken/12_13/N_Uplan_12-13.pdf

Läro- och timplanen för programmet som helhet finns på:

http://kurser.lth.se/lot/?lasar=12_13&val=program&prog=N

Enskilda kursplaner, med sexställiga kurskoder XXXXXX, finns på:

<http://kurser.lth.se/kursplaner/arets/XXXXXX.html>

Utbildningens syfte

Nanoteknologin är ett nytt och expansivt internationellt forskningsfält och ett nyckelområde för den svenska industrins framtid. För nanoindustrins utveckling behövs ingenjörer som behärskar nanovetenskapens grunder och har hög kompetens inom dess forskningsintensiva

tillämpningsområden. Utbildningen i teknisk nanovetenskap syftar till att möta behovet av civilingenjörer som

- överbryggar gränserna mellan traditionella kunskapsområden som medicin, biologi, fysik, kemi, materialvetenskap och elektronik
- deltar i och leder utvecklingen av nanovetenskapen och nanotekniken, och är entreprenörer inom nanoindustrin

Programmet är unikt i Sverige och präglas av tvärvetenskaplighet och närhet till Lunds universitets starka forskningsmiljöer.

Utbildningens huvudsakliga utformning

Utbildningen är indelad i ett grundblock och i ett fördjupande block.

Grundblocket läses under utbildningens tre första år och innefattar obligatoriska kurser om 180 högskolepoäng. Grundblocket syftar bland annat till att säkerställa brett kunnande inom det valda teknikområdet, inbegripet kunskaper i matematik och naturvetenskap.

Det fördjupande blocket läses från och med utbildningens fjärde år och innefattar specialisering, valfria kurser samt ett examensarbete. Syftet med specialiseringen är att studenten ska få väsentligt fördjupade kunskaper inom en del av programmets teknikområde. Inom programmet erbjuds fyra specialiseringar. Studenten ska välja kurser om minst 45 högskolepoäng ur en specialisering, varav minst 30 högskolepoäng ska vara på avancerad nivå. De specifika mål som uppfylls varierar från student till student.

De valfria kurserna omfattar dels valfria kurser inom programmet, dels fritt valda kurser utanför programmet. Valfria kurser inom programmet ska ge studenten den ytterligare breddning och/eller fördjupning som studenten själv önskar inom teknikområdet. Valfria kurser inom programmet framgår av läro- och timplanen. Studenten har rätt att som valfria kurser ta med fritt valda kurser, oberoende av program och högskola, om 15 högskolepoäng.

Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och är på avancerad nivå. Det utförs i slutet av utbildningen och följer en kursplan som är gemensam för samtliga civilingenjörsutbildningar vid LTH.

Fördjupning inom teknikområdet – specialiseringar

På civilingenjörsutbildningen i teknisk nanovetenskap finns följande specialiseringar:

- Högfrekvens- och nanoelektronik
- Material
- Nanobiomedicin
- Nanofysik

Kurserna inom respektive specialisering listas i läro- och timplanen under särskild rubrik.

Den LTH-gemensamma avslutningen Technology Management, TM, kan ingå i civilingenjörsutbildningen i teknisk nanovetenskap i enlighet med de krav som finns för avslutningen. TM är ett tvåårigt avslutande program vid LTH till vilket studenter från alla civilingenjörs-

utbildningar kan söka. TM är ett samarbete mellan LTH och Ekonomihögskolan vid Lunds Universitet (EHL). Se vidare separat utbildningsplan för Technology Management¹.

Progression

Samtliga kurser på LTH är nivåindelade. Kurserna på grundnivå delas in i två undernivåer, grundnivå (G1) och grundnivå, fördjupad (G2). G2-nivån är en progression i förhållande till G1-nivå. Eftersom LTH har valt att definiera examensordningens krav på fördjupning i termer av kurser på avancerad nivå (A) ställs höga krav för att en kurs ska kunna klassas som A. Kurser på A-nivå förutsätter normalt minst 150 hp studier inom utbildningsprogrammet, och examinationen ska innehålla element av konceptualisering och problemlösning utöver vad som direkt behandlas i undervisningen. Nedan anges i den vänstra kolumnen minimikraven för en civilingenjörsutbildning vid LTH. Den högra visar det faktiska innehållet i utbildningen i Teknisk nanovetenskap.

Kurskrav

Utbildningen innehåller:

- Ett grundblock med obligatoriska kurser om 180 hp varav minst 60 är på G2- eller A-nivå
- Minst 27 hp i matematik (ej inräknat Matematisk Statistik)
- Minst 6 hp i hållbar utveckling
- Minst 6 hp i ekonomi/entreprenörskap
- En specialisering om minst 45 hp, varav minst 30 är på A-nivå
- Ett examensarbete om 30 hp på A-nivå
- Totalt 300 hp varav minst 75 hp är på A-nivå.

Utbildningen i **Teknisk Nanovetenskap** innehåller:

- Ett grundblock med obligatoriska kurser om 180 hp varav 97,5 är på G2- eller A-nivå
- Minst 27 hp i matematik (ej inräknat Matematisk Statistik)
- Minst 7,5 hp i hållbar utveckling
- Minst 15 hp i ekonomi/entreprenörskap
- En specialisering om minst 45 hp, varav minst 30 är på A-nivå
- Ett examensarbete om 30 hp på A-nivå
- Totalt 300 hp varav minst 75 hp är på A-nivå.

En betydande del av de examinerade har tillgodoräknade utbytesstudier. LTH gör inga som helst undantag från kurskraven för utresande utbytesstudenter. I samband med definitivt beslut om tillgodoräknande sker en slutlig nivåklassificering av kurser lästa utomlands, liksom eventuell inplacering i studentens specialisering.

Kvalitetssäkring – CEQ-systemet

LTH har sedan 2003 ett enhetligt kursutvärderingssystem som omfattar alla obligatoriska kurser och en stor del av de valfria kurserna. Systemet baserar sig på enkäten Course Experience Questionnaire, CEQ och kallas CEQ-systemet. I systemet ingår en pedagogisk kvalitetssäkring av själva undervisningen, men också kartläggning av hur studenterna tränas i olika generella färdigheter. CEQ-systemet har bidragit till att säkerställa att kurserna inom

¹ http://www.student.lth.se/fileadmin/lth/utbildning/studiehandboken/12_13/TM_Uplan_12-13.pdf

programmet är relevanta för utbildningen som helhet, och för att styra undervisningen mot ett djupinriktat lärande.

CEQ-systemet genererar mycket information både på kursnivå och på programnivå. LTH anser att CEQ-data har hög trovärdighet eftersom systemet har stark förankring i högskolepedagogisk forskning, samt för att studenter, lärare och programansvariga har erfarenhet av att tolka och använda CEQ-data sedan systemet infördes 2003.

Mer information, inklusive genomförda kursutvärderingar, finns på: <http://www.ceq.lth.se/>

Sammanfattande schematisk bild över utbildningen

ÅRSKURS 1	ÅRSKURS 2	ÅRSKURS 3	ÅRSKURS 4 & 5	
Introduktion till nanovetenskapen	Cellens biologi	Analys på nanoskalan Komponentteknologi Projekt nanoingenjör	Specialiseringar inom: Nanobiomedicin Material Nanofysik Höghastighets- och nanoelektronik	
Termodynamik, våglära, optik och atomfysik	Kvantfenomen och nanoteknologi			
Allmän och oorganisk kemi Organisk kemi	Människans fysiologi			
Programmering	Elektrotekniska material Funktionella material	Reglerteknik Sensorer	Valfria kurser	Examensarbete
Endimensionell analys	Ellära och elektronik	Hållbar utveckling med nanoperspektiv		
	Flerdimensionell analys Tillämpad matematik	Matematisk statistik		

Del 1

Examensmål 1

För civilingenjörsexamen skall studenten visa kunskap om det valda teknikområdets vetenskapliga grund och beprövade erfarenhet samt insikt i aktuellt forsknings- och utvecklingsarbete.

1.1 Generell information avseende Teknisk nanovetenskap relevant för examensmål 1

Teknikområdets vetenskapliga grund och beprövade erfarenhet avser för utbildningen i Teknisk nanovetenskap, utöver den matematik och naturvetenskap som kan hänföras till examensmål 2, materialvetenskap, karaktäriseringsmetoder på nanoskalan, nanoteknik samt mätteknik och design på nanoskalan.

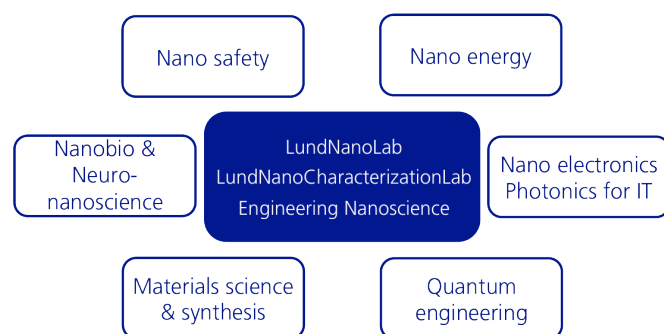
En civilingenjör i teknisk nanovetenskap ska vara rustad för forskning och utveckling såväl inom akademi som inom industri, och utbildningen bygger därför på utvecklande av ett naturvetenskapligt och tekniskt kunnande i en forskningsnära miljö. Nanovetenskapen i sig karaktäriseras av interdisciplinärhet och omfattar såväl den fundamentala naturvetenskapen i form av fysik, kemi och biologi, som vetenskapsområdena medicin, elektronik och materialvetenskap. Utbildningens obligatorium sträcker sig därför över alla dessa vetenskapsgrenar och genomsyras av ett anläggande av tvärvetenskapliga perspektiv.

Teknikområdet utgörs i huvudsak av tillämpningar som ligger nära ovan nämnda vetenskapsområden. Detta framgår inte minst av de särskilda mål, se nedan, som gäller för civilingenjörsexamen i Teknisk nanovetenskap:

”Efter genomgången utbildning på programmet skall studenten

- ur ett atomärt och molekylärt perspektiv se kopplingar mellan fysik, medicin, kemi, biologi, elektronik och materialvetenskap
- kunna designa, utveckla och tillämpa material och komponenter på nanoskalan
- visa fördjupade kunskaper i något av nanovetenskapens tillämpningsområden.”

De två första målen har varit vägledande för den övergripande strukturen på och sammansättningen av obligatoriska kurskedjor inom programmets första tre år. Det tredje målet



Figur 1. Nanometerkonsortiet vid Lunds Universitet, nmC@LU. Utbildningen ”Engineering Nanoscience” en central och betydelsefull del av nanometerkonsortiet.

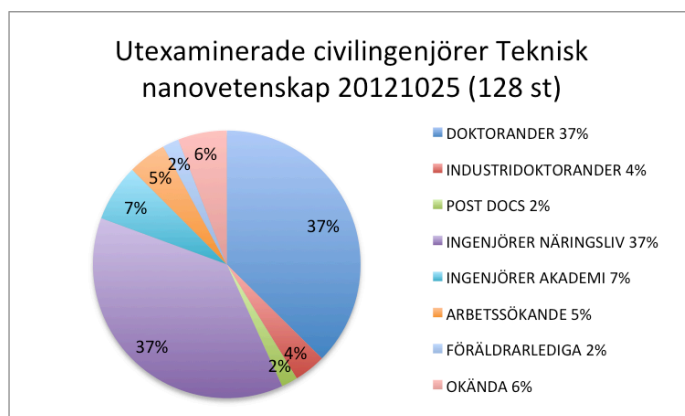
reflekteras i de fyra specialiseringar som utgör år 4 och 5. Specialiseringarna syftar till att ge studenten ”väsentligt fördjupade kunskaper inom en del av programmets teknikområde”.

Samtliga specialiseringar är sprungna ur de starka forskningsmiljöer som sedan 1988 utgör Nanometerkonsortiet vid Lunds Universitet, nmC@LU (se Figur 1).

De fyra specialiseringarna är ”Nanofysik”, ”Material”, ”Höghastighets- och nanoelektronik” samt ”Nanobiomedicin”. Inom nanometerkonsortiet är idag närmare 200 undervisande och forskande lärare engagerade, något som borgar för kvalitet och uthållighet i utbildningen. Att forskningsverksamhet inom ”nanovetenskapens tillämpningsområden” bedrivs vid åtskilliga av Lunds universitets institutioner – inte bara inom nmC@LU – syns också i de många examensarbetsämnen som finns på programmet, se vidare under Del 3.

Etableringen av det nationella laboratoriet MAX IV och den europeiska anläggningen ESS är faktorer som ytterligare kommer att stärka materialforskningen vid Lunds Universitet och inom nanometerkonsortiet. Civilingenjörer från programmet i Teknisk Nanovetenskap väntas huvudsakligen bidra till och dra nytta av dessa anläggningar genom att ingå i ”brukarleden”. Tre nyskapade kurser² på detta tema ingår i programmets kursutbud.

Att utbildningen är präglad av de starka forskningsmiljöerna vid Lunds Universitet framgår



Figur 2. Var arbetar en civilingenjör i Teknisk Nanovetenskap?

också av följande statistik. Av 128 examinerade civilingenjörer i teknisk nanovetenskap har idag 53 valt att bli doktorander. Nio (9) arbetar som ingenjörer i akademisk miljö och tre (3) är postdoktorer. Av de 37 % som arbetar som ingenjörer i näringslivet återfinns idag drygt hälften i storföretag medan resten arbetar i mindre företag (< 50 anställda). Se vidare Figur 2.

1.2 Exempel på kursmål, kursmoment och examinationsuppgifter avseende examensmål 1

1.2.1 FFFA01 – Nanovetenskap och nanoteknik – en introduktion. Årskurs 1

Kursen löper över termin 1 och syftar till att ”måla upp kartan” över nanotekniken/nanovetenskapen. Studenten får under kursen välja ett område att fördjupa sig i för att sedan under flera veckor, i nära samverkan med den för intresseinriktningen mest relevanta forskningsmiljön, bedriva litteraturstudier och skaffa sig forskningsinformation. Projektarbetet, som utförs i grupparbetsform, ska resultera i en skriftlig rapport, en poster och en muntlig redovisning, vilka presenteras vid det vetenskapliga symposium som avslutar kursen. Delar av kursen är beskriven under 5.2.1 och 6.2.1 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 1 är bl.a.

- ha en överblick över nanovetenskap och nanoteknik
- förstå kopplingar mellan olika ämnesområden, t.ex. fysik och medicin

² EXT90 Produktion av fotoner och neutroner för vetenskap, EXTN85 Spridningsmetoder och EXTN90 Experimentella metoder och instrumentering för synkrotronljusforskning.

Centrala kursmoment som bidrar till kurs- och examensmål är förutom de föreläsningar som hålls av ledande forskare, och de projekt som genomförs enligt ovan, de obligatoriska besök i forskningsmiljöer som studenterna gör. Dessa besök följs upp genom att studenterna skriver individuella (obligatoriska) rapporter om besöken. Ett citat ur en rapport [1]³:

”En sak som intresserade mig mycket var hur man hade lyckats lösa problemet med att de otroligt tunna och mjuka elektroderna lätt gick sönder när man skulle operera in dem i hjärnan. Man täckte dem helt enkelt med en sorts gelatin, som gjorde trådarna mycket stelare. Gelatinet bröts sedan ner i hjärnan. Att kunna komma på denna sortens enkla men mycket smarta lösningar tycker jag är vad som karakteriserar en bra forskare.”

Under kursen genomförs också två industribesök. Ett vid ett större företag (typ TetraPak) och ett vid ett mindre, forskningsnära företag (typ Obducat, glo, SolVoltaics etc.)

1.2.2 FFFF01 – Elektroniska material. Årskurs 2

Kursen är den första i en rad av kurser med material som tema. Delar av kursen är beskriven under 5.2.3 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 1 är bl.a.

- kunna beskriva och med enkla modeller förklara fasta materials egenskaper, särskilt med avseende på elektriska tillämpningar.
- kunna förklara enklare elektroniska komponenters funktion.

Centrala kursmoment är kursens syftes av begrepp från kurser i termodynamik, ellära, kvantmekanik och atomfysik för att beskriva fasta materials elektronstruktur. Andra centrala moment är elektroniska och optoelektroniska komponenter såsom pn-övergången, lysdioden och fälteffekttransistorer.

