
EVALUATION OF MTNANO NTNU

TRONDHEIM 2016



Image: Geir Mogen

Pawel Sikorski
Erik Roede

Knut Deppert
Charlotta Nilsson
Maria Sörensson
Mail Alsved



Norwegian University of
Science and Technology



LUND
UNIVERSITY

Executive summary

We find the MTNANO program at NTNU a very attractive and solid educational program that certainly ensures a high-quality education of the enrolled students. The program is driven by the commitment of the involved staff as well as the students. Recent changes to the program lead to a further improvement of the program. A clear criticism regards the administrative support structure. We see possibilities for improvement regarding examination forms, specialization structures and administration, training in project working in groups as well as in entrepreneurship and sustainability.

Contents

| | | |
|-----|---|-----|
| 1 | Introduction | 7 |
| 1.1 | The Evaluation Committee | 7 |
| 1.2 | Mandate | 7 |
| 1.3 | Method | 7 |
| 2 | The Structure of MTNANO Programme | 9 |
| 2.1 | Year 1 | 9 |
| 2.2 | Year 2 | 10 |
| 2.3 | Year 3 | 11 |
| 2.4 | Specializations | 11 |
| 2.5 | Master thesis | 12 |
| 2.6 | Exchange studies | 13 |
| 3 | General Comments | 15 |
| 4 | Alumni activities | 17 |
| 5 | Support Functions (or Rather Lack Thereof) | 19 |
| 6 | Recommendations | 21 |
| 7 | Summary | 23 |
| A | Mandate | 25 |
| B | Study structure until 2016 | 27 |
| C | Study structure revised 2016 | 39 |
| D | Suggested study structure | 41 |
| E | TFE4177 Semiconductor Physics With Lab | 43 |
| F | Teaching Activities Year 1-3 (until 2016) | 45 |
| G | Learning Objectives for MTNANO | 47 |
| H | Completed Master Projects | 53 |
| I | New description of TFE4220 Introduction to Nanotechnology | 59 |
| J | Input from vice dean | 61 |
| K | Arbetsordning för programledning | 63 |
| L | Lund Engineering Nanoscience | 67 |
| M | Questionnaire Graduated Students | 97 |
| N | Questionnaire current students | 115 |

1 Introduction

1.1 The Evaluation Committee

The evaluation committee consists of four external members: Knut Deppert (chair), professor at the Department of Physics at Lund University (LU) and one of the architects of the Engineering nanoscience education program at LU, Charlotta Nilsson, senior lecturer at the Department of Physics at LU and current program director of the Engineering nanoscience education program at LU, Maria Sörensson, student counsellor and carrier coach for the Engineering nanoscience education program at LU and Malin Alsved, PhD candidate at the Department of Design sciences at LU, former student at the Engineering nanoscience education program at LU. In addition, there are two internal members: Erik Roede (NTNU MTNANO student, student representative) and Paweł Sikorski, professor at the Department of Physics, leader of the Master in Nanotechnology study program council from 2012¹.

1.2 Mandate

The mandate for the evaluation committee is found in appendix A and particularly important parts are inserted here:

The following aspects of the study program should be specifically addressed:

- *Learning outcomes, study structure and progression, teaching methods*
- *Interdisciplinarity and balance between different disciplines, both in breadth and specializations*
- *Quality of hands-on training*
- *Innovation and entrepreneurial aspects*
- *International level: comparing the program in scope and level with the study program at LU.*
- *Evaluation of the 3 study directions and more a detailed evaluation of dedicated courses (courses created and run for the Nanotechnology study program)*

Expected Outcome: Report with recommendations. Short- and long- term time perspectives.

The evaluation committee was appointed by the Faculty of Natural Science and Technology at NTNU.

1.3 Method

The evaluation that has been carried out focused on qualitative aspects of the MTNANO education program rather than numbers and statistics. We have focused on the study struc-

¹Please note that Prof. Mari-Ann Einarsrud, Department of Materials Science and Engineering, NTNU was originally appointed as an internal member of the evaluation committee. However, since that role was more work demanding than initially envisaged, and required better coordination with activities in the Study Council of the program, Paweł Sikorski has both organized and coordinate the evaluation process, as well as represented NTNU in the committee

ture which will be implemented 2016/17 (which e.g. includes a new [TFE4220 Introduction to Nanotechnology](#) course and a different order in which a few courses are taught), but we have also looked at the previous study structures.

Initially, the evaluation committee received a number a documents, listed in the mandate, appendix A:

Information provided to the committee by NTNU:

- *Detailed description of the study program, courses and study structure. Expected learning outcome. (Appendices B, C, G)*
 - *List of Master theses completed by Nanotechnology students (Appendix H)*
 - *Information about graduates: jobs, Ph.D. education, career paths (Appendix M)*
 - *Survey among students and graduates (Appendices N and M)*
-

We went through these written materials and had a first meeting with all members of the evaluation committee at LU in February 2016. At this meeting, we compared and contrasted the education programs at LU and NTNU and prepared for the second meeting, which took place at NTNU in May 2016. The second meeting included interviews with student representatives (from the study board, from Fagteam² and from Timini³), teachers/researchers representing the three departments with significant involvement in the study program (Material Science and Engineering, Electronics and Telecommunications, Physics), the study program council and the vice deans of the faculties of Natural Science and Technology (NT faculty) and Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering (IET faculty). In addition, we were given a substantial information session on all the activities organized by Timini. Finally, we took a short inspection tour of nano related localities in Realfagbygget.

The evaluation did not include any comparisons with other education programs at NTNU. Neither did it include any direct comparisons with other nano engineering programs worldwide (except in Lund). MTNANO study program is inspired by the Engineering Nanoscience program that was developed at LU, and as such they are fairly similar. However, the administrative support structure differs very much between LU and NTNU.

²Fagteam consists of ten members: five class representatives, two program representatives and their deputies and one member of the Timini board.

Fagteam arranges regular meetings where we discuss relevant issues and make plans for resolving these. Examples could be anything from issues with courses and feedback from reference groups to bigger issues like the evaluation. As such, Fagteam is an important arena for maintaining the contact between the students and their representatives and a key institution through which the students of MTNANO affect their everyday lives as students

³Student organization for MTNANO students, <https://timini.no>

2 The Structure of MTNANO Programme

Including Comments and Suggestions From the Evaluation Committee

The first three years of the five-year program are mandatory, except for two elective courses (one in the autumn semester year 3 and one in the spring semester year 3). There are only few courses unique to the MTNANO students (mainly [TFE4220 Introduction to Nanotechnology](#) by the nanotechnology students), and there are a few courses that were originally designed for them (this includes [TMT4320 Nanomaterials](#), [TKJ4215 Statistical Thermodynamics in Chemistry and Biology](#)). During autumn year 1, the [TFE4220](#) course is given tailored for the MTNANO students. After that, the next more or less nano specific courses appear during spring year 2 ([TFY4170 Physics 2](#) and [TKJ4215 Statistical Thermodynamics in Chemistry and Biology](#)). Thus, the small MTNANO student group is typically incorporated in a bigger volume of students. Also, the course content and the didactics are in such cases hardly tailored to either student group.

We experienced that there is a good interaction between freshmen and older students of the MTNANO program, presumably an effect of the combination of the small number of MTNANO specific courses and the numerous activities arranged by Timini.

2.1 Year 1

An introduction to integral engineering subjects – mathematics, physics, chemistry, programming and nanotechnology. [TFE4220 Introduction to Nanotechnology](#) will be given in a revised form from autumn 2016. We have understood that the [TFE4220](#) course in its present form has not functioned optimally, as a result of it currently being given as a shared effort between several departments, resulting in that no one takes proper responsibility for the course. We assume that the revised version, with a clear course responsible function and including laboratory activities, will work considerably better. We find that the syllabus of the first year follows a natural and pedagogically valuable philosophy. However, to give a physics course before the necessary mathematics courses have been taught does not seem to be an optimal solution. It puts a high demand on the students, which appears to have been solved by excellent students and extra teaching activities arranged by the students themselves as well as lecturers teaching that particular physics course. The chemistry course [TMT4110 General Chemistry](#) seems to be appropriate as an introductory course. This chemistry course, together with the physics and mathematics courses in year 1, provide a superb base for continued studies in nanotechnology.

The [EXPH0004 Examen philosophicum for Science and Technology](#) course sounds brilliant according to the course description. However, we got the impression that engineering ethics was not a main (or even existing) part of the [EXPH0004](#) course, despite what is written in the course description. Another reflection is that the students probably are more susceptible to this kind of questions later on in their education, and that they would benefit more from the course if it was given in year 3. A suggestion would be to give a teaser of ethics and sustainability in the [TFE4220](#) course and save the major part of the [EXPH0004](#) course until later (perhaps in year 3). It can be that there are some internal NTNU constraints on this, which of course have to be taken into consideration. The [EXPH0004](#) course today also appears to offer some, likely much needed, “breathing space” among other rather demanding courses. We believe that this breathing space could also be achieved with the help

Table 1: Study structure from the academic year 2016/2017.

| 4S ³ | | | | |
|-----------------|--|--|---|--|
| 4A | | Elective ¹ | | |
| 3S | TFY4220 Solid State Physics | TFY4260 Cell Biology and Cellular Biophysics / TKP4115 Surface and Colloid Chemistry / Elective ² | TIØ4258 Technology Management | TFE4177 Semiconductor Physics with Lab |
| 3A | TFY4330 Nanotools | Elective ¹ | TFY4335 Nano Life Science | TMT4320 Nanomaterials |
| 2S | TFE4120 Electromagnetics | TFY4170 Physics 2 | TKJ4215 Statistical Thermodynamics in Chemistry and Biology | TBT4170 Biotechnology |
| 2A | TFY4185 Measurement Techniques | TMA4130 Calculus 4N | TMA4240 Statistics | TMT4185 Materials Science and Engineering |
| 1S | TMT4110 General Chemistry | TMA4105 Calculus 2 | TMA4110 Calculus 3 | EXPH0004 Examen philosophicum for Science and Technology |
| 1A | TDT4105 Information Technology, Introduction | TFY4115 Physics | TMA4100 Calculus 1 | TFE4220 Introduction to Nanotechnology |

¹ TKJ4102 Basic Organic Chemistry for the specializations Bionanotechnology and Nanotechnology for materials, energy and environment during 3A or 4A.

² Elective course for Nanoelectronics

³ (S)pring, (A)utumn

of alternative examination methods – as written exams is the only method practiced at present.

2.2 Year 2

During year 2, the introduction to basic physics, chemistry and mathematics comes to an end and material and bio sciences are introduced. A more nano-specific focus is seen, with the dedicated courses TFY4170 Physics 2 and TKJ4215 Statistical Thermodynamics in Chemistry and Biology. Year 2 appears to be very well-structured and thought through. It seems that with the new version of year 2, the balance between inorganic and organic

chemistry has been improved.

2.3 Year 3

More nano and more biology are the main components of year 3. [TFE4177 Semiconductor Physics with Lab](#) provides clean room experience, which is very valuable for nanotechnology students. The solid state physics course [TFY4220 Solid State Physics](#) serves as a good base for TFE4177. These two courses are, despite their names, important to all three specializations.

Both elective courses in year 3 are in fact compulsory for 2 out of 3 specializations (for Bionanotechnology: [TFY4260 Cell Biology and Cellular Biophysics](#)/[TKJ4102 Basic Organic Chemistry](#) and for Nanomaterials: [TKP4115 Surface and Colloid Chemistry](#)/[TKJ4102](#)) – only the students who have chosen the Nanoelectronics specialization have the opportunity to choose. We have gotten the impression that it could be beneficial for Nanoelectronics students to learn more basic circuit theory, to aid the transition into the Nanoelectronics specialization. We recommend that one of these elective courses is replaced by a compulsory course in circuit theory for students that have chosen the Nanoelectronics specialization. In addition, we recommend that the autumn elective is moved to the spring semester, since the students have to choose their specialization during the autumn, i.e. that all students have both Elective course 1 and Elective course 2 during spring and only compulsory courses during autumn. This means that one of the courses [TFY4220](#), [TIØ4258](#) and [TFE4177](#) should be moved forward to the autumn semester (preferably [TIØ4258](#)).

2.4 Specializations

The first three years of the program prepare the MTNANO students very well for any of the three existing specializations. Based on the number of students, we do not recommend having more than these three, as three is already quite many. We think that at present, the bio and the nanomaterials specializations are more in line with what is taught during the first three years. The preparation for the Nanoelectronics specialization during the first three years is not very solid, which is why we suggest that these students should take a mandatory circuit theory course.

We find the structure of the specializations, with compulsory courses as well as two different types of elective courses (VA and VB), well-reasoned. To ensure the depth of the specialization, it is necessary that the student has to take certain courses, but this structure still allows a fair amount of flexibility and possibility for students to take the set of courses that they find most interesting.

We see a problem in the fact that the students are forced to choose their specialization already during the fifth semester (given that it is stated that the first five semesters are Felles). In reality, however, we see that they are forced to choose even earlier than that – at the end of the fourth semester (in order to “choose” the appropriate Elective course in semester 5).

In general, we question why the students have to take this decision regarding specialization at all. It would be a great advantage if the students were slightly more free to choose courses, rather than being forced into one specialization very early on in their studies. This could increase the interdisciplinarity as well as making the choice of specialization less

abrupt. Of course, the students have to reach a certain depth in their studies, but this can be guaranteed by requiring a specific number of specialization courses within a certain specialization in order to get the Master of Science (Sivilingeniør) degree, rather than having to make a definite choice very early on. At LU, the nano engineering students are demanded to fulfil a specialization (i.e. at least 45 ECTS credits within a specialization), but there is no formal choice of specialization – this is a huge difference compared to having to make a choice already semester 5. We realize that this could introduce administrative issues, e.g. collisions regarding course schedules, however, we are convinced that the advantages of the increased freedom of choice outweigh the disadvantages of administrative complications – at least if there is enough administrative power. We would suggest that all three specializations have 15 ECTS credits compulsory courses. This would ensure the same level of needed common ground for all students following a certain specialization.

We find the categorization of courses as either year 4 or year 5 exaggerated. It should be possible to guide the students using prerequisites instead, e.g. that one has to have a certain numbers of credits/certain courses in order to begin the master thesis. This would make it possible for the student to take the specialization course earlier, i.e. in year 4.

The content of the three specializations is to a very large extent what we expected, however, a few selected recommendations are listed in the following:

- Bionanotechnology: one or two courses towards pharmaceutical applications.
- Nanoelectronics: as already mentioned, we recommend a compulsory course in circuit theory. We get the impression that the specialization is too heavily loaded towards quantum mechanics (especially TFY4210) and lacking courses tailored towards electronics (e.g. IC and radio). An alternative would be to rename the specialization to Nanophysics, as this better reflects the existing content.
- Nanotechnology for materials, energy and environment: the name of the specializations appears to rather be intended as advertisement, since it only contains a few aspects regarding energy and environment. Most of the content is material science oriented. To strengthen the energy/environment content, we suggest, as a minimum, that the following courses be recategorized as VA: [TFY4300 Energy and Environmental Physics](#), [TIØ4300 Environmental Science, Ecosystem Services and Sustainability](#) and [TEP4223 Life Cycle Assessment](#).

2.5 Master thesis

The final part of the MTNANO program is the Master thesis, with a duration of 6 months (30 ECTS). This is a typical master thesis scope for engineering programs, although also 60 ETCS engineering master theses exist (in the world).

2.5.1 Examination goals

Regarding the topics of the master theses: Researchers at the different departments compile lists of potential thesis topics for the students to choose from/be inspired by. How is it ensured that a given topic is nano relevant? From the list of completed master thesis projects, we can see that the titles indicate a satisfactory level of scientific quality, however we are not sure that all are in fact nano relevant. As we understand, there is a rigorous quality control, as each student is allocated an external (not connected to NTNU in any

way) examiner and an internal examiner (from the same department as the supervisor), and these two decide on the grade. The student also gets a statement from the supervisor. Thus, we feel that the quality control is excellent.

Another important aspect (especially important for MTNANO due to many different fields of research and technology involved) is a coherent system for grading master thesis. At the moment this is not coordinated and students might be graded according to “cultural differences”, even if the formal instructions for the external examiners are the same.

In addition to writing a scientific report, the nano engineering students at Lund university have to act as opponent once and scrutinize another master thesis. The opposition has to be in the form of a written document, delivered to the examiner (of the master thesis respondent) beforehand, as well as in the form of an oral opposition at the master thesis seminar. We think this is a valuable part of the academic/scientific training and would recommend that this is implemented also for the MTNANO students.

A further requirement for the nano engineering students at Lund university is that they have to produce a popular science summary (approx. 1-2 A4 pages) of their master thesis. There are a number of advantages of this: not only is it a valuable training to summarize something scientific for a more general audience, but the summaries could also be used as advertisement/inspiration for master projects or Fordypningssemner. The popular science summary, as the written scientific report, is evaluated by the examiner.

2.5.2 Practicalities

We find the common presentations of the 15 ECTS projects (Fordypningsprosjekt) (in December during the 5th year) a very good practice. If doable, the same practice could be considered for the Master thesis presentations – perhaps twice per semester.

Regarding the graduation ceremony: It seems very strange, to say the least, that students have the possibility to attend a graduation ceremony before they have actually graduated.

2.6 Exchange studies

An extreme number of MTNANO students leave NTNU in year 4 to study abroad. The task of quality control and guaranteeing that choices of courses etc. are appropriate is mainly carried out by the program management (one person for each of the study directions, in addition to the program administrator). This is time-consuming for the persons responsible for this quality control - where does this time come from?

It appears that recently, students have received recommendations that an exchange in year 3 is also a good option. In these cases, the program director has to ensure that the student takes everything, i.e. all relevant courses and skills, the student should from the compulsory part – also a time-consuming task.

We have been contemplating what it means that so many (almost all) students want to study abroad. Do they think that the MTNANO education is lacking something or is not good enough? We think that this is not the case – it rather reflects a need for experiencing something different. As many MTNANO students choose to go to universities with high academic standards, we see that they try to combine the social aspects of studying abroad with academic ones.

3 General Comments

- The amount of laboratory experience the MTNANO students acquire does not appear to be overwhelming, however, fully satisfactory.
- The amount of project work training in groups seems to be somewhat low, as [TFY4330 Nanotools](#) is the only project based course, where the students work in groups. We would like to stress the importance of project based courses, particularly in groups, to prepare for the future work role.
- The concept of having the first two years being fully taught in Norwegian is good.
- We recommend that the students should have an easily accessible option of taking a course in entrepreneurship/intellectual property. One way of realizing this, would be to categorize the courses [TIØ4230 Entrepreneurship and Market Oriented Product Development](#) and [TMM4220 Innovation by Design Thinking](#) as VA courses (Valgbare emner).
- We think that it is a brilliant choice of NTNU, keeping the MTNANO program as an integrated 5-year engineering education instead of a changing to the 3+2 (Bachelor + Master) system.
- At MTNTNU all course examina are written exams, however we think that this limits the education. Variation in examination technique allow for a broader test opportunity, logical thinking and reasoning. Presentation skills are very important, especially in cross-disciplinary science, and this is something that would be trained in for example an oral examination. An oral examination also resembles a job interview.
- As a forefront education in one of the leading Norwegian universities, sustainability needs to be addressed more than today. An increased awareness of the kind of development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs is required for all engineers as they will form our technical future. At LU, the nano-engineering students attend a special sustainability course of 7,5 ECTS in the third year, and all engineering students at LU have at least 6 ECTS in sustainability.
- We have learned that at NTNU, all teachers have to complete a formal pedagogical course for university teachers, which is very good in order to ensure a high pedagogical level.
- The demand on the students to pass their exams the third attempt at the latest, seem to be a good way to keep well motivated students in the program. Unfortunately, this is not the case for engineering students at LU who are allowed to do as many retakes as they want. This results in prolonged study times and quite some frustration.
- There is very little contact between teachers, at least not a formalized one. We thus recommend that the programme board has regular meetings with the teachers involved in the programme. Such meetings, which preferably are once a year, form a very good basis for information and knowledge exchange between programme board and teachers and in between teachers. Ensuring that all people involved in the nano programme are working with the same vision is important and necessary to develop the programme further. Another way of having teachers meet are the “läsperiödsmötet” at the Engineering nanoscience program at LU, which are organized by the program board twice every semester. Here, teachers responsible for the courses

given in a particular year of the program meet halfway through the study period together with the program director and student representatives. This is an opportunity for the students to report on their opinion of the course, for the teachers to get feedback and communicate with the teachers of the parallel courses and for the program board to interact with both the students and the teachers.

- At LU, the course [VBRF01 Ingenjörsinriktad yrkesträning](#) (15 ECTS) provides engineering students with the opportunity to practice their skills as engineers in a proper work place setting. If something similar could be arranged for the MTNANO students at NTNU (and where the course possibly also could be taken abroad), this could serve as a way of improving the connection to industry as well as to help not to have so few students in year 4.

4 Alumni activities

The MTNANO programme at NTNU is not very old yet, thus there are not so many alumni students. Therefore, we suggest that some information about these alumni is collected in order to improve the programme, give the younger students a perspective of their future working possibilities and to initiate collaborations for student projects. At LU, we experience that the contact with the alumni is of very high value for the programme, and to share their experience to the present students we have “Nano nights” with short presentations from a handful alumni. One way to keep the contact with the alumni is via social media as Facebook and LinkedIn, which gives updates whenever someone changes workplace position.

From our conversation with the teachers at the department for electronics and telecommunications, we got the impression that they saw no job opportunities for a nano engineer with a specialisation in electronics on the Norwegian labour market. That is one reason why it would be very interesting to investigate where the MTNANO students actually work. For the Engineering nanoscience program at LU, where the number of alumni now exceeds 200, we still do our best to keep track of all alumni and where they work (a simple Excel-sheet with input data from LinkedIn and similar sources) – something we recommend also for the MTNANO program, as long as the number of alumni is not too large.

5 Support Functions (or Rather Lack Thereof)

Regarding financial resources for the MTNANO program: We fail to see the reason why a program has to belong to a department/institute in order for funding to be connected to the program? The program director needs time/money in order for him/her to be able to direct the program properly. It is not clear to us if in fact some time (20 %?) will be allocated to the program director in the future?! We are under the impression that no time/money has been allocated for the program director until now. It seems that a management/leadership course for the program director will be offered (or compulsory?) in the future. We ask us why this is - as there is no one for the program director to manage.

We see a need for the MTNANO program and Timini to belong to something or to have the opportunity to form their own “unit” somehow - not necessarily in a fashion restricted to the current department structure. As suggested by the MTNANO students, one possibility is that the programme could be connected to the [Nano@NTNU](#) organisation. This organisation should then guarantee the quality control and development of the programme.

The overall impressions we have gotten regarding resources and organization of the MTNANO program are summarized in the following: All teachers involved in the program are very dedicated to the program, which very much helps keeping the program from going completely off track. However, the current system allows people (teachers, department heads etc.) to prioritize the department ahead of the program. Thus we wonder, who prioritizes the program and how is it done? As long as students and teachers are dedicated, all is well. But, what happens if that should change? Will everything collapse? At present, key persons in the program are very difficult to replace/substitute, which makes the MTNANO program very vulnerable indeed.

At the moment it is the dean of the faculty who is formally responsible for the program, but the program is run by the study board. For other study programs at NTNU, the situation is different, as study boards are responsible for making plans, which are executed by responsible departments. In the MTNANO case, the study board both plans and executes and has to ask for resources (ask departments to offer courses, change content etc.), which is definitely not a good idea.

6 Recommendations

- The students would probably benefit more from the contents of the [EXPH0004 Examen philosophicum for Science and Technology](#) course is given later on in the education.
- Sustainability must be integrated as a part of the programme; engineers work for a better future!
- A course in circuit theory is recommended as mandatory course for the Nanoelectronics specialization.
- The Nanoelectronics specialization is in its scope close to what also could be called Nanophysics.
- We see a problem in the fact that the students are forced to choose their specialization early in their education. Instead of making a definite choice of specialization, we recommend that all three specializations have 15 ECTS credits compulsory courses, in order to ensure the depth within the specialization.
- The Bionanotechnology specialization would benefit from one or two courses towards pharmaceutical applications.
- The Nanomaterials specialization would need to strengthen the energy and environment content.
- Specialization courses do not necessarily need to be categorized as either year 4 or year 5.
- Introduce opposition and writing a popular science summary as a mandatory part in the master thesis.
- If possible, synchronized common presentations for the master thesis in the 5th year.
- Work towards coherent system for grading master thesis. At the moment this is not coordinated and students might be graded according to “cultural differences”, even if the formal instructions for the external examiners are the same.
- The students need more practice in project working in groups.
- More variability in the examination methods would increase the learning outcomes and the presentation skills of the students.
- We recommend that the students should have an easily accessible option of taking a course in entrepreneurship/intellectual property.
- We suggest that the study board of the MTNANO program has regular meetings with the teachers involved in the program in order to ensure cohesion within the program.

7 Summary

- MTNANO is a solid education program!
- MTNANO is a student driven and commitment driven (both teachers and students) program!
- Criticism: Management backup is needed – structure for students and teachers to lean on.
- Short term development: The administrative support functions must be considerably developed/expanded.
- Short term development: Link MTNANO to the Nanolab / Nano@NTNU, rather than to one of the existing departments.
- Short term development: Evaluation of the new [TFE4220](#) course

A Mandate

Mandate for the evaluation committee – MTNANO 2015

Evaluation of the Nanotechnology study programme at NTNU (MTNANO)

The study programme in Nanotechnology at NTNU is a 5-year program of study leading to the degree of Master of Technology/Engineering (established in 2006). After 5 completed semesters (2.5 years), students select one out of three possible specializations, Bionanotechnology, Nanoelectronics, and Nanotechnology for Materials, Energy, and Environment. The program has excellent recruitment, and is one of the most popular and competitive study programs in Norway. Between 30 and 40 students starts each year.

Nevertheless, there are several challenges involved in running of this study program. These are related to the inherent cross-disciplinary nature of nanotechnology, the need for time and resources, intensive hands-on training, and a relatively small number of students. In addition, experience from recent years highlights the limited employment opportunities in Norwegian high-tech industry with a need for expertise in nanotechnology.

This is the background for the evaluation of the nanotechnology study program. Recommendations from the evaluators should therefore have both a short and a long-term perspective. In preparation for the evaluation, NTNU will carry out a survey among students who have graduated from this program in the period 2011-2014, as well as among current students. The results from the survey will be made available to the evaluation committee.

The evaluation will be conducted by a committee appointed by the Faculty of Natural Science and Technology with a majority of members from Lund University and 2 members from NTNU (1 staff member + 1 student). The nanotechnology study program in Lund should be a relevant benchmark for the study program at NTNU.

The following aspects of the study program should be specifically addressed:

- Learning outcomes, study structure and progression, teaching methods
- Interdisciplinarity and balance between different disciplines, both in breadth and specializations
- Quality of hands-on training
- Innovation and entrepreneurial aspects
- International level: comparing the program in scope and level with the study program at LU.
- Evaluation of the 3 study directions and more a detailed evaluation of dedicated courses (courses created and run for the Nanotechnology study program)

Expected Outcome

Report with recommendations. Short- and long- term time perspectives.

Committee Organization:

LUND:

- Leader: Knut Deppert, professor, "architect" of the Nanotechnology program at LU and former program director.
Email: knut.deppert@ftf.lth.se
- Charlotta Nilsson, associate professor, current program director.
Email: charlotta.nilsson@nuclear.lu.se
- Maria Sörensson, student counsellor for the N-program in Lund.
Email: maria.sorensson@kansli.lth.se
- Malin Alsved, Engineering nanoscience student (started in 2010).
Email: malin.alsved@gmail.com

NTNU:

- Prof. Mari-Ann Einarsrud. Department of Materials Science and Engineering. NTNU
Email: mari-ann.einarsrud@material.ntnu.no
- Erik Roede, MTNANO study program.
Email: roede@stud.ntnu.no

Information provided to the committee by NTNU:

- Detailed description of the study program, courses and study structure. Expected learning outcome.
- List of Master theses completed by Nanotechnology students
- List of people and research groups involved in the program (both research and teaching)
- Information about graduates: jobs, ph.d. education, cereere paths,
- Survey among students and graduates

In addition NTNU will provide a document which describes NTNU's motivation for creating its Nanotechnology study program and how this program differs from related study programs in science and engineering, which special competences students from this program will acquire. Requested expertise as seen from the industry's perspective will be presented by study program graduates and employers.

Economics, timeline and other practical issues

The evaluation will start in March/April 2015 with a report due on October 1st 2015.

The committee leader shall establish a more detailed progress plan in collaboration with the program leader Paweł Sikorski, including deadlines for the deliverables from NTNU to the committee.

Economy: See attached document from the NT faculty.

Report: Committee leader is responsible for the evaluation report and all committee members should contribute to the writing process. NTNU will provide administrative support.

B Study structure until 2016

325

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO) 1. årskurs

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|----------|----------------------------|-----|----|
| Høst | TDT4105 | Obligatoriske emner | | |
| Høst | TFE4220 | INFORMASJONSTEKN GK | 7,5 | |
| Høst | TFY4115 | NANOTEKN INTRO | 7,5 | |
| Høst | TMA4100 | FYSIKK | 7,5 | |
| Vår | EXPH0004 | MATEMATIKK 1 | 7,5 | |
| Vår | TMA4105 | EXPHIL-NT | 7,5 | |
| Vår | TMA4115 | MATEMATIKK 2 | 7,5 | |
| Vår | TMT4110 | MATEMATIKK 3 | 7,5 | |
| | | KJEMI | 7,5 | |

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO) 2. årskurs

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|---------|----------------------------|-----|----|
| Høst | TKJ4102 | Obligatoriske emner | | |
| Høst | TMA4130 | ORGANISK KJEMI GK | 7,5 | |
| Høst | TMA4240 | MATEMATIKK 4N | 7,5 | |
| Høst | TMT4185 | STATISTIKK | 7,5 | |
| Vår | TBT4170 | MATERIALTEKNOLOGI | 7,5 | |
| Vår | TFE4120 | BIOTEKNOLOGI | 7,5 | |
| Vår | TFE4180 | ELEKTROMAGNETISME | 7,5 | |
| Vår | TKJ4215 | HALVLEDERTEKNOLOGI | 7,5 | |
| | | STAT TERMO KJEMI BIO | 7,5 | |

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

3. årskurs

Studieretning Nanoelektronikk

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|---------|----------------------------|-----|-----|
| Høst | TFY4170 | Obligatoriske emner | | |
| Høst | TFY4185 | FYSIKK 2 | 7,5 | |
| Høst | TFY4335 | MÅLETEKNIKK | 7,5 | |
| Høst | TMT4320 | BIONANOVITENSKAP | 7,5 | |
| | | NANOMATERIALER | 7,5 | |
| Vår | TFY4220 | FASTE STOFFERS FYS | | 7,5 |
| Vår | TIØ4258 | TEKNOLOGILEDELSE | | 7,5 |
| Vår | TDT4100 | Valgbare emner | 1 | |
| Vår | TDT4102 | OBJ OR PROGRAMMERING | 7,5 | |
| Vår | TFE4160 | PROS OBJ PROG | 7,5 | |
| Vår | TFY4195 | ELEKTROOPTIKK/LASERE | 7,5 | |
| Vår | TFY4235 | OPTIKK | 7,5 | |
| | | NUMERISK FYSIKK | | 7,5 |

1) To emner skal velges.

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

4. årskurs

Studieretning Nanoelektronikk

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|------------|--------------|---|-----|------------|
| Vår Vår | - TFY4330 | Obligatoriske emner EKSP I TEAM TV PROSJ NANOVERKTØY | 1 | 7,5 7,5 |
| Høst | BI3072 | Komplementære emner MILJØTOKSIKOLOGI | 2 | 7,5 |
| Høst | FI5206 | TECHN GOOD SOCIETY | | 7,5 |
| Høst | TEP4223 | LIVSSYKLUSANALYSE | | 7,5 |
| Høst | TEP4275 | INDUSTRIELL ØKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TI04201 | RISIKOHÅNDTERING | | 7,5 |
| Høst | TI04230 | ENTRE MARKED PRODUTV | | 7,5 |
| Høst | TI04295 | BEDRIFTSØKONOMI | | 7,5 |
| Høst | TI04300 | MILJØKUNNSKAP BÆREKR | | 7,5 |
| Høst | TMM4220 | INNOVASJON | | 7,5 |
| Høst | FY3114 | Valgbare emner FUNKSJONELLE MATR | 3 | 7,5 |
| Høst | TFE4145 | ELEKTRONFYSIKK | 4 | 7,5 |
| Høst | TFE4165 | ANVENDT FOTONIKK | | 7,5 |
| Høst | TFE4225 | MEMS-DESIGN | | 7,5 |
| Høst | TFY4205 | KVANTEMEKANIKK II | | 7,5 |
| Høst | TFY4250 | KVANTEMEKANIKK I | | 7,5 |
| Vår | TFE4235 | BIOMED OPTIKK | | 7,5 |
| Vår | TFE4240 | NANOSKALA KOMP | 4 | 7,5 |
| Vår | TFY4210 | KVANT MANGEPART SYST | | 7,5 |
| Vår | TFY4245 | FASTSTOFF-FYSIKK VK | | 7,5 |
| Vår | TFY4340 | MESOSKOPISK FYSIKK | | 7,5 |

- 1) Emnebeskrivelsen for Ekspert i team, tverrfaglig prosjekt, står omtalt på egen side etter tabellene i boken.
- 2) Ett komplementært emne skal velges fra listen under. Det tas ikke hensyn til emnene ved time- og eksamensplanleggingen.
Enkelte emner kan være adgangsbegrenset, se www.ntnu.no/studier/opptak/emneoptak. Frist for å søke opptak er 1. juni.
- 3) I tillegg til de obligatoriske emner velges emner slik at kravet om 30 studiepoeng pr semester er oppfylt.
- 4) Anbefalt valgbart emne.