Kursen examineras med laborationer, projekt samt en skriftlig tentamen som högst ger betyg 3. För högre betyg krävs individuell muntlig tentamen. Exempel på en konceptuell examinationsuppgift kopplad till examensmålen ovan:

”I moderna lysdioder har man ofta kvantbrunnar i utarmningsområdet. Dessa kvantbrunnar är tunna skikt i vilka elektroner och hål rör sig enbart i två dimensioner. Precis som för ett tredimensionellt system kan en sådan lysdiods emissionsspektrum (intensitet som funktion av fotonenergi) beskrivas som produkten av Fermifördelningen och tillståndstätheten.

Skissa hur du tror att emissionsspektret från brunnarna ser ut givet att Fermi-nivån ligger långt från bandkanterna. Markera bandgapsenergin i din skiss. Hur ändras skissen när vi höjer temperaturen?”

³ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

1.2.3 KOO095 – Funktionella material. Årskurs 2

Kursen följer direkt på Elektroniska material och fortsätter vidare in i materialvetenskapen genom att ge studenterna kunskaper om funktionella material, dvs. material eller kombinationer av material som designats för en viss funktion. Delar av kursen är beskriven under 4.2.1 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 1 är bl.a.

- kunna beskriva framställning och egenskaper hos metallegeringar, keramer och polymerer av teknisk betydelse.
- kunna förklara hur mikro- och nanostrukturen på olika nivåer påverkar egenskaperna hos olika material.

Centrala kursmoment är bl.a. framställningsmetoder och återvinning, kombinationer av olika material i högteknologiska produkter samt hur man förändrar ytegenskaper med avseende på polaritet och hydrofobicitet hos material genom design på nanoskalan.

Kursen examineras med inlämningsuppgifter och skriftlig tentamen. Exempel på examinationsuppgifter ur den skriftliga tentamen – den första av mer konceptuell karaktär, den andra direkt teknikrelaterad:

1. a) Vad innebär begreppet "Bottom-up" inom nanoteknologin?
b) Beskriv några materialegenskaper som uppvisar kvantiseringseffekter, dvs. som förändras drastiskt när man kommer ner i storlek till nanoskalan.
2. Vanligt plant fönsterglas innehåller tre olika huvudkomponenter (oxider).
a) Vilka oxider rör det sig om?
b) Hur påverkar var och en av de tre oxiderna glasets egenskaper?
c) Hur tillverkas planglas?

1.2.4 KOO105 – Analys på nanoskalan. Årskurs 3

Kursen följer på materialkurser, bl.a. de ovan nämnda. Kursen syftar till att studenten ska erhålla en aktiv och bred kunskapsbas gällande metoder för elementanalys på nanometer-skalan. Delar av kursen är beskriven under 4.2.2 och 6.2.5 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 1 är bl.a.

- förstå elastisk och inelastisk spridning av elektroner i fasta material.
- förstå principer bakom avbildning med mikroskopmetoder
- förstå elektron- och ljusinducerade fenomen på ytor och vad dessa leder till i form av emission och reflektion.

Centrala kursmoment är föreläsningar och besök i state-of-the-art-forskningslaboratorier; nCHREM (national Center for High Resolution Electron Microscopy) och den nationella synkrotronanläggningen MAXlab.

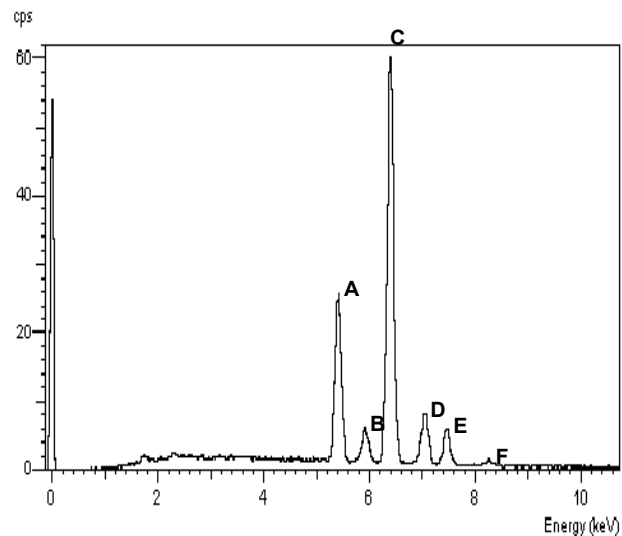
Kursen examineras med skriftligt tentamen. Då kursen är obligatorisk för Masterstudenter på det internationella masterprogrammet i nanovetenskap sker undervisningen, och således också examinationen, på engelska. Nedan följer två exempel på examinationsuppgifter:

Managing director Roine Hallonberg has (finally) succeeded in acquiring the following spectrum by SEM/ EDS of a newly synthesised compound at Lund Nano Labs. However, he is extremely busy with administrative tasks and will not have time to neither identify the material nor to quantify the results. Please help him!

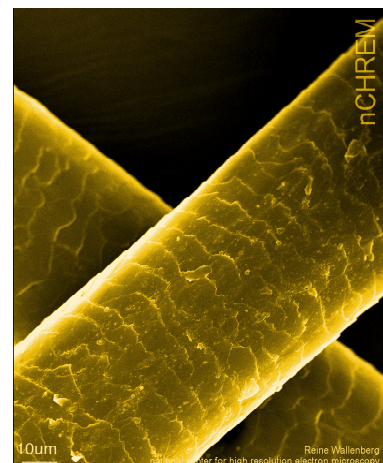
1. a) Identify the labelled peaks. (4p)
- b) Quantify the spectrum. You have access to the following k-factors. (4p)

$$k_{\text{Asi}} : 1.01 \quad k_{\text{Csi}} : 1.27 \quad k_{\text{Esi}} : 1.98$$

- c) Identify the material and draw some conclusions about its properties. (2p)



2. a) The image to the right shows one of the clues left after a burglary at the nCHREM. With what kind of microscope and detector is the image of the human hairs recorded? (2p)
- b) The rear strand of hair is somewhat blurred. How could you improve the depth of focus? (2p)
- c) How do you think the specimen is prepared before imaging in this microscope? Why? (1p)
- d) What is a FIB-SEM, when do you use it and how does it work? (2p)



1.3 Specialiseringarnas bidrag till måluppfyllelse gällande examensmål 1

Exemplen ovan kommer från obligatoriska kurser som läses under år 1 till år 3. Valet att presentera obligatoriska kurser grundar sig på att det då är säkerställt att **samtliga** studenter får ta del av kursernas respektive bidrag till måluppfyllelse. Studier inom specialiseringarna under år 4 och 5 ställer krav på minst 30 hp på avancerad (A-) nivå. Då var och en av specialiseringarna erbjuder avancerade kurser omfattande minst 112,5 hp, läser studenterna generellt betydligt fler kurser på A-nivå än vad som krävs. För A-kurserna **inom** varje specialisering ansvarar ett tiotal starka forskargrupper. Detta garanterar att studenternas ”insikt i aktuellt forsknings- och utvecklingsarbete” inte inskränker sig till kunskaper om hur och med vad **ett** forskarlag arbetar, utan att studenterna får **olika** perspektiv på hur forskning inom ett område bedrivs.

Kravet på avancerade kurser, i kombination med att samtliga specialiseringar på programmet innehåller minst en obligatorisk kurs, garanterar fördjupning och underlättar studentens fokusering mot spetskompetens, se vidare under 2.1, 2.3, 3.2 och 3.3.

1.4 Studenternas egen uppfattning om måluppfyllelse gällande examensmål 1

Studierådet på utbildningen, SRN, har fått i uppgift att utvärdera sin utbildning mot examensmålen. För att få in synpunkter som inte bara speglar ett fåtal studenters uppfattning har kurser som samtliga studenter läst, dvs. de obligatoriska kurserna under år 1 till och med 3, värderats. Ur Tabell 1 nedan framgår vilka kurser som enligt studenterna examineras mot de olika examensmålen 1 – 6.

EXAMENSMÅL	1	2	3	4	5	6
Årskurs 1						
FMAA01 Endimensionell analys		E				
FAFA05 Fysik - Våglära, termodynamik och atomfysik	E	E			E	
FFFA01 Nanovetenskap och nanoteknik - en introduktion	E	E			E	E
FMA420 Linjär algebra		E				
KOKA01 Allmän och oorganisk kemi	E	E			E	
EDA011 Programmeringsteknik			E			
KOKA05 Organisk kemi	E	E			E	
Årskurs 2						
TEK295 Cellens biologi	E	E			E	
FMA430 Flerdimensionell analys		E				
TEK015 Människans fysiologi	E	E			E	
FAFA10 Fysik - Kvantfenomen och nanoteknologi	E	E	E		E	F
EXTF65 Nanoteknikens matematiska metoder		E	E		E	
FFFF01 Elektroniska material	E	E			E	
ETE115 Ellära och elektronik		E				
KOO095 Funktionella material	E	E				
Årskurs 3						
FMS086 Matematisk statistik			E		E	
FFF110 Process- och komponentteknologi	E	E	E		E	E
FRT010 Reglerteknik, allmän kurs		E			E	
KOO105 Analys på nanoskalan	E	E				E
EEM045 Sensorer	E	E			E	
FAFF05 Projekt nanoingenjör	E	E	E	E	E	F
FAFF15 Hållbar utveckling med nanoperspektiv				E	E	E

Tabell 1. Obligatoriska kurser på utbildningsprogrammet. E betyder att studenterna upplever att kursens **examination** leder till att examensmål 1-6 uppnås. F betyder att studenterna upplever att målet uppnås, dock inte via examinationen.

Del 1

Examensmål 2

För civilingenjörsexamen skall studenten visa såväl brett kunnande inom det valda teknikområdet, inbegripet kunskaper i matematik och naturvetenskap, som väsentligt fördjupade kunskaper inom vissa delar av området.

2.1 Generell information avseende Teknisk nanovetenskap relevant för examensmål 2

Utbildningen i teknisk nanovetenskap bygger på en modell som kan liknas vid ett ”inverterat T” [2]⁴. Modellen skiljer sig från en mer traditionell ingenjörsutbildning i det att grundblocket är bredare, och därmed möjliggör val av specialisering inom i stort sett hela det område som kallas nanovetenskap och nanoteknik. Den tvärvetenskapliga grund som år 1 till 3 utgör, består av tre parallella och väl samordnade kurskedjor:

- kurser med fokus på ”det valda teknikområdet”
- kurser huvudsakligen innehållande matematik
- kurser i naturvetenskap



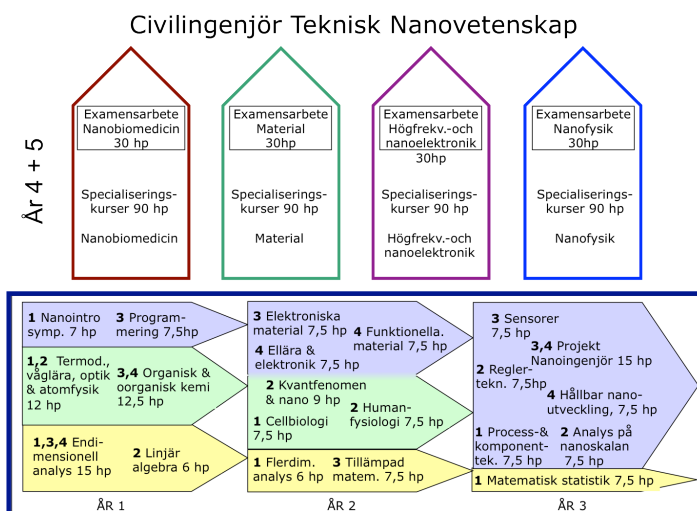
Figur 3. Utbildningens struktur liknas vid ett uppochnedvänt T.

I Figur 4 är kurskedjorna färgkodade: blått för teknikområdets kurser, gult för matematikkurser och grönt för kurser i naturvetenskap. Samtliga kurser under de tre första åren (180 hp) är obligatoriska för att säkerställa det breda kunnandet och ge alla studenter en tvärvetenskaplig grund.

Andelen teknikkurser ökar genom utbildningens obligatorium. Från att utgöra ca en fjärdedel under år ett, till att utgöra ca tre fjärdedelar under tredje året.

Utbildningens matematikspår utgörs

dels av det gemensamma blocket omfattande kurserna endimensionell analys, linjär algebra och flerdimensionell analys, dels av en obligatorisk kurs med inriktning mot tillämpad matematik på 7,5 hp. I denna kurs, ”Nanoteknikens matematiska metoder”, se avsnitt 3.2.1., analyserar och visualiserar studenterna egenskaper hos de matematiska modeller som beskriver t.ex. värmeledning och bildbehandling. Ytterligare matematikkurser är tillgängliga för studenterna bland de valfria kurserna.



Figur 4. Utbildningens grundblock och dess tre väl sammanflätade kurskedjor

⁴ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

Bredden i naturvetenskap återspeglas i att studenterna under de tre första terminerna läser väl sammankopplade kurser i fysik, kemi, biologi och medicin. Utbildningen inleds med en grundläggande fysikkurs som behandlar termodynamik, vågrörelser, optik, kvant- och atomfysik. Under termin två tar sedan två kemikurser vid, i vilka såväl termodynamiska som atomära och kvantmekaniska begrepp återkommer. Men kemikurserna pekar också framåt (se nedan) mot andra årets kurser i cellbiologi och fysiologi. Cellbiologin behandlar cellens struktur och funktion samt de komplexa processer som sker i levande celler, medan den efterföljande fysiologikursen behandlar organs och vävnaders uppbyggnad och funktion samt generella fysiologiska styrmekanismer. Samtliga kurser ovan är specialdesignade för programmet och innehåller utvalda moment särskilt viktiga för nanovetenskapen.

En noggrann samordning av kurserna leder till en tydlig koppling mellan ämnesområdena och underlättar för studenten att se vetenskapsområdet som en helhet. Från och med termin fyra ökar andelen teknikinnehåll markant och de tekniska tillämpningarna blir uppenbara i kurser som behandlar t.ex. elektronik, material- och reglerteknik. Detta gynnar och utvecklar studenternas tvärvetenskapliga tänkande och ”effektiviserar” lärandet. Det är också stimulerande för studenterna att redan tidigt i utbildningen kunna se att nanovetenskapen är just den vetenskap inom vilken gränserna mellan de traditionella ämnena suddas ut, och nanotekniken en teknikgren som griper över ett stort spann av tillämpningar.

2.2 Exempel på kursmål, kursmoment och examinationsuppgifter avseende examensmål 2

2.2.1 KOKA01 – Allmän och oorganisk kemi. Årskurs 1

Kursen är en inledande kemikurs vars syfte är att ge grundläggande förståelse för och kunskap om kemiska processer och förlopp. Dessa belyses med verklighetsnära tillämpningar inom bl.a. nanotekniken. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 2 är bl.a.

- förstå innebörden av det kemiska formelspråket och av reaktionsformler
- känna till, beskriva kvalitativt och använda enklare begrepp inom kemisk bindning
- kunna förklara innebörden av termodynamiska storheter och enkla termodynamiska samband
- kunna beskriva och förklara innebörden av elektrokemiska processer
- kunna formulera hastighetslagar och relatera variationer i hastigheten för en kemisk process till temperaturen.

Centrala kursmoment som bidrar till kurs- och examensmål är förutom praktisk problemlösning – som stimulerar till fördjupat lärande – föreläsningar av aktiva forskare som kan knyta de fundamentala kemiska processerna till verklighetsnära tillämpningar inom nanotekniken. Bl.a. kursens behandling av termodynamiska storheter och samband kopplar tillbaka till fysikkursen.

Kursen examineras med en skriftlig tentamen. Exempel på en examinationsuppgift som pekar framåt mot biologi och fysiologi:

Fettlösligheten av ett ämne brukar anges genom jämviktskonstanten för ämnets fördelning mellan n-oktanol och vatten. Konstanten benämns K_{ow} för organiska substanser och ges värdemässigt som $\log K_{ow}$. Detta värde ger vägledning för prediktion av substansens upptag i celler och fettvävnad. Fentanyl, en syntetisk opioid med $\log K_{ow} = 3,94$ har smärtlindrande effekt lokalt i den del av ryggmärgen där den injiceras eftersom den omedelbart tas upp av den feta nervcellsmassan.

För fentanyl gäller: $\text{Fentanyl (aq.)} \leftrightarrow \text{Fentanyl (n-oktanol)}$ $\log K_{ow} = 3,94$

Om 10 mg fentanyl i 500 ml vatten skakas med 100 ml n-oktanol till jämvikt, hur mycket fentanyl finns då kvar i vattenfasen? (Faserna behåller sina volymer under försöket och är helt oblandbara.)