Hovedprofil:
Nanoelektronikk

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

5. årskurs

Studieretning Nanoelektronikk

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|----------------------|----------------------------|-----|------|
| Høst | TFE4575 | Fordypningsemner | 1 | 7,5 |
| Høst | TFY4525 | FYS MET NANOSTR FDE | | 7,5 |
| Høst | TMT4515 | BIONANTEKNOLOGI FDE | | 7,5 |
| | KJ MET SYNT NANO FDE | | | |
| Høst | MOL4500 | Fordypningsprosjekt | 2 | 15,0 |
| Høst | TBT4510 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TFE4570 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TFY4520 | NANOELEKTR/FOTON FDP | | 15,0 |
| Høst | TKJ4530 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TKP4570 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TKT4540 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TMM4550 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TMT4510 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | BI3072 | Komplementære emner | 3 | 7,5 |
| Høst | FI5206 | MILJØTOKSIKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TEP4223 | TECHN GOOD SOCIETY | | 7,5 |
| Høst | TEP4275 | LIVSSYKLUSANALYSE | | 7,5 |
| Høst | TIØ4201 | INDUSTRIELL ØKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TIØ4230 | RISIKOHÅNDTERING | | 7,5 |
| Høst | TIØ4295 | ENTRE MARKED PRODUTV | | 7,5 |
| Høst | TIØ4300 | BEDRIFTSØKONOMI | | 7,5 |
| Høst | TMM4220 | MILJØKUNNSKAP BÆREKR | | 7,5 |
| | INNOVASJON | | | |
| Vår | MOL4901 | Masteroppgaver | 4 | 30,0 |
| Vår | TBT4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TFE4925 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TFY4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKJ4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKP4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKT4930 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TMM4940 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TMT4910 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |

- 1) Det skal velges ett fordypningsemne som er best tilpasset valgt fordypningsprosjekt.
- 2) Ett fordypningsprosjekt skal velges.
- 3) Ett komplementært emne skal velges fra listen under. Det tas ikke hensyn til emnene ved time- og eksamsplanleggingen.
Enkelte emner kan være adgangsbegrenset, se www.ntnu.no/studier/opptak/emneopptak. Frist for å søke opptak er 1. juni.
- 4) En masteroppgave skal velges.

Hovedprofil:
Nanoelektronikk

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

3. årskurs

Studieretning Bionanoteknologi

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|---------|----------------------------|-----|-----|
| Høst | TFY4170 | Obligatoriske emner | | |
| Høst | TFY4185 | FYSIKK 2 | 7,5 | |
| Høst | TFY4335 | MÅLETEKNIKK | 7,5 | |
| Høst | TMT4320 | BIONANOVITENSKAP | 7,5 | |
| | | NANOMATERIALER | 7,5 | |
| Vår | TFY4220 | FASTE STOFFERS FYS | 7,5 | |
| Vår | TFY4260 | CELLEBIOLOGI/BIOFYS | 7,5 | |
| Vår | TIØ4258 | TEKNOLOGILEDELSE | 7,5 | |
| | | Valgbare emner | 1 | |
| Vår | TBT4110 | MIKROBIOLOGI | 7,5 | |
| Vår | TFE4160 | ELEKTROOPTIKK/LASERE | 7,5 | |
| Vår | TFY4195 | OPTIKK | 2 | 7,5 |
| Vår | TKP4115 | OVERFL KOLLOIDKJEMI | | 7,5 |
| Vår | TMM4100 | MATERIALTEKNIKK | 3 | 7,5 |
| Vår | TMM4175 | POLYMERE/KOMPOSITTER | | 7,5 |

- 1) Ett emne skal velges.
- 2) Anbefalt valgbart emne.
- 3) Det tas ikke hensyn til emnet ved time- og eksamensplanleggingen.

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

4. årskurs

Studieretning Bionanoteknologi

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|----------------------------|----------|---|-----|-----|
| Høst | MOL3014 | Obligatoriske emner NANOMEDISIN 1 | | 7,5 |
| Vår | - | EKSP I TEAM TV PROSJ | 1 | 7,5 |
| Vår | TFY4330 | NANOVERKTØY | | 7,5 |
| Vår | MOL3015 | NANOMEDISIN 2 | | 7,5 |
| Komplementære emner | | | | 2 |
| Høst | BI3072 | MILJØTOKSIKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | FI5206 | TECHN GOOD SOCIETY | | 7,5 |
| Høst | TEP4223 | LIVSSYKLUSANALYSE | | 7,5 |
| Høst | TEP4275 | INDUSTRIELL ØKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TI04201 | RISIKOHÅNDTERING | | 7,5 |
| Høst | TI04230 | ENTRE MARKED PRODUTV | | 7,5 |
| Høst | TI04295 | BEDRIFTSØKONOMI | | 7,5 |
| Høst | TI04300 | MILJØKUNNSKAP BÆREKR | | 7,5 |
| Høst | TMM4220 | INNOVASJON | | 7,5 |
| Valgbare emner | | | | 3 |
| Høst | MOL3005 | IMMUNOLOGY | | 7,5 |
| Høst | NEVR3001 | BASIC NEUROSCIENCE | | 7,5 |
| Høst | TBT4135 | BIOPOLYMERKJEMI | 4 | 7,5 |
| Høst | TFE4225 | MEMS-DESIGN | | 7,5 |
| Høst | TFY4265 | BIOFYSISKE MIKROTEK | 5 | 7,5 |
| Vår | MOL3018 | MED TOKSIKOLOGI | | 7,5 |
| Vår | TBT4110 | MIKROBIOLOGI | | 7,5 |
| Vår | TFY4195 | OPTIKK | | 7,5 |

- 1) Emnebeskrivelsen for Ekspert i team, tverrfaglig prosjekt, står omtalt på egen side etter tabellene i boken.
- 2) Ett komplementært emne skal velges fra listen under. Det tas ikke hensyn til emnene ved time- og eksamensplanleggingen. Enkelte emner kan være adgangsbegrenset, se www.ntnu.no/studier/opptak/emneopptak. Frist for å søke opptak er 1. juni. Studenter som velger BI3072 Miljøtoksikologi kan ikke velge MOL3018 Medisinsk toksikologi som valgbart emne i vårssemesteret.
- 3) I tillegg til de obligatoriske emner velges emner slik at kravet om 30 studiepoeng pr semester er oppfylt.
- 4) Anbefalt emne for studenter som planlegger fordypningsprosjekt eller master ved Institutt for bioteknologi.
- 5) Anbefalt valgbart emne.

Hovedprofil:
Bionanoteknologi

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

5. årskurs

Studieretning Bionanoteknologi

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|---------|----------------------------|-----|------|
| Høst | TFE4575 | Fordypningsemner | 1 | 7,5 |
| Høst | TFY4525 | FYS MET NANOSTR FDE | | 7,5 |
| Høst | TMT4515 | BIONANTEKNOLOGI FDE | | 7,5 |
| | | KJ MET SYNT NANO FDE | | 7,5 |
| Høst | MOL4500 | Fordypningsprosjekt | 2 | 15,0 |
| Høst | TBT4510 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TFE4570 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TFY4520 | NANOELEKTR/FOTON FDP | | 15,0 |
| Høst | TKJ4530 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TKP4570 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TKT4540 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TMM4550 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TMT4510 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | BI3072 | Komplementære emner | 3 | 7,5 |
| Høst | FI5206 | MILJØTOKSIKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TEP4223 | TECHN GOOD SOCIETY | | 7,5 |
| Høst | TEP4275 | LIVSSYKLUSANALYSE | | 7,5 |
| Høst | TIØ4201 | INDUSTRIELL ØKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TIØ4230 | RISIKOHÅNDTERING | | 7,5 |
| Høst | TIØ4295 | ENTRE MARKED PRODUTV | | 7,5 |
| Høst | TIØ4300 | BEDRIFTSØKONOMI | | 7,5 |
| Høst | TMM4220 | MILJØKUNNSKAP BÆREKR | | 7,5 |
| | | INNOVASJON | | 7,5 |
| Vår | MOL4901 | Masteroppgaver | 4 | 30,0 |
| Vår | TBT4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TFE4925 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TFY4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKJ4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKP4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKT4930 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TMM4940 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TMT4910 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |

- 1) Det skal velges ett fordypningsemne som er best tilpasset valgt fordypningsprosjekt.
- 2) Ett fordypningsprosjekt skal velges.
- 3) Ett komplementært emne skal velges fra listen under. Det tas ikke hensyn til emnene ved time- og eksamsplanleggingen.
Enkelte emner kan være adgangsbegrenset, se www.ntnu.no/studier/opptak/emneopptak. Frist for å søke opptak er 1. juni.
Studenter som har tatt MOL3018 Medisinsk toksikologi i 4. årskurs kan ikke velge BI3072 Miljøtoksikologi.
- 4) En masteroppgave skal velges.

Hovedprofil:
Bionanoteknologi

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

3. årskurs

Studieretning Nanoteknologi for materialer, energi og miljø

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|---------|----------------------------|-----|-----|
| Høst | TFY4170 | Obligatoriske emner | | |
| Høst | TFY4185 | FYSIKK 2 | | 7,5 |
| Høst | TFY4335 | MÅLETEKNIKK | | 7,5 |
| Høst | TMT4320 | BIONANOVITENSKAP | | 7,5 |
| | | NANOMATERIALER | | 7,5 |
| Vår | TFY4220 | FASTE STOFFERS FYS | | 7,5 |
| Vår | TIØ4258 | TEKNOLOGILEDELSE | | 7,5 |
| Vår | TKP4115 | OVERFL KOLLOIDKJEMI | | 7,5 |
| | | Valgbare emner | 1 | |
| Vår | TDT4100 | OBJ OR PROGRAMMERING | | 7,5 |
| Vår | TEP4220 | ENERGI/MILJØKONSEKV | | 7,5 |
| Vår | TFE4160 | ELEKTROOPTIKK/LASERE | 2 | 7,5 |
| Vår | TKP4130 | POLYMERKJEMI | | 7,5 |
| Vår | TKP4190 | FABR/ANV NANOMAT | 3 | 7,5 |
| Vår | TMT4285 | HYDROGEN/BRENSEL/SOL | | 7,5 |

- 1) Ett emne skal velges.
- 2) Det tas ikke hensyn til emnet ved time- og eksamensplanleggingen.
- 3) Emnet er obligatorisk og må velges i 3. eller 4. årskurs.

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

4. årskurs

Studieretning Nanoteknologi for materialer, energi og miljø

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|------------|--------------|---|-----|------------|
| Vår Vår | - TFY4330 | Obligatoriske emner EKSP I TEAM TV PROSJ NANOVERKTØY | 1 | 7,5 7,5 |
| Høst | BI3072 | Komplementære emner MILJØTOKSIKOLOGI | 2 | 7,5 |
| Høst | FI5206 | TECHN GOOD SOCIETY | | 7,5 |
| Høst | TEP4223 | LIVSSYKLUSANALYSE | | 7,5 |
| Høst | TEP4275 | INDUSTRIELL ØKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TI04201 | RISIKOHÅNDTERING | | 7,5 |
| Høst | TI04230 | ENTRE MARKED PRODUTV | | 7,5 |
| Høst | TI04295 | BEDRIFTSØKONOMI | | 7,5 |
| Høst | TI04300 | MILJØKUNNSKAP BÆREKR | | 7,5 |
| Høst | TMM4220 | INNOVASJON | | 7,5 |
| Høst | TFE4145 | Valgbare emner ELEKTRONFYSIKK | 3 | 7,5 |
| Høst | TFY4300 | ENERGI OG MILJØFYS | | 7,5 |
| Høst | TKJ4205 | MOLEKYLMODELLERING | | 7,5 |
| Høst | TKP4155 | REAKSJ KIN/KATALYSE | | 7,5 |
| Høst | TKT4146 | NANOMEKANIKK | | 7,5 |
| Høst | TMT4145 | KERAMISK MATR VIT | | 7,5 |
| Høst | TMT4155 | HETEROGENE LIKEVEKT | | 7,5 |
| Høst | TMT4322 | SOLCELLER | | 7,5 |
| Vår | TFY4245 | FASTSTOFF-FYSIKK VK | 4 | 7,5 |
| Vår | TKP4190 | FABR/ANV NANOMAT | | 7,5 |
| Vår | TMM4162 | ATOMISTISK BRUDD | | 7,5 |
| Vår | TMT4245 | FUNK MATERIALER | | 7,5 |
| | | Valgbare emner som det ikke tas hensyn til ved time- og eksamensplanl. | 3 | |
| Høst | TFY4250 | KVANTEMEKANIKK I | | 7,5 |
| Høst | TMT4222 | MET MEK EGENSK | | 7,5 |
| Vår | TFE4240 | NANOSKALA KOMP | | 7,5 |
| Vår | TKP4130 | POLYMERKJEMI | | 7,5 |
| Vår | TKP4180 | BIOENERGI FIBERTEK | | 7,5 |
| Vår | TMM4175 | POLYMERE/KOMPOSITTER | | 7,5 |
| Vår | TMT4166 | EKSP MATERIAL/ELEKTR | | 7,5 |

- 1) Emnebeskrivelsen for Eksperter i team, tverrfaglig prosjekt, står omtalt på egen side etter tabellene i boken.
- 2) Ett komplementært emne skal velges fra listen under. Det tas ikke hensyn til emnene ved time- og eksamensplanleggingen. Enkelte emner kan være adgangsbegrenset, se www.ntnu.no/studier/optak/emneoptak. Frist for å søke opptak er 1. juni.
- 3) I tillegg til de obligatoriske emner velges emner slik at kravet om 30 studiepoeng pr semester er oppfylt.
- 4) Emnet er obligatorisk og må velges i 3. eller 4. årskurs.

Hovedprofil:

Nanoteknologi for materialer, energi og miljø

FAKULTET FOR NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI

Studieprogram Nanoteknologi (MTNANO)

5. årskurs

Studieretning Nanoteknologi for materialer, energi og miljø

| Und.-sem. | Emnenr | Emnetittel | Anm | Sp |
|-----------|----------------------|----------------------------|-----|------|
| Høst | TFE4575 | Fordypningsemner | 1 | 7,5 |
| Høst | TFY4525 | FYS MET NANOSTR FDE | | 7,5 |
| Høst | TMT4515 | BIONATEKNOLOGI FDE | | 7,5 |
| Høst | KJ MET SYNT NANO FDE | | | 7,5 |
| Høst | MOL4500 | Fordypningsprosjekt | 2 | 15,0 |
| Høst | TBT4510 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TFE4570 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TFY4520 | NANOELEKTR/FOTON FDP | | 15,0 |
| Høst | TKJ4530 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TKP4570 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TKT4540 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TMM4550 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | TMT4510 | NANOTEKNOLOGI FDP | | 15,0 |
| Høst | BI3072 | Komplementære emner | 3 | 7,5 |
| Høst | FI5206 | MILJØTOKSIKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TEP4223 | TECHN GOOD SOCIETY | | 7,5 |
| Høst | TEP4275 | LIVSSYKLUSANALYSE | | 7,5 |
| Høst | TIØ4201 | INDUSTRIELL ØKOLOGI | | 7,5 |
| Høst | TIØ4230 | RISIKOHÅNDTERING | | 7,5 |
| Høst | TIØ4295 | ENTRE MARKED PRODUTV | | 7,5 |
| Høst | TIØ4300 | BEDRIFTSØKONOMI | | 7,5 |
| Høst | TMM4220 | MILJØKUNNSKAP BÆREKR | | 7,5 |
| Høst | | INNOVASJON | | 7,5 |
| Vår | MOL4901 | Masteroppgaver | 4 | 30,0 |
| Vår | TBT4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TFE4925 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TFY4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKJ4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKP4905 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TKT4930 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TMM4940 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |
| Vår | TMT4910 | NANOTEKNOLOGI | | 30,0 |

- 1) Det skal velges ett fordypningsemne som er best tilpasset valgt fordypningsprosjekt.
- 2) Ett fordypningsprosjekt skal velges.
- 3) Ett komplementært emne skal velges fra listen under. Det tas ikke hensyn til emnene ved time- og eksamsplanleggingen.
Enkelte emner kan være adgangsbegrenset, se www.ntnu.no/studier/opptak/emneopptak. Frist for å søke opptak er 1. juni.
- 4) En masteroppgave skal velges.

Hovedprofil:

Nanoteknologi for materialer, energi og miljø

C Study structure revised 2016



Notat

Til: Studieprogramråd Nanoteknologi

Kopi til:

Fra:

Signatur:

Revisjon av studiestruktur for studieprogram nanoteknologi

Bakgrunn:

Endring av struktur og plassering av enkeltemner i studieprogram Nanoteknologi (MTNANO) er meget krevende, siden studiet i stor grad er bygd opp av emner som i utgangspunktet er planlagt og utformet for andre studieprogram ved flere av NTNUs fakulteter. Studieprogramrådet har derfor kontinuerlige diskusjoner for å løse dette på best mulig måte, for at studieprogrammet skal fremstå spennende og attraktivt både for nye og nåværende nanoteknologistudenter.

Endringer i emneporteføljen som tilbys ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon (IET) ved IME-fakultetet, har konsekvenser for studieprogram nanoteknologi. Det er derfor nå nødvendig å foreta revisjon av studiestrukturen i studieprogrammet i forbindelse med studieplanrevisjon for studieåret 2016/2017. Det har for øvrig ikke vært gjennomført en revisjon av studiestrukturen på studieprogram nanoteknologi siden 2009.

Revisjon av studiestruktur for studieprogram nanoteknologi fra og med studieåret 2016/2017:

IET har gjort større endringer i emner relatert til halvlederfysikk og halvlederkomponenter, og dette har konsekvenser for hvordan nanoelektronikk og faststoff-fysikk er dekket i de fem første semestrene av studieprogram nanoteknologi. TFE4180 Halvlederteknologi, som i dag undervises i 2. årskurs for MTNANO, vil ikke lenger vil bli undervist i sin nåværende form. For studenter ved studieprogram tilknyttet IET, så er TFE4180 erstattet av et mer avansert kurs (TFE41XX Elektronfysikk med lab.). Dette emnet er ikke egnert for MTNANO-studenter så tidlig i studiet som 2. årskurs. I og med at TFE4180 ikke lenger kan gis i 2. årskurs, vil studentene mangle eksperimentelle og nanoteknologi-relevante fag i de første fem semestrene av studiet.

Det er dessuten også behov for en større endring av TFE4220 Nanoteknologi, introduksjonskurs, som gis i høstsemesteret i 1. årskurs. Dette emnet fungerer ikke optimalt slik det er nå. Dette er hovedsakelig på grunn av det er basert på «frivillige» bidrag fra flere institutter, og emnet blir

| Postadresse | Org.nr. 974 767 880 | Besøksadresse | Telefon | Saksbehandler |
|---------------------------------|---|--|--------------------------------------|--------------------|
| Realfagbygget 7491 Trondheim | E-post: postmottak@nt.ntnu.no http://www.nt.ntnu.no | Realfagbygget D1 Høgskoleringen 5 Gløshaugen | + 47 73 59 41 97 + 47 73 59 14 10 | |
| | | | | Tlf: + 47 73596020 |

All korrespondanse som inngår i saksbehandling skal adresseres til saksbehandlende enhet ved NTNU og ikke direkte til enkelpersoner. Ved henvendelse vennligst oppgi referanse.

dermed ofte nedprioritert. Det er imidlertid meget viktig at dette emnet gjøres interessant for studentene, siden det er det første nanorelaterte emnet de møter i studieprogrammet.

Studieprogramrådet har forslag til flere endringer i forbindelse med den kommende studieplanrevisjonen for studieåret 2016/2017:

Forslag til endringer:

- Nytt obligatorisk emne **TFE41XX Elektronfysikk** med lab (se vedlagte emnebeskrivelse), som skal undervises i vårsemester i 3. årskurs.
- **TFY4170 Fysikk 2** flyttes fra 3H to 2V. Emnet er revidert med mer fokus på nanoelektronikk.
- **TFE4220 Nanoteknologi, introduksjon** må revideres (se vedlagte emnebeskrivelse). Emnet vil inkludere gruppearbeid, laboratorieøvinger og laboratoriedemonstrasjoner. I dag er koordineringsansvaret for emnet lagt til IET, men fakultetet bør vurdere å allokkere dette emnet til ett av NT-fakultetets institutter.
- **TFY4330 Nanoverktøy** ønskes flyttet fra 4V til 3H. Dette er viktig på grunn av studentene drar på utveksling i 4. årskurs og det er vanskelig å finne en ekvivalent for dette emnet i utlandet.
- Det er ønskelig at studentene fremdeles velger studieretning i 3H.

Ytterligere endringer for å fordele arbeidsmengden i studieprogrammet:

- TKJ4102 Organisk kjemi, grunnkurs flyttes fra 2H til 3H/4H. Dette emnet vil være obligatorisk for studierettingene Bionanoteknologi og Nanoteknologi for materialer, energi og miljø, mens det vil være valgbart emne for studierettingen nanoelektronikk. Siden studentene velger studieretning i løpet av høstsemesteret i 3. årskurs, kan TKJ4102 tas enten i høstsemesteret i 3. årskurs eller 4H.
- TFY4158 Måleteknikk flyttes fra 3H to 2H. Det er dermed åpning for et valgbart emne i 3H (se vedlagte oversikt som viser de 3 studierettingene)

Overgangsperiode:

Det vil være nødvendig med overgangsordninger. Studentene som startet på nanoteknologi høsten 2013 og høsten 2014 blir berørt av endringene. Vedlagte oversikt viser hvordan man ser for seg studieplanen for disse to kullene. Studentene som startet høsten 2015 vil følge den reviderte studieplanen fra studieåret 2016/2017.

D Suggested study structure

Current study structure (- 2015)

| | | | | | |
|----|--|---------------------------------------|--|---|----------------------------|
| 4V | TFY4330 Nanoverktøy | | | | F E L L E S |
| 4H | | | | | |
| 3V | TFY4220 Faste stoffers fysikk | TFY4260/TKP 4115/Valg ¹ | TIØ4258 Teknologielede lse | Valg | |
| 3H | TFY4170 Fysikk 2 | TFY4185 Måleteknikk | TFY4335 Bionanovitens kap | TMT4320 Nanomaterialer | |
| 2V | TFE4120 Elektromagnet isme | TFE4180 Halvledertekn ologi | TKJ4215 Statistisk termodynamik k i kjemi og biologi | TBT4170 Bioteknologi | |
| 2H | TKJ4102 Organisk kjemi, grunnkurs | TMA4130 Matematikk 4N | TMA4240 Statistikk | TMT4185 Materialteknologi | |
| 1V | EXPH0004 EXPHIL-NT | TMA4105 Matematikk 2 | TMA4110 Matematikk 3 | TMT4110 Kjemi | |
| 1H | TDT4105 Informasjonste kn., gk | TFY4115 Fysikk | TMA4100 Matematikk 1 | TFE4220 Nanoteknologi, introduksjon | |

2016/17- (fra kull 2015)

| | | | | | |
|----|--------------------------------------|---------------------------------------|--|--|----------------------------|
| 4V | | | | | F E L L E S |
| 4H | | | Valg ² | | |
| 3V | TFY4220 Faste stoffers fysikk | TFY4260/TKP 4115/Valg ¹ | TIØXXX Tekled | TFE41XX Elektronfysikk med lab | |
| 3H | TFY4330 Nanoverktøy | Valg ² | TFY4335 Bionanovitens kap | TMT4320 Nanomaterialer | |
| 2V | TFE4120 Elektromagnet isme | TFY4170 Fysikk 2 | TKJ4215 Statistisk termodynamik k i kjemi og biologi | TBT4170 Bioteknologi | |
| 2H | TFY4185 Måleteknikk | TMA4130 Matematikk 4N | TMA4240 Statistikk | TMT4185 Materialteknologi | |
| 1V | TMT4110 Kjemi | TMA4105 Matematikk 2 | TMA4110 Matematikk 3 | EXPH0004 EXPHIL-NT | |
| 1H | TDT4105 Informasjonste kn., gk | TFY4115 Fysikk | TMA4100 Matematikk 1 | TFE4220 Nanoteknologi, introduksjon (revised, including lab) | |

¹ Valgbare emne for Studieretning Nanoelektronikk

² TKJ4102 Organisk kjemi obligatorisk for Studieretning Bionanoteknologi og Studieretning Nanoteknologi for materialer, energi og miljø i 3H eller 4H

Kull 2014
2016/17

| | | | | | |
|----|--|---|---|--|----------------------------|
| 4V | | | | | |
| 4H | | | | | |
| 3V | TFY4220 Faste stoffers fysikk | TFY4260/TKP 4115/Valg ¹ | TIØ4258 Teknologiledel lse | TFY4170 Fysikk 2 | |
| 3H | TFY4330 Nanoverktøy (Med kull 13) | TFY4185 Måleteknikk (Med kull 15) | TFY4335 Bionanovitens kap | TMT4320 Nanomaterialer | F E L L E S |
| 2V | TFE4120 Elektromagnet isme | TFE4180 Halvledertekno logi | TKJ4215 Statistisk termodynamikk i kjemi og biologi | TBT4170 Bioteknologi | |
| 2H | TKJ4102 Organisk kjemi, grunnkurs | TMA4130 Matematikk 4N | TMA4240 Statistikk | TMT4185 Materialteknologi | |
| 1V | TMT4110 Kjemi | TMA4105 Matematikk 2 | TMA4110 Matematikk 3 | EXPH0004 EXPHIL-NT | |
| 1H | TDT4105 Informasjonste kn., gk | TFY4115 Fysikk | TMA4100 Matematikk 1 | TFE4220 Nanoteknologi, introduksjon (revised, including lab) | |

Kull 2013
2016/17

| | | | | | |
|----|--|---------------------------------------|---|---|------------------------------|
| 4V | | | | | |
| 4H | TFY4330 Nanoverktøy (Med kull 14) | | | | |
| 3V | TFY4220 Faste stoffers fysikk | TFY4260/TKP 4115/Valg ¹ | TIØ4258 Teknologiledel lse | Valg | |
| 3H | TFY4170 Fysikk 2 | TFY4185 Måleteknikk | TFY4335 Bionanovitens kap | TMT4320 Nanomaterialer | |
| 2V | TFE4120 Elektromagnet isme | TFE4180 Halvledertekno logi | TKJ4215 Statistisk termodynamikk i kjemi og biologi | TBT4170 Bioteknologi | F E L L E S |
| 2H | TKJ4102 Organisk kjemi, grunnkurs | TMA4130 Matematikk 4N | TMA4130 Matematikk 4N | TMA4240 Statistikk | TMT4185 Materialteknologi |
| 1V | EXPH0004 EXPHIL-NT | TMA4105 Matematikk 2 | TMA4110 Matematikk 3 | TMT4110 Kjemi | |
| 1H | TDT4105 Informasjonste kn., gk | TFY4115 Fysikk | TMA4100 Matematikk 1 | TFE4220 Nanoteknologi, introduksjon | |

E TFE4177 Semiconductor Physics With Lab

Versjon: 2015-09-16 BOF_EF

TFE41XX Elektronfysikk med lab (fra våren 2017)

Vurderingsordning

Vurderingsordning: Skriftlig eksamen

Karakter: Bokstavkarakterer

| Vurderingsform | Vektning | Varighet | Hjelpe midler |
|-------------------|----------|----------|-------------------|
| Skriftlig eksamen | 100/100 | 4 timer | C |

Faglig innhold

Emnet gir en detaljert innføring i de viktigste klasser av elektroniske halvlederkomponenter. Følgende tema behandles: p-n overganger, metall-halvleder kontakter, dioder, felteffekt transistor (MOSFET) og bipolar transistor. Emnet gir også en innføring i utvalgte deler av halvlederprosessering i renrom, som fotolitografi, etsing og metallisering.

Læringsmål

Emnet skal gi studentene grundig innsikt i prinsipp og virkemåte for de viktigste typer av elektroniske halvlederkomponenter, basert på god fysisk forståelse av ladningstransport i halvledere.

Emnet skal gi studentene kunnskap om:

- teknologiske prosesser for fremstilling av halvlederkomponenter og integrerte kretser
- ladningstransport i p-n overganger og metall-halvleder kontakter
- prinsippene for felteffekt (MOSFET) og bipolar (BJT) transistor

Emnet skal gi studentene ferdigheter til:

- å beregne spenningsforhold og strømstyrker i eksisterende elektroniske halvlederkomponenter under ulike forspenningsbetingelser
- å sette opp og analysere kretsmodeller for felteffekt og bipolar transistor
- å sette seg inn i virkemåte og teknologi for fremstilling av nye og fremtidige halvlederbaserete elektroniske komponenter.
- å gjøre fotolitografi og enkel prosessering av halvledere i renrom, samt gjøre karakterisering med utvalgte teknikker.

Emnet skal gi studentene generell kompetanse:

- på bruk av ervervede ferdigheter i matematikk, statistikk, fysikk og kretsteknikk til kvantitativ analyse av definerte elektroniske systemkomponenter
- til meningsfylte videre studier av elektronisk krets- og systemdesign.

Læringsformer og aktiviteter

Forelesninger, regneøvinger, og laboratorieøvinger i renrom. Skriftlig eksamen gis kun på engelsk. Eksamen kan besvares på norsk eller engelsk. Ved utsatt eksamen (kontinuasjonseksamen) kan skriftlig eksamen bli endret til muntlig eksamen.

Obligatoriske aktiviteter

- Laboratorieøvinger
- Regneøvinger

Spesielle vilkår

Vurderingsmelding krever godkjent undervisningsmelding samme semester eller godkjent obligatorisk aktivitet tidligere semester.

Anbefalte forkunnskaper

Grunnleggende fysikkunnskaper på nivå med TFE4172 - Innføring i halvledekomponeenter.

Kursmateriell

B.G. Streetman and Sanjay Banerjee: Solid State Electronic Devices, 6te opplag (el. senere), Prentice Hall, 2006.

M. Quirk and J. Serda: Semiconductor Manufacturing Technology, Prentice Hall, 2001.

F Teaching Activities Year 1-3 (until 2016)

“Læringsaktiviteter”

| | | Comments | Matlab | Lab Demo | Lab | Re-pports | Pres. | Dept responsible |
|----------|--|--|--------|----------|-----|-----------|-------|------------------|
| TDT4105 | INFORMASJONSTEKN: | Mandatory exercises 8/12 required | | - | - | - | | IDI |
| TFY4115 | FYSIKK | 4 labs. One report from one of the labs. | - | - | 4 | 1 | | IFY |
| TFE4220 | NANOTEKN INTRO | Presentations; Small projects involving presentation of a chosen research topic (nanomaterials for energy and environment) and preparation of a poster (bio-module). Lab demo (nanomaterialer og teknostart (SEM)) | - | 1 | - | - | 2 | IET |
| TMA4100 | MATEMATIKK 1 | Maple exercises and midterm exam | - | - | - | - | | IMA |
| EXPH0004 | EXPHIL-NT | 2 essays required. | - | - | - | - | | IFR |
| TMA4105 | MATEMATIKK 2 | Maple exercises, exercises are mandatory and are part of the evaluation in the course | - | - | - | - | | IMA |
| TMA4115 | MATEMATIKK 3 | Mandatory exercises | - | - | - | - | | IMA |
| TMT4110 | KJEMI | weekly labs; template forms for reporting (measure and write down); no laboratory reports | - | | ~10 | - | - | IMT |
| TKJ4102 | ORGANISK KJEMI GK | No lab for MTNANO students (other students have a lab); | - | - | - | - | - | IKJ |
| TMA4130 | MATEMATIKK 4N: | Including numerical methods, but no matlab exercise; | - | - | - | - | - | IMA |
| TMA4240 | STATISTIKK: | 1-2 Matlab exercises | 2 | - | - | - | - | IMA |
| TMT4185 | MATERIALTEKNOLOGI | Mandatory exercises. | - | - | - | - | - | IMT |
| TBT4170 | BIOTEKNOLOGI | Presentations; Small projects involving presentation of a chosen research topic and presentation of a poster. | - | - | - | - | 1 | IBT |
| TFE4120 | ELEKTROMAGNETISME | Mandatory exercises + 2 labs. Matlab is used in the labs | - | - | 2 | - | - | IET |
| TKJ4215 | STAT TERMO KJEMI BIO | No mandatory exercises, but highly recommended | - | - | - | - | - | IKJ |
| TFE4180 | HALVLEDERTEKNOLOGI | 4 Labs; 1 reports covering all exercises; 1 presentations (student lecture); | | | 4 | 1 | 1 | IET |
| TFY4170 | FYSIKK 2 | Mandatory exercises 5/6 required | - | - | - | - | - | IFY |
| TFY4335 | BIONANOVITENSKAP | 4 Laboratory exercises in the Nanolab; 2 report; 2-3 Matlab exercises with a short report; | 2 | - | 4 | 2 | - | IFY |
| TFY4185 | MÅLETEKNIKK: | Lab + presentation of projects. 4 mandatory lab, but several more needed to complete project. | - | - | 4++ | - | 1 | IFY |
| TMT4320 | NANOMATERIALER | Mandatory exercises + midterm exam | - | - | - | - | - | IMT |
| TFY4220 | FASTE STOFFERS FYS: | 4 labs, 1 report about 1 lab; | - | - | 4 | 1 | - | IFY |
| TKP4115 | OVERFL KOLLOIDKJEMI (only nanomaterials) | Only mandatory exercises 7/12 required | - | - | - | - | - | IKP |
| TFY4260 | CELLEBIOLOGI/BIOFYS (only bio) | Labs and laboratory demos | | 1 | 4-5 | ? | - | IFY |

G Learning Objectives for MTNANO

Læringsmål for MTNANO.

Studieprogram Nanoteknologi

Sivilingeniøren i nanoteknologi har en kunnskapsbasis innen de grunnleggende fagområdene fysikk, kjemi, biologi og matematikk kombinert med bred og detaljert kunnskap om produksjon, analyse og bruk av nanosystemer. Sivilingeniøren har breddekunnskaper som gir forståelse for bruk av nanoteknologi innen bioteknologi, elektronikk, fornybar energi, materialteknologi, medisin og spisskompetanse for selvstendig å kunne implementere nanoteknologi innen minst ett av områdene. Sivilingeniøren har også en solid bakgrunn innen teknologi og etikk som grunnlag for å kunne adressere samfunnsnytten av nanoteknologi i relasjon til etiske aspekter og miljøaspekter.

Studiet gir en kombinasjon av generisk og spesifikk kompetanse som kan anvendes i industri, forskning, innovasjon, konsulentvirksomhet og offentlig sektor. Denne kompetansen danner en plattform for direkte verdiskaping og for videre studier og forskning innen fagområder som tar i bruk nanoteknologi. Sivilingeniøren i nanoteknologi har kunnskaper og ferdigheter til initiere forandringer/utvikling i teknologi mot nanoteknologi og kan møte kontinuerlige endringer i fremtidens teknologi og forståelsen/implementeringen av nanoteknologi. Forøvrig har kandidaten den generelle kompetansen som er felles for sivilingeniørkandidater fra NTNU.

Læringsmål

1. Kunnskaper

Nanoteknologen har:

- 1.1 Brede basiskunnskaper innen matematikk, kjemi, fysikk og biologi samt grunnleggende data tekniske kunnskaper, som kandidaten kan benytte for å beskrive nanoskala-fenomen og -system og deres opprinnelse og egenskaper.

Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:

- 1.1.1 Brede basiskunnskaper i matematikk
- 1.1.2 Brede basiskunnskaper i kjemi
- 1.1.3 Brede basiskunnskaper i fysikk
- 1.1.4 Brede basiskunnskaper i biologi
- 1.1.5 Basiskunnskaper som gir grunnlag for å beskrive og forstå egenskapene til nanoskala fenomen og systemer

- 1.2 Solide kunnskaper og forståelse av egenskaper til systemer basert på nanovitenskap og deres anvendelser innen nanoteknologi, samt metoder for produksjon og analyse av slike systemer, som gir grunnlag for metodeforståelse, anvendelser, faglig fornyelse og omstilling innen nanoteknologisk virksomhet.

Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:

- 1.2.1 Solide kunnskaper og forståelse av systemer basert på nanovitenskap

- 1.2.2 Solide kunnskaper og forståelse av anvendelser av systemer basert på nanoteknologi
 - 1.2.3 Solide kunnskaper om metoder for produksjon av nanosystemer
 - 1.2.4 Solide kunnskaper om metoder for analyse av nanosystemer
- 1.3 Dybdekunnskaper innenfor en av spesialiseringene bionanoteknologi, nanoelektronikk eller nanoteknologi for materialer, energi og miljø kombinert med reflektert forståelse for relasjoner til andre fagområder.
- 1.4 Dyptgående innsikt i sammenhengen mellom makroskopiske og mikroskopiske egenskaper til systemer og komponenter.
- 1.5 Kunnskaper om metoder for kontrollert syntese og definisjon av strukturer og karakterisering av disse på avansert nivå.
- Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:*
- 1.5.1 Kunnskaper om metoder for kontrollert syntese og definisjon av nanostrukturer og –systemer på avansert nivå.
 - 1.5.2 Kunnskaper om metoder for karakterisering av velfinerte nanostrukturer og –systemer på avansert nivå.
- 1.6 Innsikt i filosofi- og vitenskapshistorie, vitenskapsteori, etikk og argumentasjonsteori for å bli i stand til å forholde seg reflektert til sitt fagområde, og kan problematisere om implementering av nanoteknologi.
- 1.7 Innsikt i utvalgte temaer innen økonomi, prosjektledelse, industriell økologi, miljørisiko, helse miljø og sikkerhet for å kunne lede prosjekter og industriell virksomhet basert på nanoteknologi på en økonomisk, sikkerhetsmessig forsvarlig og bærekraftig måte.

2. Ferdigheter

Kandidaten kan:

- 2.1 Anvende sine kunnskaper innen nanovitenskap og nanoteknologi til å løse teknologiske utfordringer innen industri og forskning på en selvstendig og systematisk måte ved å analysere problemstillinger, formulere deloppgaver og frambringe innovative løsninger, også i nye og ukjente situasjoner, herunder designe, produsere, teste og implementere nye systemer basert på nanoteknologi.

Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:

- 2.1.1 Har inngående ferdigheter i framstilling av strukturer og komponenter relevante for nanoteknologi.
- 2.1.2 Arbeide med å teste, karakterisere og/eller implementere nanosystemer.

- 2.1.3 Gjennomføre analyse av problemstillinger innen nanoteknologi, formulere deloppgaver og frambringe innovative løsninger.
 - 2.1.4 Detaljere foreslalte metoder og løsninger til en slik grad at de kan implementeres.
- 2.2 Integrere grunnleggende vitenskapelige kunnskaper med metoder for å generere og karakterisere nanostrukturer med spesifikke egenskaper for å skape nye produkter og teknologiske løsninger.
- Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:*
- 2.2.1 Gjennomføre eksperimentelt arbeid med avansert instrumentering i og utenfor renrom.
 - 2.2.2 Benytte sine grunnleggende vitenskapelige kunnskaper til å skape nye nanoteknologiske system, produkter eller teknologiske løsninger.
- 2.3 Utvikle og implementere metoder basert på nanoteknologi innen tradisjonelle fagområder og industri.
- 2.4 Arbeide selvstendig og i tverrfaglige grupper, samarbeide effektivt med spesialister og ta egne initiativ.
- Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:*
- 2.4.1 Arbeide selvstendig med teknologiske og/eller vitenskapelige oppgaver av høy kompleksitet.
 - 2.4.2 Arbeide i grupper med teknologiske og/eller vitenskapelige oppgaver av høy kompleksitet.
 - 2.4.3 Planlegge og gjennomføre prosjekter, delegerte og koordinerte oppgaver, håndtere konflikter, vurdere sterke og svake sider ved en selv og andre.
 - 2.4.4 Håndtere oppgaver som synes å være enkle, men som senere viser seg å trenge tilleggskunnskap.
- 2.5 Fornye og omstille seg faglig, herunder kunne utvikle sin faglige kompetanse på eget initiativ.
- Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:*
- 2.5.1 Sette seg inn i hovedlinjene i kunnskapsutviklingen av eget fagfelt, følge med i hvordan teknologiske og vitenskapelige grenser flyttes for derigjennom å erkjenne behovet for faglig oppdatering.
 - 2.5.2 Ved behov ha god kontakt med lærekrefter ved NTNU.
- 2.6 Gjennomføre et selvstendig, avgrenset forsknings- eller utviklingsprosjekt innen nanoteknologi under veiledning.

3. Generell kompetanse

Nanoteknologen kan:

- 3.1 Kommunisere effektivt om eget arbeid, som for eksempel løsning av oppgaver, kunnskapsformidling, gjøre vurderinger og komme med presise konklusjoner både for fagfolk og ikke-spesialister (inkl. rapportering og presentasjoner, samt yte vesentlige bidrag til vitenskapelige publikasjoner).

Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:

- 3.1.1 Gi velstrukturerte presentasjoner for ulike tilhørere ved å bruke moderne presentasjonsmidler.
- 3.1.2 Skrive velstrukturerte og klare rapporter og bidrag til vitenskapelige publikasjoner.
- 3.1.3 Formidle etterspurt kunnskap og resultater til andre fagfolk på en klar og overbevisende måte.
- 3.1.4 Formidle etterspurt kunnskap og resultater til allmennheten på en klar og overbevisende måte.
- 3.1.5 Kunne lese, tolke og oppsummere engelskspråklig faglitteratur skriftlig og muntlig.
- 3.2 Vurdere teknologiske, etiske og samfunnsmessige effekter av eget arbeid, og ta ansvar for arbeidets virkning på bærekraftig og samfunnsmessig utvikling samt økonomi.
- Spesifisering i forhold til fagområder og enkeltemner:*
- 3.2.1 Gjennomføre oppgaver hvor bærekraftig utvikling tas hensyn til.
- 3.2.2 Identifisere moralske dilemma, beskrive aktører og være klar over egen posisjon.
- 3.2.3 Gjennomføre risikoanalyser og kjenne sikkerhetsinstrukser for eget arbeid.
- 3.2.4 Utføre gjennomførbarhets-studier av teknologiske oppgaver (realiserbare prosjekter).
- 3.3 Bidra til nytenkning og innovasjon basert på sin nanoteknologiske kompetanse.

Studieretning Nanoelektronikk (A)

Kandidater med studiestudieretning nanoelektronikk skal ha inngående kunnskaper om hvordan nye funksjoner i nanoskala materialer kan benyttes for å skape sensorer og elektroniske komponenter på nanoskala.

Spesifikke kunnskaper og ferdigheter:

- A1. Har brede og grundige teoretiske og praktiske kunnskaper om fabrikasjon av nanoskala komponenter, inkludert elektroniske, optiske, magnetiske og bio/kjemisk-grenseflate-baserte komponenter.
- A2. Har inngående erfaring i bruk av avanserte karakteriseringsteknikker for analyse av nanoelektroniske systemer, inkludert karakterisering på nm-nivå.
- A3. Har spisskompetanse innen utvalgte områder for nanoelektroniske anvendelser, herunder halvleiderfysikk, faststoff-fysikk, faststoff-elektronikk og/eller avansert

kvantemekanikk. Kandidaten har videre inngående innsikt i anvendelser innen nanoelektronikk, og mikro- og nano-elektromekaniske systemer.

- A4. Har spisskompetanse innen utvalgte områder av avansert elektromagnetisme, nanomagnetisme, elektrooptikk/laserfysikk, fotoniske krystaller og metamaterialer og anvendelser innen optiske og magnetiske komponenter på nanoskala, eksempelvis nano-fotonikk/nano-optoelektronikk og optiske sensorer/detektorer.
- A5. I en forskningsrettet yrkessammenheng skal kandidatene være i stand til å planlegge og gjennomføre forskningsoppgaver innen et eller flere av de områdene som er nevnt ovenfor.

Studieretning Bionanoteknologi (B)

Kandidaten med studieretning Bionanoteknologi har følgende spesifikke kunnskaper og ferdigheter:

- B1. Har dyptgående kunnskap om og forståelse av fysiske fenomen relevante på cellulært og sub-cellulært nivå.
- B2. Har inngående kunnskaper i molekylærbiologi, molekylærmedisin og bioteknologi, kunnskap som kandidaten kan benytte for god og effektiv kommunikasjon med forskere, utøvende leger og annet helsepersonell innen medisin.
- B3. Har dyptgående kunnskaper innenfor viktige områder av nanofabrikasjon for anvendelse av nanoteknologi i medisinsk forskning og medisinsk diagnostikk, så vel som i andre områder innen bionanoteknologi.
- B4. Har inngående erfaring i bruk av avanserte karakteriseringstøy for analyse av biologiske systemer, inkludert karakterisering på nm-skala.
- B5. Har dyptgående ferdigheter i utvalgte områder som nanofabrikasjon og biologisk funksjonalisering av organiske og uorganiske nanostrukturer.
- B6. I en forskningsrettet yrkessammenheng skal kandidatene være i stand til å planlegge og gjennomføre forskningsoppgaver innen et eller flere av de områdene som er nevnt ovenfor.

Studieretning Nanoteknologi for materialer, energi og miljø (C)

Nanoteknologi for materialer, energi og miljø omfatter et bredt område innenfor nanoteknologi. Kandidater med denne studieretningen skal ha inngående kunnskaper om framstilling, bearbeiding og fabrikasjon av ulike typer nanostrukturer. I tillegg skal kandidaten ha grunnleggende forståelse av hvordan materialenes kjemiske sammensetning og indre struktur, kombinert med størrelseseffekter styrer deres bruksegenskaper.

Spesifikke kunnskaper og ferdigheter:

- C1. Kandidaten har brede og inngående teoretiske og praktiske kunnskaper om ulike fabrikasjonsmetoder for nanopartikler, nanostaver, nanorør, nanotråder, 3-D nanostrukturer og nanoporøse materialer. I disse metodene inngår blant annet

våtkjemiske syntesemetoder, gassfasreaksjoner og fysiske deponeringsteknikker. Materialene som kandidaten skal ha kjennskap til inkluderer polymerer, keramer, metaller, biomaterialer, uorganiske materialer og myke materialer.

- C2. Kandidaten har gode kunnskaper innenfor selvmontering av nanostrukturer for å danne nye og sammensatte funksjonelle materialer.
- C3. Kandidaten har dyptgående kunnskaper om og kan karakterisere materialer med funksjonelle egenskaper som elektronisk og ionisk ledningsevne, isolerende, optiske, magnetiske, katalytiske og mekaniske egenskaper. Størrelseseffekter er også en viktig del av både teori og praksis innenfor dette feltet.
- C4. Kandidaten kan bruke avansert vitenskapelig utstyr for syntese og karakterisering av ulike nanostrukturer og nanostrukturerte materialer.
- C5. Kandidaten har inngående kunnskaper om hvordan ovennevnte materialer og egenskaper kan implementeres i ulike teknologiske anvendelser spesielt rettet mot energi og miljø, men også noe kunnskap innenfor informasjon- og kommunikasjonsteknologi, og medisinsk teknologi. Innenfor nanomaterialer for energi og miljø skal kandidaten også kunne definere fundamentale prinsipper og konsepter for de ulike anvendelsene.
- C6. Kandidaten skal demonstrere nytenkning og kunne arbeide med innovative løsninger av materialrelaterte problemstillinger ved valg av materialer, strukturer og framstillingsmetoder for implementering i spesifikke anvendelser innenfor nanoteknologi for energi og miljø.
- C7. I en forskningsrettet yrkessammenheng skal kandidatene være i stand til å planlegge og gjennomføre forskningsoppgaver innen ett eller flere av de områdene som er nevnt ovenfor.

H Completed Master Projects

Table 2: Completed Master Projects

| Student | Profil | Oppgavetittel | Veileder |
|----------------------------|--------|--|-------------------------------|
| Kai Muller Beck-with | Bio | A Study of Cultured Cells on a Nanowire-based Reverse Transfection Device | Pawel Sikorski; IFY |
| Ken Roger Ervik | Bio | Applikasjon av fokusert ionestråle (FIB) og skanning elektronmikroskop (SEM) for karakterisering av vev, celler og biomaterialer. | Pawel Sikorski; IFY |
| Lars Fabricius | Bio | Human Exposure Assessment of Engineered Inorganical Nanoparticles in Food | Pawel Sikorski, IFY |
| Emily Helgesen | Bio | Characterization of the Uptake and Trafficking of AvB3-targeted and Non-targeted Nanoemulsions in Human Endothelial Cells in vitro | Catharian de Lange, IFY |
| Solveig Nilsen Hjellen | Bio | Medikament-leveringssystemer for tuberkulose | Øyvind Halaas, IKM |
| Thor Christian Hobæk | Bio | Nanostructured PDMS surfaces with patterned wettability | Pawel Sikorski, IFY |
| Sigmund Østtveit Størset | Bio | Design, fabrikering og inititell testing av flow chip for cellesortering ved adhesjon/rulling | Øyvind Halaas, IKM |
| Audun Nystad Bugge | Elekt. | Controlled laser damage of single photon-avalanche photodiode | Johannes Skaar, IET |
| Carl Huseby Fosli | Elekt. | Plasmonics for Light Trapping in Thin Silicon Solar Cells | Ingve Simonsen, IFY |
| Andreas Lønning Reiten | Elekt. | Diffuse Small Angle X-Ray Scattering From Thin Film Structures In the Distorted Wave Born Approximation | Dag Werner Breiby, IFY |
| Erlend Grytli Tveten | Elekt. | Optical coatings for enhancement of the longitudinal Magneto-optic Kerr Effect from magnetic ultra-thin films | Ursula Gibson, IFY |
| Vidar Tonaas Fauske | Mat | Electron Microscopy characterization of the Interface between a (111)-Si Substrate and GaAs Nanowires grown by Self-Catalysis by MBE | Antonius T. Van Helvoort, IFY |
| Dag Håkon Andre Å Haneberg | Mat | A Finite-Size Study on Samarium-Substituted Bismuth Ferrite | Tor Grande, IMT |
| Oddmund Hatling | Mat | Multiferroic, Magnetoelectric Nanoparticles | Tor Grande, IMT |
| Einar Haugan | Mat | Colloidal Crystals as Templates for Light Harvesting Structures in Solar Cells | Ingve Simonsen, IFY |
| Susanne Helland | Mat | Electrical Characterization of Amorphous Silicon Nitride Passivation Layers for Crystalline Silicon Solar Cells | Eivind Øvreliid, IMT |
| Marius Uv Nagell | Mat | Carbon Nanocones as Electrode Material in Lithium Ion Batteries | Fride Vullum-Bruer, IMT |
| Anne Kirsti Noren | Mat | Characterization of Structure and Optical Properties of Diatoms for improved Solar Cell Efficiency | Gabriella Tranell, IMT |

Continued on next page

Table 2 – *Continued from previous page*

| Student | Profil | Oppgavetittel | Veileder |
|--------------------------------|---------------|--|--------------------------------|
| Linn Ingunn Sandberg | Mat | Porous filters of nanofibillated cellulose | Øyvind Gregersen, IKP |
| Jørn Hwan Skogsrød | Mat | Atomistisk modellering av jern og stål | Christian Thaulow, IPM |
| Lotte Marie Beate Skolem | Mat | Biosynthesis and characterization of Ti-doped silisca-based Nanostructures formed by the Diatoms Pinnularia sp. and Coscinodiscus wailesii | Olav Vadstein, IBT |
| Jon Martinsen Strand | Mat | Production of Lead-free Electroceramics | Kjell Wiik, IMT |
| Alf Petter Syvertsen | Mat | Alloys as Anode Materials in Magnesium Ion Batteries | Fride Vullum-Bruer, IMT |
| Simen Eidsmo Barde | Bio | Molekylærodynamikk simulering av mekanisk oppførsel til DNA-materialer | Zhilang Zhang, IKT |
| Brita Melberg | Bio | Nanostructured surfaces with patterned wetability | Pawel Sikorski, IFY |
| Steffen Nøvik | Bio | Microfabrication and biopatterning of glass microfluidic channels for cellular biology applications. | Øyvind Halaas, IKM |
| Tom Erik Pedersen | Bio | Construction and testing of a microfluidic flow channel for dynamic cell studies | Øyvind Halaas, IKM |
| Jonas Myren Ribe | Bio | Actuation of a Hyperelastic PDMS Membrane Suspended inside a Microfluidic Channel | Bjørn T. Stokke, IFY |
| Eskil Aursand | Elekt. | Optiske egenskaper til trunkerte sfæroidiske nanopartikler med flere skall på et substrat | Ingve Simonsen, IFY |
| Christopher Andrew Dirdal | Elekt. | Negative refraction in on-magnetic metamaterials | Johannes Skaar, IET |
| Johannes F Reinertsen | Elekt. | Simulation of Ultrafast Pump - Probe Measurements for Semiconductors | Ulf Lennart Østerberg, IET |
| Runar Sandnes | Elekt. | Wetting at micro and nano structures surfaces | Christian Thaulow, IPM |
| Sindre Hove Bjørnøy | Mat | Nanomechanical testing of diatoms | Christian Thaulow, IPM |
| Ingrid Gullikstad Hallsteinsen | Mat | Nanoscale control of domain formation in ferromagnetic thin films. | Thomas Tybell, IET |
| Ida Hjorth | Mat | Organiske elektrolytter for termoelektrisk energikonvertering og karbon nanorør elektrode-funksjonalisering ved Nitrogen-doping | Chen De, IKP |
| Kjetil Knausgård | Mat | Superhydrophobic Anti-Ice Nanocoatings | Zhilang Zhang, IKT |
| Toreskås, Oda Lunde | Mat | Evaluation of Antifreeze Coatings to prevent icing on arctic offshore Structures | |
| Markus Solberg Wahl | Mat | Micro-Photoluminescence Spectroscopy of Au-assisted MBE Grown AlGaAs Nanowires with Axial GaAs Inserts | Helge Weman, IET |
| | Bio | Degradation and Stability of PBCA and POCA Nanoparticles | Catharina de Lange Davies, IFY |

Continued on next page

Table 2 – *Continued from previous page*

| Student | Profil | Oppgavetittel | Veileder |
|--------------------------|---------------|--|----------------------------------|
| Oda Dahlen | Bio | The dynamics of DNA denaturation | Titus van Erp, IKJ |
| Åsmund Flobak | Bio | Investigation of Transfection Using Silica-coated Cupric Oxide Nanowires | Pawel Sikorski, IFY |
| Harald Ian Muri | Bio | Atomic force microscopy measurements for the surface and the interaction characterization to optimize the surface patterning for bacterial micro arrays | Bjørn T. Stokke, IFY |
| Sigurd Rolland Pettersen | Bio | Cross-linking oxidized cellulose nanofibrils for the formation of stable hydrogel structures | Kristin Syverud, IKP (prof. II) |
| Inthu Ratnavel | Bio | Swelling properties of bioresponsive hydrogels. Swelling kinetics, and transport mechanisms in a hydrogel for signal transducing | Bjørn T. Stokke, IFY |
| Marianne Sandvold | Bio | Technical aspects of FIB/SEM milling and imaging | Pawel Sikorski, IFY |
| Linn Sofie Snipstad | Bio | Mechanisms for delivery of hydrophobic drugs from polymeric nanoparticles to cancer cells | Catharina de Lange Davies, IFY |
| Kishia Stojcevska Søvik | Bio | Effect of ultrasound on the distribution of nanoparticles in tumor tissue | Catharina de Lange Davies, IFY |
| Jonathan Ø. Torstensen | Bio | Investigating Endocytosis in HeLa Cells seeded on CuO Nanowires | Pawel Sikorski, IFY |
| Sara Westrøm | Bio | Cellular Interaction with Polymeric Nanoparticles: The Effect of PEGylation and Monomer Composition | Catharina de Lange Davies, IFY |
| Monika Blikø | Elekt. | Low Energy Electronic Properties of Graphene and Molybdenum Disulfide | Arne Brataas, IFY |
| Camilla Espedal | Elekt. | Static and Dynamic Transport Properties in Superconductors, Normal Metals and Ferromagnets | Arne Brataas, IFY |
| Stian Gulla | Elekt. | Advanced Micro Photoluminescence Spectroscopy of Single GaAs/AlGaAs Core-Shell Nanowires | Helge Weman, IET |
| Torstein Nesse | Elekt. | Rotation of the onion state in micromagnetic rings | Ursula Gibson, IFY |
| Elisa Ariane Osmundsen | Elekt. | Implementasjon av en ny modell for presipitering av kuboide partikler | Bjørn Holmedal, IMT |
| Ingrid Snustad | Elekt. | Selective examination of optically and structurally separable parts within GaAs/AlGaAscore-shell nanowires by micro-photoluminescence and transmission electron microscopy | Antonius T. J. Van Helvoort, IFY |
| Jonas Said Baazi | Mat | B-cation ordering and dielectric properties of relaxor ferroelectric Pb(Sc _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ | Tor Grande, IMT |
| Roger Moen | Mat | Spraypyrolyse av keramiske oksidmaterialer | Mari-Ann Einarsrud, IMT |
| Reidun Dahl Schlanbusch | Mat | A New Nano Insulation Material for Applications in Zero Emission Buildings | Tor Grande, IMT |

Continued on next page

Table 2 – *Continued from previous page*

| Student | Profil | Oppgavetittel | Veileder |
|---------------------------|---------------|--|----------------------------------|
| Susanne Linn Skjærø | Mat | Kompleksdannere under våtkjemisk syntese av oksider | Mari-Ann Einarsrud, IMT |
| Steffen Knut Fagerland | Bio | Investigation of Focused Ion Beam/Scanning Electron Microscope parameters for Slice and View and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy of Embedded Brain Tissue | Pawel Sikorski, IFY |
| Hanne Grydeland | Bio | Characterization of Bioaerosols using Electron Microscopy with Special Emphasis on Airborne Bacteria | Antonius T. J. Van Helvoort, IFY |
| Frédéric Menard Lindboe | Bio | Timing and Controlling Dissolution of Cell Repellent Poly(Vinyl Alcohol) Thin Films for Patterned Cell Micro-Arrays | Pawel Sikorski, IFY |
| Vegar Ottesen | Bio | Bacterial Microarrays by Microcontact Printing. Development of a Method for Immobilizing Live Bacteria on Microarrays | Marit Sletmoen, IFY |
| Bjørn Andre Strøm | Bio | | Øyvind Halaas, IKM |
| Einar Sulheim | Bio | Mechanisms of Cellular Uptake and Intracellular Degradation of Polymeric Nanoparticles | Catharina de Lange Davies, IFY |
| Ambjørn Dahle Bang | Elekt. | Fabrication and Electronic Investigation of GaAs nanowire/Graphene Hybrid Devices | Helge Weman, IET |
| Molly Strimbeck Bazilchuk | Elekt. | Improved Induced Diode Photodetectors by Increased Fixed Charge in PECVD Amorphous Silicon Nitride | Jostein Grepstad, IET |
| Torstein Bolstad | Elekt. | Fabrication of a Silicon Photonic Crystal Biosensor | Astrid Aksnes, IET |
| Maximilian Berge Erlbeck | Elekt. | Probing the electronic properties of p-doped gallium arsenide nanowires | Antonius T. J. Van Helvoort, IFY |
| Hans Olaf Hågenvik | Elekt. | FDTD simulations of novel gain media | Johannes Skaar, IET |
| Ida Marie Høiaas | Elekt. | Fabricating Si[111] Nanostructures on Graphene by Aluminum-Induced Crystallization for High Yield Vertical III-IV Semiconductor Nanowire Growth | Helge Weman, IET |
| Fredrik Kjemperud Olsen | Elekt. | Karakterisering av magnetiske egenskaper til (111)-orienterte funksjonelle grensesnitt basert på komplekse oksider | Thomas Tybell, IET |
| Snorre Rist | Elekt. | Spin-Motive Forces and Electron-Electron Interactions | Arne Brataas, IFY |
| Susanne Sandell | Elekt. | Fabrikering og måling av GaAs nanotrådsolcelle | Helge Weman, IET |
| Marit Moe Bjørnbet | Mat | Life Cycle Assessment of Body-in-White Produced from Recycled Aluminum | Ragnhild Aune, IMT |
| Line Rude Jakobsen | Mat | The Aluminium Stock in Non-Residential Buildings in Trondheim - A Bottom-Up Study Based on Building Type-Cohorts | Daniel Beat Mueller, EPT |
| Ida Johansen | Mat | Wet Chemical Synthesis of Graphene for Battery Applications | Ingeborg Kaus, IMT |

Continued on next page

Table 2 – *Continued from previous page*

| Student | Profil | Oppgavetittel | Veileder |
|----------------------------|---------------|--|----------------------------------|
| Astrid Marthinsen | Mat | A first-principles Study of epitaxial Interfaces between Graphene and GaAs | Sverre Magnus Selbach, IMT |
| Julie Stene Nilsen | Mat | Position controlled Growth of GaAs/AlGaAs core-shell Nanowires - more uniform in their structural and optical Properties? | Antonius T. J. Van Helvoort, IFY |
| Elisabeth Tanami Vägenes | Mat | Adhesive Properties of Nanostructured Anti-Icing Coatings | Zhilang Zhang, IKT |
| Anne Brit Lello | Bio | Fabrication and characterization of Solid Lipid Nanoparticles and Nanostructured lipid Carriers | Wilhelm Robert Glomm, IKP |
| Stefan Mandaric | Bio | Microfabrication for mineralized alginate fibers for bone tissue engineering applications | Pawel Sikorski, IFY |
| Rasmus Schanke | Bio | SU-8 based nanostructures for cell biology research | Pawel Sikorski, IFY |
| Lisa Gregusson Svartdal | Bio | Fabrication and testing of biopatterned microfluidic channel for cell-cell interaction in the immune system | Øyvind Halaas, IKM |
| Linda Sønstevold | Bio | Targeting kinetics of RGD-conjugated nanoemulsions | Catharina de Lange Davies, IFY |
| Vilde Sørdal | Bio | Nanobiopatterning within microfluidic channels | Øyvind Halaas, IKM |
| Marte Bondø Augdal | Elekt. | Fabrication and characterisation of exchange biased magnonic lattices | Erik Wahlstrøm, IFY |
| Chrisrosemarie Delabahan | Elekt. | Nano-enabled anti-icing surfaces and coatings - Superhydrophobicity and icephobicity characterization of anti-fouling coatings | Zhilang Zhang, IKT |
| Marte Bondø Augdal | Elekt. | Fabrication and characterisation of exchange biased magnonic lattices | Erik Wahlstrøm, IFY |
| Mira Thoen Fering | Elekt. | Tas høsten 2015 | |
| Marit Kjærvik | Elekt. | Surface interactions relevant to cancer treatment | Justin Wells, IFY |
| Jon-Oddvar Kolnes | Elekt. | Functionalized carbon nanotube surfaces for anti-icing applications | Zhilang Zhang, IKT |
| Ine Beate Larsen Jernelv | Elekt. | Positronium Formation in Nanostructured Materials | Bo-Sture Skagerstam, IFY |
| Simen Mikalsen Martinussen | Elekt. | | Astrid Aksnes, IET |
| Aksel Skauge Mellbye | Elekt. | | Jotein Grepstad, IET |
| Aleksander Buseth Mosberg | Elekt. | Characterization of AlGaAs shells on self-catalyzed GaAs nanowires. | Antonius T. J. Van Helvoort, IFY |
| Bjørn Holst Petersen | Elekt. | Virvelstrøm effekter i FMR responsen til ferromagnetiske / normal metal tynnfilmstrukturer | Erik Wahlstrøm, IFY |
| Kristoffer Skogen Raa | Elekt. | | Thomas Tybell, IET? |

Continued on next page

Table 2 – *Continued from previous page*

| Student | Profil | Oppgavetittel | Veileder |
|------------------------------|---------------|---|---------------------------------------|
| Vetle Meland Ris- inggård | Elekt. | Walker Breakdown in Magnon-Induced Ferro-magnetic Domain Wall Motion | Jacob Rune Wüsthoff Linder, IFY |
| Trygve Magnus Ræder | Elekt. | Impact of Electrode Materials on the Ferro-electric Properties of PZT Thin Films with Interdigitated Electrodes | Tor Grande, IMT |
| Åsmund Ueland | Elekt. | | Bjørn-Ove Fim- land, IET |
| Marianne Urnes | Elekt. | Tas høsten 2015 | |
| David Andre Coucheron | Mat | Phase Separation and Thermal Annealing of Silicon-Germanium Fibres | Ursula Gibson, IFY |
| Espen Tunhøvd Haugan | Mat | | |
| Vegard Hornnes | Mat | Tas høsten 2015 | |
| Verner Håkonsen | Mat | Self-assembly of Magnetic Nanoparticles into Superstructures for Magnonics | Erik Wahlstrøm, IFY |
| Raymond Luneng | Mat | Development of Hydrophobic Surfaces for Anti-Icing Applications | Hilde Lea Lein, IMT |
| August Emil Stokkeland | Mat | A novel Characterization Method for electric Properties of Silver-coated Polymer Spheres | Jianying He, IKT |

I New description of TFE4220 Introduction to Nanotechnology

TXYYYY Nanotechnology, Introduction

Course content and learning outcome

- 1) The course will give an introduction to basic concepts of nanoscience and nanotechnology. Furthermore, it will give a representative overview of 3 study directions in the MTNANO study program, that is nano-electronics, bionanotechnology and nano-materials;
- 2) Students will be introduced to selected applications of nanotechnology in research, technology and consumer products.
- 3) The course will highlight importance of mathematics, physics, chemistry and biology for nanoscience and nanotechnology.
- 4) The course will introduce main techniques for micro- and nanostructuring and structure characterization methods.
- 5) Students will gain basic skills in report writing, project work in small groups, following lab demonstrations and simple hands on experiments.
- 6) The course will introduce the importance of cleanroom-based experimental infrastructure.

The course should be organized as a combination of traditional lectures, project work, laboratory demonstrations and hands-on laboratory exercises, as focused, semester long project or a combination of various teaching activities. The course should include 4-6 laboratory exercises or laboratory demonstrations as well as introduction to NTNU Nanolab. Depending on the teaching form, one should consider compulsory attendance, grading of reports and presentations (for example poster presentations).

The study board of MTNANO study program suggest that the course should be given by one Department, preferably from the NT-faculty. This could be supplemented by guest lectures and short presentations by PhD students working within nanotechnology at NTNU. Well designed and coherent course structure is critical for the course to fulfill its role, that is giving the students a solid motivation for the first years of the study.

It should be noted, that in the revised study structure for MTNANO (from 2015/16), this is the only subject which will give some relevant, hands on training, and therefore it is essential relevant and motivating laboratory exercises are a part of the course.

As a consequence, necessary resources need to be dedicated. This should include 1-2 PhD student assistants (preferably with a background in the MTNANO study program), 1-2 student assistants (*vit ass*) also from MTNANO study program, as well as course coordinator/main lecturer.

J Input from vice dean

Input to the evaluation of the Nanotechnology program form the vice dean for education at the faculty of Natural Sciences and Technology

General background and motivation for having nanotechnology study program at NTNU

The Nanotechnology study program was started in 2006/2007. The study program was established after the NTNU board had made Nanotechnology a focus area of NTNU in 2002 and after the Nanolab facility was opened in 2004. The motive behind was to educate masters in technology with a nanotechnology competence who could develop and exploit nanotechnology for Norwegian industry and research. Further it was desirable to educate students who could both benefit from and contribute to the nanotechnology research taking place in the NTNU Nanolab and in other laboratories at NTNU. The program was originally designed to take in 30 students. The number was set low as the job market for nanotechnologists in Norway is limited.

Motivation on why the study program is organized in the way it is

The study program is organized with a common basis in the two first years (as are all 5-year master programs in technology), then the students may choose between three specializations:

- Bionanotechnology
- Nanotechnology for materials, energy and the environment
- Nanoelectronics

These three specializations correspond to the strongest nanotechnology research fields at NTNU. This ensures that the project and master projects of the students have a strong research connection. The three specializations also correspond to competence needed in industry and research in Norway.

The research groups working with the three fields above are distributed at three different faculties (NT, IME and IVT). At each of the faculties research groups at several departments are working with nanotechnology. This is an inevitable consequence of the status of nanotechnology as an emerging and enabling technology in many established research fields. The consequence of this is that the Nanotechnology study program is an interdisciplinary program with the NT faculty as host faculty. The program board is composed with representatives from the most active departments. The dean of NT appoints one of these representatives the program leader. Most of NTNUs study programs are focused within a traditional scientific discipline (chemistry, physics, mechanical engineering...) and has strong connections to one or only a few departments. The interdisciplinary nature of the Nanotechnology program cause both social and organizational

challenges, yet these challenges has been seen as less important than having the possibility to include all the three specializations above in the program.

Expectations regarding how the nanotechnology masters in technology should contribute to development in the society

Masters in technology from NTNU is generally expected to be able to contribute with a strong technology and natural science expertise in cross disciplinary teams. They may be a part of a team working in production industry, engineering companies, consultant companies, in the public sector and in the research sector. For the nanotechnology students, the traditional industry employs fewer and the research sector more of the students than average. This is partly to be expected as nanotechnology is still a quite new field for the industry, but it is also partly a function of the students entering the program both has been especially strong and more interested in research than average for technology students.

Future position of the study program after reorganization of the faculties and departments as a consequence of the merger.

NTNU is merging with the university colleges HiST, HiÅ and HiG from January 2016. This is not expected to have any effect on the content of the Nanotechnology program. The merger will however affect both the faculty and department structure of NTNU. One such possibility is a merger of two or all three technology faculties of the current NTNU. This could simplify the program management, however the number of department/research groups contributing will still be large.

Final note

I would like to point out that the statements above is a description of the current situation and should not be taken as a limitation on the outcome from the evaluation panel.