2.2.2 TEK295 Cellens biologi. Årskurs 2

Kursen behandlar cellens strukturer och funktioner samt ger en överblick över de komplexa processer som sker i levande celler. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 2 är bl.a.

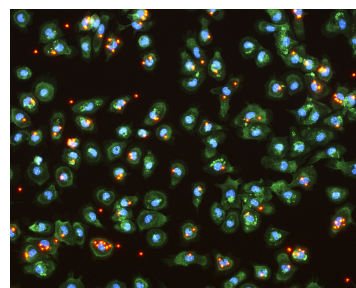
- förstå och kunna redogöra för skillnader och likheter i olika celltypers uppbyggnad och inre struktur
- förstå och kunna redogöra för fotosyntes och respiration
- förstå och kunna redogöra för uppbyggnad och replikation av DNA
- förstå och kunna redogöra för genexpression och dess reglering

Centrala kursmoment som bidrar till kurs- och examensmål är förutom föreläsningar givna av aktiva forskare inom bl.a. cellbiologi, nanoneuromedicin och biofysik, laborationer. Bl.a. studeras makrofagers upptag av polystyrenpartiklar. Denna laboration innehåller hantering av cellodlingar, fixering och färgning av celler, mikroskopering och analys. En rapport skriven på engelska avslutar momentet. Laborationens olika moment kopplar såväl bakåt till introduktions- och fysikkurserna, som framåt till Kvantfenomen och nanoteknologi (se 2.2.3 och 5.2.2) samt kursen Analys på nanoskalan (se 4.2.2 och 6.2.5). Nedan en examinationsfråga.

2. a) På en laboration studerades makrofagers upptag av partiklar via endocytos. Detta är en mycket viktig funktion bland annat hos immunceller (se bild).

a) Nämn två typer av endocytos (1p) samt rita och beskriv hur tex en bakterie "äts upp" och bryts ned. Samtliga involverade vesiklar ska namnges (4p).

b) I fråga 1 och 2 finns två bilder. Med vilka mikroskop är dessa tagna och vilken är den principiella skillnaden med avseende på vad man kan se? (2p)



2.2.3 FAFA10 – Fysik – Kvantfenomen och nanoteknologi. Årskurs 2

Kursen ska ge insikt i det ömsesidiga beroendet mellan teknik och vetenskap i allmänhet och mellan nanoteknik och kvantmekanik i synnerhet. Kursen knyter således ihop det valda teknikområdet med grundläggande naturvetenskap och matematik. Delar av kursen är beskriven under 5.2.2 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 2 är bl.a.

- Kunna identifiera kvantmekaniska problemställningar, analysera dessa samt genomföra och tolka beräkningar.
- kunna skriva enkla datorprogram för att lösa numeriska problem.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är, förutom de föreläsningar som examineras via en obligatorisk kontrollskrivning efter 3 veckor, inlämningsuppgifter, projektarbeten och laborationer som redovisas skriftligt och muntligt. Samtliga arbeten involverar användande av MATLAB®. Exempel på projekt kan vara

- ”Tidsutveckling av vågpuls i endimensionella potentialer”
- ”Bundna tillstånd i kvantbrunnar”
- ”Potentialbrunnar med elektriska fält” [3]⁵

Kursen, som är placerad på höstterminen år 2, anknyter till och utnyttjar kunskaper förvärvade under såväl fysik- som matematik- och programmeringskurser under år 1. Samtidigt pekar Kvantfenomen och nanoteknologi framåt mot kurser i årskurs 2, t.ex. Elektroniska material, se avsnitt 1.2.2. och 5.2.3, och Nanoteknikens matematiska metoder, se avsnitt 3.2.1.

2.2.4 ETE115 – Ellära och elektronik. Årskurs 2.

I princip alla tekniska system har en eller flera viktiga delar som kan klassas som elektroniska. Särskilt medför de flesta mätsituationer att en fysikalisk storhet omvandlas till en elektrisk signal. Detta innebär att de flesta civilingenjörer måste tillägna sig grundläggande kunskaper i elektronik.

Denna kurs är en grundläggande modelleringskurs avseende elektroniska system. Särskilt betonas modelleringskedjan

⇒ Bestäm kretsmodeller för de fysikaliska processerna i de olika komponenterna såsom motstånd, transistorer etc. ⇒ Utför matematisk analys av kretsmodellen ⇒ Tolk resultat i form av systemparametrar som förluster och förstärkning.

Ett explicit och centralt kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterat till examensmål 2 är

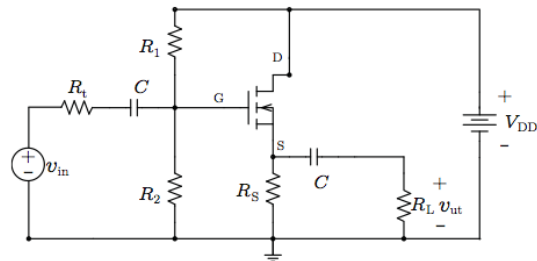
⁵ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

- kunna använda begrepp såsom elektriska och magnetiska fält, ström, spänning, effekt, impedans, överföringsfunktion, förstärkning och bandbredd för att beskriva och diskutera idéer, problem och lösningar rörande grundläggande komponenter och enkla elektroniska system för sakkunniga inom ellära och elektronik.

Centrala kursmoment som bidrar till kurs- och examensmål är förutom praktisk problemlösning, föreläsningar och laborationer. Kursen examineras med en skriftlig tentamen.

Nedan återfinns ett exempel på en examinationsuppgift i vilken hänvisas till en NMOS transistor, något studenten stött på redan i första introduktionskursen, och här återfinns i ett nytt sammanhang.

5. Figuren visar en "common drain" förstärkare med en NMOS transistor. Likspänningskällan V_{DD} och motstånd R_1, R_2 , och R_S är valda så att transistoren är i mättnadsområdet. Insignalen $v_{in}(t) = V_{in} \cos(\omega t)$ är vald så att $|V_{in}| \ll V_{DD}$ och så att kopplingskapacitansernas impedanser kan försummas. Tröskelspänningen $V_t \ll V_{DD}$ och konstanten K för transistoren är kända.



- Rita kretsschemat för likspänningen V_{DD} (storsignalschemat).
- Bestäm ekvationerna för de två kurvor i $\{v_{GS}, i_D\}$ -planet vars skärningspunkt ger arbetspunkten, dvs V_{GSQ} och I_{DQ}
- Skissa de två kurvor i $\{v_{GS}, i_D\}$ -planet vars skärningspunkt ger arbetspunkten, dvs V_{GSQ} och I_{DQ} .
- Vilken effekt utvecklas i motstånd R_1, R_2, R_S , likspänningskällan och transistoren? Alla resistanser, spänningen V_{DD} och arbetspunkten (V_{GSQ}, I_{DQ}) antas kända.

2.2.5 FRT010 – Reglerteknik. Årskurs 3.

Kursen ger kunskap om grundläggande principer inom reglertekniken och ger insikt om vad man kan åstadkomma med reglering samt vilka möjligheter och begränsningar som finns. Delar av kursen är beskriven under 4.2.3 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 2 är bl.a.

- kunna linjärisera olinjära dynamiska modeller.
- kunna beräkna samband mellan dynamiska modeller i form av transientsvar, överföringsfunktioner, differentialekvationer på tillståndsform samt frekvenssvar beskrivna med Bode- eller Nyquistdiagram.
- kunna analysera dynamiska system med avseende på stabilitet, robusthet, stationära egenskaper samt styrbarhet och observerbarhet.
- kunna beräkna implementerbara regulatorer genom diskretisering av analoga regulatorer.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är, förutom föreläsningar och övningar, tre laborationer som examineras med rapporter, se vidare avsnitt 4.2.3.

Ett exempel på examinationsuppgift från den skriftliga tentamen ges nedan.

Överföringsfunktionen för en tankprocess är given enligt $(s) = \frac{5}{(s+2)^2}$

Designa en regulator för denna process så att följande specifikationer uppfylls vid enkel återkoppling:

- Skärffrekvensen är 6 rad/s
- Fasmarginalen är 50°
- Konstanta laststörningar ska fullständigt regleras bort i stationäritet

Välj själv vilken typ av regulator du vill använda.

2.2.6 FMS086 – Matematisk statistik. Årskurs 3.

Kursen ger grunderna i matematisk modellering av slumpmässig variation och förståelse för principerna bakom statistiska analyser. Men kursens kanske viktigaste syfte är att förse studenterna med en fungerande verktygslåda fylld av de vanligaste modellerna och metoderna. Tyngdpunkten ligger på modeller och metoder för analys av experimentella data och hantering av mätvariation. Explicita och centrala kursmål avseende **kunskap och förståelse** relaterade till examensmål 2 är bl.a.

- kunna relatera frågeställningar om slumpmässig variation och observerade data till begreppen slumpvariabler, fördelningar och samband mellan variabler,
- kunna förklara begreppen oberoende, sannolikhet, fördelning, väntevärde och varians,
- kunna beräkna sannolikheten för en händelse samt väntevärde utifrån en given fördelning,
- kunna beskriva grundläggande tekniker för hypotesprövning/statistisk slutledning och kunna använda dem på enklare statistiska modeller,
- kunna förklara syftet med och principerna för försöksplanering.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är, förutom de delar av kursen som examineras via en skriftlig tentamen, ett praktiskt projektarbete i vilket studenten får arbeta med ett verkligt problem. Studenten ska med hjälp av ett insamlat material konstruera en rimlig statistisk modell samt göra en kritisk granskning av modellen och dess förmåga att beskriva verkligheten. Avsikten är också att studenten med hjälp av MATLAB®, som använts som redskap i flera kurser under år 2 (se ovan), ska analysera ett miljökemiskt datamaterial. Projektredovisningen är skriftlig och ger således också träning i att skriftligt redovisa antaganden, modeller och slutsatser från den statistiska analysen.

Exempel på projektarbete kan vara ”Kväveoxider från en naturgaseldad värmepanna” [4]⁶, och frågeställningar som behandlas är t.ex.

- Är halten av kväveoxider i värmepannans avgaser så stor att den är hälsofarlig för dem som bor i huset?

⁶ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

- Hur stort är pannans bidrag av kväveoxider till luften?
- Hur förändras de slutsatser ni drar om överskridande av gränsvärden då ni tar hänsyn till att mätningarna störs av mätfel?

Kursen utgör den sista delen av den obligatoriska matematikkedjan för programmet.

2.3 Specialiseringarnas bidrag till måluppfyllelse gällande examensmål 2

Med ”teknikområdet” menar LTH programbeteckningen, medan ”del av området” är liktydigt med en specialisering inom programmet. En fullgjord specialisering om 45 hp säkerställer väsentligt fördjupade kunskaper dels genom att kurserna inom specialiseringen tillsammans utgör en avgränsad, relevant och genomtänkt helhet, dels genom kraven på 30 hp kurser på avancerad nivå inom en specialisering. LTH har explicita och högt ställda krav för att en kurs ska klassas som A-nivå, vilket garanterar att varje kurs på A-nivå inom en specialisering bidrar till att studenterna uppnår examensmål 2.

På civilingenjörsutbildningen i teknisk nanovetenskap finns följande specialiseringar, samtliga sprungna ur de starka forskargrupper som tillsammans utgör Nanometerkonsortiet vid Lunds Universitet, nmC@LU, se Figur 1:

- Högfrekvens- och nanoelektronik
- Material
- Nanobiomedicin
- Nanofysik

Den ”inverterade-T-modellen”, se Figur 4, innebär att det obligatoriska grundblocket med sin bredd och sammanflätning av kurser redan under de första åren har exponerat studenterna för samtliga specialiseringar och hur dessa på olika sätt kopplar till varandra. Detta underlättar för studenterna när det är dags att välja fördjupning inom en av specialiseringarna. Det ”stora universitetet” med de ”starka forskningsmiljöerna” möjliggör att dessa fyra tämligen olika inriktningar existerar parallellt. Få universitet i världen kan idag erbjuda specialiseringar inom nanovetenskap/nanoteknik på mastersnivå som uppvisar sådan bredd. Detta innebär att studenterna även *inom* en specialisering läser kurser på avancerad nivå som ges av ett flertal *olika* forskargrupper.

Samtliga specialiseringar innehåller minst en obligatorisk kurs. Denna är normalt ett rekommenderat förkunskapskrav för flera kurser inom specialiseringen.

Obligatoriska kurser i tre av specialiseringarna är på avancerad nivå. I den fjärde specialiseringen, Nanobiomedicin, finns en obligatorisk kurs på G2-nivå som är förkunskapskrav till t.ex. de avancerade kurserna i farmakologi och toxikologi. I specialiseringen Högfrekvens- och nanoelektronik är den obligatoriska kursen en spetskurs, förlagd till sista läsperioden i årskurs 4.

Kurser på A-nivå förutsätter normalt minst 150 hp studier inom utbildningsprogrammet, och examinationen ska innehålla element av konceptualisering och problemlösning utöver vad

som direkt behandlas i undervisningen. Den inverterade T-modellen med den breda, obligatoriska basen på 180 hp, innebär att samtliga specialiseringar kan starta på en avancerad nivå. En vidare beskrivning av och exempel från kurser inom specialiseringen presenteras under examensmål 3.

2.4 Studenternas egen uppfattning om måluppfyllelse gällande examensmål 2

Studierådet på utbildningen, SRN, har fått i uppgift att utvärdera sin utbildning mot examensmålen. Ur Tabell 1 framgår vilka kurser i obligatoriet som enligt studenterna examineras mot examensmål 2.

Del 1

Examensmål 3

För civilingenjörsexamen skall studenten visa förmåga att med helhetssyn kritiskt, självständigt och kreativt identifiera, formulera och hantera komplexa frågeställningar samt att delta i forsknings- och utvecklingsarbete och därigenom bidra till kunskapsutvecklingen.

3.1 Generell information avseende Teknisk nanovetenskap relevant för examensmål 3

Examensarbetet är det moment i civilingenjörsutbildningen genom vilket studenterna förväntas visa måluppfyllelse för examensmål 3. Den skriftliga rapporten ska återspegla såväl självständighet och kreativitet som studentens förmåga att bidra till kunskapsutvecklingen. Men redovisningen av examensarbetet innehåller också ett moment där studenten ska opponera på ett examensarbete utfört av en annan student. Oppositionen utförs normalt innan studenten presenterar sitt eget arbete, och bidrar till ett kritiskt förhållningssätt samtidigt som det tvingar studenten att ”lyfta blicken” och anlägga ett mer holistiskt perspektiv.

Resultat uppnådda under examensarbeten presenteras ofta vid vetenskapliga konferenser. Det är inte heller helt ovanligt att examensarbeten leder till publikationer i vetenskapliga tidskrifter. Några exempel på det senare ges nedan (examensarbetarens namn i fetstil):

- **M.E. Messing**, K.A. Dick, L.R. Wallenberg and K. Deppert, *Generation of size-selected gold nanoparticles by spark discharge - for growth of epitaxial nanowires*, Gold Bull. 42, 20-26 (2009)
- **B. Hammarström**, M. Evander, **H. Barbeau**, M. Bruzelius, J. Larsson, T. Laurell and J. Nilsson, *Non-contact acoustic cell trapping in disposable glass capillaries*, Lab Chip, 10, 2251-2257 (2010)
- **K-M. Persson**, E. Lind, A.W. Dey, C. Thelander, H. Sjöland and L-E. Wernersson, *Low-Frequency Noise in Vertical InAs Nanowire FETs*, IEEE Electron Device Letters 31, 428-430 (2010)
- **S.H. Holm**, J.P. Beech, M.P. Barrett and J.O. Tegenfeldt, *Separation of parasites from human blood using deterministic lateral displacement*, Lab Chip, 11, 1326–1332 (2011)
- **M. Heurlin**, P. Wickert, S. Fält, M.T. Borgström, K. Deppert, L. Samuelson, and M.H. Magnusson, *Axial InP Nanowire Tandem Junction Grown on a Silicon Substrate*, Nano Letters 11, 2028-2031 (2011)
- **B.O. Meuller**, M.E. Messing, D.L.J. Engberg, A.M. Jansson, L.I.M. Johansson, S.M. Norlén, N. Tureson and K. Deppert, *Review of Spark Discharge Generators for Production of Nanoparticle Aerosols*, Aerosol Science and Technology 46, 1256-1270 (2012)
- **M. Nordin** and T. Laurell, *Two-hundredfold volume concentration of dilute cell and particle suspensions using chip integrated multistage acoustophoresis*, Lab on a Chip 12, 4610-4616 (2012)
- **K. Jansson**, E. Lind, and L-E. Wernersson, *Performance Evaluation of III–V Nanowire Transistors*, IEEE Transactions on electron devices, 59, 9, 2375 (2012)

- **C.B. Zota**, S.H. Kim, M. Yokoyama, M. Takenaka, and S. Takagi, *Characterization of Ni–GaSb Alloys Formed by Direct Reaction of Ni with GaSb*, Appl. Phys. Express **5**, 071201 (2012)
- K. Storm, **F. Halvardsson**, M. Heurlin, D. Lindgren, A. Gustafsson, P.M. Wu, B. Monemar and L. Samuelson, *Spatially resolved Hall effect measurement in a single semiconductor nanowire*, Nature Nanotechnology **7**, 718–722 (2012)
- K. Storm, **G. Nylund**, M.T. Borgström, J. Wallentin, C. Fasth, C. Thelander and L. Samuelson, *Gate-Induced Fermi Level Tuning in InP Nanowires at Efficiency Close to the Thermal Limit*, Nano Letters **11**, 1127–1130, (2011)
- N. Sköld, W. Hällström, **H. Persson**, L. Montelius, M. Kanje, L. Samuelson, C.N. Prinz and J.O. Tegenfeldt, *Nanofluidics in hollow nanowires*, Nanotechnology **21**, 155301 (2010)
- R. Timm, A. Fian, **M. Hjort**, C. Thelander, E. Lind, J. N. Andersen, L.-E. Wernersson, and A. Mikkelsen, *Reduction of native oxides on InAs by atomic layer deposited Al₂O₃ and HfO₂*, Appl. Phys. Lett. **97**, 132904 (2010)
- M. Ärlelid, M. Egard, **L. Ohlsson**, E. Lind and L.-E. Wernersson, *Impulse-based 4 Gbit/s radio link at 60 GHz*, Electronics Letters **47**, 467–470 (2011)
- J.P. Beech, S.H. Holm, **K. Adolfsson** and J.O. Tegenfeldt, *Sorting cells by size, shape and deformability*, Lab Chip, **12**, 1048–1051 (2012)
- S.M. Kennedy, M. Hjort, B. Mandl, **E. Mårzell**, A.A. Zakharov, A. Mikkelsen, D.M. Paganin and D.E. Jesson, *Characterizing the geometry of InAs nanowires using mirror electron microscopy*, Nanotechnology **23**, 125703 (2012)
- S. Ricote, N. Bonanos, **F. Lenrick** and R. Wallenberg, *LaCoO₃: Promising cathode material for protonic ceramic fuel cells based on a BaCe_{0.2}Zr_{0.7}Y_{0.1}O_{3-δ} electrolyte*, Journal of Power Sources **218**, 313–319 (2012)
- K. Kawaguchi, M. Heurlin, **D. Lindgren**, M.T. Borgström, M. Ek and L. Samuelson, *InAs quantum dots and quantum wells grown on stacking-fault controlled InP nanowires with wurtzite crystal structure*, Applied Physics Letters **99**, 131915 (2011)

Studenterna på Teknisk nanovetenskap exponeras genom hela utbildningen för forsknings- och utvecklingsarbete och därmed torde ”deltagande i forsknings- och utvecklingsarbete” vara uppfyllt redan under utbildningens första fyra år. Men för att ett examensarbete dessutom ska vara **självständigt** och utföras med **kreativitet och helhetssyn** måste dessa förmågor tränas tidigt och med kontinuitet genom hela utbildningen.

För att säkerställa just självständighet och förmåga att identifiera, formulera och hantera framför allt komplexa frågeställningar, tas nedan exempel från termin 4 och högre. De inledande exemplen är från examination av obligatoriska kurser termin 4 och 5, vilket betyder att **samtliga** studenter på programmet examinerats på momenten. De därpå följande exemplen är tagna från de fyra specialiseringarna och utgör exempel på kurser som alla eller en majoritet av studenterna inom specialiseringen läser.

3.2 Exempel på kursmål, kursmoment och examinationsuppgifter avseende examensmål 3

3.2.1 EXTF65/FMFN20 – Nanoteknikens matematiska metoder⁷. Årskurs 2

I kursen införs matematiska och beräkningsvetenskapliga verktyg främst utgående från tillämpningar inom fysiken. Med start från specifika problem betonas metodernas allmängiltighet. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 3 är bl.a.

- med hjälp av datorsimuleringar kunna analysera och visualisera egenskaper hos modeller som diskuteras under kursen samt redovisa analysen skriftligt
- kunna genomföra, analysera samt skriftligt redovisa experimentella laborationer inom centrala områden av kursen.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är, förutom föreläsningar och övningar som examineras med en skriftlig eller muntlig tentamen, datorprojekt och laborationer.

Tre olika datorprojekt genomförs, två mindre och ett större. Vart och ett av de tre datorprojekten redovisas med en skriftlig rapport som innehåller en fullständig beskrivning av problemställningar och lösningar. Exempel på ett större datorprojekt återfinns i [5]⁸

3.2.2 FFF110 – Process- och komponentteknologi. Årskurs 3

Kursens syfte är att ge grundläggande kunskaper i framställning och karaktärisering av halvledarkomponenter på nanometerskala. Delar av kursen är beskriven under 5.1 och 6.2.4 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 3 är bl.a.

- kunna utföra grundläggande processning i renrumsmiljö
- kunna analysera en specifik komponent och avgöra vilka processteg som krävs för att tillverka den
- kunna skriva välstrukturerade tekniska rapporter om halvledarprocessning

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är, förutom föreläsningar och gästföreläsningar som examineras via en skriftlig tentamen, ett antal obligatoriska sammanhängande laborationer vid vilka några av de i kursen genomgångna processtegen används för tillverkning av fungerande komponenter. Eftersom det är ytterst viktigt att arbete med halvledarstrukturer sker i en extremt ren och dammfri miljö, ligger stor tonvikt på arbetsmetodik i renrum. Laborationerna sker i renrummen vid LundNanoLab, LNL.

Laborationerna examineras med **individuella tekniska rapporter**. Laborationerna består av fyra (4) olika delar som genomförs under fyra dagar med ca (10 dagars mellanrum). Tillverkningsmetoder som laboranterna arbetar med kan t.ex. vara RIE – Reactive Ion

⁷ Kursen hette tidigare "Nanovetenskapliga tankeverktyg" vilket syns i rapporten i [5].

⁸ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

Etching, PVD – Physical Vapour Deposition och ALD – Atomic Layer Deposition. De tillverkade komponenterna analyseras sedan med metoder som t.ex. ellipsometri och SEM – Scanning Electron Microscopy. Ett exempel på en rapport; ”InGaAs metal-oxide semiconductor field-effect transistor, MOSFET”, återfinns i [6]⁹.

3.3 Specialiseringarnas bidrag till måluppfyllelse gällande examensmål 3 - Projektkurser i specialiseringarna

Då studenterna når årskurs 4 väljer de företrädesvis kurser inom någon eller några av programmets specialiseringar, se Tabell 2. Förmågan att hantera komplexa frågeställningar har tränats under de obligatoriska kurserna, och under specialiseringskurserna ska denna förmåga fördjupas.

Kurser som ska kunna bidra till måluppfyllelse behöver innehålla arbets- och examinationsformer som stimulerar till självständiga initiativ och egna formuleringar av frågeställningar. Programmet har därför identifierat i vilka kurser större projekt genomförs och examineras. Projektramarna är på denna nivå inte på förhand definierade.

Det ska påpekas att projektarbeten på intet sätt är en nyhet för studenterna när de kommer till årskurs 4. Projektarbeten förekommer i kurser genom hela obligatoriet, från den allra första kursen ”Nanovetenskap och nanoteknik – en introduktion” (se avsnitt 1.2.1., 5.2.1. och 6.2.1) till projektkursen ”Projekt nanoinenjör” som avslutar årskurs 3 (se avsnitt 4.2.4 och 6.2.2, samt Tabell 2).

Som framgår av sammanställningen i Tabell 2 nedan innehåller tre av de fyra specialiseringarna obligatoriska kurser med projekt. Studenter som väljer den fjärde specialiseringen, nanobiomedicin, kommer dock att genomföra minst en projektkurs, annars blir inte kravet på poäng på avancerad nivå tillgodosett. Således garanteras att samtliga studenter med en civilingenjörsexamen i Teknisk nanovetenskap har genomfört något projektarbete på så avancerad nivå att detta bidragit till uppfyllelsen av examensmål 3.

Under rubrikerna nedan presenteras kortfattat innehållet i och syftet med några kurser som ingår i specialiseringarna. Urvalet är gjort så att kurserna antingen är obligatoriska specialiseringskurser, eller en avancerad kurs som läses av många studenter i någon av specialiseringarna.

⁹ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

SPECIALISERING: MATERIAL		
KURS	PROJ	ENG
KOO045 Materialkemi (obligatorisk) A	P	E
KTE080 Polymerkemi A		E
FFFN01 Avancerad framställning av nanostrukturer A	P	E
MAM242 Aerosolteknologi	P	E
FFFN05 Nanomaterial - Termodynamik och kinetik A		E
KFKN05 Yt- och kolloidkemi A	P	E
FAFN15 Kristalltillväxt och halvledarepitaxi A		E
KPO010 Polymerfysik A		E
FHL055 Teknisk mekanik		S
KOO065 Mikroskopisk karaktärisering av material A		E
KFK090 Molekylär växelverkan och dynamik		S
FAF080 Atom- och molekylspektroskopi A		E
FKM070 Avancerad materialteknologi A	P	E
KFKN01 Magnetisk resonans - spektroskopi och avbildning A	P	E
FKMN05 Pulverteknologi A		E
TEK177 Ytfysik A	P	E
FKMN10 Högtemperaturmaterial A	P	E
SPECIALISERING: NANOBIOMEDICIN		
KURS	PROJ	ENG
EXTF15 Humanfysiologi (obligatorisk)		S
KOK085 Läkemedelskemi		E
TEK287 Biokemi		E
EXTN45 Farmakologi A	P	E
EXTF10 Genetik och mikrobiologi		S
EXTN50 Toxikologi A	P	E
FFFN20 Experimentell biofysik A	P	E
KFK090 Molekylär växelverkan och dynamik		S
EXTN40 Immunologi A	P	E
KLGO27 Läkemedelsformulering A		E
EXTN65 Neurobiologi A		E
EXTN30 Sinnesbiologi A	P	E
SPECIALISERING: NANOFYSIK		
KURS	PROJ	ENG
FMFF15 Kvantmekanik och matematiska metoder (obligatorisk)	P	E
FFF042 Fysiken för låg-dimensionella strukturer och kvantkomponenter (obligatorisk) A	P	E
FFF021 Halvledarfysik	A	E
FMFN01 Kvantmekanik, fortsättningskurs 1 A	P	E
FFFN01 Avancerad framställning av nanostrukturer A	P	E
FFFN10 Elektrontransport i nanostrukturer A		E
FAFN15 Kristalltillväxt och halvledarepitaxi A		E
FFFN15 Optoelektronik A		E
FHL055 Teknisk mekanik		S
FFFN20 Experimentell biofysik A	P	E
FFF051 Fasta tillståndets teori A		E
EEMN01 Mikrosensorer A	P	E
FAF085 Svepspetsmikroskopi A	P	E
TEK177 Ytfysik A	P	E
SPECIALISERING: HÖGFREKVENSS- OCH NANOELEKTRONIK		
KURS	PROJ	ENG
FFF160 Nanoelektronik (obligatorisk) A	P	E
ETIN20 Digital IC-konstruktion A		E
ETIF05 Grundläggande radioteknik		E
FFF021 Halvledarfysik A		E
ETIN70 Modern elektronik A		E
FFFN01 Avancerad framställning av nanostrukturer A	P	E
ETIN25 Analog IC-konstruktion A		E
ETEN10 Antennteknik A		E
ETIN50 Högfrequensförstärkare A		E
FFF115 Höghastighetselektronik A	P	E
ETIN30 Integrerad radioelektronik A		E
FFFN15 Optoelektronik A		E
ETIN65 Radioprojekt A	P	E
FMFF15 Kvantmekanik och matematiska metoder	P	E
FFF042 Fysiken för låg-dimensionella strukturer och kvantkomponenter A	P	E
FFFN10 Elektrontransport i nanostrukturer A		E

Tabell 2. Utbildningens fyra specialiseringar och kurserna i dessa. Materialspecialiseringen är delvis densamma som finns på Kemiteknik och specialiseringarna mot Nanofysik samt Högfrequens- och nanoelektronik är delvis desamma som på Teknisk Fysik. Den sistnämnda specialiseringen delas också med Elektroteknik. Kurser märkta med A är på avancerad nivå, P aviserar att kursen innehåller ett större projekt och E indikerar att kursen ges på engelska.

3.3.1 FFF160 Nanoelektronik

Kursen i Nanoelektronik har två huvudpunkter. För det första får studenterna kunskaper om specifika nanokomponenter, deras funktion, användningen av olika material och typisk prestanda i olika termer. Studenterna läser också aktuella forskningsartiklar inför varje föreläsning. Dessa diskuteras under föreläsningen, vilket tränar studenterna i att ta till sig kunskap från relevant forskning.

För det andra läggs stor vikt vid benchmarking, dvs. jämförelser mellan olika teknologier och

komponenters prestanda. För att få ett objektivt synsätt definieras nyckeltal som är relevanta, och studenterna får sedan leta upp data för dessa i artiklar för att kunna jämföra. Som ”goda nyckeltal” används sådana som industrin definierat. Momentet examineras med en skriftlig tentamensuppgift relaterad till benchmarking. Båda kursens huvudpunkter bidrar till måluppfyllelse genom att de innebär hanterande av komplexa frågeställningar.

Även materialval diskuteras. Studenterna har tidigare under utbildningen exponerats för de fördelar som användning av III-V halvledare har, och måste kunna diskutera för och nackdelar med olika materialval, t.ex. III-V kontra kisel, ur såväl prestanda- som ur hållbarhetssynpunkt – även det en komplex frågeställning. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 3 är bl.a.

- kunna bygga sin egen modell för komponenten
- kunna konstruera en enkel kretslösning
- kunna utvärdera användningen av olika nanokomponenter
- kunna utveckla nanokomponenter för kommunikationsteknik

Kursen innehåller ett projekt i vilket kretssimulering genomförs i ett program, cadence®, som är standard i industrin. Studenterna får i uppgift att simulera någon kretslösning i programmet och att diskutera resultaten i termer av samma nyckeltal som definierats enligt ovan. Syftet är att få en bredare förståelse för hur nanokomponenter kan användas praktiskt, vilket också ger färdighet i användning av ett standardverktyg för utvärderingen. Ett exempel på en projektrapport, ”Simulations of Ratioed Inverter” återfinns i [7]¹⁰.

3.3.2 KOO045 Materialkemi

Materialkemi är i sig ett tvärvetenskapligt ämne, där syftet är att framställa fasta ämnen med önskade egenskaper. I kursen används främst kemiska metoder, dels för syntes av fasta föreningar och dels för efterföljande modifiering av dessa. Det rör sig i de flesta fall om oorganiska material. Arbetssättet kräver nya kunskaper om hur fasta material (mest kristaller) är uppbyggda och hur de undersöks, i kombination med erfarenheter från tidigare kurser i t ex kemi och materialvetenskap. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 3 är bl.a.

- analysera strukturrelationer mellan fasta material
- bygga strukturmodeller
- analysera sambandet mellan atomstruktur och egenskaper hos fasta material
- sammanfatta sitt projektarbete i en skriftlig rapport
- genomföra en muntlig presentation inför kollegor av samma eller högre kunskapsnivå

Kursen examineras med en skriftlig tentamen och med ett projektarbete. Nedan återfinns två frågor från en typisk tentamen. Frågorna handlar om att känna igen olika grupper av material. Känner man t.ex. igen en halvledare, så har man ett antal generella sätt att påverka

¹⁰ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

egenskaperna. När det gäller syntesmetoder, så har man ofta flera olika möjligheter att välja på för att framställa en vis typ av material.

1. For each of the compounds/materials listed below, give a description of the following subjects: (i) The physical properties, and (ii) how these properties can be manipulated by changing the chemical composition of the material.

- (a) WO_3
- (b) Ruby: $\alpha\text{-(Al,Cr)}_2\text{O}_3$
- (c) La_2CuO_4
- (d) Fe_3O_4
- (e) Zeolite A: $\text{NaAlSiO}_4 \cdot 2.25\text{H}_2\text{O}$

2. For each of the compounds/materials listed below state (i) the present or potential use of the material, and (ii) suggest a suitable method of preparation (starting materials and synthesis conditions).