NTNU 13/9 2015

Prof. Øyvind Gregersen

Vice dean, NT

K Arbetsordning för programledning



BESLUT

1

2013-02-25

Dnr LTH 2013/363

LUND'S UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTHs kansli

Kanslichef Per Göran Nilsson

Arbetsordning för programledning

För att tydliggöra arbetsfördelningen inom programledningen anges nedan vilka arbetsuppgifter som normalt utförs av programledare, programplanerare, studievägledare, internationell koordinator, masterkoordinator och masterföreståndare. Masterkoordinator och masterföreståndare ingår inte i programledningarna, men är indirekt berörda genom att masterprogrammen kan bestå av kurser ur programmens specialiseringar.

1. Programledare och skolchefer

Programledare och skolchef ska

- vara programmets kontaktperson och företrädare
- vara programledningens ordförande och ansvara för programmets utveckling och kvalitetssäkring
- ansvara för att en budget för programledningens verksamhet upprättas
- förankra programledningens olika förslag till UN-beslut hos berörda institutioner, lärare och programledningar
- bereda programmets läsårsrapport och utvärderingar som rör programmet
- genomföra kursutvärderingsmöten (CEQ) och uppföljning av dessa
- representera programmet vid planering och genomförande av introduktionen
- besluta - på delegation - om tillgodoräkningen, utbyte samt medräkningen av kurser efter föredragning av programplaneraren
- godkänna utbytesstudenters förslag till studieplaner samt eventuella förändringar av dessa
- ansvara för programspecifik information exempelvis tryckt informationsmaterial, information på hemsidor, information om specialiseringar och examensarbete
- verka för att finna effektivitets- och samordningsvinster med andra program
- delta i och när det är lämpligt planera mentors- och alumniverksamhet, samt ha insyn i de aktiviteter, som kan förekomma i samband med dessa.
- vara TIME-studenters kontaktperson och rådgivare för studieplanering.

För Arkitekt- och Industridesignskolorna samt för Ingenjörshögskolan i Helsingborg gäller även följande:

- Skolchefen ansvarar för ledningen av skolan. Skolchefen har i stort samma uppdrag som en programledare, dock med större tyngd på att representera ett utbildningsområde gentemot extern verksamhet. Skolchefen kan delegera delar av sitt ansvar till biträdande skolchef respektive till masterföreståndare där så är lämpligt. En delegation måste vara av sådan karaktär att den omfattar en längre tidsperiod och måste godkänna av LTH:s rektor .
- Skolchefen för Industridesignskolan är ordförande i antagningsjuryn för kandidat- respektive mastersprogrammet samt ansvarar för andra verksamheter knutna till programmet, finansierade genom donationen från IKEA Stichting Foundation, t ex internationell verksamhet.
- Skolchefen för Ingenjörshögskolan i Helsingborg fungerar som informationslänk, är verksamhetens ansikte utåt och har en löpande dialog med Campus Helsingborg. I uppgiften ingår att ha ansvar för samordning mellan högskoleingenjörsprogrammen samt att delta i utbildningsberedningen som representant för Ingenjörshögskolan. I uppdraget ingår även att delta i den nationella samverkansgruppens arbete.

2. Masterföreståndare

Masterföreståndare ska

- vara programmets kontaktperson och företrädare
- vara kontaktperson till aktuell programledning och utbildningsnämnd
- bereda programmets läsårsrapport och utvärderingar som rör programmet
- i förekommande fall genomföra kursutvärderingsmöten (CEQ) och uppföljning av dessa
- besluta - på delegation - om tillgodoräknanden, utbyte samt medräknan den av kurser efter föredragning av programplaneraren
- ansvara för programspecifik information exempelvis tryckt informationsmaterial, information på hemsidor, information om specialiseringar och examensarbete
- godkänna utbytesstudenters förslag till studieplaner samt eventuella förändringar av dessa

3. Programplanerare

Programplaneraren ska:

- ha ansvar för att programledningens arbete följer administrativa rutiner och regelverk för myndighetsutövning
- vara programledningens sekreterare
- bereda utbildningsplan
- bereda kursplaner och kurskostnadsfaktorer för kurser tillhörande de kostnadsställen för vilka programledningen ansvarar
- bereda LTH:s kursutbud (kursUN och programUN)

- föredra ärenden såsom utbildningsplaner, kursplaner och kursutbud i respektive utbildningsnämnd
- bereda och föredra individärenden
- uppdatera programmets hemsidor
- göra bedömning av den särskilda behörigheten
- ansvara för uppdrag och programregistrering av nya studenter
- ansvara för uppföljning av programledningens budget samt ekonomihantering (fakturor/arvode)
- hantera terminsuppflyttning och vid behov terminsregistrering
- hantera registrering av examensarbeten
- stödja programledaren genom framtagande av underlag till mentors- och alumniarrangemang.

För Arkitekt- och Industridesignskolorna gäller även följande:

Programplaneraren för Arkitektskolan, som tills vidare är 100% anställd på kansliet, ska inom den del av tjänsten som finansieras av institutionen för byggande och arkitektur

- ansvara för handläggningen av det nationellt samordnade antagningsprovet, Arkitektprovet. Vart fjärde år är LTH huvudansvarig
- ansvara för Arkitektskolans utställningar
- samordna lärarlagsmöten
- ansvara för blockschema (A följer inte läsperiodsindelningen)

Programplaneraren för Industridesignskolan, som tills vidare är 100 % anställd på kansliet, ska inom den del av tjänsten som finansieras av institutionen för designvetenskaper

- arbeta för samordningen av Industridesignskolan, t ex infrastruktur- ärenden, övergripande schema, organisation av lärarmöten, marknadsföring etc
- bereda och handlägga ärenden som skolchefen ansvarar för
- ansvara för administrationen och handläggningen av antagningsprovet till kandidat och masterprogrammen

4. Studievägledning

Chefen för studievägledningen utser studievägledare för ett program.

Studievägledningen ska

- ansvara för uppföljning av enskilda studenters studieresultat
- bevaka studiesociala aspekter inom programmet
- ansvara för introduktionen
- ansvara för hälsningsanförande och uppdrag
- ansvara för phös- och fadderutbildning.
- utföra övrigt studie- och karriärvägledningsarbete

5. Internationella koordinatorer

Internationell koordinator ska

- tillsammans med programledningen planera och genomföra informationsmöten

- bereda utlysning inför utbytesstudier
- bereda urval och rangordning av sökande
- nominera utresande studenter till partneruniversitet
- i samråd med Externa Relationer planera och genomföra Kick-off för utresande studenter
- hantera antagning till utbytesstudier
- hantera ansökningar från inkommende utbytesstudenter
- ansvara för mottagningen på ”Registration Day”
- ansvara för administration och antagning till svenska språkkurser för inkommende utbytesstudenter
- hantera antagning och registrering av inkommende utbytesstudenter
- utföra övrigt internationellt arbete enligt arbetsbeskrivning

6. Masterkoordinator

Masterkoordinatoren ska

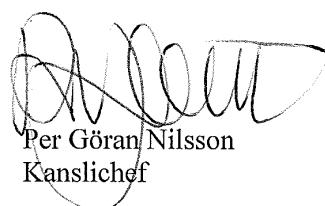
- koordinera LTH:s masterprogram med internationell rekrytering inom LTH
- sammankalla masterföreståndare till regelbundna möten som leds av vice-rektor för internationella frågor, samt föra minnesanteckningar
- ansvara för uppdatering och utveckling av LTH:s websidor som refererar till masterprogrammen i samverkan med LTH:s engelskspråkiga kommunikatör och LU:s gemensamma funktioner
- ansvara för kommunikationen med potentiella studenter
- ansvara för kontakter med Migrationsverket
- ansvara för gästmottagningen, före, under och efter, ”Arrival Day”
- företräda LTH:s masterstudenter i studiesociala och sociala frågor
- ansvara för administrationen kring LTH:s kurser i svenska för masterstudenter
- aktivt delta i utvecklingen av karriärplanering och alumnverksamhet
- utföra övrigt internationellt arbete

Arbetsordningen träder i kraft med omedelbar verkan.

Beslut i detta ärende har fattats av undertecknad rektor och kanslichef



Anders Axelsson
Rektor

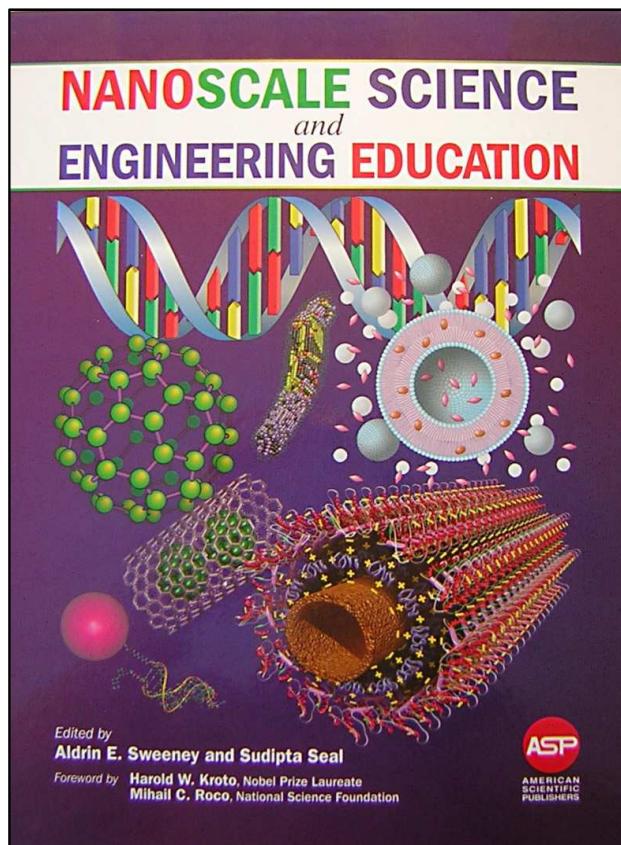

Per Göran Nilsson
Kanslichef

L Lund Engineering Nanoscience

Engineering Nanoscience: A curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

Book Chapter

Knut Deppert, Rune Kullberg, and Lars Samuelsson



This article is a chapter from a book published by American Scientific Publishers. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Provided for non-commercial research and education use.

Not for reproduction, distribution or commercial use.

Engineering Nanoscience: A curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

Knut Deppert, Rune Kullberg, and Lars Samuelson

Lund University, Faculty of Engineering (LTH),
Department of Physics, SE-22100 Lund, Sweden.

Contents

| | |
|---|-----|
| 1. Introduction | 482 |
| 2. The Need for an Interdisciplinary Approach..... | 482 |
| 3. Meeting the Challenge | 483 |
| 3.1 Finding a strategy | 483 |
| 3.2 Creating a Curriculum | 487 |
| 4. The Structure of the Program..... | 489 |
| 4.1 The General Structure | 489 |
| 4.2 The Courses in the Basic Block..... | 492 |
| 4.3 The Introductory Course | 493 |
| 4.4 The course Engineering on the Nanoscale | 496 |
| 4.5 Concerted Action: Positive Overlap between Courses..... | 497 |
| 4.6 Areas of Specialization | 499 |
| 5. Management of the Curriculum | 502 |
| 6. The Need for Nanoengineers | 504 |
| 7. Our Curriculum as a Magnet for Students | 506 |
| 8. Summary | 507 |
| Acknowledgements | 508 |
| References | 508 |

AUTHOR'S PERSONAL COPY

1. Introduction

Driven by seemingly limitless applications, nanoscience and nanotechnology will revolutionize industry. A major bottleneck in making this revolution happen to its full potential is people. We will not be able to realize this revolution unless we can supply industry with highly qualified nanoengineers who are able to design novel devices in widely varying areas of application. The new character and interdisciplinary nature of nanotechnology makes designing educational programs a challenge. Although university-level education in this field is expanding rapidly, most universities offer only specialized courses, and do not offer entire programs. In 2003, Lund University in Sweden launched *Engineering Nanoscience*, a novel educational program. This five year curriculum is one of the few complete degree programs in nanoscience that starts at university entrance level and leads to a Master's degree. The curriculum is a unique symbiosis of education and research. Teaching is driven by high-level research activities in the field, and research will benefit from the highly qualified graduates leaving the program. In this chapter, which is based on a shorter paper by Deppert and Samuelson [1], the architects of this curriculum discuss the philosophy behind the program, provide an overview of its components, and also describe how the challenges associated with establishing such a program were addressed.

2. The Need for an Interdisciplinary Approach

The field of nanoscience and nanotechnology is one of the most dramatically developing areas of science and technology today. Nanoscience is the study of the fundamental principles of structures and devices having at least one dimension that is between 1 and 100 nm (10^{-9} m and 10^{-7} m). The essence of nanotechnology is the understanding and application of phenomena and functionality at the atomic level, to design functional materials bottom-up, and to create complex structures with fundamentally new and optimized structures and properties. Compared to the behavior of isolated molecules (containing a few atoms and with sizes of about 1 nm), or that of bulk materials (containing at least 10^{20} atoms and of dimensions larger than a millimeter), the behavior of structural features on the nanoscale exhibits important differences. This is the regime where a typical dimension is 10 nm, which is one ten thousandth of the diameter of a human hair. This field is concerned with materials and systems whose structures and components exhibit novel and significantly improved properties. At the nanoscale, most of the traditional disciplines of science meet, allowing, for instance, quantum physics to be implemented in devices and systems. Nanoengineering tools make it possible to manipulate, address, and detect individual biomolecules. The interplay between these disciplines is one of the greatest strengths of nanoscience.

However, because nanotechnology embraces all the traditional scientific disciplines and fields of engineering, it also poses one of the greatest challenges in teaching. The enormous progress in science over the past centuries has prevented the emergence of universal scientists and engineers of the type represented by Leonardo da Vinci. Today, science and technology are divided into a multitude of different sub-fields, and many researchers are trained to deal only with their specialized area. This situation limits, and is a threat to, cooperation across disciplines. There is extensive knowledge in each field, and each has its own scientific terms

AUTHOR'S PERSONAL COPY

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

and language. Teaching in the specialized fields and bridging language barriers both represent considerable challenges in teaching nanoscience and nanotechnology. Or as Mihail Roco, one of the main architects of the U.S. National Nanotechnology Initiative, expressed it [2]: "A key challenge for converging technologies development is the education and training of a new generation of skilled workers in the multidisciplinary perspectives necessary for rapid progress of the new technologies. Interdisciplinary connections reflecting unity in material and information worlds need to be promoted." Thus, nanoscience education should produce a highly educated generalist with a basis in nanoscience and -technology, a kind of renaissance nanoengineer, who may understand medicine as chemistry on the single-molecule level, and may use quantum mechanics as a primary design tool in electrical engineering.

3. Meeting the Challenge

3.1 Finding a strategy

Why would anyone want to tackle this huge challenge? Those working in nanotechnology have discovered that they often lack the specialized knowledge of colleagues from other fields with whom they are collaborating. It can be very frustrating for both parties when the physicist asks the biologist, who wants help with the investigation of an enzyme, "What is an enzyme?" or the biologist asks the physicist "What is a transistor?" The development of nanotechnology and the future growth of related industry are strongly dependent on highly qualified scientists and engineers who are knowledgeable in several traditional disciplines. In 2002, Mihail Roco underlined this need when stating that the preparation of the nanotechnology workforce for the next decade is a major challenge to the progress of the new technology [3].

Traditional university education is often represented as a straight line or as a sequential vertical progression from basic to specialized courses in a particular discipline. In contrast, two different strategies can be seen for university education in nanoscience and nanotechnology. One emphasizes interdisciplinary specialization, and the other a coherent curriculum. For simplicity they can be referred to as the "T" and the "Inverted-T" approach (Figure 1).

The first strategy, the T strategy, is a modification of existing educational programs. Conventional undergraduate courses in a traditional science or engineering discipline are followed by interdisciplinary specialized courses. The latter part of such a program may include specialized courses or courses in other disciplines, a certain major or double majors, special seminars, and involvement in real research on nanoscience or nanotechnology topics. The design of such a program seems to be rather simple and such programs have, indeed, been offered by our university and others for a long time. Normally,

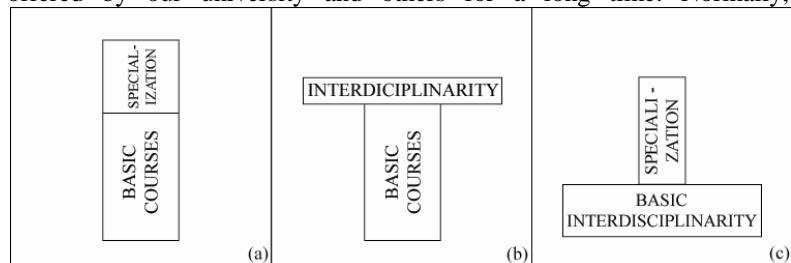


Figure 1: Schematic of university education: (a) traditional scientific/engineering subjects, (b) interdisciplinary specialization ("T"), and (c) coherent curriculum ("Inverted-T").

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

specialized courses are developed based on individual (or collective) faculty research interests, and the need for graduate students to assist in such research. Typically, such courses evolve over the years in a research environment designed for students who may enter a Ph.D. program. With a sufficient number of such courses available at different colleges, faculties or departments, all the university has to do is to create a frame or theme and call it "nano".

The T strategy seems to be the strategy favored by many universities, and represents only limited changes to the traditional approach. Most universities have adapted this strategy in creating "nano"-education programs, at least in the U.S.A. [4]. This strategy offers two main advantages: it is easy to develop, and it minimizes the administrative effort required. Even small universities can create this type of nano-program, although with a limited degree of interdisciplinarity. Organizational efforts are minimal since one has only to deal with part of a complete educational program within an existing curriculum. An advantage is that accreditation of such a program is usually obtained fairly readily. Larger universities with a high degree of established interdisciplinary research and education could also benefit from this "low-effort" strategy. However, the essence of nanotechnology is more than just providing an engineer or biologist with extra knowledge. It is a way of thinking and seeing possibilities and we believe that it is difficult to accomplish a deep understanding of nanoscience by employing the T strategy.

A clear alternative is the Inverted-T strategy where the students are introduced to the essence and interdisciplinarity of nanoscience and nanotechnology from the very first day. Using this strategy, freshmen are taught the unifying concepts of matter and biological systems. This prepares them to apply these unifying concepts from one field to another. A synergistic view of the potential applications of nanoscience and -technology in various areas of relevance would be the natural outcome of this approach. By reversing the sequence of learning we can train engineers to take a coherent view of nanoscience and we can motivate students to learn the necessary basics in the traditional fields of science and engineering [2]. Naturally, this approach must be combined with the teaching of basic knowledge and skills in physics, mathematics, chemistry, electronics, biology, physiology, materials science, engineering at the nanoscale (nanotechnology), and engineering science, in order to allow the student to grasp the concepts of nanoscience in the different fields. Thus, real interdisciplinarity is accomplished from the very beginning of the program combining the breadth of nanoscience with the depth of each of the disciplines involved [5]. We advocate this strategy in teaching nanoscience and -technology at university level. It is also a good way of overcoming the dangerous dis-integration seen by Rustum Roy, who observed that every discipline and department realizes the added value when claiming to convey interdisciplinary work albeit within the discipline [6].

The general argument against the implementation of this strategy is that it may create engineers and scientists with little knowledge in many fields; a workforce with broad but insufficient knowledge and skills. Certainly, this risk is a real one, but we will describe three methods of addressing these concerns. The first method is *extension*, i.e. teaching each discipline in depth. By offering four years of studies in physics, chemistry, biology, etc. the student will gain a deep understanding in the disciplines, but may not find the time or need to use all this knowledge and related skills. The second method is *specialization*; the student

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

specializes in one discipline towards the end of a period of interdisciplinary studies. After students have grasped the essence of nanoscience and fundamental interdisciplinary skills, they then delve more deeply into their specific field of interest. This includes an extension of their basic knowledge and skills by attending further courses in that discipline. The third method is *concerted action*, in which all courses in the interdisciplinary block interact and redundant teaching is avoided. This method is a rather complicated one and requires meticulous organization of the curriculum. Using this method, allows the total time taken to complete a degree program to be shortened, however, it may not assure depth of knowledge in the requisite disciplines. Thus, we suggest a combination of the concerted action and specialization approaches in order to ensure that graduates have the necessary depth of knowledge and skills for industry or for related research in academia or industry. It should be mentioned here that neither the T nor the Inverted-T strategy can, within the same period of time, supply the student with the same detailed knowledge and skills in one discipline as a traditional approach, a fact that is depicted in Figure 1 by the different heights of the components. However, the abilities of students completing the Inverted-T program may be better suited to modern science and technology.

Another argument against the Inverted-T strategy in nanoscience and –technology education comes from industry. In a survey conducted by the European NanoBusiness Association in spring 2005, only 10% of the respondents considered a first degree in nanotechnology to be the best choice (see Figure 2) [7]. Here, responses were received from a total of 142 participants, 79% from Europe, covering different kinds of activities, such as manufacturing, transportation, financing, and healthcare. However, industry has not had any comprehensive experience of graduates with a first degree in nanotechnology, and may thus lack an

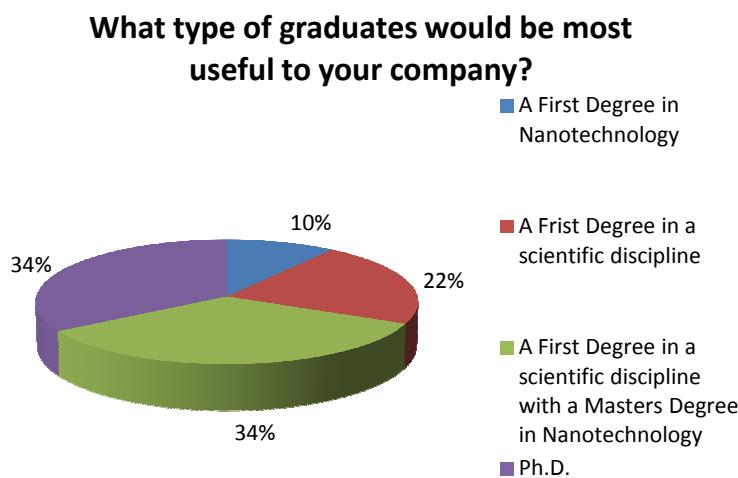


Figure 2: Outcome of the 2005 European NanoBusiness Survey [7].

understanding of the potential of engineers with this profile. We know from our personal contacts with industry that this type of engineer is highly regarded, as has also been seen by representatives of the nano-curriculum at Aarhus University in Denmark [8].

Interestingly, our current Ph.D. students who have graduated from traditional science or engineering programs express their conviction that the Inverted-T undergraduate nano-curriculum would have been the right choice for them and are rather jealous. Further, the outcome of a survey

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

conducted by Nanoforum between August and October 2004 clearly illustrates the need for nanotechnology engineers with a broad basic background (see Figure 3) [9]. The education of the workforce should not

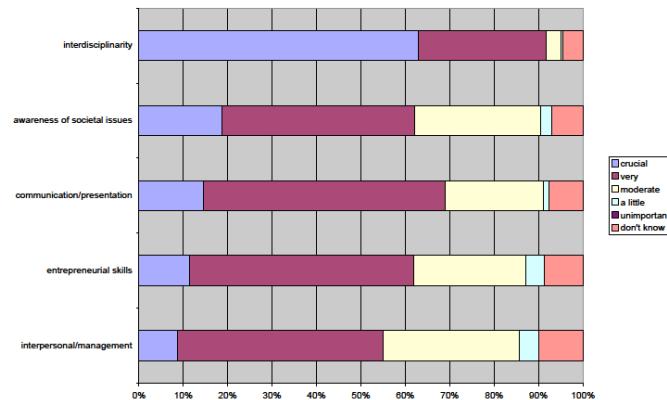


Figure 3: Ranking of skills important for nanotechnology personnel according to all respondents in the European Nanotechnology Gateway Open Consultation on the European Strategy for Nanotechnology conducted by Nanoforum [9].

be limited to natural science or engineering, and interdisciplinarity is by far considered the most important skill. Almost two thirds of the respondents ranked interdisciplinarity as crucial and more than one in four as very important.

The creation of such a curriculum imposes a high administrative and organizational burden on those involved. In our opinion, however, it is worth the effort, and we see the clear advantage over any other alternative in being able to educate a workforce with a coherent view of nanoscience and thorough basic knowledge. It is also the only university education strategy today that is able to fulfill the mission of liberal education, i.e. producing students who are critical thinkers, and who are capable of participating in intelligent debates about how society should be transformed. With this type of curriculum, we have the chance to create an informed and highly educated citizen, able to steer the direction of nanotechnology in beneficial ways [10]. With our nanoengineers we might be able to move toward a 'universal information domain of exchange' for ideas, models, and cultures [2].

To our knowledge, only a few universities worldwide have adopted this strategy, and the reason may lie in the organizational and administrative effort associated with it, and some degree of skepticism on the part of industry. In Europe, three such curriculums have been established in Denmark, one at Aarhus University [11] and two at Copenhagen, one at the Technical University of Denmark [12] and one at Copenhagen University [13] (See also the corresponding chapter in this book by Danielsen & Bjornholm). All have been in operation since fall 2002. Besides the geographical nearness to Lund University, competition is minimal since all four universities focus on their area in nanoscience and only Lund offers an engineering program. Two other such curricula have been available at Basel University in Switzerland [14] and at University of Kassel in Germany since 2003 [15]. Two new curricula started in 2006, one at University of Duisburg-Essen in Germany [16] and one at the Norwegian University of Science and Technology at Trondheim [17]. The University of Würzburg in Germany offers a program called "Nanotechnik", which is designed according to a more traditional system [18]. In September 2003, Lund University launched

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

Engineering Nanoscience [19], a sophisticated Inverted-T program, and below we will describe it in detail and discuss how some of the challenges associated with the establishment of the program were mastered.

Before that, a few words about Lund and its university. Lund is situated in the southern part of Sweden, in the province of Scania, and around 100,000 persons call Lund their home. Although young at heart, Lund is one of the oldest cities in Sweden. It was founded as a Danish city towards the end of the 10th century. During the 12th century it became an archiepiscopal seat, serving as a leading religious, academic, and cultural center in Denmark and all of Scandinavia. Denmark lost Scania to Sweden in 1658, and the university was founded in 1666 as part of the Swedification of the region. Lund University [20] is the largest in Scandinavia today with 100 educational programs, some 100 subjects and more than 1,000 single-subject courses. The University has more than 42,000 students and 6,000 employees. Annually, 1,600 exchange students are received. Lund University has eight faculties (American universities call their faculties "colleges"), with the Faculty of Engineering, which is called "Lunds Tekniska Högskola" (LTH) in Swedish, being one of the largest [21]. LTH is one of few complete engineering faculties in Sweden. Here, you can find all the traditional engineering Masters programs together with newer ones. There are Bachelor programs and architecture as well as industrial design. The Faculty of Engineering has 8,000 students and about 1,400 employees.

3.2 Creating a Curriculum

Once one is convinced that the Inverted-T strategy is the most suitable organizational structure for nanoeducation, one faces the next challenge: How do we realize it? The first requirement is scientists working in the field. Because nanotechnology is interdisciplinary, it also requires faculties with various specialties. Thus, to create a complete program, it is necessary to be based at a large university that has all the necessary faculties. The university leaders, as well as the deans of the faculties and all the specialists, must be committed to the common goal. For almost 20 years, nanoscience and -technology research at Lund University has been conducted within the Nanometer Structure Consortium, one of the first European nanocenters. The consortium is the main Swedish center for materials technology, nanoscale physics, nanoelectronics, and applications of nanometer structures [22]. Research ranges from growth, characterization, and basic studies of materials, to the implementation of nanostructures in nanoelectronics and photonics, and biomedical studies. It was in this research environment that the need to create a new educational program became obvious to us, as the doctoral students and their supervisors found that they needed skills from other departments and disciplines. They also recognized that they needed a common language and platform on which to interact.

We had the opportunity to bring together the most enthusiastic researchers and teachers. A core group was created that prepared the first outline of an educational program. As discussed above, we chose a structure with a broad general compulsory curriculum followed by in-depth specialization according to the Inverted-T strategy. From an organizational point of view, it was decided at an early stage that the program would best be administered within the Faculty of Engineering (LTH), but with active involvement and with courses given by experts from the Faculties of Science and Medicine at Lund University. Next, this core group made use of their connections in the academic system and

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

engaged different departments of the university in the project, allowing for the creation of the program.

An advisory group was formed consisting of representatives from both academia and industry to ensure that the planned areas of specialization were those of interest to industry. Industrial representatives were from Lund and its close neighbor Malmö, as well as from Stockholm and from smaller enterprises, as well as from research divisions of multinational companies. Based on the requirements for the degree of "Civilingenjör" (Master of Science in Engineering, M.Sc. Eng.) as laid out in the Swedish Ordinance for Higher Education ("Högskoleverket", HSV) [23], the group drew up a list of specifications for the new program. The most important issue was interdisciplinarity and the ability to lead and conduct projects in groups, which may even be comprised of people from different cultures. Especially the industrial representatives demanded a broad education in order to cover the different areas of nanoscience. Another important objective of the program was the education and training of engineers who can develop new technology and enhance the knowledge base.

Based on the recommendations of the advisory group, the core group laid the foundation by determining the knowledge and skills necessary. Here, we could refer to the experience of existing programs such as those at the universities of Aarhus, Basel, and Copenhagen. An initial structure was outlined based on the existing educational system in Sweden and on existing courses given at Lund University. The preferable alternative would have been to take our "wish list" and create courses accordingly. However, the expense would have been too high bearing in mind the number of students anticipated. Thus, a compromise was reached by combining existing courses with modified and new ones.

It should be mentioned that there is no national Swedish program to promote nanoscience and nanotechnology, nor governmental support to promote higher education in this field. Thus, the design, establishment, and maintenance of the curriculum are entirely financed by Lund University. In contrast, in the U.S.A., the main part of the funding under the National Nanotechnology Initiative (NNI) is intended for university-based research with the clear demand to help meet the growing need for graduates with nanoscale science and engineering skills [5]. The 2008 budget for the agencies participating in the National Nanotechnology Initiative is nearly \$1.5 billion [24]. It was hoped that education in nanoscience in Europe would be supported by the European Union. In June 2005, the Commission of the European Communities adopted the Action Plan "Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009" [25] (See chapter in this book by Baraton et al). In the action plan, the Commission urged the promotion of networking and dissemination of best practices for education and training in the field. However, no provision was made for direct financial support of education. Apart from the limited support in starting up the program by Lund University, the only financial support available for the departments involved in the program is an honorarium to the lecturers after they have taught the courses. This amounts to approximately \$28,000 for a course of 7.5 credits with 40 students, and this pays for the salaries of the teachers, the costs of equipment, hiring the lecture halls, and overhead costs. The total annual cost of the program, when finalized, will be on the order of \$1.8 million.

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

4. The Structure of the Program

4.1 The General Structure

The program is divided into two main blocks (see Figure 4): the first includes basic and interdisciplinary knowledge and skills, while the second is directed toward a specialized area. The first block extends over three years and includes basic mathematics, physics, chemistry, biology, electronics, and medicine, as well as applications in electronic and functional materials, device technology, analysis, and sensors. The students are trained in the fabrication and characterization of nanostructures. It should be noted that the program is influenced by the

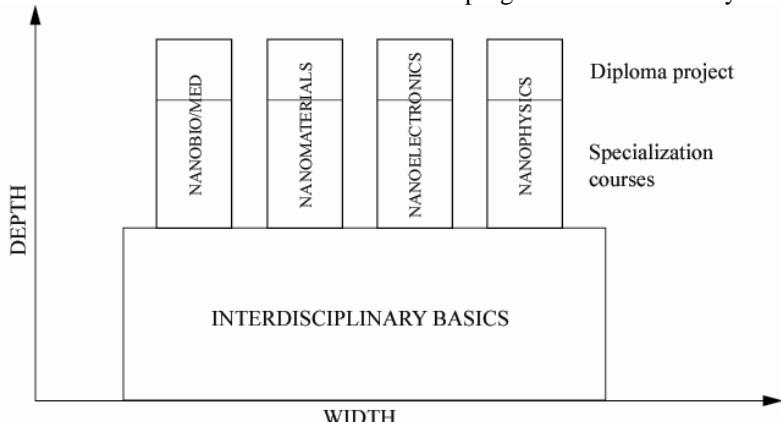


Figure 4: Schematic of the structure of the Engineering Nanoscience curriculum at Lund University illustrating the depth and breadth of the program.

research centered at the Department of Physics. The first block is equivalent to an undergraduate (Bachelor's) program; however, in the Swedish higher education system the first degree awarded is a Master's degree for this type of engineering program.

In Sweden, implementation of the Bologna system is in operation since 1 July 2007, the essence being that students should be able to move freely between universities in Europe. The Bologna system has led to some changes in the Swedish higher education system. The latest step in this process was taken when ministers responsible for higher education of 45 European countries met in Norway in May 2005 [26].

Before we can explain the detailed structure of the curriculum, we should explain the structure of the education system at the Faculty of Engineering at Lund University. The academic year is divided into two semesters, a fall and a spring semester. The fall semester starts around 1 September and ends just before Christmas. The spring semester starts around 15 January and ends around 1 June. Both semesters are divided into two teaching periods, each period containing seven weeks of teaching and about one week of exams. Most courses are given within one teaching period, some run over two periods and, in exceptional cases, a course can run over four teaching periods. Courses can consist of lectures, seminars, problem-solving exercises, laboratory work, and independent studies. For each course passed, the student obtains credits (or points). With the implementation of the Bologna system, one week of study, that is, 40 working hours, corresponds to 1.5 credits. One academic year thus consists of 60 credits, evenly distributed over the two semesters. A Master of Science in Engineering degree ("civilingenjör") is equivalent to 300 credits, that is, 5 years of study.

| Course Description |
|---|
| DEVICE PROCESSING AND TECHNOLOGY FFF110 |
| Process- och komponentteknologi |
| University credits: 7.5 Grading scale: TH Level: G2 (Senior Undergraduate) |
| Language of Instruction: The course might be given in English |
| Course Coordinator: Dr. Jonas Johansson E-mail: jonas.johansson@ftf.lth.se |
| Compulsory for: N3 Optional for: E4, F4 |
| Prerequisites: FFF100 Thermodynamics and Electronic Materials or ESS030 Physics of Devices or FFF010 Solid State Physics, Basic Course |
| Assessment: Written examination and compulsory laboratory exercises |
| Home Page: http://www.teknisknanovetenskap.lth.se |
| Term: Fall, Study Period 1 |
| Aim |
| The purpose of this course is to provide fundamental knowledge about fabrication and characterization of semiconductor devices on the nanometer scale. The focus is set on modern materials and processing techniques with nanotechnology as a main theme. Most of the processes are general and are applied in traditional Si based IC technology as well as in advanced III-V technology and MEMS/NEMS fabrication. |
| Required Knowledge and Understanding |
| To successfully pass the course the student must be able to: |
| - describe fabrication processes based on diffusion, deposition and surface patterning |
| - explain how the above-mentioned processes can be applied to the nanometer scale systems |
| - analyze a specific device and determine which process steps that are needed for its fabrication |
| - explain the dependence of device performance on processing capabilities and limitations. |
| Practical Requirements |
| To successfully pass the course the student must: |
| - carry out basic processing in a clean room |
| - write well-structured technical reports about semiconductor device processing. |
| Contents |
| Materials properties of semiconductors. Device fabrication: process overview, comparison between Si and III/V. Processes: Epitaxy, doping, ion implantation, diffusion, etching, lithography. Recent methods as e.g. surface functionalization and nanoimprint lithography will also be treated. Metal-semiconductor interfaces, which are of significant importance in a number of applications will be covered. Fabrication and applications of p-n junction diodes and characterization and modeling of their electronic and optoelectronic properties. Fabrication and properties of heterostructures will be taught and exemplified by the transistors HBT and HFET. Fabrication and principles for MEMS/NEMS (micro/nano-electromechanical systems) will also be treated. In a number of laboratory exercises, some of the covered process steps will be applied in order to make working devices. Since it is highly important that semiconductor processing is carried out in a clean and dust free environment, strong emphasis will be put on clean room work methods. Finally, some advanced semiconductor structures and their properties will be demonstrated. |
| Literature |
| May, G.S., Sze, S.M., Fundamentals of Semiconductor Fabrication, Wiley, 2004 or Sze, S.M., Semiconductor Devices Physics and Technology, Wiley, 2002 and copied material. |

Figure 5: Example of a course plan of one of the compulsory courses within the curriculum. “Grading TH” means that grades of 5, 4, 3 or failed are given.

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

| | tp 1 | tp 2 | tp 3 | tp 4 | |
|--------|---|---|--|--|--|
| Year 1 | MATHEMATICS 5c Calculus in one variable I | MATHEMATICS 6c Linear algebra | MATHEMATICS 5c Calculus in one variable II | MATHEMATICS 5c Calculus in one variable III | |
| | PYHICS Waves, atoms and thermodynamics | 12c | CHEMISTRY 7.5c General and inorganic chemistry | CHEMISTRY 5c Organic chemistry | |
| | NANO 4c Interdisciplinary introduction | NANO 3c Project and symposium | PROGRAMMING Basics | 7.5c | |
| Year 2 | MATHEMATICS 6c Calculus in several variables | PHYSICS/NANO 9c Quantum physics and nanotechnology, incl. software tools | MATHEMATICS/NANO 7.5c Mathematical tools for nanoscience | CHEMISTRY/NANO 7.5c Functional materials | |
| | BIOLOGY 7.5c Biology of the cell | MEDICINE 7.5c Human physiology | PHYSICS/ELECTRONICS 7.5c Electronic materials | ELECTRONICS 7.5c Electricity and electronics | |
| Year 3 | NANO/ENGINEERING 7.5c Processing and device technology | NANO 7.5c Materials analysis at the nanoscale | NANO/ENGINEERING 7.5c Sensors | Free choice/selected courses within specialization 15c | |
| | MATHEMATICS 7.5c Mathematical statistics | ENGINEERING 7.5c Systems controlling | NANO/ENGINEERING 7.5c Project: Engineering at the nanoscale | | |
| Year 4 | Selected compulsory courses within specialization | | | | |
| | Free choice of courses | | | | |
| Year 5 | Courses within specialization | | | | |
| | Diploma project | | | | |

A variety of methods is used to assess student-learning outcomes. The type of examination may vary between courses. A traditional written exam is sometimes set at the end of the course, often with a time limit of five hours, while other lecturers prefer oral exams. Continuous assessment is employed in a few courses and other teachers judge the students via written reports. Students receive a grade for each course passed. The grading system varies, for some courses grades of pass/fail are given whereas in others a scale of 5/4/3/0, i.e., excellent/good/adequate/fail is used. In courses given by lecturers from the Faculty of Science the grades are good/adequate/fail. Students who fail an exam have the opportunity to repeat it during their period of study. Some students use this opportunity to improve their grade by repeating the exam. Each course has a written and approved course plan that describes all the compulsory components, the outline, and the content of the course, as well as other useful information, such as the e-mail address of the lecturer responsible for the course and the grading system used (Figure 5). A course can be given by one lecturer alone or by two or more lecturers. All courses are categorized in three different levels: G1, freshmen and sophomores, G2, senior undergraduate, and A, advanced. G-level courses are normally within the basic block and A-level courses within the specialization.

The configuration of the courses varies between the different faculties. While most courses at the Faculty of Engineering are worth 7.5 credits, i.e. occupying the time of students for half a teaching period, courses at the Faculties of Science and Medicine often are worth 15 credits, i.e. occupying a whole teaching period. Several 7.5-credit courses are usually given in parallel. If courses of 15 credits run over one teaching period, which is often the case, no other course may be planned in parallel. Sometimes, however, exceptional students can pass courses equivalent to more than 15 credits in one teaching period. The organization of an interdisciplinary curriculum involving courses from different faculties, with different sizes and lengths poses considerable challenges. It should be mentioned that apart from the structuring of the curriculum, the credit system also fulfills another function. Sweden has a financial support system comprising a stipend and loans to students. The National Board of Student Aid (Centrala studiestödsnämnden, CSN) administers student financing [27]. If a student fails to gain a minimum of

Figure 6: Outline of the courses in the Engineering Nanoscience curriculum. Each course is represented by a box, stating the subject, the name of the course and the number of Swedish credits (c). The four annual teaching periods are denoted tp1-tp4.

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

credits during the academic year, financing is withdrawn and she or he may be forced to terminate their studies. Although we have highly motivated students in the Engineering Nanoscience Program at Lund University, this check provides extra motivation for some students. To summarize this excursion into the university education system, one year of studies is made up of different courses equivalent to 60 credits. We will now explain the structure of the compulsory interdisciplinary course block depicted in Figure 6.

How is the Inverted-T strategy executed in this curriculum? As can be seen from the diagram, the spirit of nanoscience is present right from the beginning and continues throughout the compulsory basic block. In addition, all disciplines of relevance to nanoscience are included as well as basic mathematics. Special engineering courses on device processing, analysis tools and nanoengineering are integrated. It is also clear that this is not a complete curriculum of physics, chemistry or biology. However, the most relevant basics from each of these disciplines are taught in the basic block. It can also be seen that other traditional engineering disciplines, like mechanics, are not included in the interdisciplinary block as individual courses. The basics of such disciplines are incorporated into other courses due to the limited time available. Thus, elements of mechanics are included in the basic physics course, the course on software tools and the course on sensors. Again, this puts extra pressure on the program management and the teachers involved. Additionally, a course on mechanics is included in two areas of specialization.

4.2 The Courses in the Basic Block

After describing the outline of the curriculum we will continue with a short description of the compulsory courses in the basic block. Two of the courses, the introductory course in the first year and the engineering course in year 3, will be described in more detail below.

In the first year the curriculum starts with the introductory course on Nanoscience. This course defines the quintessence or soul of the curriculum and presents an overview of the field. One third of the first year is dedicated to the mathematics necessary to understand the basic concepts of the disciplines involved. The course on basic physics runs parallel with the introductory course and the first two mathematics courses. The physics course includes mechanical oscillations and waves, followed by atomic physics, some quantum mechanics, their applications to lasers, and basic thermodynamics. Because the mathematical skills of the students are still rudimentary, the physics course is more of a descriptive nature aimed at motivating the students to delve deeper into math. With knowledge of the atomic structure, students then take the two courses in basic chemistry. These courses, constituting 20% of the first year, cover the basics of inorganic and organic chemistry and give the students a deeper understanding of the structure and formation of molecules up to proteins and DNA. The course in basic programming runs in parallel with the chemistry courses. This course is intended to provide basic engineering skills in programming, but also to inspire students to structure their thinking. Although the mathematics courses and the course in programming are common courses given by the Faculty of Engineering for students in several programs, the introductory course and the courses in physics and chemistry are designed explicitly for the nanoengineering curriculum.

The second year starts with a course in biology, where the knowledge gained from the chemistry course in terms of macromolecules is used to teach students the biology of the cell. A further mathematics course runs

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

in parallel. A physics course that introduces quantum mechanics, illustrated with nanostructures and nanoelectronics, follows. In addition, the students are provided with an engineering tool to solve complex problems since the course also includes the basics of MatLab®, while the parallel course on human physiology provides the basics of the human body. A special course, given by physicists, provides the mathematical tools required for nanoscientists. Here, mathematical methods are motivated by and applied to central problems within nanoscience. The basics of electronic materials, solid-state physics, and electronic components are taught in the parallel course, which is followed by a course on basic electronics. In a parallel course, chemists teach the design and properties of functional materials, such as optical and magnetic inorganic materials and polymers.

Year 3 starts with a course on the fabrication and characterization of micrometer, nanometer, and semiconductor structures, with hands-on laboratory exercises in which the students fabricate devices such as light-emitting diodes. Skills in the characterization of nanostructures are improved in the next course on materials analysis. The tools required to use and construct models of statistical processes are taught in the course on mathematical statistics. A course on system engineering follows, which covers the basics of the use of system analysis and dynamic models of feedback systems. At the end of the compulsory block are two courses on engineering topics. The course on sensors gives an overview of the fabrication and design of sensors, especially biomedical sensors. The engineering course is intended to enhance the overall engineering abilities of the students.

4.3 The Introductory Course

The basic block is framed by two special courses, both devoted to nanoscience and -technology, an introductory course and an engineering course. The very first lecture that the students attend is that in the introductory course, an outline of which is given in Table 1. This course is of utmost importance for the whole program. The course first provides an overview of the entire field, and the students are introduced to many aspects of nanoscience. After completing the course, students will have comprehensive general knowledge of nanoscience and -technology. An important aspect of this introductory course is that it highlights interdisciplinary and important research results in the field over the past 5-10 years. The course focuses on results that have led to important breakthroughs in the four fields that are represented by the four specialization profiles at the end of the Engineering Nanoscience Program, especially with regard to life sciences (biology and medicine). This offers the students an opportunity to envision what they will learn in the next four years, and what the job opportunities can be. It also gives them the chance to reflect once more on whether they have chosen the right program.

This illustrates the second objective of the course, to identify the students that may not perform well in the Engineering Nanoscience Program. For those students a counseling service is offered, as explained below. Although the students actively chose this curriculum, most of them have only rudimentary knowledge of nanoscience and technology. They may even have entered the curriculum with misconceptions about nanoscience and -technology. We know from our early questionnaires that some students may have quite the wrong idea about some topics or disciplines. For instance, some students stated at the beginning of the curriculum that they loved physics but disliked modern electronics, an

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

indication that they did not know what electronics means. We were not

| Study week | Course element | Subject |
|------------|---------------------|---|
| Week 1 | Lecture 1 | Overview “nano” |
| | Seminar 1 | Some physics behind “nano” |
| | Lecture 2 | Energy concepts: From atoms to semiconductor |
| | Seminar 2 | More physics behind “nano” |
| | Lecture 3 | Quantum physics at the nanoscale |
| Week 2 | Lecture 4 | Nanostructures: Materials and instruments |
| | Lecture 5 | Nanoscience and biomedicine |
| | Lecture 6 | The nerve system, natural sensors I |
| Week 3 | Lecture 7 | The nerve system, natural sensors II |
| | Lecture 8 | Nanoscience: Biomedical applications |
| | Lecture 9 | Conducting projects and presentation technique |
| Week 4 | Laboratory exercise | Trip to four different research labs |
| Week 5 | Lecture 10 | Ethics of nanoscience |
| | Lecture 11 | Information and literature search |
| Week 6 | Information | Presentation of list of projects |
| | Lecture 13 | Commercialization of nanotechnology |
| | Industry visit | Visit to companies |
| Week 7 | Q & A | Q & A in preparation for the exam |
| | Kick-off | Start of the project |
| Week 8 | Oral exam | Individual, 15 min. each |
| Week 9-12 | Work on project | |
| Week 12 | Deadline | Deadline for project report |
| Week 13 | Symposium | |
| Week 14 | Evaluation | Individual evaluation of the presenting performance of the groups |

Table 1: Outline of the introductory course.

AUTHOR'S PERSONAL COPY

too surprised over this comment since we know that electronics is rarely taught at high schools in Sweden, and when it is, it is often taught badly.

The third objective of the course is to convey the “soul”, or underlying philosophy, of the curriculum to the students. We want the students to feel that they are a special group studying a special subject and that they are stimulated and inspired for further studies. Further, we want the students to develop a feeling of kinship to the course and the group, and understand the value of collaboration within science and technology. The fourth course objective is for the students to obtain their first insight into the nature of projects and the way in which a project is carried out. During the course, the students attend a lecture on the theory of conducting projects and will conduct a project themselves. Each student chooses a project area within the entire field of nanoscience and then focuses on one dedicated aspect of nanoscience and -technology, such as functional nanomaterials. The project is conducted in small groups of three or four students, and consists mainly of literature studies and gathering research information, but with the supervision of and interaction with researchers active in the field chosen. The project culminates in a symposium at which the students present their results in articles, as posters, and in talks. At this first scientific conference, at which invited keynote speakers from industry or academia introduce each of the main nanoscience areas, the students enjoy an enthusiastic atmosphere in which their own work is featured. Apart from gaining deeper knowledge in one specific area of nanoscience, the students also increase their knowledge in other areas, as the symposium acts as a forum

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

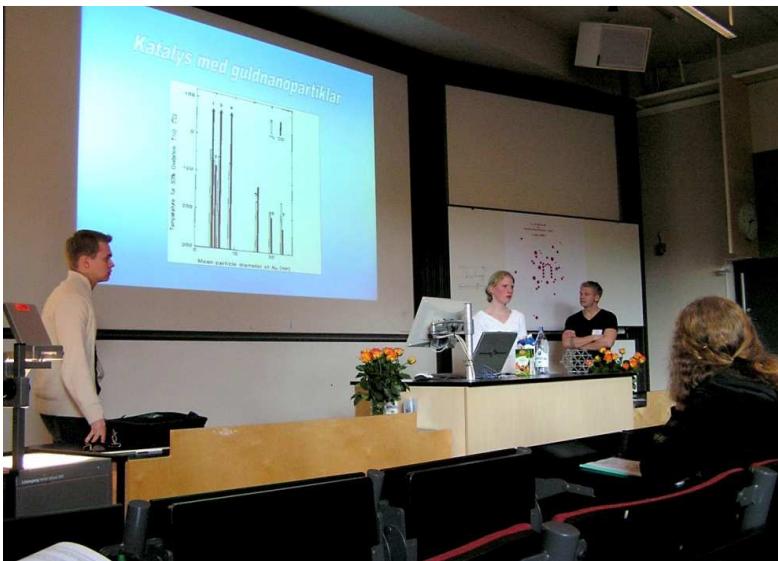


Figure 7: A student group presenting the results of their project on catalysis with gold nanoparticles during the symposium.

for teaching and learning. Through the projects and the subsequent presentations, students obtain training in using scientific literature and writing reports, both subjects they have had lectures on, and become acquainted with oral and poster presentations, skills they will need in their future careers.

The symposium not only serves the requirements of the course in training and examination of the students, but also fulfills the goals of nanoscience outreach and recruitment. Teachers and students from local high schools are invited to attend the symposium free of charge. Our students are instructed to keep their project reports and presentations on a level that is comprehensible to senior year high-school students. Every year, about fifty students and a dozen teachers used this opportunity to learn more about nanoscience and nanotechnology. In this way we can introduce nanoscience into high schools. Although we do not envisage introducing concepts of nanoscience and –technology at the elementary-school level, as advocated by Mihail Roco [2], we have found that our outreach activities are particularly successful at high-school level. This is also of importance for recruitment of future undergraduate students into the Engineering Nanoscience Program. The symposium is held before the deadline for application to university in Sweden. Thus, among the high-school students attending there will be some who may have considered our curriculum and they will have the chance to see the level of skills and knowledge they could gain within one year. During scheduled breaks in the symposium activities, there is ample time for high-school students to meet with the undergraduate students or university lecturers and to ask them about the program. We have found that our enthusiastic students are the very best promoters of the program.

The fifth objective of the introductory course is for students to come into close contact with research environments and top-of-the-line projects. This happens both during dedicated visits to research labs where the students can see state-of-the-art experiments, as well as during their projects. Since the visits to the research labs are at different faculties, the students are confronted with different scientific approaches and are able, from the very beginning of the program, to establish a large number of contacts with researchers and lecturers. The introductory course also mediates knowledge of the close interplay between technology and science. This sixth objective is accomplished by visits to research

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

departments of companies and by a special lecture on the commercialization of nanotechnology. The seventh objective is that of encouraging students to actively discuss and reflect on all aspects of nanoscience and -technology. During the course special attention is paid to reflection on ethical issues. In a special lecture, initiated by one of Europe's most prominent expert in nanoethics, Göran Hermerén (Superintendent of the Department of Medical Ethics at Lund University and President of the European Group on Ethics in Science and New Technologies), the students are introduced to the philosophy behind ethics and the tools used to discuss ethical aspects. The students then discuss the development and use of nanotechnology from a Developing-World perspective and for military purposes.

Even an introductory course such as we have created for our curriculum needs written material in order to facilitate effective learning. We searched for a textbook that covered the entire field of nanoscience in a way easy enough for freshmen to understand. The book by Booker and Boysen [29] came closest to our requirements. It has the advantage that the language in the book is rather easy and does not use overly technical terminology, and thus is appropriate for young Swedish students. Most people in Sweden are comfortable with the English language; however, there is a difference between learning in that language and watching Hollywood movies. Thus, with this textbook we can even guide the students towards reading modern scientific literature and communicating in English. At this point a word about language is appropriate. The first two years of the basic block are taught in the Swedish language since it is always easier to learn in your mother tongue, especially complex concepts. This, however, does not mean that all textbooks are in Swedish. About half of the textbooks used in the courses in the basic block are in English. Sweden is too small a country for all textbooks to be written in Swedish or for all non-Swedish textbooks to be translated. The result is that our students are rather good at reading and understanding English scientific texts after completing the compulsory courses, while still being able to communicate in Swedish about nanoscience and -technology. After the first two years, the teacher is free to choose English or Swedish as the course language. The choice is influenced by the lecturer, who may not have Swedish as a first language, and also exchange students taking the course, who may not have Swedish as their first language.

It is particularly important that such an important course be taught by lecturers who are knowledgeable and enthusiastic, and who can communicate well with students. Lars Samuelson, the scientific leader of the Nanometer Structure Consortium, is responsible for the course and gives most of the lectures. Other lectures, in life sciences, are given by a professor from the area of cell biology. At the beginning of the course, the teacher in charge of the basic physics course, which is taught in parallel, is involved to ensure "positive overlap". Further, a number of specialists, e.g., a librarian and industrial representatives, as well as other Consortium researchers, are involved in the course. The director of the Engineering Nanoscience Program (Knut Deppert) is involved in order to assure that the underlying educational philosophy of the curriculum is conveyed to the students.

4.4 The course Engineering on the Nanoscale

The second special course, which together with the introductory course forms the frame around the basic block, is the final one of the compulsory block. It is an engineering course in which the students really experience the close interplay between technology and science at the

nanoscale. The basic concept of the course is to explore whether an idea that has emerged from the study of nanoscience could be protected by a patent and/or commercialized. One student alone, or two students together, develop a concept, preferably their own, of an application of nanotechnology and analyze the possibility of filing a patent and bringing this concept to market. The student, or the small group, works independently but with various forms of support. The lecturer who is responsible for the course has successfully converted ideas into products and companies. This academic plays an important role in mediating her/his experience to the students, and can describe both the opportunities and the limitations. A number of specialized lectures and seminars provide support to students as they develop their ideas. These lectures and seminars will be given by experts in the field and will deal with: (a) intellectual property rights, (b) economics of small companies, (c) starting a company, (d) product design, (e) ethical and environmental problems, and (f) marketing. Thus, the students will come into contact with the engineer's way of thinking, as well as with economists, patent engineers, and that of potential customers. The third kind of support is based on the network that exists within the University for the commercialization of ideas. Students can benefit from this network, which includes the first Swedish science park, Ideon [30], as well as organizations such as LUInnovation [31]. The various projects will be presented at a symposium, both successful and unsuccessful projects. In the very best case, a limited number of small companies may even result from the course. However, this has not happened yet.

4.5 Concerted Action: Positive Overlap between Courses

As mentioned above, the third method of ensuring depth in the curriculum, despite the short time available, is *concerted action*. All courses in the interdisciplinary block interact in a specific manner, and overlapping or redundant teaching is largely avoided. This method is a rather complicated one and requires careful organization of the curriculum. Even when there are two teachers giving one course, one teacher may not know exactly what the other has taught the students. This is an even more challenging task when courses are taught by teachers from different faculties. It should also be borne in mind that some overlap between courses, or even lectures, can have a positive effect on learning, and should be encouraged rather than avoided. An example of intended overlap is the teaching of the basics of thermodynamics, which is done in the chemistry course by chemists and by physicists in a course in the second year.

Here, we will describe the implementation of this method, i.e. the building of "knowledge chains", in our curriculum. When discussing the introductory course, we mentioned briefly the involvement of the physics teacher at the beginning of this course. This is the first positive overlap between courses. The introductory course presents the foundations of nanoscience, e.g. quantum physics, which it is hoped will motivate the students to learn the fundamental physics and mathematics necessary to understand nanoscience. While introducing the basic concepts of nanoscience, the students may need to repeat some physics background which is accomplished in the physics course. Further, the physics course deals with the areas of physics that are essential to understand nanoscience, such as atomic physics and waves. All other parts such as astronomy and subatomic physics are excluded. The knowledge on atoms that the students gain here forms the basis for the chemistry courses that follows. The chemistry teachers can then directly start to teach the

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

students how molecules are formed and time can be saved on the explanation of the periodic table. At the end of the chemistry courses, the students know the composition of the molecules in living organisms, forming the basis for the subsequent biology course. With this knowledge, the course in cell biology continues until the students have learned all the relevant basics of the cells in an organism. This provides the starting point for the study of physiology, where the cells are combined into function-specific organs in the human body. Here, we concentrate on the human body since some of the more dramatic impact of nanotechnology is to be expected in the field of medicine, such as new drugs, drug delivery systems or sensing devices [32]. This is also clearly expressed in the findings of the 2005 European NanoBusiness Survey (see Figure 8) [7].

The examples described above are not the only positive overlaps between courses that were needed in order to create the curriculum. Another example is the sequence of mathematical courses that runs

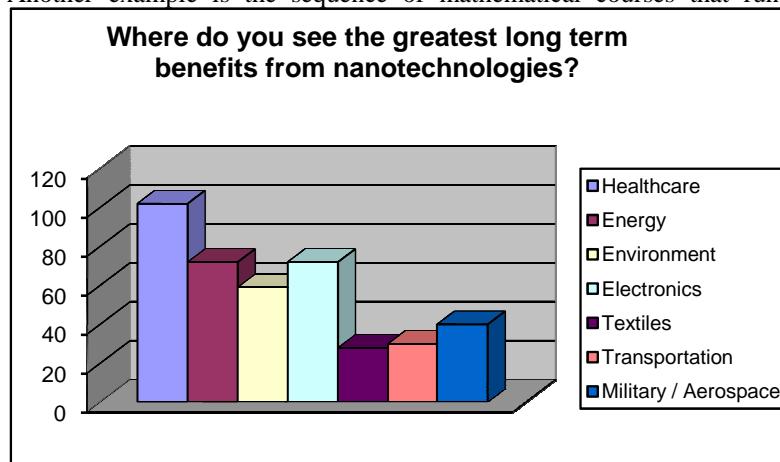


Figure 8: Outcome of the 2005 European NanoBusiness Survey [7].

parallel to other courses in the first year of study. This sequence, established by the Department of Mathematics at Lund University, begins with a review of advanced high-school mathematics and successively builds up the knowledge and skills necessary to cope with the basics of quantum mechanics. In the *Engineering Nanoscience* curriculum, that sequence is extended to include a short course that introduces software tools and a detailed course on mathematical tools for nanoscientists. The students are now able to handle Fourier integrals, Laplace transforms, and partial differential equations. The mathematics is taught in terms of applicability to phenomena in physics and not in pure mathematical terms. Thus, students acquire the skills required to use the appropriate mathematical tools when necessary. At the end of this sequence in the basic block is the course on electronics. This course utilizes the students' mathematical knowledge, starting from Maxwell's equations and finishing with the modeling of real circuits.

A further interaction occurs between the above-mentioned short course on software tools and the parallel-running course on quantum phenomena and nanotechnology. In the latter the students need the software tools for the laboratory and calculation exercises and the tools are introduced with simple examples from quantum physics and mechanics. An additional positive overlap occurs in the sharing of teaching of the basics of thermodynamics between chemistry and physics in year 1. Here, we have the further advantage that the students learn parts of the basics from both sides, thus becoming familiar with the similarity between the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) in

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

molecular chemistry and the conduction band edge in semiconductor physics.

This positive overlap may seem to be natural at a university, and this may be the case for a traditional curriculum that has run over many years with considerable involvement of, and interaction between, the same teachers. Here, it is the result of hard work. Most of all, it requires the goodwill and enthusiasm of all those involved: the program management needs to coordinate the lecturers responsible for each course, the teachers need to adjust the courses, and the time schedules have to be coordinated. In the end, a functioning chain of learning is created, and even the students recognize the positive overlap after some time. We estimate the time saved to be on the order of two lectures, including the appropriate study time, for each of the ten courses with positive overlap. Counting the number of teaching hours saved, the total saving for the whole basic block is about 8 of the 165 credits, i.e. almost 5%. With much greater effort, it would be possible to reach 10%. However, we would then lose some of the teaching overlap that enhances the learning of the students. Together with the following specialization courses, the 5% saving is sufficient for a curriculum that creates highly qualified nanoengineers. The most elegant way to increase positive overlap would be to run the curriculum first for all involved teachers, before opening it to students. However, we doubt that any university in the world would have the time and resources required to do this.

4.6 Areas of Specialization

The specialization area that follows the basic block is an essential component of the curriculum. During the specialization block, courses are chosen such that the depth (or height) of knowledge is guaranteed, and, for students intending to continue into research, this part will effectively prepare them for Ph.D. studies in their chosen area of specialization. The two years of specialization also prepares students for continuation in high-tech and research-based industry, where the breadth and depth of their skills in engineering nanoscience will be highly appreciated. During these two years, the students delve more deeply into their field of interest, choosing between nanobiomedicine, nanomaterials, nanoelectronics, and nanophysics. As mentioned above, this specialization does not mean that the students only attend courses that deal specifically with one of these nanofields, e.g. nanophysics. Some courses are specific to the separate fields, but most of the specialized courses are at an advanced level in the main discipline, in the above case, physics.

All four areas of specialization (i.e. nanobiomedicine, nanomaterials, nanoelectronics, and nanophysics) are a continuation of the knowledge and skills gained in the first three years of the program. Specialization starts with compulsory area-specific courses that give deeper knowledge of, and skills required for, the direction chosen, and finishes with practical research-related education and training. During this period, students will carry out Master's projects while taking courses at the relevant departments. For each area of specialization a basket of courses has been chosen that consists mainly of existing courses in order to minimize the cost since, on average, less than ten students will choose the same area of specialization. Further, several courses are included in two or more specialization baskets. This is possible due to the interdisciplinarity of nanoscience. It also aids program economy. In addition to the course basket, the students must read one course on sustainability. Below, we briefly describe the main courses in each of the

AUTHOR'S PERSONAL COPY

four areas of specialization.

For the specialization in *nanobiomedicine*, the compulsory course is a 15-credit course on biochemistry since we see that the students do not reach a sufficient level in this subject. Thereafter, we envisage three different foci within this specialization. The first is on pharmaceuticals, with courses in human physiology, immunology, toxicology, and pharmacology. The second is on biomedical analysis with courses in bioanalysis, microfluidics, genetics, colloidal chemistry, optical techniques, and microsensors. The third focus area includes courses on biomedical materials, courses in biophysics, mechanics, virology, biomechanics, and colloidal chemistry.

For the specialization in *nanomaterials*, there are two compulsory courses, one in materials chemistry and the other in materials analysis. While the first one builds on the students' knowledge in chemistry, the second is a hands-on course to enable students to perform advanced analysis of nanomaterials with several types of microscopes. Thereafter, three different foci have been outlined. One is on materials synthesis with courses in colloid chemistry, crystal growth, polymer chemistry, powder technology, and mechanics. The second is on functional materials with courses on polymer chemistry, chemistry of nanostructures, and biomechanics. Third, materials analysis will include courses on analytical chemistry, surface physics, and atomic and molecular spectroscopy.

Regarding the area of specialization in nanoelectronics, one course is compulsory: a newly developed 7.5-credit course in nanoelectronics. This course deals with the applications of nanoelectronics in a number of areas and it will give knowledge about how devices may be realized and modeled. Thereafter, two foci are envisaged, one in high-frequency electronics and one in medical electronics. The first includes courses in semiconductor physics, high-speed electronics, quantum mechanics, and advanced electronic design. The second includes courses in microfluidics, analog electronics, system technology, and microsensors.

Also in the area of specialization in nanophysics there is only one compulsory course, a 7.5-credit course on physics of low-dimensional structures and quantum devices. This course concerns artificial materials with substructure on the nanometer scale such that the electronic motion is restricted to two, one or zero dimensions. The emphasis is on semiconductor heterostructures but also other low-dimensional systems will be discussed. The concepts and the underlying theory are introduced based on quantum mechanics and extended by the application to heterostructures. Our aim is again to improve the students' skills in the use of advanced mathematical tools and to deepen the knowledge in physics. Two foci are envisaged, one on theoretical and one on experimental nanophysics. The first includes courses on solid-state theory, theoretical biophysics, semiconductor physics, and quantum mechanics. The second includes courses in crystal growth, mechanics, microfluidics, surface physics, and system technology. Apart from the courses mentioned above in the four different areas of specialization, students can choose between a number of additional courses offered by the departments involved.

Apart from the four designated specializations, nanobiomedicine, nanomaterials, nanoelectronics, and nanophysics, students may create their own individual area of specialization. This specialization must fulfill three requirements: the courses chosen must amount to at least 45 credits, of which at least are from A-level courses, it must contain a course on sustainability and must be approved by the Program Board in advance. This means that in a discussion about the courses that should be included

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

in the individual specialization, the program director and the student agree on the focus and the importance of the area chosen. This leads to interesting discussions. One student is contemplating moving into the world of finance, dealing with stocks and technology funds, and realizes that stockbrokers lack knowledge about the emerging field of nanotechnology. Thus, he sees a clear possibility to pursue a career by using his in-depth knowledge of the field as a consultant, not only on the stock market but also perhaps for venture capital companies. In his case, we have discussed a selection of advanced nanotechnology courses and some courses in economics and financing. Another student has the ambition of becoming a journalist, a specialization that we feel is of special importance, as the public should be informed about all aspects of nanotechnology, although there seems to be no clear responsibility established for this purpose (see Figure 9). We believe that those of our

Who could be more proactive in providing information on nanotechnology to the general public?

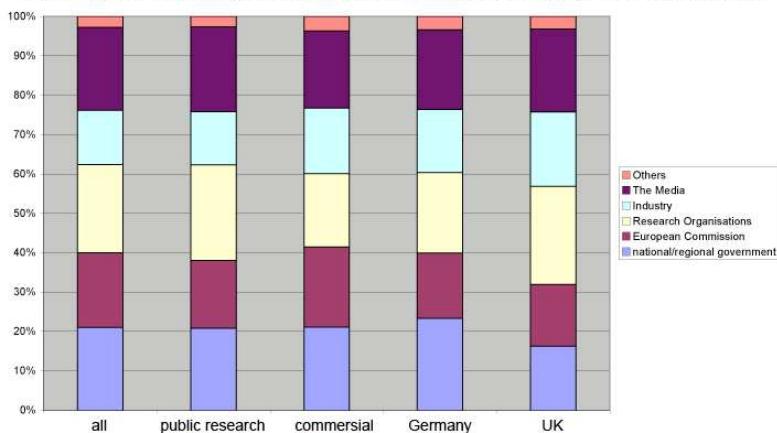


Figure 9: Responsibility for informing the public about nanotechnology according to all respondents in the European Nanotechnology Gateway Open Consultation on the European Strategy for Nanotechnology [9].

students who can communicate well are perfectly qualified to become science reporters because they have broad knowledge about many fields of science and technology, more than graduates can gain in traditional university programs.

The way in which the curriculum is organized provides the opportunity for our students to study abroad for a semester, one year, or even two years. We encourage our students to make use of this opportunity to enhance their language skills (not necessarily English) and to broaden their horizons. Students are exposed to other cultures, gain insight into life outside of Sweden, and acquire a better understanding of the issues that are important to people in other countries. This certainly enhances their interdisciplinarity, since working with people from different scientific disciplines is often like moving between different cultures. The fourth year of the curriculum, with its specialization courses, is naturally suited for studies at other institutions, since advanced courses on basic sciences, e.g. in chemistry or physics, are available in almost every country. Our students can benefit here from the extensive network of Lund University, which, together with special contracts with the Faculty of Engineering, gives them the possibility to take courses free of charge at more than 600 universities worldwide.

Upon successful completion of the specialization block, students are awarded a Master of Science degree in Engineering Nanoscience. The specialization block is also arranged so as to be a freestanding Master's course for students from other disciplines, such as physics, chemistry, or biology, or for exchange students. Here, special courses that deal with

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

advanced nanoscience and -technology are to be chosen. However, in most cases, it is required that they take key courses from the first three years of the program.

5. Management of the Curriculum

The curriculum is managed by a team; the work is governed by a Program Board (in Swedish: programledningen). The director of the program, the deputy, an administrator, a counselor, a representative of the teachers and six students constitute the Program Board. The director together with the support of a deputy and the administrative personnel constitute the executive management and work with the curriculum on a daily basis; the teacher and the student representatives are involved in more general and strategic issues. The director and the deputy are both experienced teachers, and successful researchers within the field of nanoscience and -technology. Officially, 30% of the scheduled working time of the director is devoted to this task; in practice, directing the curriculum occupies about 20-25 working hours per week. The main responsibilities of the director include: (a) organization of the interplay between courses, (b) budget of the program, (c) contact with the teachers, (d) contact with the students, (e) keeping track of the students' progress, (f) course evaluation, (g) developing the program, (h) coordinating students' studies abroad, and (i) advertising the program. The deputy devotes 15% of her/his time while both the administrator and the counselor work half-time for the Engineering Nanoscience Program and half-time for another engineering program. The counselor (in Swedish: studievägledare) provides assistance in the many student-related tasks that the director has to deal with and the administrator (in Swedish: programplanerare) acts as the secretary for the program and ensures that the budget is not exceeded.