- (a) Lithium-doped polyacetylene
- (b) Large single crystals of Ge
- (c) Perovskite-type Pb(Zr,Ti)O_3
- (d) Synthetic smectite:
 $\text{Li}_{0.67}\text{Al}_{3.33}\text{Mg}_{0.67}\text{Si}_8\text{F}_4\text{O}_{20} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- (e) $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$

Projektet är en syntesuppgift där en eller ett par fasta föreningar framställs och undersöks. Syntesen är direkt hämtad från pågående forskning vid enheten. Tanken är att studenterna ska få prova arbetssätt som är typiska inom fasta tillståndets kemi. Resultatet presenteras både muntligt och skriftligt. Den korta skriftliga rapporten (max 3 A4-sidor) skrivs i formatet av en vetenskaplig artikel, vilket kan komma till nytta vid det kommande examensarbetet. Exempel på en projektrapport bifogas i [8]¹¹.

3.3.3 FFF042 Fysiken för lågdimensionella strukturer och kvantkomponenter

Kursen behandlar artificiella material med strukturer på nanometerskalan där elektronernas rörelse är begränsad till två, en eller noll dimensioner. Tyngdpunkten ligger på heterostrukturer av halvledare men även andra lågdimensionella system diskuteras. Koncept och grundläggande teori introduceras med utgångspunkt från kvantmekaniken och fördjupas genom applicering på heterostrukturer. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 3 är bl.a.

- kunna analysera avancerade experiment och jämföra resultaten med realistiska beräkningar.
- kunna planera, genomföra och utvärdera ett avancerat forskningsprojekt.
- kunna skriva välstrukturerade rapporter som sammanfattar, förklarar och analyserar experimentellt och/eller teoretiskt arbete.
- kunna presentera egna resultat i ett muntligt föredrag.
- kunna självständigt söka information utöver kurslitteraturen.
- kunna välja approximationer och modeller utifrån erfarenhet och kunskap i fysik i vid mening.

¹¹ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är dels ett projektarbete, dels laborationer.

Projektarbetet sker i samverkan med doktorand eller annan forskare och i direkt anslutning till dennes pågående forskning. Projektarbetet inkluderar att sätta sig in i projektet, planera och genomföra experiment, söka litteratur samt skriva en rapport.

Exempel på projekttitlar:

- “Metal contacting and transport characterization of InP:S doped nanowires”
- “Electrical characterization of GaSb-InAs heterojunctions”
- “Raman Scattering from bio-molecules bound to polystyrene nanoparticles”
- “Optical Studies of Quantum Dots” [9]¹²

Exempel på laboration som genomförs under kursen:

"Optics of quantum structures" som innefattar fotoluminiscens-excitationsspektroskopi på halvledarstrukturer, kvantmekaniska beräkningar samt analys av de experimentella och teoretiska resultaten.

Kursen examineras dels via projekt- och laborationsrapporter men också via inlämningsuppgifter och en skriftlig tentamen. Projektarbetet ska också presenteras muntligt.

3.3.4 FFFN20 Experimentell biofysik

Kursen är en interdisciplinär kurs där fysik, biologi och teknologi blandas. Inledningsvis hålls en rad föreläsningar som definierar grunden för kursen. Sedan är syftet att studenterna med hjälp av PBL-metodik självständigt och i dialog med kursledningen ska genomföra laborationer och ett projekt. Studenterna uppmuntras att testa egna, nya idéer, eller sådana som helt nyligen publicerats i den vetenskapliga litteraturen. Specifika laborativa moment som ingår är grundläggande fluorescensmikroskopi, mjuk litografi, mikrofluidik, lipidmembranets fysik och optisk pincett. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 3 är bl.a.

- självständigt kunna söka information utöver kurslitteraturen
- kunna tillgodogöra sig och sammanfatta vetenskapliga artiklar
- kunna utveckla enkla experiment, dvs utvärdera och välja lämplig experimentell teknik för en specifik frågeställning
- kunna planera ett vetenskapligt projekt
- kunna skriva välstrukturerade projektrapporter som sammanfattar, förklarar och analyserar experimentellt och/eller teoretiskt arbete
- kunna presentera egna resultat i ett muntligt föredrag och aktivt delta i argumenterande vetenskapliga diskussioner

¹² Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

Kursen examineras med skriftlig tentamen, skriftlig rapport, muntlig presentation och opposition. Exempel på projekt som genomfördes under kursomgången 2011 är:

- "Separation of Escherichia coli from blood through deterministic lateral displacement" [10]¹³
- "Nanowaves – Axon guidance on PDMS"
- "The effect of nano-sized plastic particles on Daphnia Magna"
- "Size dependent particle separation with optical tweezers"

3.4 Studenternas egen uppfattning om måluppfyllelse gällande examensmål 3

Studierådet på utbildningen, SRN, har fått i uppgift att utvärdera sin utbildning mot examensmålen. För att få in synpunkter som inte bara speglar ett fåtal studenters uppfattning har de obligatoriska kurserna under år 1 till och med 3 värderats. Samtliga dessa kurser läses av alla studenter. Ur Tabell 1 framgår vilka kurser som enligt studenterna examineras mot examensmål 3.

Eftersom det företrädesvis är examensarbetet och kurser inom specialiseringarna genom vilka måluppfyllelse för examensmål 3 kan visas, är det inte många kurser i obligatoriet som studenterna identifierar som väsentliga för uppfyllelse av mål 3. Dock återfinns de båda obligatoriska kurserna som beskrivits ovan.

¹³ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

Del 1

Examensmål 4

För civilingenjörsexamen skall studenten visa förmåga att utveckla och utforma produkter, processer och system med hänsyn till människors förutsättningar och behov och samhällets mål för ekonomiskt, socialt och ekologiskt hållbar utveckling.

4.1 Generell information avseende Teknisk nanovetenskap relevant för examensmål 4

Examensarbetet är ett moment i civilingenjörsutbildningen genom vilket studenterna kan visa måluppfyllelse för examensmål 4. Graden av måluppfyllelse kan tolkas som ett mått på utbildningens ”användbarhet”, och måluppfyllelsen reflekteras delvis också i de yrkesroller våra färdiga civilingenjörer tar.

Figur 2 (s. 6) visar att hälften av de utexaminerade ingenjörerna från Teknisk nanovetenskap arbetar i olika roller inom akademien. Detta visar att utbildningen är forskningsnära och förbereder väl för forsknings- och utvecklingsarbete. Av de ingenjörer som arbetar i näringslivet varierar yrkesrollerna från att vara materialspecialist på Laerdal Medical till en roll som framtidsanalytiker på Kairos Future. Utbildningens tvärvetenskapliga och gränsöverskridande karaktär återspeglas således också i de färdiga ingenjörernas yrkesval¹⁴. Andelen examensarbeten som utförs i eller i samarbete med industrin är ökande, och hamnar under åren 2010/2011 på 27 %.

En viktig förutsättning för att examensmål 4 ska uppfyllas är att studenten har kunskap om vad som avses med en ekonomiskt, socialt och ekologiskt hållbar utveckling. Denna kunskap tränas och utvecklas under kursen ”Hållbar utveckling med nanoperspektiv”, som ges som sista kurs i årskurs 3. Parallellt med denna kurs löper ”Projekt nanoingenjör”, en kurs i vilken studenterna i större projekt arbetar med att just utforma produkter, processer och/eller system¹⁵. Båda kurserna är obligatoriska för samtliga studenter och beskrivs helt eller delvis under 4.2.4 och 4.2.5.

Studenten har dock redan innan ovan nämnda kurser (och examensarbetet) blir aktuellt, arbetat med produkt-, process- och systemutveckling.

4.2 Exempel på kursmål, kursmoment och examinationsuppgifter avseende examensmål 4

4.2.1 KOO095 Funktionella material – Årskurs 2

Delar av kursen är beskriven under 1.2.3 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 4 är bl.a.

- kunna föreslå enkla verktyg, preparations- och syntesmetoder för att åstadkomma nanometerstrukturer

¹⁴ Slutsatserna grundar sig på de 128 civilingenjörer som utexaminerats sedan utbildningen startade, så det statistiska underlaget är inte stort. Dessa ingenjörer har inte heller varit ute i yrkeslivet ner än högst 4 år, vilket innebär att vi ännu inte sett några alumner på ledande positioner i näringslivet (eller i akademien). Inte heller har de hunnit utvecklas som entreprenörer.

¹⁵ En spin-off-effekt som nyligen (nov 2012) genomfördes med en grupp nanostudenter finns recenserad i [11]

- kunna tillämpa grundläggande kunskaper om ett brett utbud av olika materials egenskaper och använda dessa i nya konstruktioner inom fysik, biomedicin, mekanik, nanoskaliga lab etc.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är föreläsningar och övningar kring framställningsmetoder och återvinning, hur olika material kan kombineras i dagens högteknologiska produkter samt hur material kan designas för det hållbara samhället.

Kursen examineras med en skriftlig tentamen och inlämningsuppgifter. Exempel på tentamensfrågor:

1. Miljövänlig katalys: Inom t ex ångreforming används industriellt en Ni-katalysator. Den har dock vissa problem med igensättning av katalysatorbädden. Vad beror det på, och hur kan man avhjälpa det (två sätt)?

2. a) Nämn tre olika metoder att karakterisera magnetiska domäner och rangordna dem efter bästa upplösning (lägst värde) (4p)

b) Vad finns det för fördelar med magnetiska nanopartiklar? (4p)

c) Föreslå en metod (kortfattat, gärna i punktform) att tillverka magnetiska nanopartiklar. (2p)

4.2.2. KOO105 Analys på nanoskalan – Årskurs 3

Delar av kursen är beskriven under 1.2.4 och 6.2.5 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 4 är bl.a.

- kunna tillämpa sina kunskaper för att välja en lämplig analysmetod för ett visst materialproblem.
- kunna analysera bilder och spektra från olika typer av material, både kvalitativt och kvantitativt.
- kunna planera lämplig preparationsmetod för olika typer av material.
- kunna utvärdera noggrannhet och precision hos olika analysmetoder.
- kunna förklara eventuella artefakter och felkällor.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är föreläsningar, seminarier och gruppövningar. Kursen examineras med en skriftlig tentamen. Exempel på tentamensfråga:

The hydrogen society – what is needed?:

3. Ethanol (C_2H_6O) has been suggested as a safe source of Hydrogen for fuel cells. For this to be realized it is necessary to efficiently extract hydrogen from the Ethanol by breaking up the molecule. This can for example be done by adsorbing ethanol on a metal surface to lower the energy for breaking up the molecule (catalysis). One metal, which has been suggested, is Rhodium.

For all questions please motivate/explain your answers!

a) Which experimental technique can be used to measure the species (CO , C_2H_3 , CH etc.) that Ethanol breaks into when it is adsorbed on a Rhodium surface?

b) Can we measure the relative abundance of the different species of the decomposed Ethanol?

To increase the surface area available for reactions (Rhodium is very expensive) Rhodium nanoparticles on a cheap substrate is usually used.

c) We want to measure the atomic scale surface structure on 5nm sized Rh particles placed on a conducting Si substrate. Which technique can we most easily use?

4.2.3 FRT010 – Reglerteknik. Årskurs 3

Kursen ger kunskap om grundläggande principer inom reglertekniken och ger insikt om vad man kan åstadkomma med reglering samt vilka möjligheter och begränsningar som finns. Delar av kursen är beskriven under 2.2.5 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 4 är bl.a.

- kunna designa regulatorer utgående från givna specifikationer på robusthet och snabbhet utgående från modeller i form av tillståndsbeskrivning, överföringsfunktion, Bodediagram eller Nyquistdiagram.
- kunna designa regulatorer baserade på kaskadkoppling, framkoppling och dödtidskompensering.
- kunna utvärdera regulatorer via analys av transient- och frekvenssvar, samt via laborationer på verkliga processer.

Laborationerna illustrerar den klassiska kompromissen mellan prestanda och kostnad och förstärker ämnets designperspektiv. I laborationerna får studenterna bekanta sig med PID-regulatorn, systematiskt ta fram lämpliga regulatorparametrar och i sista laborationen reglera ett system för vilket en enkel PID-regulator inte är tillräcklig, utan man måste använda en regulator baserad på tillståndsåterkoppling och skattning av samtliga tillstånd från en mätbar utsignal. Exempel på laborationshandledningar ges i [12]¹⁶.

4.2.4 FAFF05 – Projekt nanoingenjör. Årskurs 3

I denna kurs ska teknologerna utveckla sin kunskap kring konsten att utforma och utveckla nya kommersiella produkter eller processer. Teknologerna förkovrar sig i aspekter rörande att starta företag och hur idéer kan skyddas och kommersialiseras. Teknologerna använder sina ingenjörskunskaper för att konstruera en prototyp av ett instrument, en komponent och/eller en produkt relaterad till nanovetenskap och teknik. Delar av kursen är beskriven under 6.2.2 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 4 är bl a :

¹⁶ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

- självständigt kunna söka information i såväl patent- som litteraturdatabaser.
- kunna analysera innehåll i patent samt jämföra detta med innehållet i närliggande vetenskapliga artiklar
- känna till grunderna för hur ett patent skrivs, och vad som bör vara uppfyllt för att få ett patent godkänt
- ökat sin förmåga i projektplanering och projektrelaterat arbetssätt.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är framför allt det projektarbete som studenterna gör. Utgående från en produkt- eller processidé ska studenten, i samråd med kursansvarig, undersöka möjligheter för realisering eller kommersialisering av densamma. I projektet använder sig studenterna sedan av sina ingenjörskunskaper för att i grupp konstruera en nano/mikrobaserad prototyp av ett instrument, komponent eller produkt. Studenterna väljer att genomföra sitt projekt vid en forskningsavdelning eller på ett företag – eller en kombination av båda.

I inledningen av kursen hålls föreläsningar som belyser olika moment i att starta eget, patentfrågor, företagsekonomi och marknadsföring. Föreläsningar och övningar i gruppdyamik är också ett viktigt inslag i början av kursen eftersom projekten genomförs i grupp. Studenten arbetar med två delprojekt, varav båda examineras med skriftliga rapporter och det andra projektet även muntligt i ett symposium.

Kursen har efter studenternas önskemål utökats från att omfatta 7,5 hp till att nu vara en 15-hp:s kurs som sträcker sig över hela den sjätte terminen på programmet. Exempel på skriftliga redovisningar av projekten nedan bifogas. Delprojekt 1 redovisas i form av skriftliga patentundersökningar. Studenterna kan sedan välja att redovisa delprojekt 2 i form av en vetenskaplig- eller populärvetenskaplig rapport eller i form av en affärsplan.

Exempel på projekttitlar:

“Axonseparation med neurotrofiner på elektrospunnen matta av nanofiber”,
patentundersökning [13]¹⁷

”Electrospinning of aligned poly(L-lactic acid) micro fibers for axon guidance and use of neurotrophins for separation and nerve regeneration”, **vetenskaplig artikel** gällande ovanstående projekt [14]

”RealGrow - Cellodlingsytor med nanostruktur”, **affärsplan** [15]

”Nanolon – då tunt blir starkt”, **affärsplan** [16]

”Utveckling av LED för växthusbelysning”, **populärvetenskaplig artikel** [17]

¹⁷ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen:
www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

4.2.5 FAFF15 – Hållbar utveckling med nanoperspektiv. Årskurs 3

I denna kurs ska studenterna tränas i att tänka kritiskt utifrån sin framtida roll som ingenjörer. Kursen ska ge studenterna förmågan att verka för en hållbar utveckling genom att problematisera kring, och kritiskt förhålla sig till sin roll i, och sin påverkan på, samhället. Delar av kursen är beskriven under 5.2.4 och 6.2.3 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 4 är bl a :

- söka upp och värdera information rörande hållbar utveckling.
- relatera tidigare kunskaper från utbildningen till en hållbar utveckling.
- identifiera och utifrån olika ståndpunkter/intressen beskriva problem som kan leda till en icke-hållbar utveckling.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är framför allt arbetet i det scenario som genomsyrar kursen. För att förmedla komplexa kompetenser såsom långsiktig medvetenhet, kritisk informationshantering och problemlösning med beaktande av många olika perspektiv har otraditionella undervisningsmetoder visat sig vara framgångsrika¹⁸¹⁹²⁰. Kursen är därför problembaserad och bygger på ett scenario som rör nanoteknik och som presenteras för studenterna strax efter kursstart²¹. Kursupplägget beskrivs vidare under 5.2.3 och 6.2.3.