The work of the Program Board is regulated by an Educational Board (in Swedish: utbildningsnämnd) that discusses and defines policies regarding several programs, with one of the authors of this book chapter (Rune Kullberg) who is the head of the Board. Teachers, students, representatives from industry, and administrative personnel constitute the Board. The main concern of the Board is to maintain the high quality of the curriculums. Emphasis is therefore placed on maintaining high pedagogical quality in each course. The Board does not advocate one pedagogical model, since variations in teaching methods and methods of assessment are encouraged within the curriculum, which requires open dialog between students and teachers in order to establish the rules of the game. Mutual respect between teachers and students is necessary if everybody is to accept the use of certain methods, even if this is not the preferred method of each individual.

The Educational Board encourages pedagogical development of the teachers and the courses, and stimulates discussions on pedagogical problems, e.g., by organizing pedagogical seminars. Teachers are encouraged to improve their pedagogical knowledge and skills and reflect on different teaching and examination methods. Methods that improve the dialog between students and teachers are supported. The competence of the teachers is judged according to the following criteria:

- scientific competence,
- pedagogical skills and the ability to reflect on them,
- comprehensive understanding of, and attention to, the learning process;
- communicative skills, and
- the ability to lead, organize, and plan.

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

The Board uses several methods to assess the competence of teachers; active student involvement being one of the most important. We are very fortunate to have a large number of enthusiastic students who want to get the most out of the program, can voice their criticisms, and have good ideas about how improvements can be made. There is an established system of evaluation, during, as well as after, each course. One or two student representatives are elected by their peers to convey the comments and criticisms of the entire class to the teachers and the program director. In the middle of each teaching period, the lecturer responsible for the course, the student representatives, and the program director meet and discuss the course. Some changes may be made directly, if necessary. At the end of each course, the students' impressions are collected using a questionnaire. The results of this are discussed by the same group that met in the middle of the teaching period and are reported to the Educational Board. The results of these evaluations show that most criteria regarding the teachers are fulfilled. For example, criterion 1, scientific competence, was never in question, but for a very limited number of courses, concern was articulated concerning criteria 3 and 4. We plan to focus our ongoing development of the curriculum on these areas.

It should be mentioned that the Program Board organizes other activities besides the courses, all in close cooperation with the students. The first is the introductory week for freshmen. In the week that precedes the start of the program, new students are introduced to the university, the faculty, and to life as a student. They are organized in groups of about eight with a student from the second or third year as a mentor. These groups include students from the programs in Engineering Physics [33] and Engineering Mathematics [34] due to the close relations with these programs. The Program Boards cooperate closely, several courses are given together, and the students from these programs are all organized in one students' union. The freshmen are given a thorough introduction to the program by the program director and we describe what we expect of them. Two introductory lectures are given, one in mathematics and one in physics in order to assess the level of knowledge among the newcomers and to level the playing field. Additionally, one day of experimental physics is included in this week, posing a task that requires imagination and basic knowledge. Older students introduce the newcomers to appropriate methods of learning, and small groups often form that continue throughout the program in which the students help each other. The sophomores guide the freshmen around the campus, organize an excursion into the countryside around Lund, and arrange a party for them.

The students are offered counseling by the guidance and careers counselor who is part of the Program Board. This service enables the students to obtain specified and detailed information on how to plan their studies in general, as well as on different learning techniques and how to deal with administrative matters. Career support is of course a natural service and students often ask questions on future careers, although the students are still far from finishing their Master's degree. The mere knowledge that they have the opportunity to talk to someone about problems that may arise during their time at university gives many of the students a sense of "being seen and taken care of". Besides the counselor working within the program, additional counseling service is provided by the faculty and the university.

For selected courses, the program management offers Supplemental Instruction (SI) [35]. The purpose of SI is to assist freshmen with their studies through the support of older students. Sophomores are trained to

AUTHOR'S PERSONAL COPY

act as group leaders and function as moderators to help organize study routines as well as illustrate different strategies to resolve problems. SI leaders do not provide knowledge concerning the subject of the course, instead they stimulate and facilitate the understanding of the course material. The freshmen benefit from more efficient method of studying and improved chances of attaining better results.

The Program Board also arranges three or four evening meetings, called *Nano Nights*, at which students can discuss nanoscience in industry, nanotechnology in the region, the possibility of studying abroad, or other issues of interest with invited guests.

6. The Need for Nanoengineers

As mentioned above, there is extremely interesting research in nanoscience and -technology in the Lund area, centered around the Nanometer Structure Consortium [22]. Research is also being conducted at other locations in Sweden in this field, the main centers being at Stockholm, Göteborg, and Uppsala [36]. In addition, several spin-off companies in the field of nanotechnology have recently been established e.g. QuNano AB [37]. Regarding the number of patents in the field, Sweden was among the top 15 countries in the world in 2003 [38]. Thus, we can identify a clear need for skilled engineers in nanoscience and -technology in our region.

In the 2005 European NanoBusiness Survey, a major problem was identified in finding highly skilled personnel. As 62% of respondents indicated that it was "difficult" to find personnel with the desired skills, this suggests a serious problem, with little difference between academic institutions, multinational and small- and medium-sized companies (SMEs) (see Figure 10) [7].

The need for trained personnel seems to be of the highest importance for SMEs and start-up companies. This was revealed by the questionnaire

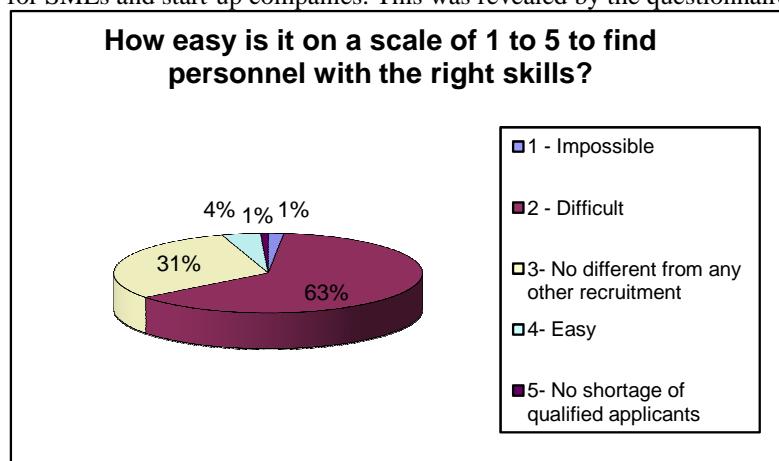


Figure 10: Outcome of the 2005 European NanoBusiness Survey [7].

on the European Strategy for Nanotechnology, where the lack of highly skilled personnel was identified as the most serious problem (see Figure 11) [9].

When is the best time to launch a university program in nanoscience and -technology? In our opinion, the best time is when it is clearly seen that graduates educated in this field will be needed. We must also remember that education programs aim at responding to anticipated needs. At present, job opportunities for nanoengineers are not that numerous, in Sweden or in other parts of the world. In 2002, a U.S.

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

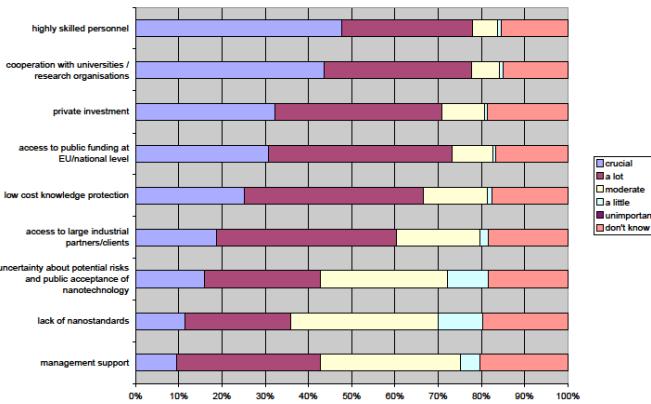


Figure 11: Rating of the importance of the main difficulties that are faced by SMEs and start-up companies according to the respondents to the European Nanotechnology Gateway Consultation on the European Strategy for Nanotechnology.

National Science Foundation workshop on nanotechnology education stated that the demand for qualified scientists and engineers with nanofabrication skills is expanding rapidly. The development of interdisciplinary education programs that engage the interest of students of all ages, especially at undergraduate level, is crucial to development in the area of nanotechnology [39]. Further, based on the exponential development of the field, we anticipate a considerable need in the near future. According to Roco, it is estimated that about 2 million nanoengineers will be needed worldwide in 5-10 years from now [40].

A similar demand was recognized by the Open Consultation on European Strategy in 2004 [9]. Almost one-half of the respondents to this questionnaire foresaw a shortage of qualified personnel within 5 years, and another quarter in 5-10 years, with no significant difference between respondents from public research organizations and commercial organizations (see Figure 12). Based on the results of this questionnaire,

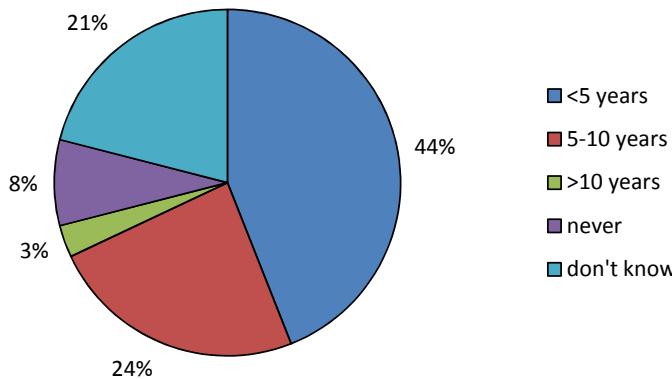


Figure 12: Expected occurrence of a shortage of personnel trained in nanotechnology according to all respondents in the European Nanotechnology Gateway Open Consultation on the European strategy for Nanotechnology.

we started our program at just the right time, since the first nanoengineers graduated from our university with a Master's degree in Engineering Nanoscience in 2007.

An additional time constant is built into the academic system. It may take years to obtain the necessary authorization to establish such a program and additional years to overcome all the administrative problems on the intra-university level. We began preparations in the 2001–2002 academic year and launched the program in 2003. The universities of

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

Copenhagen and Aarhus launched their programs a year earlier, and others will probably follow. There is thus great potential for providing the engineers needed for the development of nanotechnology.

7. Our Curriculum as a Magnet for Students

The Engineering Nanoscience Program at Lund University was originally intended to accommodate 40 students. While other programs in science and engineering suffer from decreasing numbers of students, the Engineering Nanoscience Program received a high number of applications. As can be seen from Table 2, to date, we have consistently received more than two primary applicants per place. When applying to university in Sweden, applicants can apply to several programs and places. Although we observed a drop in 2006 and 2007, we foresee an increase in the number of applicants to the program in the future as knowledge of the program becomes more widespread through our students, who advocate for it, and as information on nanotechnology spreads even more in the public arena.

| Year | Number of 1 st choice applicants | Total number of applications | Number of 1 st choice applicants per place |
|------|---|------------------------------|---|
| 2003 | 85 | 362 | 2.1 |
| 2004 | 112 | 437 | 2.8 |
| 2005 | 118 | 431 | 3.0 |
| 2006 | 89 | 309 | 2.2 |
| 2007 | 81 | 321 | 2.0 |

It should be noted that admission to the program is limited to students having studied science at high school. Those who have chosen arts and social science, and occupational subjects are not eligible. Further, not all students who have studied science at high school will be directly eligible, as some high schools do not offer courses in all disciplines, and some subjects, such as biology or electronics, may not have been available. Bearing this in mind, there are no demands on biology and electronics but some emphasis is placed on mathematics, physics, and chemistry.

Despite efforts to admit only those students considered suitable and motivated for the program, some drop out (see Table 3). Two main reasons were identified for dropping out: (i) wrong subject and (ii) personal reasons. "Wrong subject" may mean that the student has realized that he or she would prefer to pursue a pure science career rather than an engineering career, or that nanotechnology is not what they expected. It can also mean that the program is too demanding. Personal reasons are usually related to family matters. It is in theory possible to interview all applicants, which would help minimize the number of students dropping out because they have chosen the "wrong" subject. However, this would have needed the permission of the Swedish higher education authorities, apart from requiring extra administrative and financial resources. Although interviewing applicants is common in some countries, the prognosis as to the success of the student may be questioned. We are currently investigating offering applicants a web-based self-assessment, which would supply prospective students with additional information in the process of choosing the right university program. A comprehensive example of such self-assessment is that offered by the Electrical Engineering Program at RWTH in Aachen, Germany [41].

We are very pleased that the proportion of female students is more than 25% (see Table 3), as many engineering programs attract only a small number of female students. Having a reasonable proportion of women in the class appears to improve the atmosphere. We know from statistics on student performance within the Faculty of Engineering at

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

Lund University that the best results are obtained when the minority gender in a class lies between 30 and 50%, with the minimum number of students of this gender being 10 [42]. One of the main reasons why the number of female students is rather high lies in the attraction that stems from the unique combination of life sciences, physics, mathematics, and engineering.

| Year | 1 st year | | 2 nd year | | 3 rd year | | 4 th year | |
|------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | Total | Female | Total | Female | Total | Female | Total | Female |
| 2003 | 47 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | 57 | 18 | 41 | 9 | - | - | - | - |
| 2005 | 54 | 11 | 41 | 13 | 34 | 11 | - | - |
| 2006 | 48 | 11 | 44 | 10 | 41 | 13 | 34 | 11 |

Which students choose our curriculum? Geographically, recruitment is rather local. Almost 60% of all students on the program are from the province of Scania, in which Lund is located. Of these, 15% are from Lund itself. The majority of the remaining students are from neighboring provinces, and only a few are from the Stockholm area or further north. Although the Engineering Nanoscience Program at Lund is the only one of its kind in Sweden, its geographical outreach thus appears rather limited. However, this is not unique for our program, as most young Swedes attend the university closest to their home, or where they went to high school. Regarding the age of the students, two thirds enter the program at an age of 18 or 19. This means that they mainly come directly from high school, and have rather limited work experience. Swedish students leave high school at the age of 18 (school age 7 years + 9 years compulsory education + 3 years high school). The remaining students have either studied another university program for one or two years, worked for a few years in industry or as teachers, or improved their high-school grades at evening classes.

We have already described how we use the symposium at the end of the introductory course in the first year for the recruitment of final year high-school students. High-school teachers are also invited to attend this symposium. We plan to extend our drive aimed at high schools through a new course on the basics of nanoscience and –technology, similar to the introductory course, which will be available to high-school teachers. At time of writing, this course is under development in cooperation with the National Centre for Education in Physics [43], which is based at Lund University, and has a number of highly experienced educationalists at its disposal.

8. Summary

We have created a unique university program in nanoscience and nanotechnology at Lund University: *Engineering Nanoscience*. The curriculum is based on a broad basic education that covers all the areas of science and technology relevant to nanoscience. We believe this curriculum will enable us to educate nanoengineers with a coherent view on nanoscience and thorough basic knowledge. Through this type of curriculum, we have the chance to create informed and highly-educated individuals, able to influence the direction of nanotechnology in beneficial ways. Our program will be able to fulfill the mission of liberal education that turns students into critical thinkers who are capable of

Table 3: Number of students in the Engineering Nanoscience Program on September 1 of each year. Note some students entered the program in Years 2 or 3.

AUTHOR'S PERSONAL COPY

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

participating in intelligent debates about how societies ought to be transformed. The program is well oversubscribed and we are pleased that almost 30% are female students. Our students are highly motivated, enthusiastic and like the broad education - they see themselves as *renaissance nanoengineers*. The curriculum will naturally undergo adjustments as and when required, and the Bologna model will be fully implemented in 2007.

Acknowledgements

We would like to thank all those who have been or are still engaged in the development of the Engineering Nanoscience Program and our families for allowing us to spend so many hours on this exciting task.

References

- [1] K. Deppert and L. Samuelson, IUMRS Facets **3**, 7-10 (2004).
- [2] M. C. Roco, J. Nanoparticle Res. **7**, 129-143 (2005).
- [3] M. C. Roco, J. Nanoparticle Res. **4**, 271-274 (2002).
- [4] M. C. Roco, J. Nanoparticle Res. **6**, 1-10 (2004).
- [5] M. C. Roco, Int. J. Engng. Ed. **18**, 488-497 (2002).
- [6] R. Roy, IUMRS Facets **4**, 18-21 (2005).
- [7] *The 2005 European NanoBusiness Survey*, The European NanoBusiness Association,
<http://www.nanoeurope.org/survey.htm> (2005).
- [8] F. Besenbacher, presented at NanoTec Forum, Stockholm, Sweden (2005).
- [9] Malsch and M. Oud, *Outcome of the Open Consultation on the European Strategy for Nanotechnology*, European Nanotechnology Gateway (2004);
<http://www.nanoforum.org>
- [10] M. C. Roco and W. S. Bainbridge, J. Nanoparticle Res. **7**, 1-13 (2005)
- [11] <http://www.inano.dk>
- [12] http://www.dtu.dk/Uddannelse/Kandidatuddannelser/Fysik_og_Nanoteknologi.aspx
- [13] <http://www.nano.ku.dk/education/start.htm>
- [14] <http://www.nccr-nano.org/nccr/study>
- [15] <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>
- [16] <http://www.uni-duisburg-essen.de/nanoengineering/index.shtml>
- [17] <http://www.studier.ntnu.no>
- [18] <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/welcome.html>
- [19] <http://www.teknisknanovetenskap.lth.se>
- [20] <http://www.lu.se>
- [21] <http://www.lth.se>
- [22] <http://nano.lth.se>
- [23] <http://www.hsv.se>
- [24] <http://www.nano.gov>
- [25] *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and the Economic and Social Committee: Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009*, COM 243 (2005);
<http://www.cordis.lu/nanotechnology/actionplan.htm>

Engineering Nanoscience: A Curriculum to Satisfy the Future Needs of Industry

- [26] <http://www.bologna-bergen2005.no>
- [27] <http://www.csn.se>
- [28] <http://www.swegene.org>
- [29] R.D. Booker and E. Boysen, *Nanotechnology for Dummies*, (Wiley, New York, 2005).
- [30] <http://www.eng.ideon.se>
- [31] <http://www.luinnovation.lu.se>
- [32] M. C. Roco, Curr. Op. Biotechn. **14**, 337-346 (2003).
- [33] <http://www.tekniskfysik.lth.se>
- [34] <http://www.tekniskmatematik.lth.se>
- [35] http://www.si-mentor.lth.se/SI_eng/index_eng.htm
- [36] *Sixth Nanoforum Report: European Nanotechnology Infrastructure and Networks*, European Nanotechnology Gateway (2005); <http://www.nanoforum.org>
- [37] QuNano AB, Available at: <http://www.qunano.se>. Accessed November 27, 2008
- [38] Z. Huang, H. C. Chen, Z. K. Chen and M. C. Roco, J. Nanoparticle Res. **6**, 325-354 (2004).
- [39] <http://www.engr.psu.edu/www/centers/emprl/dhtml/nf/nmt/pdf/bulletin/September%2002.pdf>
- [40] M. C. Roco and W. S. Bainbridge (eds.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA (2001).
- [41] <http://www.assess.rwth-aachen.de>
- [42] Lindgren, *Tell me how they managed the first year, and I will estimate how many will finish the entire curriculum* (in Swedish), presented at 2:a Pedagogiska Inspirationskonferens vid Lunds tekniska högskola, Lund, Sweden (2004).
- [43] <http://www.fysik.org>

AUTHOR'S PERSONAL COPY

M Questionnaire Graduated Students

Table 3: Questionnaire for Graduate MTNANO students

| Entry Id | 1. Når ble du uteksaminert (dvs leverte masteroppgaven)? | Hvor bor du nå? | Har du fått jobb? |
|----------|--|---------------------------|---|
| 1 | 2015 | Trondheim | Ja |
| 2 | 2014 | trondheim | ja |
| 3 | 2012 | Trondheim | Ja |
| 4 | Velg år | Trondheim | Ja, men i egen oppstartsbedrift og med begrenset lønn |
| 5 | 2014 | Trondheim | Ja |
| 6 | 2012 | Trondheim | Ja |
| 7 | 2014 | Oslo | Delvis |
| 8 | 2013 | Trondheim | Ja |
| 9 | 2014 | Trondheim | Ja |
| 10 | 2015 | Trondheim | Ja |
| 11 | 2011 | Trondheim | Ja |
| 12 | 2011 | Oslo | Ja |
| 13 | 2013 | Trondheim | Ja |
| 14 | 2012 | Trondheim | Ja |
| 15 | 2012 | Trondheim | Ja |
| 16 | 2013 | Trondheim | Ja |
| 17 | 2011 | Oslo | Ja |
| 18 | 2013 | Trondheim | Ja |
| 19 | 2012 | Bergen | Ja |
| 20 | 2012 | Trondheim | Ja |
| 21 | 2015 | Potchefstroom, Sør-Afrika | Ja |
| 22 | 2015 | Oslo | Ja |
| 23 | 2013 | Bærum | Ja |
| 24 | 2013 | Lundamo | Ja |
| 25 | 2011 | Drammen | Ja |
| 26 | 2011 | Bærum | Ja |
| 27 | 2014 | Trondheim | Ja |
| 28 | 2014 | Trondheim | Ja |
| 29 | 2013 | Trondheim | Ja |
| 30 | 2015 | Stockholm | Ja |
| 31 | 2013 | Stavanger | Ja |
| 32 | 2015 | Trondheim | Ja. |
| 33 | 2013 | Oslo | Ja |
| 34 | 2011 | Trondheim | Ja |
| 35 | 2014 | Trondheim | Ja |
| 36 | 2011 | Oslo | Ja |
| 37 | 2011 | Orkanger | Ja |
| 38 | 2013 | Oslo | Ja |
| 39 | 2013 | Berlin | Ja |
| 40 | 2015 | Oslo | Ja |

Continued on next page

Table 3 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 1. Når ble du uteksaminert (dvs leverte masteroppgaven)? | Hvor bor du nå? | Har du fått jobb? |
|----------|--|-----------------|-------------------|
| 41 | 2015 | Oslo | Ja |

Table 4: Questionary for graduate MTNANO students

| Entry Id | 4. Hvis ja, hva jobber du med nå? (Hva er din stilling og hvor er arbeidsstedet).? | 5. Hva er dine arbeidsoppgaver? |
|----------|--|---|
| 1 | PhD ved institutt for materialteknologi, NTNU | Forskning på mekanisk og kjemisk degrasjon/nedbryting av termiske isolasjonmaterialer brukt i aluminiumselektrolyseceller. |
| 2 | phd NTNU biofysikk | forsker på kreftmedisin/nanopartikler/ultralyd |
| 3 | PhD, Institutt for elektronikk | Tar en PhD i oksidelektronikk, vekst av tynnmilmer, magnetiske egenskaper. |
| 4 | Produktutvikling i Morpho Solar AS, Trondheim | Sørge for at vi kommer med nye produkter på markedet. Mye prosjektstyring. Alt fra å vurdere løsninger, nye teknologier, bygge prototyper på maskinverksted, osv. til å bygge opp teamet og få med samarbeidspartnere. Jobber med en varmelagringsteknologi for solvarme. |
| 5 | Stipendiat NTNU | Forsknings- og laboratoriearbeid. |
| 6 | Forsker, SINTEF Energi | Analyse innen matematikk/ fysikk/ strømningslære/ termodynamikk. Skriving av rapporter og vitenskapelige publikasjoner. Programmering/softwareutvikling. Prosjektledelse. |
| 7 | Lærervikar | Faglærer i matte i første og andre videregående trinn |
| 8 | Stipendiat | Forsker på nanocellulose. |
| 9 | Phd, NTNU | Forskning, ta fag og holde kurs |
| 10 | Stipendiat, Seksjon for teoretisk fysikk, Institutt for fysikk, NTNU | |
| 11 | Stipendiat, IFY NTNU | Forskning, elektronmikroskopi, dataanalyse, programmering, nanotråder |
| 12 | Stipendiat, Universitetet i Oslo | Materialsynteser (våtkjemisk metoder) Karakterisering (XRD, PPMS, TGA, titrering) Analyser (Rietveld) Skrive artikler Undervisning (lab- og gruppeøvingslærer) |
| 13 | PhD, ntnu | Forskning. |
| 14 | Student | Har jobbet i oljebransjen som feltingeniør |
| 15 | Stipendiat, NTNU | Forskning knyttet til NanoLab og biomedisinsk teknologi |
| 16 | Forsker sintef | Prosjektledelse og forskning |
| 17 | Prosessingeniør, Lillestrøm | Drift av brenselcelleanlegg, design og engineering av anlegg, kostnadsberegnning, HR, |

Continued on next page

Table 4 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4. Hvis ja, hva jobber du med nå? (Hva er din stilling og hvor er arbeidsstedet).? | Hvor bor du nå? |
|----------|---|---|
| 18 | Sivilingeniør hos SP fire Research | prosjektleder på ulike prosjekter innenfor brann, både teoretisk og praktisk arbeid, men ingenting med nanoteknologi å gjøre. |
| 19 | 13% Bergen legevakt | Har nå jobb ved siden av nytt studie. Fikk jobb i Mesta som trainee etter studiet. Der var arbeidsoppgavene ledelse og økonomi. |
| 20 | Lærer, KVT | Å være lærer i matematikk |
| 21 | Jobbar ved North West University i Sør-Afrika via utvekslingsprogram med Fredskorpset. Offisielt ansatt i GenØk i Tromsø. | Eg jobbar som forskar ved ei forskningsgruppe som driv med mikrobiologi i miljøperspektiv (environmental microbiology). Så langt jobbar eg med på lab med å identifisere antibiotikaresistente gen frå bakteriar i vassprøvar. |
| 22 | Konsulent, Deloitte AS | Ansatt i Deloitte sin Digital-avdelingen innen Technology Consulting. Jeg er blant de konsulentene som jobber med CRM programmet Salesforce. Innebærer både implementering, administrering og utvikling av nye IT løsninger. |
| 23 | Lektor (matte og naturfag), Belset ungdomsskole | |
| 24 | Doktorgradsstipendiat hos IMT, NTNU | Lære å forske Undervise |
| 25 | Konsulent, McKinsey | Rådgi ledelsen i store internasjonale selskaper i teknologirelaterte spørsmål |
| 26 | Ingeniør, DNV GL | Skadeundersøkelse |
| 27 | PhD-stipendiat, NTNU | Forsker på nanoelektronikk. |
| 28 | Stipendiat, NTNU (IKP) | Jeg forsker på nanocellulose |
| 29 | Stipendiat, NTNU | Doktorgraden består av en opplæringsdel på 30 studiepoeng samt et selvstendig forskningsarbeid. Jeg skal lese og holde meg oppdatert i litteratur innen fagområdet. Videre formulerer jeg problemstillinger for arbeidet mitt, og planlegger og gjennomfører forskning på flere ulike laboratorier. Målet er å frembringe ny kunnskap og nye teorier, samt å presentere arbeidet muntlig og skriftlig både innen forskningsgruppen, fagmiljøet og til et mer generelt publikum. |
| 30 | Sales Associate Representative i Cisco | Jeg er en del av Cisco sitt graduate program (CSAP - Cisco Sales Associate Program). Jeg skal selge Cisco sine løsninger til offentlig sektor, mer spesifikt norske kommuner. Arbeidsoppgavene mine er derfor å snakke med kunder for å forstå hvilke behov de har og hvordan Cisco kan imøtekommisse disse. |
| 31 | Produksjonsingeniør i Statoil | Jobber i en ekspertgruppe for produksjon av olje og gass i Statoil (på hovedkontoret). Gjør en del beregninger mtp. produksjonsbrønner, og også injeksjonsbrønner. |

Continued on next page

Table 4 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4. Hvis ja, hva jobber du med nå? (Hva er din stilling og hvor er arbeidsstedet).? | Hvor bor du nå? |
|----------|--|--|
| 32 | PhD, NTNU | Forskning |
| 33 | Sivilingeniør i SINTEF Byggforsk | Jeg arbeider som forsker i SINTEF Byggforsk, i en gruppe som heter klima, miljø og arkitektur. Jeg arbeider med forskningsprosjekter, forskningsbasert rådgivning, produktdokumentasjon og forskningsformidling ennen for bygg og miljø. Arbeidet fokuserer på å redusere klimagassutslipp i bygg-og anleggssektoren. |
| 34 | PhD, IFY, NTNU | Eksperimentell oppgave med fokus på renromsarbeid, nanostrukturering, overflatekjemi, cellearbeid og mikroskopering. |
| 35 | PhD på NTNU | Forskning |
| 36 | Prosjektleder i Mosaic Solutions AS | Prosjektledelse for teknologiutvikling/ forskningsprosjekter i bedriften. Mye teknisk arbeid og lab i forbindelse med dette. Samarbeider med forskningsinstitusjoner og bedrifter i inn- og utland, reiser en del. Bruker mye tid på å planlegge og drive teknisk utvikling og testing av produktene våre. Liten bedrift, får mye ansvar og får jobbe med mye forskjellig. |
| 37 | Rådgiver, Samferdselsavdelingen, Sør-Trøndelag fylkeskommune | Strategisk planlegging av kollektivtrafikk i Sør-Trøndelag. Arbeid med buss, båt og ferje. Arbeid med å redusere klimautslippene fra samferdsel i Sør-Trøndelag. |
| 38 | Associate Consultant, Bain & Company | Analyse av strategi og konkurransedyktighet til selskaper. |
| 39 | Design Engineer - Rolls-Royce Deutschland | Jeg jobber i Rolls-Royce i Tyskland, hvor RR utvikler og produserer flymotorer. Jeg jobber med å utvikle installasjonen av hydraulikk, olje og drivstoff til en ny motor som skal sertifiseres i 2019. Installasjonen jeg jobber med består i hovedsak av slanger, rør, filtere, sensorer og kjølere. Jeg skriver spesifikasjoner for deler av installasjonen, jobber med designerne som tegner i CAD NX for å komme frem til konsepter, vi holder gjennlige presentasjoner om hva vi kommer frem til / ikke kommer frem til, støtter ingeniørene som jobber med leverandører med informasjonen de trenger. Vi jobber også med verifikasjons-/sertifiseringsavdelingen om hvordan vi skal vise at vi møter alle tekniske krav og planlegge sertifiseringsarbeidet. Etterhvert vil vi også teste installasjonen for å sjekke trykk, krefter, temperaturer , vibrasjoner osv for å se at spesifikasjonene er riktige og at installasjonen tåler det. |
| 40 | It konsulent, Accenture | Implementere SAP, lage avansert funksjonalitet i Excel og en del administrativt |

Continued on next page

Table 4 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4. Hvis ja, hva jobber du med nå? (Hva er din stilling og hvor er arbeidsstedet).? | Hvor bor du nå? |
|----------|--|--|
| 41 | Teknologikonsulent, BearingPoint AS | Rådgi bedrifter og gjennomføre prosjekter relatert til Information Management (spesielt innenfor områdene Datavarehus, Business Intelligence og Business Analytics). |

Table 5: Questionary for graduate MTNANO students

| Entry Id | 6. Er jobben relevant i forhold til utdanningen fra NTNU og har du fått bruk for det du har lært? Utdyp gjerne svaret. |
|----------|---|
| 1 | Ja, oppgaven har en mikrostrukturell tilnærming og mange fag har vært nyttig bakgrunnskunnskap for å fortsette på doktorgraden. |
| 2 | ja |
| 3 | Veldig relevant, jeg driver med en blanding av materialteknologi, fysikk og elektronikk på nano-nivå. Tverrfagligheten på studiet er veldig relevant. |
| 4 | Tja. Ikke veldig nano-rettet, men teknisk forståelse er veldig viktig. Det viktigste er å fysisk kunne bygge ting selv. I vårt tilfelle kan man ikke bare få noen andre til å gjøre det. Det må sies at jeg tok en ny master ved NTNUs Entreprenørskole fra 2013-15 etter fullført siv.ing. nanotek i 2011. |
| 5 | Ja. Forskningen er innen temaet nanoteknologi. Jeg bruker veldig mye av det jeg har lært i min hverdag. |
| 6 | Har ikke fått mye bruk for de nano-spesifikke fagene, men har fått veldig god bruk for den generelle kunnskapen innen matematikk, fysikk og kjemi. |
| 7 | Har bruk for grunnleggende matte, men ikke relevant utover det. |
| 8 | Ja! Får bruk for det aller meste. |
| 9 | Ja |
| 10 | Ja. PhD-prosjektet bygger videre på master-oppgaven. |
| 11 | Ja, direkte fortsettelse av masterarbeidet. Varierende hvilke fag jeg har hatt bruk for, men det er vel tilnærmet umulig å få bruk for alle. |
| 12 | Den generelle bakgrunnen er relevant, men masteroppgaven er ikke spesifikt relevant. |
| 13 | Ja, men litt mer mot fysmat enn nano. Har fått bruk for noen ting, men sitter igjen med følelsen av at jeg burde valgt fysmat istedet. Føler meg dårligere stilt enn mine kolleger som stort sett har gått fysmat. |
| 14 | Nei, jobbet i oljebransjen uten sammenheng med nanoteknologi |
| 15 | Ja, svært relevant. Har fått bruk for en hel del ting jeg har lært på studiet. |
| 16 | Får masse bruk for kjemien jeg lærte, og nanokarakterisering. |
| 17 | Delvis. Jeg bruker 10-20% av det jeg lærte fra NTNU, men det meste av det jeg bruker i hverdagen har jeg lært gjennom erfaringer i arbeidslivet. Hadde jeg gått på en annen siv.ing.-linje istedet hadde det nok vært ca. like relevant for det jeg gjør. |
| 18 | Relevant til en viss grad i form av å skrive forskningsrapporter og å tilegne seg kunnskap metodisk, men svært mye jeg ikke er får bruk for. |
| 19 | Ingen av jobbene jeg har hatt har vært relevant ift studiet. Fikk jobb fordi jeg var siv.ing. |
| 20 | Tja |