Föreläsningar inleder kursen. Dessa behandlar, förutom just begreppet hållbar utveckling, argumentationsteknik/retorik, mötesteknik, etik, praktiskt miljöarbete, ekonomi, juridik, kemikalielagstiftning, politik och global (miljö)rättvisa.

Studenterna arbetar under kursens gång både med individuella dokument och gruppdocument som alla är en del av examinationen. Det individuella dokumentet ska ge studenten möjlighet att självständigt reflektera över vad hållbar utveckling kan innebära ur olika perspektiv. Studenten förväntas visa grundläggande kunskap om hållbar utveckling som begrepp, men ännu viktigare är att studenten kan göra en individuell och kritisk tolkning av begreppet genom att relatera till tidigare kunskaper och genom att diskutera relevanta värderingar och prioriteringar. Exempel på ett individuellt dokument finns i [19]²², inledningen till detta dokument är citerad nedan.

”Utifrån föreläsningarna som varit och allt material som plöjts igenom under arbetet med gruppdocumenten i den här kursen, står det klart att det mesta fokus ligger på att reparera de skador som redan skett som följd av den utveckling vi åtnjutit i olika grad runt om i världen. Begreppet hållbar utveckling rinner ner till att bara bli den beska medicinen vi tvingas ta när

¹⁸ Svanström M., Lozano-García F.J., Rowe D. (2008) Learning outcomes for sustainable development in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. 9:3, 339-351.

¹⁹ Svanström M., Lundqvist U., Arehag M., Holmberg J. (2008) Addressing the quality of engineering education for sustainable development – experiences from Chalmers University of Technology. Paper presented at Engineering Education for Sustainable Development, 22-24 September, Graz, Austria, tillgänglig: <http://publications.lib.chalmers.se/cpl/record/index.xsql?pubid=78489> (25/5 2010)

²⁰ Karen Ir., Fortuin P.J., Bush S.R. (2010) Educating students to cross boundaries between disciplines and cultures and between theory and practice. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. 11:1, 19-35

²¹ Läsåret 2011/2012 var temat för detta scenario ”Climate Engineering with nanoparticles year 2050”, [18]

²² Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

*vi sätter utveckling framför allt. Personligen, som teknolog och förespråkare för ny teknik, ska jag erkänna att min syn på hållbarhet i början av den här kursen var att den syftade till att hålla koll på förlopp och dra i nödbromsen när det skenade. Jag kan i dagsläget se en del brister i den metodiken. För är det verkligen så mycket utveckling att bygga en lite större, kanske lite strömsnålare tv-apparat? Kanske är det **vidare**utveckling men den verkliga utvecklingen tror jag uppstår först när människors (dvs de som faktiskt ligger bakom) generella inställning förändras. Min uppfattning är att den förändringen, den utvecklingen, måste vara hållbar. Först när människors tankebanor präglas av hållbarhet kommer vår utveckling och så småningom även vidareutveckling att vara hållbar, ty den är sprungen ur det. Inte som idag när hållbarhet är något som närmast håller tillbaka den utvecklingen vi vant oss vid, en utveckling som dessutom i mångt och mycket är utveckling endast för utvecklingens skull.”*

4.4 Studenternas egen uppfattning om måluppfyllelse gällande examensmål 4

Studierådet på utbildningen, SRN, har fått i uppgift att utvärdera sin utbildning mot examensmålen. Ur Tabell 1 framgår vilka kurser som enligt studenterna examineras mot examensmål 4.

Del 1

Examensmål 5

För civilingenjörsexamen skall studenten visa förmåga att i såväl nationella som internationella sammanhang muntligt och skriftligt i dialog med olika grupper klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa

5.1 Generell information avseende Teknisk nanovetenskap relevant för examensmål 5

Studenterna på programmet växelverkar under de tre första åren med många olika ”grupper”. Dels samläses kurser med andra grupper av ingenjörsstudenter (kemiteknik, bioteknik, medicin och teknik, teknisk fysik, teknisk matematik och elektroteknik), dels är fyra av obligatoriets kurser förlagda till naturvetenskapliga fakulteten vid Lunds Universitet. Tvärvetenskapligheten i programmet får en omedelbar konsekvens; studenten tränas i att bli en god kommunikatör.

Två av kurserna inom obligatoriet, FFF110 ”Process och komponentteknologi” (se avsnitt 3.2.2. och 6.2.4.) och KOO105 ”Analys på nanoskalan” (se avsnitt 1.2.4., 4.2.2. och 6.2.5), är obligatoriska för den internationella masterutbildningen i ”Nanoscience”. All undervisning och dialog i kurserna sker på engelska, vilket ytterligare stärker studenternas förmåga till växelverkan och kommunikation med olika grupper. Fler än en tredjedel av kurserna inom programmets obligatorium har dessutom internationell kurslitteratur som inte bara är upptagen på en litteraturlista (och ersatt av ett ”kompendium”), utan verkligen används.

Tabell 3 nedan sammanställer förekomsten av skriftlig och muntlig framställning samt granskning av andras arbeten inom obligatoriet. Dessutom är granskning i form av

Kurs	Skriftlig framställning			Muntlig framställning		Granskning
	Labrapport/mindre inlämning	Projekt (mindre)	Projekt (större)	Diskussion	Presentation	
FAFA05	x					x
FFFA01	x		x		x	
FMAA01				x		
KOKA05	x					
TEK295	x					
FAFA10	x	x		x		
FFFF01	x			x		
FMFF20	x		x			
FMS086	x					
FFF110			x	x		
FRT010	x					
EEM045			x	x		
FAFF05		x	x	x	x	x
FAFF15		x	x	x	x	x

Tabell 3. Kurser inom obligatoriet i vilka skriftlig och muntlig framställning tränas på olika sätt.

opponering på ett annat examensarbete ett krav för godkänt examensarbete.

Den utpräglad internationella miljö i vilken nanometerkonsortiet verkar, blir vardag redan för de nyantagna studenterna på programmet och utbildningens synlighet på den internationella arenan stimulerar vidare. Det är få utbildningsprogram i nanoteknik/nanovetenskap i världen som kan uppvisa såväl bredd som spets, och programmet har positivt uppmärksammats internationellt [20]²³

Andelen studenter på programmet som väljer att tillbringa minst 6 månader av sin studietid utomlands uppgår idag till ca 25 %. På programmet har sedan 2009 tre s.k. TIME-studenter²⁴ från Frankrike erhållit en dubbelexamen och för närvarande är en nanostudent på ett exklusivt tvåårigt TIME-utbyte med Keiouniversitetet i Japan.

5.2 Exempel på kursmål, kursmoment och examinationsuppgifter avseende examensmål 5

5.2.1 FFFA01 Nanovetenskap och nanoteknik – en introduktion. Årskurs 1

Delar av kursen är beskriven under 1.2.1 och 6.2.1 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 5 är bl a :

- diskutera och redogöra för tekniska, vetenskapliga och samhällseliga aspekter av nanoteknik
- hålla ett kortare muntligt föredrag
- skriva en rapport om en projektuppgift
- göra en poster om en projektuppgift

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är framför allt det projektarbete som studenterna genomför under senare delen av kursen. Projekten presenteras vid ett ”vetenskapligt symposium”, dels i form av en muntlig presentation för övriga nanostudenter samt inbjudna gymnasieelever och deras lärare, dels av en posterpresentation. Rapporten har utformningen som en vetenskaplig artikel och omfattar ca 4 sidor. Samtliga rapporter samlas till symposiets ”Proceedings” och distribueras till symposiedeltagarna, [22]²⁵.

Vid symposiet filmas samtliga studenters framträdande och någon eller några veckor senare får varje student se sin egen presentation tillsammans med programmets studievägledare som samtidigt ger individuell feedback på framförandet.

5.2.2 FAFA10 – Fysik – Kvantfenomen och nanoteknologi. Årskurs 2

Kursen är beskriven under 2.2.3 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Under kursen läggs stor vikt på begreppsförståelse och studenterna uppmuntras att aktivt diskutera, förklara

²³ Programmet har bidragit aktivt till en internationell UNESCO-rapport som kommer att publiceras inom kort [21].

²⁴ TIME, dvs. Top Industrial Managers for Europe

²⁵ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

och reflektera över kursens innehåll. Arbetet dokumenteras bl.a. i de skriftliga rapporter som studenterna skriver. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 5 är bl.a.

- kunna hålla ett kortare muntligt föredrag
- kunna skriva en rapport om en projektuppgift/laboration

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är, förutom de föreläsningar som examineras via en obligatorisk kontrollskrivning efter 3 veckor, inlämningsuppgifter, projektarbeten och laborationer som redovisas skriftligt och muntligt. Ett exempel på en rapport finns i [3]²⁶.

5.2.3 FFFF01 Elektroniska material. Årskurs 2

Delar av kursen är beskriven under 1.2.2 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 5 är bl a :

- kunna presentera och förklara fysikaliska frågeställningar och experimentella resultat skriftligt och muntligt.

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är framför allt de laborationer som utförs under kursen. En av kursens laborationer, pn-övergången, består av tre olika moment varav laboranterna i par genomför en. Under två timmars diskussionspass i grupper om tre par och en handledare, förklarar sedan studenterna sina experiment, resultat och tolkningar för varandra. Tonvikten ligger på diskussion och förklaring, inte på presentation.

En annan av kursens laborationer, Konduktivitet och Halleffekt, redovisas med en skriftlig rapport. Rapporten fokuserar på logisk argumentation och struktur – något som studenterna inte alltid reflekterar medvetet över. Laborationerna är en del av kursens examination som i övrigt tenteras med en skriftlig tentamen (för godkänt), och en muntlig tentamen (för högre betyg). Den muntliga tentamen är således frivillig, men de studenter som väljer att genomföra densamma examineras utan tvekan direkt mot examensmål 5 genom att inför examinator "...klart redogöra för och diskutera sina slutsatser och den kunskap och de argument som ligger till grund för dessa."

5.2.4 FAFF15 "Hållbar utveckling med nanoperspektiv". Årskurs 3

Delar av kursen är beskriven under 4.2.5 och 6.2.3 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **färdighet och förmåga** relaterade till examensmål 5 är bl a :

- formulera och presentera argument och diskutera dessa genom aktivt deltagande i mindre grupper samt vid ett stort officiellt möte.

²⁶ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är framför allt arbetet i det scenario som genomsyrar kursen (se även 4.2.5). Arbetet inleds²⁷ med att studenterna samlas i de intressegrupper som definierats, och som var och en tilldelats en plats i, för att formulera en intressegruppsbeskrivning. Intressegrupperna kan till exempel bestå av en grupp forskare, politiker i u- och/eller i-land, lobbyister från multinationella företag, folkhälsoorganisationer, NGO:s med ett intresse för miljö och/eller mänskliga rättigheter, en reglerande myndighet etc. I intressegrupperna ska studenterna enas om hur sammansättningen ser ut och vem som ska anta vilken roll. Intressegruppsbeskrivningen ska förmedla en tydlig föreställning av gruppens antaganden och värderingar, dess förutsättningar och intressen i relation till begreppet hållbar utveckling samt dess specifika mål och krav i relation till det givna scenariot. Detta första dokument lämnas in 2 veckor in på kursen. Studenterna ska sedan arbeta vidare i sina intressegrupper och fokusera på det scenario som presenterats för dem. Som stöd för arbetet i grupp finns föreläsningar och övningar i gruppdynamik som ingår i den parallella kursen ”Projekt nanoingenjör”, se 4.2.4.

Arbetet med nästa dokument, intressegruppsdokumentet, sker iterativt i det att kursledningen efter två inlämningar ger feedback. Här förväntas studenterna belysa den aktuella problemställningen i scenariot från olika perspektiv, och förekomma andra grupper eventuella invändningar. Inlämning sker efter tre, fyra och sex veckor och feedback ges på de två första inlämningarna.

Mellan de olika versionerna av intressegruppsdokumenten möts studenterna i s.k. tvärgruppsmöten. Här förväntas studenterna spela sina roller som representanter för sina intressegrupper. Det gäller då att lägga undan sina personliga värderingar och försöka argumentera för intressegruppens sak genom att med det senaste dokumentet som grund framföra intressegruppens åsikter. Som hjälp inför dessa möten har studenterna fått föreläsningar i retorik och argumentationsteknik vid vilka de också fått utföra övningar. Kursledningen är närvarande vid samtliga gruppmöten.

Inom ramen för kursen (i vilken samtliga undervisningsmoment är obligatoriska) arrangeras också en workshop vid vilken studenterna möter och samverkar med masterstudenter vid internationella miljöinstitutet (IIIEE) i Lund. Tanken med workshopen är att det ska ske ett kunskaps- och erfarenhetsutbyte mellan nanostudenter (som har kunskap om teknik) och internationella masterstudenter (som har kunskap om miljö och miljöledning). Varje student kommunicerar såväl över ämnesgränser som över kulturella gränser för att förmedla egna, samt förstå andras utgångspunkter, synsätt och värderingar. Kommunikationen sker med nödvändighet på engelska och mot slutet av dagen presenteras slutsatser och idéer muntligen för hela gruppen.

Kursen avslutas med att alla samlas för en 24-timmars konferens vid vilken intressegrupperna ska enas om en gemensam färdplan. Här arbetar kursdeltagarna omväxlande i intresse-, tvär och fokusgrupper och slutresultatet ska bli ett dokument som alla kan skriva under.

²⁷ Hur kursen är uppbyggd tidsmässigt framgår ur [23].

Som en del av examinationen hålls härfter en ”presskonferens” vid vilken studenterna ställs att försvara sin utarbetade ”färdplan mot hållbarhet”. ”Pressen” utgörs av journaliststudenter vid Lunds Universitet och andra inbjudna. Meningen med presskonferensen är att studenterna här ska försvara utgången av förhandlingarna inför en ”fiktiv och kritisk världspublik”.

5.3 Specialiseringarna

En överväldigande majoritet av kurserna inom specialiseringarna ges på engelska, se Tabell 2. I vissa fall är kursansvarig lärare engelskspråkig men i de flesta fall är engelska en nödvändighet eftersom kursen är öppen för utbytesstudenter.

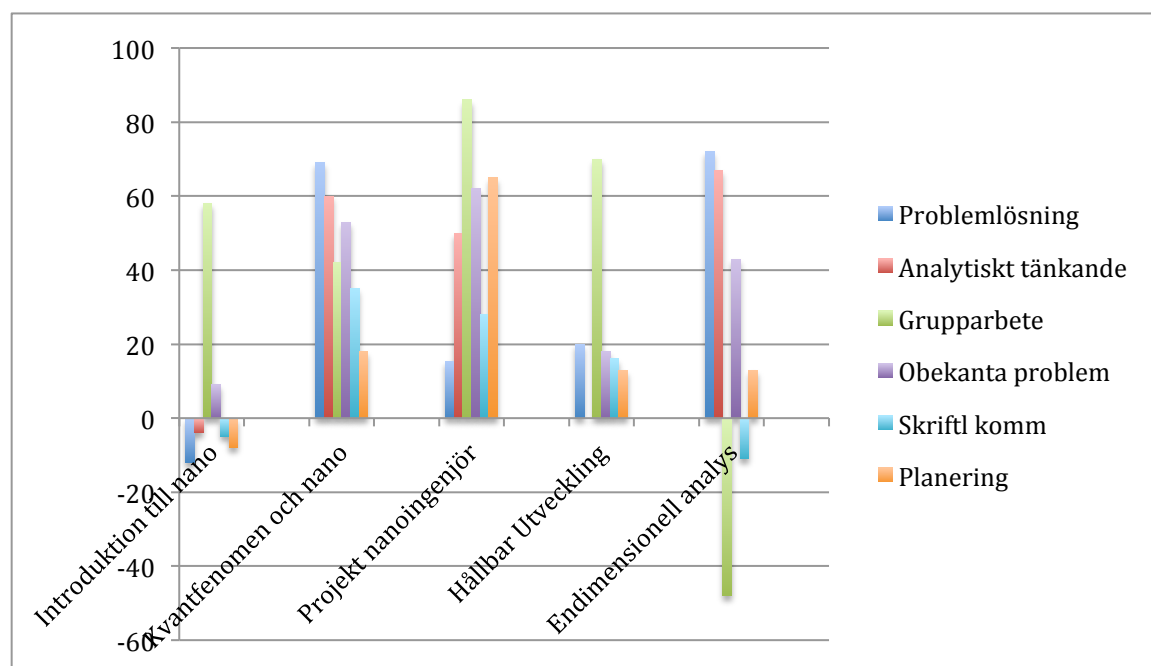
Examensarbetena på Teknisk nanovetenskap är skrivna på engelska. Normalt sker också presentationen av examensarbetet på engelska.