Table 5 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 6. Er jobben relevant i forhold til utdanningen fra NTNU og har du fått bruk for det du har lært? Utdyp gjerne svaret. |
|----------|---|
| 21 | Jobben er relevant, men ikke kjemperelevant. Det ville kanskje vore meir relevant for dei som går bio (eg gjekk elektronikk), så det er får mest direkte brukt for er introduksjonsfaget me hadde i bioteknologi samt erfaring med å jobbe på lab. Men har absolutt god nytte av å tenke analytisk, jobbe systematisk og alle slike saker ein får godt innarbeidd etter fem års siving-studie. |
| 22 | Ikke direkte relevant til nanostudiet og fagretningene der. Likevel har jeg fått bruk for erfaring fra programmeringsspråk som matlab og C++. |
| 23 | Jeg har valgt å gå en ganske annen vei etter at jeg var ferdig, men jeg synes utdanningen var relevant og er glad jeg gikk Nanoteknologi |
| 24 | Ja. |
| 25 | Lenge siden sist jeg rørte noe som har spesifikt med nanoteknologi å gjøre, men utdanningen lærte meg å tenke logisk og analytisk og strukturere arbeidet, noe jeg har glede av hver dag. Når grunnmuren er solid kan man bygge fine hus :) |
| 26 | Ja, delvis. Får brukt mat.tekfaget i alle fall |
| 27 | Ja. |
| 28 | Den er svært relevant. |
| 29 | Ja, det har jeg absolutt, men det er også mye nytt som jeg ikke har lært - det er fint å ha begge deler. |
| 30 | Nei, jeg vil ikke si at min utdanning i nanoteknologi med fordypning i bionanoteknologi er særlig relevant verken når det gjelder stilling (salg), eller industri (IT). |
| 31 | Ja, jobben er relevant i forhold til generell forståelse av matte og fysikk og kjemi. Jobber mye med fysikk (trykk, temperaturer, PVT, fluider). Jobber ikke med nanoteknologi. |
| 32 | Ja, svært relevant. Jobber med nanoteknologi for antiisingapplikasjoner. |
| 33 | Jeg valgte å endre litt på det vanlige løpet i nanoteknologiutdannningen og tok en del fag fra program for industriell økologi på NTNU. Det er først og fremst de sistnevnte fagene som er direkte relevant i jobben. I tillegg er prosjekt-og masteroppgaven relevant, ikke bare innholdsmessig, men arbeidsmåten som likner veldig på arbeidsmåten til en forsker i SINTEF. Jeg har også god bruk for kjemikunnskapene fra NTNU. Jeg har bruk for nanoteknologi på et overordnet nivå fordi det spiller inn i en del byggematerialer og teknologi til bygg slik som for eksempel solceller. Kjennskapen til nanotek kommer godt med her, men jeg anvender den ikke på et avansert nivå. |
| 34 | Ja, oppgaven tett knyttet til bakgrunn i nanoteknologi. Reflekterer bredden og tverrfagligheten i studiet, og mange spesialiserte teknikker også tatt med i studiet. |
| 35 | Ja |
| 36 | Ja! Mosaic Solutions (og moderelskapet Compart) lager metallbelagte polymermerkuler til LCD-skjermer, mikroelektronikk og solcellepaneler. Dvs. at vi er en kjemisk bedrift som lager produkter til elektronikkindustrien. Den tverrfaglige utdannelsen fra Nanoteknologi-linjen er veldig nyttig for å forstå og kunne jobbe med både kjemi-problemstillinger og elektronikk/fysikk-problemstillinger. Mest relevante fag: Overflate- og kolloidkjemi, nanomaterial-fagene, halvlederteknologi, solcelle-fagene, matte 3 og statistikk. Ellers: Generell kjemi og fysikk-forståelse |

Continued on next page

Table 5 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 6. Er jobben relevant i forhold til utdanningen fra NTNU og har du fått bruk for det du har lært? Utdyp gjerne svaret. |
|----------|--|
| 37 | En del av arbeidet krever teknisk innsikt og bakgrunnen som sivilingeniør kommer da godt med. Arbeidet med klimautfordringer bygger på utdannelsen innen industriell økologi. Lite arbeid med nanoteknologi. |
| 38 | Ja og nei. Jeg jobber ikke med nanoteknologi, og har lite bruk for de mer nanspesifikke fagene. Mattefagene jeg hadde på NTNU bruker jeg. |
| 39 | Jobben er relevant mtp at jeg er sivilingeniør, men ikke mtp spesialiseringen min i nanomaterialer / materialfysikk. Men det er avdelinger her hvor jeg tror min spesialisering ville vært relevant, som for eksempel materialavdelingen. Jeg prøvde å få jobb der etter traineeprogrammet, men de hadde ingen ledige stillinger da jeg søkte jobb. Om ett år eller to vil jeg kanskje søke jobb i materialavdelingen dersom de lyser ut nye stillinger. |
| 40 | Nei, få tekniske oppgaver |
| 41 | Matematiske-, statistiske-, og it-relaterte fag er relevante, samt k-emnet bedriftsøkonomi, EiT og prosjekbasert arbeid generelt. |

Table 6: Questionary for graduate MTNANO students

| Entry Id | 7. Var det vanskelig å finne relevante ledige stillinger? Opplevde du at bedriftene visste hva nanoteknologi var og hva de kunne bruke deg til? |
|----------|--|
| 1 | Ja, å finne veldig nanspesifikke/nano-relevante stillinger var vanskelig, men som nanostudent opplevde jeg å være attraktiv likevel, f.eks. hos konsulentbedrifter. |
| 2 | vet ikke |
| 3 | Dette var den eneste stillingen jeg søkte på. Spør igjen når jeg har fått jobb etter doktorgraden. |
| 4 | Ja, det var vanskelig. Det var mye IT jeg fikk napp på, så jeg fant ut at man heller må starte noe selv. Arbeidsgivere så lite relevans i nanoteknologi for dem. |
| 5 | Ja, det var vanskelig da det er svært få relevante stillinger. 95% av stillingene som er aktuelle er litt på siden av "nanoteknologi", dog det er mange stillinger som er relevant som "sivilingeniør". De fleste tror at de ikke har bruk for en med nanoteknologibakgrunn, og vil heller ha noen med en mer relevant bakgrunn. |
| 6 | Fikk den første jobben jeg søkte på (hadde hatt sommerjobb der før). Bedriften har god erfaring med studenter fra MTNANO på NTNU. Stort sett bryr de seg om å finne flinke folk, ikke spesifikk bakgrunn. |
| 7 | Opplever ikke at bedriftene kjerner til nanoteknologi og hvilken kompetanse jeg har. Har opplevd det som vanskelig å selge inn bakgrunnen min, derav midlertidig stilling som lærervikar. |
| 8 | Nei, det var lett. |
| 9 | Vet ikke, søkte ingen jobber |
| 10 | Det var ikke vanskelig å finne stillingen ble ansatt i, i og med at jeg har samme veileder nå som på master-oppgaven. |
| 11 | |
| 12 | Stipendiatstilling ble valgt på bakgrunn av få relevante stillinger. På generelt grunnlag som siv.ing. kunne man kanskje fått generelle jobber. |
| 13 | Forsøkte i utgangspunktet å få jobb utenfor akademia, men det viste seg vanskelig å finne noe relevant. Inntrykket er at man som oftest må selge seg selv som "flink til å lære nye ting" enn nanoteknolog. |
| 14 | Vet ikke, søkte kun på én jobb |

Table 6 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 7. Var det vanskelig å finne relevante ledige stillinger? Opplevde du at bedriftene visste hva nanoteknologi var og hva de kunne bruke deg til? |
|----------|---|
| 15 | Stipendiat-stillinger knyttet til nanoteknologi er det mange av, men i industrien tror jeg det ville vært vanskelig. |
| 16 | Vanskelig å finne stillinger ja, nesten umulig. Mange visste ikke hva de skulle bruke meg til |
| 17 | Ja det var det. Ingen av bedriftene forholdt seg til begrepet "nanoteknologi", så jeg måtte bruke andre (mer kjente) linjer som målestokk, og beskrive nano-linjen som en hybrid av disse. |
| 18 | Ja |
| 19 | Ja, det var veldig vanskelig. Bedriftene visste ikke hva nano var. |
| 20 | Ja. Ingen vet hva nanoteknologi er og hvordan man kan utnytte det vi har lært i studiet i sin bedrift, heller ikke vi. |
| 21 | Vanskeleg å finne relevante stillingar, og dei fleste trur kanskje me er litt for "avanserte/spesialiserte" enn det me er. Men eg følte ikkje at det var heilt håplaust heller. Større bedrifter som Hydro og Elkem har fått augene opp for oss, det er bra. |
| 22 | Ja. De mest relevante stillingene er gjerne forskningstillinger som rekrutterer i veldig liten grad. Det var derfor enklest å søke på det som ble lagt ut av trainee stillinger og andre nyansatt-programmer, som gjerne ikke var direkte relevante, men likevel interessante og spennende stillinger. Generelt var kunnskapen rundt nanoteknologi, og da i særlig grad nanoteknologistudiet veldig dårlig blant bedrifter. Jeg hadde ofte følelsen av at noen teknologiske, relevante bedrifter med store forskningsmiljøer som f.eks. DNV GL og Jotun viste nærmest avsmak for nanoteknologer og hevdet at vi ikke kunne bidra med noe særlig hos dem. Enten det eller så ble vi vurdert som alt for "high-tech" og "nei slikt driver ikke vi med" i søker etter aktuelle bedrifter.. |
| 23 | Jeg har ikke prøvd å lete etter relevant jobb som siv.ing. |
| 24 | Ikke vanskelig å finne Ph. D.-stilling, men vanskelig å finne andre relevante alternativer. Bedriftene visste ikke mye om nanoteknologi da. |
| 25 | Jeg sökte bare på doktorgrad + konsulentstillinger. I sistnevnte kategori var kunnskapen (og relevansen) begrenset, men graden henger høyt! |
| 26 | ja, nei |
| 27 | Det var flere relevante PhD-stillinger, men vanskeligere i næringslivet. Noen bedrifter (feks Kongsberg, FFI) kjente bedre til hva en nanoteknolog kunne brukes til, men mange var usikre, |
| 28 | Jeg sökte kun på stillinger som stipendiat og lette ikke etter industrijobber. Altså har jeg ikke personlig erfaring utenfor akademia. |
| 29 | Få bedrifter visste noe om nanoteknologi, men mange av dem var likevel interessert i studentene derfra. Likevel var det stor forskjell mellom bedriftene, både de store og godt etablerte selskapene og mindre start-ups som jeg var i kontakt med. Noen jobber direkte med nanoteknologi og har naturligvis mye kunnskap om det. Mitt inntrykk er at flere og flere bedrifter som holder på med forskning og utvikling får interesse for nanoteknologi. |
| 30 | Jeg sökte meg spesifikt bort fra nanoteknologi, så når det gjelder å finne relevante jobber så kan jeg ikke svare. I de stillingene jeg sökte så ble de forbausest av at jeg sökte "softskill-baserte" stillinger - jeg som hadde en så teknisk utdannelse. Sånn sett følte jeg at bedriftene visste hva nanoteknologi var. |

Continued on next page

Table 6 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 7. Var det vanskelig å finne relevante ledige stillinger? Opplevde du at bedriftene visste hva nanoteknologi var og hva de kunne bruke deg til? |
|----------|---|
| 31 | Ja, det var vanskelig å finne jobber som drev direkte med nanoteknologi. Nei, ofte opplyste jeg bedriften om hva nanoteknologi var og hva vi kunne brukes til. |
| 32 | |
| 33 | Nanoteknologi alene er ikke en døråpner i jobbmarkedet, det må kombineres med kunnskaper/skills/interesse innenfor en bransje. |
| 34 | Lett å finne relevante PhD stillinger, mye forskning som inneholder nanoteknologi i mange fagfelt. Hos bedrifter helt motsatt, de fleste viste lite kunnskap/interesse, og veldig få bedrifter med forskning eller utvikling av nanoteknologi. |
| 35 | Jobber på NTNU, så ikke en problematikk jeg er kjent med. |
| 36 | Ja, veldig vanskelig. Jobbet først i IT-konsulentselskap. Fikk vite om jobben i Mo-saic via en bekjent. Generelt vet ikke industrien hva de skal bruke nanoteknologer til (i hvert fall ikke i 2011, da jeg søkte jobb), og jeg opplevde dem som konservative (skal ha fysiker/kjemiker/elektro-siv.ing, dette er etablert merkevare) |
| 37 | Relevante stillinger som inkluderte nanoteknologi var veldig vanskelig å finne. Jeg lyktes i å finne en en stund etter at jeg hadde fått en annen jobb. Bedriftene viste og vet i liten grad hva nano er og hva det kan brukes til. Mange bedrifter frykter man er superspesialist på små detaljer og sliter med å forstå de store linjene. |
| 38 | Det var ikke vanskelig å få jobb. Bedriftene jeg søkte hos viste at nanoteknologistudiet har gode studenter. Jeg lette ikke etter jobber direkte knyttet til nanoteknologi. |
| 39 | Jeg syntes ikke det var så vanskelig å finne interessante ingeniørstillinger, men å finne veldig relevante stillinger for nanoteknologi er det ikke så mange av. Jeg søkte mest trainee-stillinger, og opplevde at bedriftene var ganske positive fordi de vet at nanoteknologi har veldig høye opptakskrav, og til traineeestillingene er de stort sett åpne for flere bakrunner. Jeg søkte ca 8 jobber (kun traineeestillinger tror jeg), ble invitert på 3 intervju. |
| 40 | Ja, veldig få vet hva nanoteknologi er og hvordan de kan dra nytte av det. Enkelte har hørt det er flinke folk på studiet men vet lite utover det. |
| 41 | Søkte ingen nanospesifikke stillinger. Men ja, vanskelig å finne nanorelevantestillinger utenfor akademia. Bedriftene vet i noen grad hva nanoteknologi er, men ikke hvilken kompetanse nanoteknologistudenter sitter med. |

Table 7: Questionary for graduate MTNANO students

| Entry Id | 8. Har du vurdert å jobbe i utlandet/ har du inntrykk av hvordan arbeidsmarkedet er internasjonalt for nanoteknologer? |
|----------|---|
| 1 | Ja, men har liten innsikt over mulighetene. |
| 2 | vet ikke |
| 3 | Jeg skal nå dra på et års utenlandsopphold ved en synkrotron i USA. Der virker det som nanoteknologi er en veldig relevant utdanning. |
| 4 | Nei. Lite kunnskap om dette dessverre. |
| 5 | Har ikke vurdert det noe særlig, men tror det er flere muligheter i utlandet. |
| 6 | Har ikke vurdert. |
| 7 | Har vurdert, men ikke gjort noen undersøkelser. |
| 8 | Vet ikke. |
| 9 | Ja, tror det er flere jobber utenlands. |
| 10 | Nei. |

Table 7 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 8. Har du vurdert å jobbe i utlandet/ har du inntrykk av hvordan arbeidsmarkedet er internasjonalt for nanoteknologer? |
|----------|--|
| 11 | Vurderer jobb utenlands nå etter doktorgraden. Relativt greit med postdoc stillinger som kan være relevant. Innen industri er det mer metoder, verktøy fra doktorgraden som er overførbart til andre felt. |
| 12 | Som et steg videre etter min periode som sitpendiat, så kan det bli et alternativ med dagens jobbmarked. Spesielt om man skal lete etter noe som er faglig relevant og ikke er direkte knyttet til et universitet. |
| 13 | Har vurdert det, men da kun innen forskning. Har ellers ikke noe inntrykk. |
| 14 | Jobbet i utlandet i tre år, men ikke relatert til nanoteknologi |
| 15 | Nei, men det er nok et bedre arbeidsmarked i mange andre land med tanke på industri særlig knyttet til bionanoteknologi. |
| 16 | Mitt inntrykk er at det er mest relevant innenfor akademia |
| 17 | Ja. Det virker enda mer ukjent og vanskeligere i utlandet (også fordi siv.ing. ikke er en internasjonal tittel) |
| 18 | Nei |
| 19 | Ja, i Danmark. |
| 20 | Vet ikke |
| 21 | Ja. Eg jobbar i utlandet no (eittårig stilling), og når eg skal søke jobb på nytt, kan eg godt tenkje meg å jobbe i utlandet. Danmark, Sverige, Nederland og Tyskland er mest aktuelt. Har inntrykk av at det er flere relevante jobbar (spesielt innan industri) i dei landa. |
| 22 | Det virker gjerne som om det er flere relevante bedrifter, som f.eks. innen produksjon av halvledere eller andre mikrokomponenter hos store fabrikasjonsbedrifter. Muligheter det finnes få av i Norge. |
| 23 | Har ikke vurdert det |
| 24 | Nei, ikke enda. |
| 25 | Nei |
| 26 | nei |
| 27 | Ikke vurdert utlandet. |
| 28 | Jeg har ikke vurdert dette. |
| 29 | Jeg har tenkt at det er en mulighet, men har ikke undersøkt spesifikke bedrifter/arbeidsplasser i utlandet. Hvis man ser til universiteter i utlandet er det mye aktivitet på nanoteknologi, så det kan jo være en indikasjon. |
| 30 | Jeg har ingen anelse hvordan arbeidsmarkedet er internasjonalt for en nanoteknolog som ønsker en jobb innen nanoteknologi. |
| 31 | Har ikke undersøkt det, da jeg gjerne ville jobbe i Norge. Det er sikkert muligheter på universiteter, både i utlandet og i Norge. |
| 32 | Ikke med det første. |
| 33 | |
| 34 | Nei. Flere bedrifter med nanotek i feks Sverige eller Danmark, men vet lite om hvor lett det er å få seg jobb eller om de faktisk er interessert i personer med nanotek bakgrunn sammenliknet med kjemi, mattek, fysikk eller biologi. Integrerte nanostudier er ganske sjeldent, er veldig få som identifiserer seg som nanoteknologer, også i forskningsverdenen, kan være med å bidra til forvirringen. (Typisk spørsmål: "Jada, du har jobbet med nanoteknologi, men hva er bakgrunnen din? Fysikk, kjemi?") |
| 35 | Muligens som postdoc, har ikke tenkt på det i forbindelse med å jobbe i bedrift. |
| 36 | Ikke vurdert å jobbe i utlandet. |

Continued on next page

Table 7 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 8. Har du vurdert å jobbe i utlandet/ har du inntrykk av hvordan arbeidsmarkedet er internasjonalt for nanoteknologer? |
|----------|--|
| 37 | Ja, har søkt stillinger i utlandet. Markedet virker å være noe bedre der, særlig i nordeuropa og USA. |
| 38 | Jeg jobbet i utlandet i 1.5 år fra 2013-15. Jobben var imildertid ikke knyttet til nanoteknologi, men til ingeniøryrket generelt. |
| 39 | Jeg jobber i utlandet (Tyskland). Jeg var ansatt som trainee i Rolls-Royce Norge og hadde min siste plassering i traineeprogrammet hos Rolls-Royce i Tyskland. Da jeg var trainee her såkte jeg fast jobb her istedenfor å reise tilbake til Norge og begynne i en fast stilling der. Jeg opplevde at folk var skeptiske til spesialiseringen min her. Her har de alle fleste ingeniørene spesialisering i maskin-, elektro- eller luftfartsteknikk. Til og med lederen i materialavdelingen var skeptisk til nanoteknologi, han sa de stort sett ansatte nyutdannede med maskinbakgrunn som hadde spesialisert seg innen materialteknologi, eller materialteknologer med spesialisering/PhD innen materialer og teknikker for luftfart.. Men jeg såkte på 4 utlyste ingeniørstillinger her i Rolls-Royce i Tyskland og fikk jobb som designer i en avdeling som utvikler en del av flymotoren som vi kaller Externals, eller Installations. Jeg tror jeg vil ha gode sjanser for å få jobb i materialavdelingen etter å ha jobbet som designer i et par år. |
| 40 | Nei, men har inntrykk av at det er lettere i utlandet. |
| 41 | Nei |

Table 8: Questionary for graduate MTNANO students

| Entry Id | 9. Hvordan opplevde du studietiden faglig? |
|----------|--|
| 1 | Stort sett meget bra. Naturlige variasjoner i kvalitet på fag/forelesere/relevans, men samlet sett meget tilfredsstillende. Nanostudentene er også engasjerte i å gi tilbakemelding på studiets oppbygging og relevans, noe som er verdifullt for å gjøre tilpassninger. |
| 2 | bra |
| 3 | Totalt veldig bra, kunne tenkt meg enda fler fag som handlet om hvordan vi kan bruke tverrfagligheten. |
| 4 | Bra. Det var selvfølgelig noen fag jeg var mer interessert i enn andre, men jevnt over veldig givende. Synes tverrfagligheten i MTNANO er viktig å ta vare på. |
| 5 | Høyt faglig nivå, men svært krevende i starten. Det er vanskelig å bli god på så mange ulike fagfelt, man hadde nok følt at man har mer faglig tyngde om man hadde holdt seg til et fagfelt (kjemi, fysikk, medisin, biologi etc) i stedet for å lære litt (mye) om alt. |
| 6 | Stort sett bra. Litt frustrerende at det var lite respekt for den ikke-eksperimentelle retningen. F.eks. var det obligatorisk med fordypningsemne innen NTNU Nanolab, selv om prosjekt og master ikke skulle ha noe med laboratoriet å gjøre. Burde hatt mer programmering og softwaredesign. Dette er virkelig nyttig i jobb. |
| 7 | Faglig slet jeg veldig med motivasjonen og å finne gleden i å lære på NTNU. I ettertid opplever jeg at jeg burde valgt et annet studium. |
| 8 | Bra. |
| 9 | Veldig god. |

Continued on next page

Table 8 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 9. Hvordan opplevde du studietiden faglig? |
|----------|--|
| 10 | Nanoteknologistudiet har mange interessante fag, men favner ganske bredt. I min nåværende stilling hadde jeg nok hatt bedre utbytte av en ren fysikk-utdannelse, men fordi det er et godt faglig fellesskap på nanoteknologistudiet – dvs. at det er mange faglig dyktige medstudenter – ville jeg fortsatt anbefalt studiet til nye søker. |
| 11 | Litt prøvekanin som første kullet. Tok ekstrafag en del semestere da tempo i en del av fagene var heller lavt. |
| 12 | Bra utfordrende, men ettersom jeg var en del av første kull så var den noe uklar og føltes litt som man hoppet mellom ujevne faglige utfordringer. Totalt sett var det bra. |
| 13 | For min del ikke så positivt, men det er kanskje pga personlighet og interesser. Føler jeg står igjen og kan litt om alt, men uansett hvor jeg søker jobb er det noen som har studert rein fysikk, kjemi eller lignende som kan mer enn meg. Faller litt mellom mange stoler. |
| 14 | Bra! |
| 15 | Bra, særlig utvekslingsåret |
| 16 | Gøy sosialt, mye faglig ble for bredt. For lite fordypning |
| 17 | Høy kvalitet, men varierende grad av pedagogisk tilnærming. |
| 18 | det tok lang tid før jeg skjønte hva jeg kunne bli. Følte også at delingen av fagretningene skjedde for sent. |
| 19 | Var spennende, men det var kjapt å ikke være en del av et etablert fagfelt. Hørte ikke hjemme noen plass. Kunne ønske at jeg hadde tatt en annen linje og heller valgt spesialisering i nano. Når man kom inn i etablerte fagfelt manglet man litt av det undervisningen bygget på. |
| 20 | Gøy |
| 21 | Spennande og krevjande. Det er bra at det er såpass tverrfagleg, men det går kanskje litt mykje på bekostning av spesialisering. Følte litt på å "havne mellom to stolar", både fagleg og organisatorisk. Fordjupningsemnet var ganske skuffande med tanke på organisering og opplegg (det me klaga på var nøyaktig det same som har blitt klaga på åra før, uten at noko skjedde) |
| 22 | Bra, med mange nye og spennende fag. Fortsatt en del jeg i ettertid ser på som irrelevante og unødvendige for egen læring, fag jeg gjerne skulle ha byttet bort mot noe av mer interesse. |
| 23 | Mange spennende fag |
| 24 | Veldig tverrfaglig og givende. Man blir ekspert på å forstå litt av språket innen ulike fagretninger. |
| 25 | Svært givende - styrket min interesse for teknologi og miljø betydelig. |
| 26 | bra |
| 27 | Mye spennende fag, men opplevde at instituttene lagde fag for sine respektive studieprogram som da måtte inn i vår fagplan og ikke at fag ble lagd med fokus på nanoteknologistudiet. |
| 28 | I ny og ne fikk jeg litt inntrykk av å være forsøkskanin eller å bli vurdert som svært kapabel, kanskje uten helt solid nok grunnlag. Et eksempel er når vi fikk Fysikk 1 i første semester, et fag som krevde matte 1 og 2, fag vi enda ikke hadde hatt. Dette var utfordrende, vanskelig men samtidig lærerikt. |
| 29 | Stort sett veldig bra. |
| 30 | For meg ble studiet for teoretisk og dette var årsaken til at jeg aldri søkte jobber innen nanoteknologi. |

Continued on next page

Table 8 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 9. Hvordan opplevde du studietiden faglig? |
|-----------------|---|
| 31 | Veldig bra! Lærerikt! |
| 32 | Fantastisk! |
| 33 | - For stor spredning i basisfagene, det er tøft å ta kjemifag med kjemistudentene og fysikk med fysikkstudentene. Her kan man rendyrke fysikken noe mer uten at det går på bekostning av videre fag for de fleste. Hvis man ikke får til dette bør avanserte fysikkfag som stat-term utgå - det blir for mye å forlange - kan være valgfritt. - Nanofagene som Nanoverktøy, nanomaterialer og bionanoteknologi veldig positivt. - Bør være mer veiledning og veiledningen bør knyttes opp til ulike bransjer og hvordan nanotek tas i bruk i dem. Det finnes ingen nanobransje! |
| 34 | Flere bra enkeltfag, spesielt de som var mer tilrettelagt nanoteknologi. Men totaliteten var lite gjennomtenkt, flere av de fagene som var laget for andre studieretninger var lite relevante, og spesielt i bionanospesialiseringen var det alvorlig mangel på relevante fag de siste 2 årene. |
| 35 | Bra, men følte også litt at nanostudiet var en mashup av kjemi, fysikk og materialeteknologi uten sin helt egne faglige identitet før ganske sent i studiet. |
| 36 | Veldig spennende! Og utfordrende. Hadde noen opplevelser av at jeg ikke hadde tilstrekkelig bakgrunnskunnskap for alle fagene vi hadde. |
| 37 | Stort sett bra. Noe vanskelig, noe enkelt og noe bar preg av at det var første kullet. |
| 38 | Jeg likte best de "generelle ingeniørfagene" (som matte, fysikk, kjemi etc) vi hadde de første 2.5 årene på nanoteknologi. Etterhvert som fageen ble mer direkte knyttet opp mot nanoteknologi ble jeg mindre interessert, og innså at jeg ikke ønsket å fortsette med dette etter endt studie. |
| 39 | Interessant, men jeg skulle ønske det var mindre forskningsrettet. Jeg skulle ønske flere fag - hvertfall fysikk- og materialfag var mer industrirettet. Det skjer mye innen utvikling av aluminium, silisium, 3D printing, materialer/maling for skip, bygg, olje og gass (og luftfart, ikke minst :)) som er kjemperelevant for nanoteknologi. Vi kunne brukt eksempler eller utfordringer fra næringslivet og jobbet med det. Jeg skulle også gjerne vært litt mer "ingeniør" og mindre "naturviter", feks med et par rene mekanikk- eller termofag. |
| 40 | Krevende, tidvis spennende men også en del tunge og kjedelige fag. |
| 41 | Særdeles bra. |

Table 9: Spørreundersøkelse for uteksaminerte MTNANO-stud

| Entry Id | 10. Hvordan opplevde du studietiden sosialt? |
|-----------------|---|
| 1 | Meget bra! At årskullene er så små gjør at linjeforeningen Timini står veldig sterkt, og det blir et sterkt samhold på nano hvor man kjenner de fleste på studiet på tvers av årskullene. Timini er en veldig aktiv og engasjerende linjeforening og skaper et sosialt rom for de aller fleste. |
| 2 | bra |
| 3 | Ekstremt bra. Bra folk, liten klasse som tar vare på hverandre, veldig bra linjeforening. |
| 4 | Bra. Likte at det var få studenter og et tett miljø. |
| 5 | Veldig bra på alle måter! |
| 6 | Nanoteknologi-miljøet var bra og inkluderende. |
| 7 | Sosialt var studietiden kjempebra. Klassemiljøet er glimrende, og jeg engasjerte meg i flere ikke-faglige aktiviteter. |

Continued on next page

Table 9 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 10. Hvordan opplevde du studietiden sosialt? |
|----------|--|
| 8 | Ekstremt bra. |
| 9 | Enda bedre. |
| 10 | Takket være Timini har studiet et flott sosialt miljø! |
| 11 | Bra, stort sett på grunn av at vi laget et bra sosialt miljø selv. Av ting fra NTNUs side var vel disponering av kontor i RF-bygget og felles lesesal av de positive tiltakene som jeg husker. |
| 12 | Meget bra. |
| 13 | Veldig bra. Stimulerende miljø med fantastiske folk. Bra med små klasser. Sitter igjen med et sosialt utbytte, som alene er nok til å rettferdiggjøre tiden jeg brukte på nano, selv om det ikke var optimalt faglig. |
| 14 | Veldig bra! |
| 15 | Bra, veldig bra gjeng som gikk i klassen |
| 16 | Upåklagelig |
| 17 | Meget bra. |
| 18 | en svært sosial tid. |
| 19 | Veldig godt klassemiljø, om noe kompetativt. Trondheim var en super studieby! |
| 20 | Gøy |
| 21 | Veldig bra! Hadde ikkje overlevd det faglige uten å ha eit bra sosialt nettverk som støtte. Trur fråfallet hadde vore langt større utan Timini og det sosiale miljøet på nano gir og mykje fagleg støtte. Samfundet/NTNU/ISFiT hjalp og mykje på trivselsen. |
| 22 | Veldig bra, ingenting å utsette. Linjeforeningen Timini er og blir det beste stedet for nanoteknologistudenter. De virker også å være de eneste på Gløshaugen som bryr seg om å forbedre studiet. |
| 23 | Veldig godt miljø på nanoteknologi, og mange muligheter for å være sosial utenfor skolen. Benyttet meg ikke av alle muligheter, men fant min "greie" og trivdes med det |
| 24 | Inkluderende og innholdsrik |
| 25 | Meget bra - tett og liten gruppe! |
| 26 | veldig bra |
| 27 | De små kullene og stor aktivitet fra linjeforeningen gjorde at det var veldig bra sosialt på studiet. |
| 28 | Meget bra. Det sosiale samholdet i nano, i det minste i mitt kull, var særdeles bra. |
| 29 | Super. |
| 30 | Det beste med studietiden var det sosiale, og da vil jeg trekke frem det å være med å bidra i Trondheims mange frivillige organisasjoner. Selv var jeg aktiv i vår egen linjeforening og UKA. |
| 31 | Helt fantastisk. |
| 32 | Fantastisk! |
| 33 | Den beste tiden i mitt liv. Allikevel bør man være oppmerksom på noen uheldige tendenser. Studentene har en veldig virkelighetsfjern oppfatning av hvor viktig karakterer er for jobb og karriere. Vær oppmerksom på skjult prestasjonsjag og maktstrukturer basert på idrettsprestasjoner og karakterer. Vær oppmerksom på risiko for "trange normaler" og konformitet. Mange studenter på Gløshaugen og Nano er fra samme sosio-økonomiske bakgrunn og det finnes tendenser til lite reflekterte holdninger til minoriteter (etnisitet, interesser, LGBT). |
| 34 | Veldig bra, det eksepsjonelle studiemiljøet på nanoteknologi økte nok fullføringsgraden betydelig i lys av den rotete studieplanen og sprikende fagkvalitet. |

Continued on next page

Table 9 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 10. Hvordan opplevde du studietiden sosialt? |
|----------|---|
| 35 | Kunne ikke blitt bedre. |
| 36 | Kjekt. Vi startet linjeforeningen Timini, og hadde mye moro med dette. Var også aktiv under UKA og i NTNUI. |
| 37 | Veldig bra |
| 38 | Ekstremt bra! Til tross for at nanotokenologi ikke var det beste valget for meg faglig, fullførte jeg studiet på grunn av det gode sosiale miljøet. |
| 39 | Veldig bra - det sosiale var kanskje det beste med studietiden i Trondheim. |
| 40 | Mye sosialt, Veldig bra miljø med linjeforeningen. |
| 41 | Særdeles bra. |

Table 10: Questionary for graduate MTNANO students

| Entry Id | 11. Har du andre kommentarer og forslag vedrørende organisering og kvalitet på studiet? |
|----------|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | Få dagens nanostudenter til å tro på seg selv og tren dem i nytenkning og kreativitet! Jeg tror det vil bli vanskeligere og vanskeligere å skaffe seg inntekt (uansett utdanning) i fremtiden uten dette. Og det er spes. viktig i disse tider med oljenedgang. |
| 5 | - Nanointro var et lite motiverende fag. - Det er utfordrende å ha kjemi med kjemikere og fysikk med fysikere uten samme bakgrunn som dem. - Bioteknologi var et ganske unyttig fag. - Halvleiderfaget var et dårlig fag, men egentlig veldig nyttig om det hadde vært lagt vekt på de riktige tingene. - Kolloidkjemi er et innstruktivt og nyttig fag alle bør ha. Faget bør delvis sees i sammenheng med bionanoteknologi. Sistnevnte kunne vært enda mer spennende om man tok utgangspunkt i at man hadde kolloid i bunnen. - Man går glipp av mange spennende fag på utveksling! Derfor bør fag og utveksling være mer fleksibel. - Prosjekter og laboppgaver er mye mer lærerikt og givende enn øvinger. - Studiet ble først veldig spennende da man begynte på prosjektoppgave siste året. |
| 6 | Se pkt.9 |
| 7 | Dette går ikke kun på nanoteknologi-studiet, men en rådgivningstjeneste som faktisk kan hjelpe til å ta et veloverveid studievalg er noe utdanningsinstitusjonene trenger. For å minske feilvalg hos studentene. |
| 8 | Burde inneholdt flere fag med skriving av oppgaver og tekster. |
| 9 | Mer praksis tidligere! |
| 10 | Som fysiker kunne jeg ønsket meg mer grunnleggende fysikk-fag i studieløpet. TKJ4215 bringer inn mange gode perspektiver, men kunne med fordel hatt litt mer av den systematiske tilnærmingen i TFY4230. TFY4215 bør inn som obligatorisk emne for alle nanostudentene. TFY4240 og TFY4345 hadde også vært nyttige. Det er bra å bli eksponert for numerikken i TMA4130 tidlig, men studiet kunne med fordel tatt for seg den komplekse analysen i TMA4120. |
| 11 | Ikke egentlig. |
| 12 | |