5.4 Studenternas egen uppfattning om måluppfyllelse gällande examensmål 5

Studierådet på utbildningen, SRN, har fått i uppgift att utvärdera sin utbildning mot examensmålen. Ur Tabell 1 framgår vilka kurser som enligt studenterna examineras mot examensmål 5.

Det finns även explicita frågor i LTH:s centrala kursutvärderingssystem CEQ (se s.3) som behandlar de kommunikationsaspekter som avses i examensmål 5. Studenterna får till exempel värdera påståendena ”Kursen har utvecklat min förmåga att arbeta i grupp” och ”Kursen har förbättrat min förmåga att kommunicera skriftligt”.

Diagrammet nedan redovisar en jämförelse mellan kurser (beskrivna i detta dokument) som studenterna upplever bidrar till måluppfyllelse av examensmål 5, och en ”typisk” matematikkurs på en civilingenjörsutbildning; ”Endimensionell analys”.



Del 1

Examensmål 6

För civilingenjörsexamen skall studenten visa insikt i teknikens möjligheter och begränsningar, dess roll i samhället och människors ansvar för hur den används, inbegripet sociala och ekonomiska aspekter samt miljö- och arbetsmiljöaspekter.

6.1 Generell information avseende Teknisk nanovetenskap relevant för examensmål 6

Teknikens ”möjligheter och begränsningar” är en formulering som bör ses ur två perspektiv. Dels handlar det om inom vilka ramar teknikutvecklingen kan ske ur ett samhälleligt perspektiv. Men det handlar också om vilka möjligheter och begränsningar naturen ger och var ”forskningens gräns” ligger; ”Hur liten kan man bygga en transistor?” eller ”Hur snabba förlopp kan man detektera?” etc.

Under utbildningen i teknisk nanovetenskap möter studenterna båda perspektiven och nedan redovisas inledningsvis kurser vars kursinnehåll relaterar till teknikens samhälleliga aspekter. Härefter diskuteras kortfattat kurser i vilka det andra perspektivet ges utrymme.

De två stora materialforskningsanläggningar som nu byggs i Lund, den nationella MAX IV och den europeiska anläggningen ESS, utgör fantastiska utgångspunkter i diskussioner om båda perspektiven på ”teknikens möjligheter och begränsningar”. Det första perspektivet eftersom den moderna materialvetenskapen kommer att kunna ha direkt betydelse för människors liv t.ex. gällande kläder, mat, sjuk- och hälsovård, samfärdsel, boende, uppvärmning och informationsöverföring. Det andra perspektivet – ”Vad är möjligt?” – eftersom dessa stora anläggningar kommer att inrymma forskning som just tangerar ”det möjligas gräns”.

Under kursen FAFF15 Hållbar utveckling med nanoperspektiv, som beskrivs under 4.2.5, 5.2.4 och 6.2.3. nedan, utgjorde just ESS rollspelsscenario år 2010.

6.2 Exempel på kursmål, kursmoment och examinationsuppgifter avseende examensmål 6

6.2.1 FFFA01 – Nanovetenskap och nanoteknik – en introduktion. Årskurs 1

Den inledande kursen i årskurs 1 syftar till att hjälpa studenterna måla upp en ”karta” över forskning och tillämpningar inom nanovetenskap och nanoteknik. Många av studenterna har sökt till programmet eftersom nanotekniken framställs som ”framtidens teknologi” inom många tillämpningsområden. Det är därför av yttersta vikt att nanoteknikens möjligheter och begränsningar diskuteras ur olika perspektiv på ett tidigt stadium i utbildningen. Kursen pekar sedan framåt, mot årskurs 3, där dessa diskussioner (om inte förr) återupptas inom ramen för kurserna ”Hållbar utveckling med nanoperspektiv” och ”Projekt nanoingenjör”.

Delar av kursen är beskriven under 1.2.1 och 5.2.1 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **värderingsförmåga och förhållningssätt** relaterade till examensmål 6 är bl.a.

- kunna aktivt delta i en argumenterande diskussion rörande nanovetenskapliga och nanotekniska problemställningar
- förstå principen bakom etiska överväganden

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är bl.a. de föreläsningar inom områdena "Nanoetik", "Nanosäkerhet" och "Nanoföretagande" som ges för att särskilt belysa samhällseliga aspekter. Man kan inte nog poängtera vikten av tidigt i programmet introducera ett "säkerhets- och hållbarhetstänkande". Nanotekniken är ny, och det är lätt att finna exempel på hur fel det kan bli när säkerhetsaspekter och människors oro inte från början är med i diskussionerna, jfr. t.ex. GMO-diskussionerna.

Till nanometerkonsortiet är knutet forskare som direkt arbetar med nanosäkerhet (prof. Sara Linse, prof. Mats Bohgard) och med nanoetik (prof. Nils-Eric Sahlin och Veronica Johansson) och som ansvarar för motsvarande föreläsningar.

Studenterna ges under kursen också möjlighet att besöka storföretag som aktivt arbetar med nanoteknik (TetraPak) och forskningsföretag som är en direkt avknoppning av nanovetenskaplig forskning (Obducat, SolVoltaics och glo).

Kursen examineras med skriftliga inlämningsuppgifter rörande nanoetik, med en muntlig tentamen samt med ett vetenskapligt symposium vid vilket studenternas projektarbeten presenteras. Ett exempel på en skriftlig nanoetikuppgift återfinns i [24].²⁸

6.2.2 FAFF05 – Projekt nanoingenjör. Årskurs 3

Delar av kursen är beskriven under 4.2.4 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **värderingsförmåga och förhållningssätt** relaterade till examensmål 6 är bl.a.

- ha en god förståelse för begreppet "entreprenöranda" samt en förståelse för livet som yrkesaktiv civilingenjör

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är de båda projekt som genomförs under kursen och i vilka studenterna arbetar med nya idéer och patent. Teknikens möjligheter och begränsningar blir här påtagliga i det att studenterna i praktiken exponeras för alla de svårigheter produktutveckling innebär. Det kan vara allt från att produkten/processen i fråga inte fungerar till att lagstiftningen förbjuder användning av tänkta material eller processer. Insikten i hur patentanalys går till är också av stor vikt för måluppfyllelse.

Kursen examineras skriftligt och muntligt och exempel på projektrapporter bifogas enligt 4.2.4.

²⁸ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

6.2.3 FAFF15 – Hållbar utveckling med nanoperspektiv. Årskurs 3

Delar av kursen är beskriven under 4.2.5 och 5.2.4 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **värderingsförmåga och förhållningssätt** relaterade till examensmål 6 är bl.a.

- självständigt och i grupp ta fram en hållbar och ur relevanta aspekter väl belyst lösning till ett problem
- kritiskt analysera och bedöma hållbarheten i presenterade lösningar

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är det problembaserade scenario som rör nanoteknik och som finns beskrivet under 5.2.4. För att ge studenterna inspiration och en inblick i de delar av samhället som framför allt berörs av frågor inom hållbar utveckling ges också föreläsningar i inledningen av kursen.

Studenten tränas genom rollspelet i att tänka kritiskt utifrån sin framtida roll som ingenjör. Genom att aktivt behöva argumentera för sin intressegrupps ställningstaganden tvingas studenten att vara väl inläst på såväl sina "egna" perspektiv och åsikter som "motståndarnas". Arbetsformen ger träning i att argumentera inte bara med utgångspunkt från sina egna värderingar och känslor, utan baserat på fakta – som kan tolkas olika beroende på hur man vill att den ska användas. Studenten sätts också mot slutet av kursen i en förhandlingsposition där det gäller att fokusera på och välja ut det som *verkligen* betyder något i argumentationen för hållbarhet. För att lyckas i argumentation och förhandlingar måste studenten inte bara vara en bra retoriker utan också vara väl påläst och ha en god känsla för hur grupprocesser fungerar.

Intressegruppernas dokument utvecklas inom gruppen. Individuella dokument i vilka den enskilde studenten reflekterar över Hållbar utveckling skrivs i början av kursen och sist i kursen. Båda dessa dokument bedöms och ingår i examinationen [25,19]²⁹. Vid den avslutande presskonferensen, som är en del av examinationen, ska studenterna presentera och försvara sin färdplan inför en inbjuden publik.

Kursen och dess arbetssätt har varit föremål för forskning (artikel publicerad vid den internationella konferensen "Engineering Education for Sustainable Development", EESD i Göteborg 2010 [26]) och under 2012 genomfördes fokusgruppsintervjuer och individuella intervjuer med frivilliga studenter. Dessutom utformades studenternas utvärdering så att resultatet av den inte bara kan användas i kursutvecklingssyfte utan också som värdefull input till forskningsprojektet, se vidare [27].

En första presentation av erfarenheterna hölls vid den internationella konferensen "Improving Student Learning 2012" [28]. Forskningsprojektet drivs av Johanna Lönngren, civilingenjör i teknisk nanovetenskap och doktorand vid Chalmers³⁰, som fokuserar på EESD, Engineering Education for Sustainable Development [29].

²⁹ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

³⁰ <http://www.ait.gu.se/kontaktaoss/personal/johanna-lonngren/>

6.2.4 FFF110 – Process- och komponentteknologi. Årskurs 3

Delar av kursen är beskriven under 3.2.2 och 5.1 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **värderingsförmåga och förhållningssätt** relaterade till examensmål 6 är bl.a.

- kunna förklara hur (ovannämnda) processer kan realiseras på nanometerskala
- kunna förklara kopplingen mellan möjligheter och begränsningar i processning och komponenters prestanda

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är framför allt de föreläsningar och övningar vid vilka man diskuterar ”den begränsande faktorn” i olika sammanhang.

Kursen examineras med skriftlig tentamen (och laborationer, se bilaga [30]) och exempel på examinationsuppgifter kan vara:

1. Hur är det möjligt att göra strukturer med 20 nm upplösning med hjälp av ljus med 193 nm våglängd?

Andra exempel på uppgifter kan beröra t.ex. värmeutveckling i transistorer eller hur känsliga olika processer är avseende temperatur och vilka material eller kombinationer av material som används.

6.2.5 KOO105 – Analys på nanoskalan. Årskurs 3

Delar av kursen är beskriven under 1.2.4 och 4.2.2 då den bidrar till måluppfyllelse även där. Explicita och centrala kursmål avseende **värderingsförmåga och förhållningssätt** relaterade till examensmål 6 är bl.a.

- kunna utvärdera noggrannhet och precision hos olika analysmetoder
- kunna förklara eventuella artefakter och felkällor

Centrala kursmoment som bidrar till måluppfyllelse är framför allt föreläsningar och övningar. Kursen examineras med skriftlig tentamen och exempel på en examinationsuppgift kan vara:

6. In electron microscopy we have different detectors, such as BF-detector, HAADF-detector; XEDS, EELS, SE, conventional DF-detector and BSE-detector.

- a) Which detectors can work in which microscope(s)?*
- b) What is the approximate energy/energy range of the radiation detected?*
- c) Describe at least one detector in detail*
- d) Two detectors are in principle equivalent – which ones, and why?*

6.4 Studenternas egen uppfattning om måluppfyllelse gällande examensmål 6

Studierådet på utbildningen, SRN, har fått i uppgift att utvärdera sin utbildning mot examensmålen. Ur Tabell 1 framgår vilka kurser som enligt studenterna examineras mot examensmål 6.

Del 2

Lärarkompetens och lärarkapacitet

Nedanstående analys baserar sig på situationen vid utgången av läsåret 2011/2012.

Enligt anställningsordningen vid Lunds universitet ska tillsvidareanställda professorer, universitetslektorer och universitetsadjunkter vid Lunds universitet, för anställning, ha genomgått högskolepedagogisk utbildning om minst fem veckor eller på annat sätt inhämtat motsvarande kunskaper.

Enligt Plan för kompetensförsörjning vid Lunds universitet finns som övergripande mål för kompetensutveckling att alla lärare ska ha genomgått högskolepedagogisk utbildning om tio veckor till år 2015.

Alla doktorander ska erbjudas högskolepedagogisk utbildning omfattande minst två veckor. Doktorander som undervisar inom utbildningen på grundnivå eller avancerad nivå ska ha genomgått inledande högskolepedagogisk utbildning eller på annat sätt förvärvat motsvarande kunskaper. LTH:s egna högskolepedagogiska kurser ges av Genombrottet

<http://www.lth.se/genombrottet/>

LTH:s lärare (ej doktorander) kan ansöka om att få sina pedagogiska meriter bedömda och bli antagna till LTH:s Pedagogiska Akademi varvid man erhåller den pedagogiska kompetensgraden Excellent Teaching Practitioner (ETP) och en omedelbar löneökning. Den sökande läraren ska i sin ansökan redovisa hur han eller hon över tid, medvetet och systematiskt, strävat efter att utveckla studenternas lärande i det egna ämnet samt hur han eller hon verkat för att göra de egna erfarenheterna av detta pedagogiska arbete tillgängliga för andra.

De kursansvariga lärarnas kompetens vid programmet Teknisk nanovetenskap anges i lärartabellen. Tabellen anger även antalet forskarutbildade (tillsvidareanställda) lärare vid den del av respektive institution som tillhör LTH. Forskarutbildning är ett krav för att få examinera examensarbeten.

Som framgår av tabellen är lärarkåren på programmet synnerligen högutbildad. Kursansvariga för de tjugotvå kurserna under de tre första åren är sju professorer, åtta universitetslektorer, två biträdande universitetslektorer, två universitetsadjunkter och en forskare. (Här har vi räknat unika personer. Några av professorerna och lektorerna är kursansvariga för mer än en kurs medan några kurser har delat kursansvar.) Tretton av tjugo kursansvariga inom obligatoriet arbetar med forskning inom Nanometerkonsortiet (nmC@LU) och har därmed kontakt såväl inom forskningen som inom utbildningen.

Tolv av programmets lärare har erhållit ETP och deltar aktivt i LTH:s pedagogiska utvecklingsarbete, något som väsentligt gynnar programmet.

Del 2

Antal helårsstudenter

Antal helårsstudenter i aktuell utbildning läsåret 2011/2012.

	Antal
Helårsstudenter	218

Studenternas förutsättningar

Informationen kring studenternas förutsättningar kommer från LTH:s enkät EWS (Early Warning System) vilken fyllts i av samtliga nybörjare på alla utbildningsprogram sedan 1997. EWS används för att kunna identifiera och rikta insatser till studenter med behov av hjälp och stöd i tidigt under studietiden. I enkäten svarar studenterna på frågor om sin studiebakgrund och den egna synen på sin studiekapacitet, anledning till att de sökte till en utbildning vid LTH och frågor om vad de förväntar sig av sin utbildning.

Tabell 4 nedan ger en bild av studenternas språkbakgrund och intresse. Årets EWS-resultat finns som bilaga [31]³¹.

Antagningsår	Andel med annat modersmål än svenska / %	Andel förstahandssökande / %
2006	7	86
2007	5	85
2008	7	80
2009	5	76
2010	5	84
2011	8	92
2012	10	71

Tabell 4. Språkförutsättningar och intresse.

Antalet förstahandssökande per studieplats håller sig stabilt på drygt två (2). Ungefär 600 söker totalt till utbildningens 56 platser. Den andel studenter som *inte* sökt programmet i första hand har företrädesvis haft Läkarprogrammet som förstahandsval. Det kan tyckas vara ett udda alternativ, men specialiseringen i Nanobiomedicin lockar studenter med brett intresse som lutar åt medicin.

Urvalet av studenter innebär att 35% antas på högskoleprov och 65% på betyg av olika slag. Den sist antagna i högskoleprovskvoten har under åren ovan haft ett resultat på 1,5 medan det krävs minibetyg för direktantagning från gymnasiet på ca 1,5 betygspoäng under det maximala³².

Andelen kvinnliga studenter på programmet är mellan 30% och 35%. Av studenterna kommer ca en tredjedel från Skåne, en tredjedel från södra Sverige (utom Skåne) och en tredjedel från mellersta och norra Sverige.

³¹ Samtliga referenser hänvisar till ett referensmaterial (uppgifter, instruktioner, studentarbeten) som finns under adressen: www.ftf.lth.se/N-login Användarnamn 'Nutvärderare', lösenordet 'Nhsv1213'.

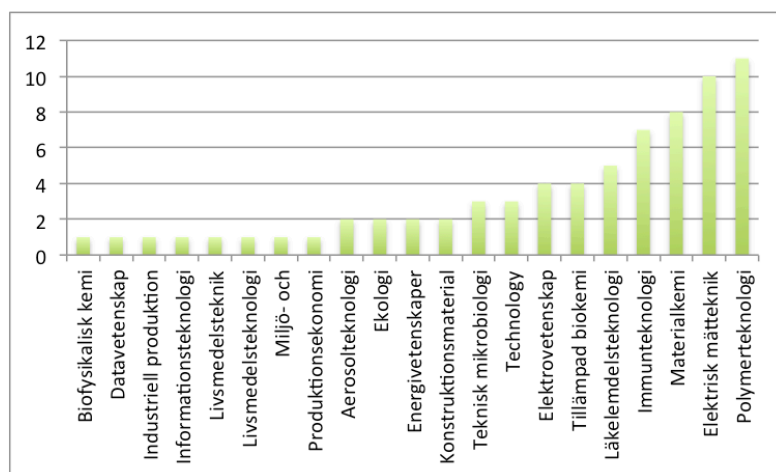
³² Den maximala betygspoängen ändrades inför antagningen 2010 från 20,0 till 22,5.

Del 3

Examensarbetenas mål, ingående moment och förläggning

Syftet med ett examensarbete är att studenten ska "... utveckla och visa sådan kunskap och förmåga som krävs för att självständigt arbeta som civilingenjör." Under den undersökta perioden (2011-09-01 – 2012-08-30) har totalt 31 examensarbeten examinerats på utbildningen, varav sju (7) har registrerats som industriförlagda och ett (1) registrerats som utlandsförlagt. Företag som varit involverade är IKEA Components, Höganäs AB, Gambro AB, E.ON Sverige AB, Epsilon AB Innventia och Acreo AB. På LTH som helhet genomförs ett relativt stort antal examensarbeten i samarbete med industrin. Den starka exponeringen för forskning under grundutbildningen i Teknisk nanovetenskap tros bidra till att antalet examensarbeten i industrin på programmet ligger under genomsnittet vid LTH.

På utbildningsprogrammet i Teknisk nanovetenskap återfinns 21 examensarbetsämnen plus TM. Trots att antalet ämnen vid LTH är många, räcker de inte till för att omfatta den bredd som nanotekniken/nanovetenskapen spänner upp. Exempelvis finns inte Biomedicin som examensarbetsämne vid LTH. Det betyder att ett examensarbete inom detta ämnesområde examineras på en institution där forskning inom den biomedicinska gren examensarbetet omfattar förekommer.



Figur 5. Antal examensarbeten utförda inom respektive examensarbetsämne t.o.m. oktober 2012. Observera att Fysikämnet är exkluderat.

En stor andel av examensarbetena utförda på programmet examineras vid Fysiska institutionen eftersom det vid densamma finns forskargrupper som arbetar mot t.ex. biomedicin.

I Figur 5 visas i vilka ämnen examensarbeten utförs. Inom fysikämnet har 57 examensarbeten utförts. (Dessa finns inte illustrerade i figuren.)

Drygt 30 av arbetena inom

fysik är "typiska" fysikarbeten medan 10 idag³³ skulle karakteriseras som elektrovetenskap. Övriga (ca 15) ligger i forskningsområdena biofysik, biomedicin och mikrofluidik, vilka samtliga är representerade av forskargrupper vid Fysiska institutionen.

LTH har tagit beslutet att ingen del av examensarbetsrapporten får sekretessbeläggas. Detta gäller oavsett var examensarbetet genomförts.

För examensarbete utser prefekten vid en institution en eller flera forskarutbildade lärare vid Lunds Universitet som examinator. Examinator ansvarar för att studenten har relevant

³³ En forskargrupp flyttade vid årsskiftet 2011/2012 från Fysikinstitutionen till institutionen för elektrovetenskap.

handledning under arbetet.Handledare och examinator är inte samma person. Handledare behöver inte vara anställd vid LTH.

Studenterna är behöriga att påbörja examensarbetet när de har klarat av minst 240 hp inom programmet. På teknisk nanovetenskap genomförs examensarbetet företrädesvis under termin (nio och) tio. Examensarbetet, som är på 30 hp, förläggs normalt inom den specialiseringen studenten valt, men kan också göras utanför den valda specialiseringen förutsatt att studenten har tillräckliga förkunskaper. Dessa bedöms av examinator. Normalt görs examensarbetet enskilt, men studenterna kan göra arbetet i grupper om högst två. I det senare fallet ska det framgå tydligt vad var och en av studenterna har gjort. Examensarbeten inom Technology Management (TM) utförs **alltid** av två studenter tillsammans – en från LTH och en från Ekonomihögskolan vid Lunds Universitet, EHL.

Examensarbetet examineras via:

- Skriftlig rapport på svenska eller engelska
- Muntlig presentation
- Opponering på annan students arbete
- Sammanfattning som har formen av en populärvetenskaplig eller en vetenskaplig artikel

Examinator betygssätter den skriftliga rapporten och den muntliga presentationen. Den (populär)vetenskapliga artikeln godkänns av handledare eller examinator medan opponeringen godkänns av examinator för det examensarbete som opponeras på.

På utbildningsprogrammet i Teknisk nanovetenskap har, såvitt programledningen vet, samtliga examensarbeten skrivits på engelska.

Del 3

Det övergripande målet för utbildningen – anställningsbarhet

Som framgår av Figur 2 under avsnitt 1.1 fanns i slutet av oktober 2012 sex (6) arbetssökande, färdiga civilingenjörer från programmet. De har tagit ut sin examen under senare delen av 2012, således har ingen varit utan arbete under en längre tid. Det finns också åtta alumner som programledningen tappat kontakten med. Dessa tillhör dock de första årgångarna av utexaminerade studenter och samtliga har haft arbete efter sin examen. Det finns således ingen anledning att tro att de inte finns på arbetsmarknaden.

Av de alumner som valt att bli doktorander återfinns 30 st vid olika institutioner vid universitetet i Lund, övriga vid Linköpings universitet, KTH, Göteborgs universitet, Chalmers och Umeå universitet. Ett tiotal återfinns utomlands vid universitet i Danmark, Holland, Storbritannien, Tyskland, Frankrike och Schweiz.

Bilden nedan visar ett axplock av de företag³⁴ som genom åren valt att anställa civilingenjörer utexaminerade från Teknisk nanovetenskap.



³⁴ Här finns också några akademiska institutioner vid vilka nanoingenjörer anställts som laboratorie- eller forskningsingenjörer.

Andelen studenter som väljer att bli doktorander är mycket hög på Teknisk nanovetenskap. Detta kommer inte som en överraskning eftersom mellan 35% och 50% av studenterna redan när de är nyantagna till programmet anger att de efter examen vill "söka till forskarutbildning" (data från EWS-enkät).

Bilaga – Lärarkompetens och lärarkapacitet

Denna tabell avser de lärare som var kursansvariga/examinatorer på Civlingenjörsutbildningen i Teknisk nanovetenskaps läsåret 2011/2012.

Förklaringar:

Docent avser lärare som innehar oavlönad docentur på LTH.

ETP avser lärare som innehar den högskolepedagogiska kompetensgraden ETP, Excellent Teaching Practitioner. Denna kompetensgrad erhålls efter en prövning motsvarande docentkompetens. Lärare med ETP ska ha en högskolepedagogisk kompetens minst motsvarande SUHF norm om 10 veckors högskolepedagogisk utbildning.

Lärarkapacitet avser antalet tillsvidareanställda lärare vid lärarens institution på LTH. I de fall uppgift saknas är läraren anställd vid en avdelning/institution vid Lunds universitet som inte tillhör LTH. **Observera** att tre stora institutioner, fysik, kemi och matematik är delade mellan naturvetenskapliga och tekniska fakulteten (LTH). En lärarkapacitet på ”55” innebär alltså att det finns 55 tillsvidareanställda lärare på tekniska fakultetens del av fysiska institutionen. Den naturvetenskapliga delen har ca 40 tillsvidareanställda lärare. Motsvarande gäller för matematik och kemi.

Årskurs	Kurskod	Kursnamn	Nivå	Kursansvarig/examinator	Tjänstetitel	Docent	ETP	Lärarkapacitet
1	EDA011	Programmeringsteknik	G1	Christian Söderberg	univadj		JA	26
1	FAFA05	Fysik - Våglära, termodynamik och atomfysik	G1	Elisabeth Nilsson	univlekt		JA	55
1	FFFA01	Nanovetenskap och nanoteknik - en introduktion	G1	Christelle Prinz	forskare	JA		55

Årskurs	Kurskod	Kursnamn	Nivå	Kursansvarig/examinator	Tjänstetitel	Docent	ETP	Lärarkapacitet
1	FFFA01	Nanovetenskap och nanoteknik - en introduktion	G1	Lars Samuelson	professor	JA		55
1	FMA420	Linjär algebra	G1	Patrik Nordbeck	univlekt			46
1	FMAA01	Endimensionell analys	G1	Patrik Nordbeck	univlekt			46
1	KOKA01	Allmän och oorganisk kemi	G1	Ola Wendt	professor	JA	JA	30
1	KOKA05	Organisk kemi	G1	Daniel Strand	univlekt, biträdande			30
2	ETE115	Ellära och elektronik	G2	Richard Lundin	univlekt		JA	43
2	EXTF65	Nanoteknikens matematiska metoder	G2	Gunnar Ohlén	univlekt		JA	55
2	FAFA10	Fysik - Kvantfenomen och nanoteknologi	G1	Gunnar Ohlén	univlekt		JA	55
2	FAFA10	Fysik - Kvantfenomen och nanoteknologi	G1	Dan Hessman	univlekt			55
2	FFFF01	Elektroniska material	G2	Dan Hessman	univlekt			55
2	FMA430	Flerdimensionell analys	G1	Patrik Nordbeck	univlekt			46
2	KOO095	Funktionella material	G2	Reine Wallenberg	professor	JA		30
2	TEK015	Människans fysiologi	G2	Carin Jarl-Sunesson	univlekt			60
2	TEK295	Cellens biologi	G1	Carin Jarl-Sunesson	univlekt			60
3	EEM045	Sensorer	G2	Lars Wallman	univlekt			14
3	FAFF05	Projekt nanoingenjör	G2	Magnus Borgström	univlekt	JA		55
3	FAFF15	Hållbar utveckling med nanoperspektiv	G2	Elisabeth Nilsson	univlekt		JA	55
3	FAFF15	Hållbar utveckling med nanoperspektiv	G2	Knut Deppert	professor	JA		55

Årskurs	Kurskod	Kursnamn	Nivå	Kursansvarig/examinator	Tjänstetitel	Docent	ETP	Lärarkapacitet
3	FFF110	Process- och komponentteknologi	G2	Claes Thelander	univlekt, biträdande	JA		55
3	FMS086	Matematisk statistik	G2	Joakim Lübeck	univadj			46
3	FRT010	Reglerteknik, allmän kurs	G2	Bo Bernhardsson	professor	JA		16
3	FRT010	Reglerteknik, allmän kurs	G2	Tore Hägglund	professor	JA	JA	16
3	KOO105	Analys på nanoskalan	G2	Anders Mikkelsen	professor	JA		40
3	KOO105	Analys på nanoskalan	G2	Reine Wallenberg	professor	JA		30
4/5	FFF160	Nanoelektronik	A	Lars-Erik Wernersson	professor	JA		43
4/5	ETEN10	Antennteknik	A	Mats Gustafsson	professor	JA		43
4/5	ETI031	Radio	G2	Göran Jönsson	univadj		JA	43
4/5	ETI032	Radioelektronik	A	Göran Jönsson	univadj		JA	43
4/5	ETI041	Radioprojekt	A	Göran Jönsson	univadj		JA	43
4/5	ETI135	Avancerad digital IC-konstruktion	A	Peter Nilsson	professor	JA		43
4/5	ETI170	Integrerad radioelektronik	A	Henrik Sjöland	professor	JA		43
4/5	ETI290	Avancerad analog design	A	Bertil Larsson	univadj		JA	43
4/5	ETIN20	Digital IC-konstruktion	A	Peter Nilsson	professor	JA		43
4/5	ETIN25	Analog IC-konstruktion	A	Markus Törmänen	univlekt, biträdande			43
4/5	FFF021	Halvledarfysik	A	Carina Fasth	univlekt			55
4/5	FFF115	Höghastighetselektronik	A	Erik Lind	univlekt	JA		43
4/5	FFFN01	Avancerad framställning av nanostrukturer	A	Ivan Maximov	Forskningsingenjör	JA		55
4/5	FFFN15	Optoelektronik	A	Dan Hessman	univlekt			55

Årskurs	Kurskod	Kursnamn	Nivå	Kursansvarig/examinator	Tjänstetitel	Docent	ETP	Lärarkapacitet
4/5	FFF042	Fysiken för låg-dimensionella strukturer och kvantkomponenter	A	Mats-Erik Pistol	professor	JA		55
4/5	FMFF15	Kvantmekanik och matematiska metoder	G2	Peter Samuelsson	univlekt	JA		40
4/5	KOO045	Materialkemi	A	Staffan Hansen	professor	JA		30
4/5	FAFN15	Kristalltillväxt och halvledarepitaxi	A	Jonas Johansson	univlekt	JA		55
4/5	FFFN05	Nanomaterial - Termodynamik och kinetik	A	Kimberly Dick Thelander	univlekt, biträdan	JA		55
4/5	FHL055	Teknisk mekanik	G1	Hanna Isaksson	univlekt, biträdande			19
4/5	KFK025	Yt- och kolloidkemi	G2	Lars Nilsson	univlekt, biträdande	JA		21
4/5	KFK090	Molekylär växelverkan och dynamik	G2	Bengt Jönsson	professor	JA		30
4/5	KOO065	Mikroskopisk karaktärisering av material	A	Reine Wallenberg	professor	JA		30
4/5	KPO010	Polymerfysik	A	Frans Maurer	professor	JA		30
4/5	KTE080	Polymerkemi	A	Patric Jannasch	professor	JA		30
4/5	MAM242	Aerosolteknologi	G2	Christina Isaxon	doktorand			33
4/5	FAF080	Atom- och molekylspektroskopi	A	Claes-Göran Wahlström	professor	JA		55
4/5	FKM070	Avancerad materialteknologi	A	Srinivasan Iyengar	univlekt	JA	JA	19
4/5	FKMN10	Högtemperaturmaterial	A	Srinivasan Iyengar	univlekt	JA	JA	19

Årskurs	Kurskod	Kursnamn	Nivå	Kursansvarig/examinator	Tjänstetitel	Docent	ETP	Lärarkapacitet
4/5	KFKN01	Magn. resonansspektr. och avbildning	A	Mikael Akke	professor	JA		30
4/5	KFKN01	Magn. resonansspektr. och avbildning	A	Kristofer Modig	univlekt		JA	30
4/5	TEK177	Ytfysik	A	Anders Mikkelsen	professor	JA		40
4/5	TEK177	Ytfysik	A	Joachim Schnadt	professor	JA		40
4/5	EXTF15	Humanfysiologi	G2	Ronald Kröger	professor	JA		60
4/5	EXTF10	Genetik och mikrobiologi	G2	Torbjörn Säll	professor	JA		60
4/5	EXTN45	Farmakologi	A	Bodil Sjögren	univlekt			60
4/5	EXTN50	Toxikologi	A	Stina Oredsson	professor	JA		60
4/5	KOK085	Läkemedelskemi	G2	Ulf Nilsson	professor	JA	JA	30
4/5	TEK265	Experimentell biofysik	A	Jonas Tegenfeldt	forskare	JA		55
4/5	TEK287	Biokemi	G2	Cecilia Emanuelsson	professor	JA		60
4/5	TEK287	Biokemi	G2	Henrik Stålbrand	professor	JA		60
4/5	EXTN30	Sinnesbiologi	A	Dan-E Nilsson	professor	JA		60
4/5	EXTN40	Immunologi	A	Björn Weström	professor	JA		60
4/5	EXTN65	Neurobiologi	A	Eric Warrant	professor	JA		60
4/5	KLG027	Läkemedelsformulering	A	Marie Wahlgren	professor	JA	JA	21
4/5	EEMN01	Mikrosensorer	A	Martin Bengtsson	gästlärare			14
4/5	FFF051	Fasta tillståndets teori	A	Andreas Wacker	professor	JA		40
4/5	FMFN01	Kvantmekanik, fortsättningskurs	A	Stephanie Reimann	professor	JA		55
4/5	FMFN01	Kvantmekanik, fortsättningskurs	A	Andreas Wacker	professor	JA		40