Continued on next page

Table 10 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 11. Har du andre kommentarer og forslag vedrørende organisering og kvalitet på studiet? |
|----------|---|
| 13 | Vansklig å si, kanskje opplyse om jobbmulighetene etterpå. I praksis føler jeg at forskning er eneste relevante veien. Kanskje og bedre veiledning på hvilke fag man burde ta. Men ellers tror jeg det er vanskelig å gjøre ting mer helhetlig uten å miste bredden. |
| 14 | Mer info om jobbmuligheter etter studiet |
| 15 | Informer studentene tidlig om jobbmuligheter. For de som ikke ønsker å jobbe med forskning er det kanskje bedre å velge en annen siv.ing.-linje. |
| 16 | Tidlige fordypning! 3 år med generelle fag er for mye. Alle burde på utveksling |
| 17 | I den veien jeg har valgt å gå hadde jeg hatt mer bruk for "vanlige" siv.ing-fag som reguleringsteknikk og fluiddynamikk, som jeg ikke hadde på nano. Men det ville kanskje være å bevege seg vekk fra nanoteknologifaget dersom en tok disse fagfeltene med i studiet... |
| 18 | viktig å informere om hvilke muligheter som finnes ved endt studie. Slik jeg så det, var det to muligheter. Enten å fortsette med en doktorgrad, eller finne en siv.ing jobb som ikke har noen ting med nanoteknologi å gjøre. Det er mulig dette endrer seg i løpet av de neste årene, men i alle fall viktig å informere om at det er omtrent slik fordelingen har vært hittil. |
| 19 | Er kritisk til at nano skal være et eget studie, hadde selv foretrukket fysmat, materialteknologi eller elektronikk med spesialisering. |
| 20 | |
| 21 | Eg har inntrykk av at nanostudentane bryr seg om studiet sitt og har gjort veldig mykje på eiga hand. Både når det gjeld det sosiale (det er uansett normalt at linje-foreningane styrer seg sjølv), men at me óg har måtte kjempe unødvendig mykje for å få gjennom saker som har meir med organisering av studiet og det faglige å gjere. Ting som kanskje ikkje har vore så vanskelege for andre studieretningar som er meir etablert (og vokst av seg barnesjukdommane) og har eige institutt å forholde seg til. Veldig mange av oss er veldig engasjerte, og me har til dømes diskutert fagplanen opp og i mente fleire gonger både på forum og lunsjpausar m.m. Så forslaga me kjem med er gjennomtenkt og basert på eigne erfaringar. Så eg håpar at nanostudentane blir høyrt i evalueringa, både via spørjeundersøkinga og dei studentrepresentantane som er med på sjølve evalueringa. |
| 22 | I 2010 var hvertfall hverken Teknostart eller Nanointro-faget en særlig god start på studiet. De hadde liten tilknytning til resten av studieløpet. Fagplanen var til tider også satt sammen på et merkverdig vis. Spesialisering synes jeg skjer for sent ila studiet, flere fag jeg gjerne skulle droppet for å prioritere annet innen egen interesse. |
| 23 | , |
| 24 | |
| 25 | Nei, fortsett å promotere mot bedriftene og vær aktive med å søke samarbeidsprosjekter med næringslivet hvor studentene bidrar inn i prosjektene, eksempelvis gjennom Nanolab. |
| 26 | |
| 27 | Lag må utformes mer med tanke på nanoteknologistudiet og hva vi skal lære og hva slags forkunnskaper vi har. Etter å ha jobbet litt på IET ser jeg at alle fagene blir laget for elektronikkstudiet og så må nano kaste seg på noen av dem uten at de er tilpasset på noen måte. Det burde være noen med tid avsatt for å organisere nanostudiet slik at det ikke blir på nærmest frivillig basis som i dag. |

Continued on next page

Table 10 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 11. Har du andre kommentarer og forslag vedrørende organisering og kvalitet på studiet? |
|----------|--|
| 28 | Jeg mener selv Nanotools var et av de mest lærerike fagene jeg har tatt. Dette faget burde være noe alle nanostudenter tar, ikke bare de som blir igjen fra utveksling. Jeg likte meget godt undervisningsstilen Ton la opp til i faget når jeg tok det; Vi måtte tilegne oss kunnskap og deretter bruke det i en problemstilling som vi selv måtte løse uten at noen holdt oss i hendene. Her: Vi skulle bruke flere metoder og analysere data fra dem for å karakterisere en prøve og deretter skrive en omfattende rapport om arbeidet. Faget lærte oss ikke bare labteknikker men lot oss bruke kunnskap vi har tilegnet oss i andre fag for å løse en problemstilling. Dette var svært lærerikt og flere fag burde være lagt opp mer i samme retning. |
| 29 | |
| 30 | Lytt til studentene som går på studiet! På nanoteknologistudiet finner du ekstremt smarte og engasjerte mennesker - de vet hva de snakker om når de kommer med forslag eller ønsker endringer. |
| 31 | Det var mye prøving og feiling de årene jeg gikk der. Mange endringer i fagplan. Jeg tok dette helt som det kom, men mange synes det var vanskelig å planlegge, og at det virket litt tilfeldig. Jeg synes den røde tråden var god, og at jeg lærte veldig mye tverrfaglig. Utfordrende å skrive master (i fysikk) når jeg har gått nano, og ikke 4 år med fysikk. Krever forståelse fra veileder om at man ikke er på samme nivå som de som har gått de repektive linjene (fysikk, kjemi, materialteknologi). |
| 32 | |
| 33 | |
| 34 | Det er mye territoriell krangel mellom de forskjellige spesialiseringene, men fagene de vil ha inn er ofte i liten grad tilpasset nanoteknologistudentene. Større grad av modernisering og tilpasning i mange fag hadde vært gunstig. Å (fortsatt) tillate stor fleksibilitet i individuelle fagplaner er også gunstig når studiet uansett er så tverrfaglig. Største styrke i studiet er tverrfaglighet, kunne utnyttes i mye større grad ved å flette fag inn i hverandre. Krever dog mer spesialtilpasning til nanostudenter. |
| 35 | |
| 36 | Mer samarbeid med industrien, slik at det bli lettere for studentene å finne relevante jobber utenfor akademia. |
| 37 | Hvis den gjennomgående opplevelsen til uteksaminoerte er at det er vanskelig å få jobb som nanoingeniør bør man vurdere å ta inn fag som løfter blikket litt, kanskje med fokus på innovasjon, for å forberede studentene på livet etter NTNU. |
| 38 | |
| 39 | Jeg tror én av retningene på studiet kunne vært "industriell nanoteknologi". |
| 40 | |
| 41 | |

N Questionnaire current students

Table 11: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | Hvilket årskurs går du i? | 1. List opp 3 grunner for at du bestemte deg for å studere nanoteknologi | | |
|----------|---------------------------|---|--|--|
| 1 | Første året | 1 fremtidsrettet | 2 nytt og spennende | 3 glad i realfag |
| 2 | Femte året | Spennende, nytt studium | Anbefaling fra lærer vgs | Høyt karaktersnitt |
| 3 | Første året | 1. Nyskapende | 2. Tverrfaglig | 3. Vanskelig |
| 4 | Første året | 1Tverrfaglighet | 2Framtidsrettet | 3Flinke medstudenter |
| 5 | Femte året | 1 Tverrfaglig | 2 Nyskapende | 3 Høyt karaktersnitt |
| 6 | Tredje året | Framtidsretta | Mulighet for forskning på banebrytende områder | Løysinga på mange samfunns og verds problem forhåpentligvis |
| 7 | Fjerde året | 1 Nytt fagfelt, noe "ingen" har gjort før | 2 Tverrfaglig studie | 3 Spennende fremtidsutsikter |
| 8 | Første året | 1 Virket spennende | 2 Det er fremtidsrettet | 3 Inntrykk av veldig bra miljø |
| 9 | Fjerde året | 1 Høyt inntakskrav | 2 Teknologi for fremtiden | 3 Høy lønn etter endt studium |
| 10 | Første året | 1Liker realfag | 2Høyt nivå blant medstudentene | 3Fremtidsorientert |
| 11 | Tredje året | Tverrfagelighet | Motiverende å få ta del i/se på high-end forskning | Jeg kom inn på studiet. |
| 12 | Andre året | Framtidsretta | Vanskelig/utfordrande | Moglegheita til å skape noko nytt i framtida |
| 13 | Første året | Det mest fremtidsrettede studieområde | tverrfaglighet. Studiet kan brukes overalt. | Eksklusiviteten. Er blant de beste og flinkeste. Likeminded. |
| 14 | Tredje året | 1 Nytt felt | 2 I Trondheim | 3 Linjeforeninga har et kor |
| 15 | Femte året | 1 Tverrfaglighet | 2 Jobb | 3 Miljøfokus |
| 16 | Andre året | Jeg ønsket en tverrfaglig utdanning for å ha mange muligheter for arbeid etter endt studium | Jeg visste at jeg ville bli sivilingeniør og at jeg ville studere ved NTNU | Jeg tror at nanoteknologi er fremtiden på mange områder |
| 17 | Første året | 1 Høyt snitt | 2 Blanding av kjemi, fysikk og matte | 3 Spennende med noe som ikke er så veldig godt "utforsket" |
| 18 | Første året | Jeg er interessert i mange av realfagene | Mer kjemi enn fysmat | Spennende og dynamisk fagfelt |
| 19 | Fjerde året | Interesse for realfag | Nanoteknologi virket som et spennende og fremtidsrettet | Et studie i nanoteknologi åpner for tverrfagelighet |

Continued on next page

Table 11 – Continued from previous page

| Entry Id | Hvilket årskurs går du i? | 1. List opp 3 grunner for at du bestemte deg for å studere nanoteknologi | | |
|----------|---------------------------|---|---|---|
| 20 | Andre året | 1 Tverrfaglig | 2 Nytenkende | 3 Høyt faglig nivå |
| 21 | Tredje året | 1 høyt opptakskrav | 2 framtidsrettet studie | 3 flinke medstudenter |
| 22 | Første året | 1Fremtidsrettet | 2Spennende | 3tverrfaglig |
| 23 | Femte året | 1 Nanoteknologi virket veldig spennende, særlig bio-retningen | 2 Bredden på fagene | 3 Jeg visste ikke helt hvilken retning jeg ville ta, så jeg valgte nano som hadde mye forskjellig |
| 24 | Tredje året | 1 Fremtidsrettet | 2 Teknologisk | 3 I Trondheim |
| 25 | Andre året | 1 Fascinasjon for bilder av små ting, eksempelvis SEM | 2 Interesse for kjemi | 3 Undring over nanoskala fenomener |
| 26 | Første året | Spennende studieretning | Nysgjerrig på hva nanoteknologi var | Mulighet til å ta del i et nytt forskningsfelt |
| 27 | Andre året | 1 at jeg hadde høyt karaktersnitt | 2 virket fremtidsrettet | 3 trodde det hadde gode jobbmuligheter |
| 28 | Andre året | det virka spennande | likte matte og fysikk frå vgs. | synast kvante virka kjekt å lære meir om |
| 29 | Andre året | 1 Spennende bruksområder | 2 Mulighet for forskning på medisiner | 3 Fremtidsrettet |
| 30 | Andre året | 1 Moderne, nyskapande | 2 Høgt inntakskrav-noko å jobbe mot | 3 Dyr lab med avansert utstyr |
| 31 | Første året | 1. Framtidsrettet | 2. Høye opptakskrav | 3. Realfag |
| 32 | Andre året | Tverrfaglig | Innovativt, spennende, nytt og uutforsket | Utfordrende |
| 33 | Femte året | 1 Jeg er interessert i både fysikk, matematikk, biologi og kjemi. Nanoteknologi er et studieprogram som kombinerer alle disse fagfeltene. | 2 Mange forskjellige fagområder studerer i dag egenskaper til materialer som en funksjon av struktur på atomært nivå. Det er derfor mange forskjellige fagfelt man kan gå videre til dersom man velger å studere nanoteknologi. | 3 Jeg ønsket å fullføre et studium som ikke var rent teoretisk, men også hadde innslag av labarbeid. Spesielt er det attraktivt at man tilbringer tid på NTNU Nanolab i løpet av studiet. |
| 34 | Tredje året | 1Høyt poengsnitt = flinke folk | 2 | 3 |
| 35 | Tredje året | Fremtidsrettet | Høyt inntakskrav | Tverrfaglig, siv.ing. Muligheter for spesialisering innen medisin. |
| 36 | Tredje året | 1 Spennende innovativt fagfelt med mulighet for nyskapning | 2 Kule maskiner som kan manipulere ting på nanoskala | 3 Høyt snitt = flinke folk å studere med |

Continued on next page

Table 11 – *Continued from previous page*

| Entry Id | Hvilket årskurs går du i? | 1. List opp 3 grunner for at du bestemte deg for å studere nanoteknologi | | |
|----------|---------------------------|--|--|---|
| 37 | Fjerde året | 1. Tverrfaglighet | 2. Nytt | 3. Stort potensiale for ny teknologi |
| 38 | Første året | 1. Virker spennende. | 2. Visste ikke hva jeg vil studere, så søkte det vanskeligste. | 3. Liker realfag. |
| 39 | Første året | 1Ville gå materialteknologi, men snittet var så lavt for å komme inn der | 2 Tverrfaglig | 3 Litt mer kjemi og litt mindre fysikk enn andre studier jeg vurderte |
| 40 | Fjerde året | Nytt og spennende | Muligheter for å revolusjonere | Tverrfaglig innen realfag |
| 41 | Første året | 1 Tverrfaglighet | 2 Kan holde på med medisin uten å bli lege | 3 Høres spennende ut |
| 42 | Fjerde året | 1 Det virket som et kult fagfelt | 2 Jeg liker realfag | 3 Jeg visste egentlig ikke helt hva jeg ville studere |
| 43 | Femte året | 1 Tverrfaglighet | 2 Faglig utfordringer | 3 Ønske om å jobbe med forskning |
| 44 | Første året | 1Høyest snitt i Norge. | 2Ville studere ved NTNU. | 3Visste ikke så mye om hva det var. |
| 45 | Andre året | 1: det hørtes spennende ut | 2: Det virker som et felt hvor man kan gjøre noe nytt | 3: Var usikker når jeg begynte, men det sosiale miljøet er helt fantastisk |
| 46 | Andre året | Faglig bredde | Nyskapende teknologi | Fremtidsrettet med stort potensiale |
| 47 | Fjerde året | Jeg hadde nok poeng til å komme inn på studiet | Fagfeltet vekket stor interesse | Det lå nærmere fundamental naturvitenskap enn andre ingeniørlinjer jeg vurderte, noe jeg så på som positivt |
| 48 | Tredje året | Glad i realfag | Fremtidsrettet studie | Spennende å ta del i et så ferskt fagfelt |
| 49 | Første året | Interesse for naturfag og teknologi | Vil redde verden | Fancy studie med godt rykte |

Table 12: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | 2. Hva er forventningene dine til studiet (kunnskap, ferdigheter osv.)? | 3. Arbeidsbelastning |
|----------|---|----------------------|
| 1 | Jeg har en forventning om å oppnå ferdigheter og kunnskaper slik at jeg er rustet for å ta fatt på de utfordringene man møter i arbeidslivet. Jeg regner med at når man går ut i en jobb så må man tilegne seg nye ferdigheter og kunnskaper, samt oppdatere/videreutvikle disse etterhvert, men også at de ferdighetene og kunnskapene jeg har tilegnet gjennom studiet skal være tilstrekkelig til at dette er mulig. | Litt for lite tid |
| 2 | Å lære effektiv problemløsing i mange forskjellige situasjoner, og å være i stand til å innhente ny kunnskap raskt. | Litt for mye tid |
| 3 | Bredhet, samtidig som man har muligheten til å spisse seg etterhvert. Godt studiemiljø med læringslystne studenter. | Passelig med tid |
| 4 | Jeg forventer at vi får en bred faglig bakgrunn med gode kunnskaper i både fysikk, kjemi, matematikk og teknologifag. Dessuten håper jeg vi får en god forståelse for hvordan verden "ser ut" eller "virker" på nanoskala. | Passelig med tid |
| 5 | Hva er, eller hva var? | Litt for lite tid |
| 6 | Breie kunnskaper med muligheter for forskning etterpå | Veldig mye tid |
| 7 | | Litt for lite tid |
| 8 | Forventer å lære mye innenfor forskjellige fagfelt, bli flink til å løse forskjellige problemer og kanskje lære å tenke litt nytt og utenfor boksen. | Litt for lite tid |
| 9 | Bredt kompetanseområde | Litt for lite tid |
| 10 | At det skulle være mye å gjøre til enhver tid. | Litt for lite tid |
| 11 | Lære å kunne kombinere fagfelt for å løse problemer som dukker opp og skape bedre løsninger. Forventer å sitte igjen med mye generell naturvitenskapelig kunnskap og få litt dypere forståelse i master-emnene. | Passelig med tid |
| 12 | Forventar at ein ved endt studium er i stand til å utføre sjølvestding forskning på og utvikling av nanoteknologiprojekt. Forventar eit godt fagleg miljø, med fokus på læring. | Veldig mye tid |
| 13 | Å faktisk få til et nano-revolusjon. Gjøre meg i stand til å kontribuere til verden/samfunnet, eg ikke hadde vært i stand til ellers. | Passelig med tid |
| 14 | Forventet at det skulle være omfattende, men gjennomførbart. | Litt for lite tid |
| 15 | | Passelig med tid |
| 16 | Jeg forventer at det skal være tværfaglig slik at vi som studenter får en bred kunnskap, og på den måten blir i stand til å jobbe med varierende aspekter innenfor teknologi og vitenskap. | Veldig lite tid |
| 17 | Forventer at jeg skal få en utdanning som kan brukes til mye forskjellig. | Passelig med tid |
| 18 | | Passelig med tid |

Continued on next page

Table 12 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 2. Hva er forventningene dine til studiet (kunnskap, ferdigheter osv.)? | 3. Arbeidsbelastning |
|----------|---|----------------------|
| 19 | Gjennom et studie i nanoteknologi forventer jeg å utvikle ferdigheter innen vitenskapelige metoder som utnyttes innen dette fagfeltet. Jeg forventer også å få en bred kunnskap innen mange fagdisipliner, men også mulighet til å fordype meg i ønskede emner. | Litt for lite tid |
| 20 | Å få en god basis i naturfagene, i tillegg til å forstå hva nanoteknologi kan gjøre og være forberedt til å ta del i forskning. | Passelig med tid |
| 21 | At det skal være et høyt akademisk nivå på både fagene, foreleserne, samt studentene | Passelig med tid |
| 22 | Få et bredt grunnlag i realfag generelt, samt en inngående forståelse av nanoteknologi og mulighetene som ligger der i fremtiden. | Passelig med tid |
| 23 | | Litt for lite tid |
| 24 | | Litt for lite tid |
| 25 | Jeg forventer et bredt studium med mye forskjellig kunnskap, i tillegg til muligheten til å spesialisere meg innenfor det jeg føler er interessant | Passelig med tid |
| 26 | Oppdage mange spennende nye ting og blir klar for et arbeid i ettertid. at jeg skal bli attraktiv i arbeidsmarkedet. | Passelig med tid |
| 27 | | Veldig lite tid |
| 28 | Forventer å få både kunnskap og ferdigheter som kan brukast vidar inn i arbeidslivet. | Passelig med tid |
| 29 | Forventningene mine er at jeg skal føle at jeg lærer noe jeg ser at jeg kan få bruk for, for så å kunne bruke dette videre. | Litt for lite tid |
| 30 | Få lov til å slippe til på ulike labaratorium, og få erfaring med bruk av ulike fabrikasjonsprosesser og teknikkar på nanoskala. Få delta i et unikt miljø, og vere med å skape banebrytande forskning og innovasjon. | Veldig mye tid |
| 31 | Jeg forventer en dyp realfagsmessig bakgrunn før jeg får muligheten til å forstå utviklingen og bruksområdene til nanoteknologi. | Litt for mye tid |
| 32 | Forventet og forventer at det blir hardt arbeid. Høye inntakskrav gjør at de fleste er "vant til å være best", noe som kan være et utfordrende miljø innimellom. Dette var også forventet. | Passelig med tid |
| 33 | Jeg forventet å lære grunnleggende fysikk, kjemi, biologi, halvlederteknologi, calculus, programmering og materialteknologi. Samtidig forventet jeg å tilbringe en del tid på lab og å bli forberedt på å utføre forskning på profesjonelt nivå. | Passelig med tid |
| 34 | | |
| 35 | Bred faglig profil innen realfag med ekstra kunnskap og ferdigheter rettet mot lab, biofysikk og materialteknologi/kjemi/fysikk. | Litt for lite tid |

Continued on next page

Table 12 – Continued from previous page

| Entry Id | 2. Hva er forventningene dine til studiet (kunnskap, ferdigheter osv.)? | 3. Arbeidsbelastning |
|----------|--|----------------------|
| 36 | Mine nåværende forventninger til studiet er at jeg skal gå ut med den kompetansen som skal til for å drive grensebrytende forskning og utvikling innen nanoteknologi. Jeg skal også få en internasjonalt anerkjent utdannelse innen er fagfelt som vil bli viktigere og viktigere fremover. Jeg forventer å ha praktisk erfaring med mange av instrumentene og metodene som brukes innen nanoforskning, og jeg ønsker å være i stand til å komme på egne løsninger på problemer som kan løses med nanoteknologi. | Passelig med tid |
| 37 | Forventinger jeg hadde: mange smarte folk, vanskelig, sosialt. Hadde bare hatt ett år med realfag, så visste ikke så mye. | Passelig med tid |
| 38 | Tror studiet kommer til å bli veldig arbeidskrevende, men kommer nok til å klare det. | Passelig med tid |
| 39 | | Passelig med tid |
| 40 | Lære mye, både grunnleggende og "state-of-the-art". Opparbeide ferdigheter for å bli en god forsker og ingeniør, dvs forske, labarbeid, analyse og kommunikasjon. | Passelig med tid |
| 41 | Forventer at jeg lærer mye i både fysikk, matte, kjemi og biologi. Og så at jeg etter endt studie har ferdighetene til å være en god forsker. | Litt for lite tid |
| 42 | Aner ikke, egentlig. Jeg er ikke typen til å forvente det ene eller det andre. | Passelig med tid |
| 43 | Mindre relevant da jeg går 5 årskurs. Forventninger var: høyt faglig nivå, spennende fagområder. | Litt for lite tid |
| 44 | Jeg ønsker og forventer å få bred kunnskap om den fysiske verden på et grunnleggende nivå. Tverrfagligheten i programmet passer meg veldig bra, for jeg søker alltid kunnskap om så mye som mulig. | Litt for lite tid |
| 45 | Jeg har forventninger om at studiet skal være utviklet slik at det gir meg alle de kunnskaper og ferdigheter jeg trenger for å være klar for arbeidslivet etter endt studie. Jeg forventer også at jeg skal bli motivert gjennom fagene og måten studieforløpet utvikler seg til å fortsette på studiet. Videre forventer jeg at det skal være mye å lære seg, og at det skal være slik at man må bruke tid på fagene sine, men at det skal være mulig å gjennomføre studiet uten å overarbeide seg. | Litt for lite tid |
| 46 | Jeg forventer meg å få en solid bredde innen realfag, i tillegg til en spisskompetanse i nanoteknologi. Forventer å tilegne meg gode analytiske evner som vil hjelpe meg når jeg skal angripe komplekse og sammensatte problem som krever nytenkning. | Passelig med tid |
| 47 | Bred og dyp kunnskap innen naturvitenskap og ingeniørfag | Passelig med tid |
| 48 | Det har endra seg mykje i løpet av studiet. I byrjinga var det viktigast at studiet var forskningsretta, at eg kunne få lære mest mogleg nano kjappast mogleg, brei kompetanse var ein fordel. No har eg meir fokus på å spisse kompetansen min, velgje fag som gjer at eg og er ettertrakta i næringslivet, ikkje berre i forskning. | Litt for lite tid |
| 49 | | Litt for lite tid |

Table 13: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | 4. Hvordan oppleves vanskelighetsgraden for emnene du har tatt så langt? | 4.1 Hvilke fag synes du er for krevende? |
|----------|--|---|
| 1 | Ganske vanskelig | |
| 2 | Passelig vanskelig | Faste stoffers fysikk (hvis du tar det før Fysikk 2). Puggedelen av halvlederteknologi. |
| 3 | Ganske vanskelig | Fysikk 1, TFY 4115, er nok det mest krevende så langt. I tillegg er matematikk 1 nokså vanskelig. |
| 4 | Passelig vanskelig | Fysikk og matematikk kan være litt krevende noen ganger, men det er bare gøy. |
| 5 | Ganske vanskelig | Arbeidsmengen i organisk kjemi er for krevende, det er rett og slett for mye. Ellers går det stort sett greit, men vi har definitivt ikke det letteste studieløpet på Gløs. Jeg synes også at Fordypningsemnet er ganske håpløst, arbeidsbelastningen er altfor stor for 9. semester og kvaliteten på modulene er voldsomt varierrende. |
| 6 | Passelig vanskelig | Organisk kjemi |
| 7 | Passelig vanskelig | Enkelte studieretningsemner (bio for min del) forutsetter at man har mye kunnskap innen biologi/cellebiologi/bioteknologi, noe vi dessverre ikke har hatt så mye av tidligere. |
| 8 | Ganske vanskelig | Fysikk 1 |
| 9 | Passelig vanskelig | Kvante II, siden man må ta kvante I og kvante II i samme semester. Her er fagplanen ikke god nok! |
| 10 | Passelig vanskelig | Fysikk |
| 11 | Ganske vanskelig | Egentlig ingen så langt, men det merkes at det er mer krevende å få gode karakterer når det er små klasser og nano utgjør en stor andel av klassen. |
| 12 | Passelig vanskelig | Generell kjemi og Organisk kjemi er fag som til ein viss grad forutsetter forkunskapar i kjemi, sjølv om dette ikkje er krav om for opptak. Desse to faga er därleg satt saman med tanke på omfang av pensum. |
| 13 | Ganske vanskelig | Fysikk 1. De legger faget opp for studenter som er i andre/(tredje?) i andre studieretninger. Eller studenter som har hatt fysikk 2 fra videregående. |
| 14 | Ganske vanskelig | Statistiske fag. |
| 15 | Passelig vanskelig | Fagene overall er veldig gode, men det er et problem at man får introduksjon til pn-junctions, solceller, brenselceller, SEM etc. en gang i alle fag. På den måten lærer man det aldri i dybden, men får samme leksen flere ganger. |
| 16 | Ganske vanskelig | TKJ4102 Organisk kjemi GK og TMT4185 Materialteknologi har alt for stort pensum for bare 7,5 studiepoeng. |
| 17 | Passelig vanskelig | |
| 18 | Passelig vanskelig | Usikker |
| 19 | Passelig vanskelig | Enkelte av fagene kan ha en litt overveldende mengde pensum til det å bare være 7,5 studiepoengsfag. Eksempler på dette er: - TKJ4102 Organisk kjemi - Kvantemekanikk 1 |

Continued on next page

Table 13 – Continued from previous page

| Entry Id | 4. Hvordan oppleves vanselighetsgraden for emnene du har tatt så langt? | 4.1 Hvilke fag synes du er for krevende? |
|----------|---|--|
| 20 | Ganske vanskelig | Synes det bør anbefales sterkt å ha Fysikk 2 fra vgs, da jeg fant fysikkfaget vanskelig første høsten (hadde kun hatt Fysikk 1). |
| 21 | Passelig vanskelig | Fag med veldig stort pensum har vist seg å være vanskelig å få gode karakterer på. Ellers er det meste mulig å forstå seg på om man bare bruker nok tid. Eksempler er: Materialteknologi, Halvlederteknologi, nanomaterialer og bionanoteknologi Det har vært mye "bedre" der hvor pensum ikke er for stort og tydelig spesifisert. Da er det lettere å kunne virkelig lære seg stoffet, istedenfor å bare få en overflatisk kunnskap over et enormt pensum. |
| 22 | Passelig vanskelig | Matte 1 |
| 23 | Ganske vanskelig | Jeg hadde veldig problemer med faststoff. Det var etter vi hadde valgt retning, så jeg hadde ikke så mye motivasjon for et så tungt teoretisk fag da jeg visste at jeg ikke kom til å gå videre med det. Foreleseren var dårlig til å forklare ting og boka var ikke mye bedre. |
| 24 | Passelig vanskelig | Organisk kjemi. |
| 25 | Passelig vanskelig | TKJ4102 organisk kjemi grunnkurs, fordi det er mye arbeid, dårlig opplegg og lite igjen for strevet. TMT4185 materialteknologi, fordi faget mangler fokus og formål, og opplegget er generelt useriøst. TMA4100 matematikk 1, ettersom opplegget behøver revidering for å være en god nok forberedelse til eksamen. |
| 26 | Passelig vanskelig | Ingen ennå. |
| 27 | Veldig vanskelig | Organisk kjemi er et altfor krevende fag. Det er altfor stort pensum og jeg klarer ikke helt å se hvorfor dette faget er nødvendig for videre studier eller karriere. Syns det var veldig krevende å ha fysikk før matte2. Mye matteregning og forståelse som jeg måtte ta på egenhånd for å klare faget. Jeg ser heller ikke poenget med at vi har såpass mange mattefag - spesielt matte 3 og 4. |
| 28 | Passelig vanskelig | Kan ikkje sei eg har hatt nokon enda. |
| 29 | Ganske vanskelig | Fysikk 1 på høstsemesteret i første klasse. Jeg synes også at materialteknologi høst i andre klasse er for stort. Har hørt at de som studerer Materialteknologi går gjennom samme boka som oss, men på to semester. Vi er ikke maskiner selv om vi går nanoteknologi. |
| 30 | Veldig vanskelig | Fysikk i første semester var for vanskelig for meg, på grunn av for lite erfaring med integrering/derivering/tankegang rundt sirkelbevegelsar/polarkoordinatar som ein lærte mykje om i andre semester. |
| 31 | Passelig vanskelig | Fysikk 1 har vært litt tungt i høst, i og med at vi ikke har hatt Matte 1 først. |

Continued on next page

Table 13 – Continued from previous page

| Entry Id | 4. Hvordan oppleves vanselighetsgraden for emnene du har tatt så langt? | 4.1 Hvilke fag synes du er for krevende? |
|----------|---|--|
| 32 | Passelig vanskelig | Organisk kjemi er ikke vanskelig, men arbeidsmengden er altfor stor til at faget kun er verdt 7,5p. Pensum føles svært stort i forhold til pensum i de andre fagene vi har samtidig. |
| 33 | Passelig vanskelig | Jeg synes ikke fagene er for krevende generelt sett. |
| 34 | Ganske vanskelig | |
| 35 | Passelig vanskelig | |
| 36 | Ganske vanskelig | Jeg synes mattefag er litt krevende, da man ikke bare kan lære seg alle metodene, men det også inngår en del intuisjon i hvordan man skal løse problemene. Fag som er relativt tunge på pugging er også krevende. Særlig rett før eksamen når alle detaljer skal sitte som støpt. Halvlederfysikk kunne egentlig vært bestått/ikke bestått for å legge mindre trykk på både dem som tar faget og dem som skal lage eksamen. Det tyngste for meg er allikevel statistikk og statistisk termodynamikk. Dette er fag jeg ikke har klart å bygge opp forståelse for. Noe av grunnen til dette kan være at jeg ikke henger med på teoriene bak. |
| 37 | Ganske vanskelig | Synes de fleste fag har vært greie når det komme til arbeidsmengde. Men mange fag burde vært lagt om. Halvlederteknologi (for mye pugg) er nok det jeg ser mest tilbake på, og Organisk Kjemi (samme grunn). |
| 38 | Passelig vanskelig | TFY 4115 er veldig vanskelig. Dette sikkert fordi jeg ikke har hatt fysikk 2. Syns det å ha fysikk 2 på videregående burde bli obligatorisk. Datt av i TFY4115 fra dag en ettersom jeg kunne svært lite fra før. |
| 39 | Ganske vanskelig | Fysikk og matematikk 1 |
| 40 | Passelig vanskelig | Ingen er for krevende. |
| 41 | Passelig vanskelig | Fysikk er kanskje litt for krevende. |
| 42 | Passelig vanskelig | Organisk kjemi |
| 43 | Passelig vanskelig | Synes nivået er ok dette året, mer prosjektarbeid samt komplementært emne. Store oppgaver, men ikke for høyt nivå. Fordypningsemne Fysiske Metoder for nanostrukturering og karakterisering framstår som svært rotete/dårliginformasjonsflyt og ble krevende på grunn av dette (nivået er greit nok, men det blir mye tid på å sortere ut hva som er korrekt informasjon). |
| 44 | Ganske vanskelig | Matematikk 1 om jeg skulle nevnt ett. Det var overraskende vanskelig, men gikk relativt fint da jeg fikk satt meg skikkelig inn i det under eksamensperioden. |
| 45 | Passelig vanskelig | Så langt synes jeg fysikk i førsteklasse var en krevende start på året. Organisk kjemi er også krevende på grunn av det store pensummet man må gjennom på så kort tid. Statistikk har heller ikke vært det letteste. |
| 46 | Passelig vanskelig | TKJ4102 - Organisk kjemi har veldig stort pensum, og er et fag som krever mye modningstid, så det kan gjerne bli redusert noe. |
| 47 | Passelig vanskelig | |

Continued on next page

Table 13 – Continued from previous page

| Entry Id | 4. Hvordan oppleves vanskelighetsgraden for emnene du har tatt så langt? | 4.1 Hvilke fag synes du er for krevende? |
|----------|--|--|
| 48 | Passelig vanskelig | Bionanovitenskap inneholder mykje pensum, og det er vanskeleg å rekkje over alt. Det samme gjelder for nanomaterialer. Teoribitten i ITGK er også vanskeleg for folk som ikke har god IT-kompetanse på førehand, da spørsmåla på eksamen ofte baserer seg på perifere delar av pensum. |
| 49 | Ganske vanskelig | Fysikk TFY4115! Alle andre som har dette faget går i 2., kun nano som går i 1. Urettferdig vanskelig for oss dette. Fysikk 2 er ikke et krav for å komme inn på studiet, men TFY4115 tar det for gitt at vi kan fysikk 2 fra vgs, og at vi kan matematikk 1 2 3 (noe de som går i 2. har hatt fra før). ITGK eksamen var alt for vanskelig! Vi ble ikke testet på et GRUNNKURS mener jeg. Eksamelen var veldig lang og vanskelig. Unødvendig. Det er ikke dette vi skal få ut av ITGK faget; vi skal ikke bli dataingeniører alle sammen. Vi skal forstå prinsippet og skal kunne bruke programmet (matlab). Men den avanserte programmeringen kan man heller velge som valgfag eller spesialisering senere mener jeg. |

Table 14: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | 4.2 Hvilke fag synes du ikke er krevende nok? | 5. Hvor viktig er den tverrfaglige/tverrfakultære strukturen på programmet? | 6. Hva ønsker du å jobbe med i fremtiden? |
|----------|--|---|---|
| 1 | | Ganske viktig | Jeg vet ikke! |
| 2 | | Ganske viktig | Industrirelatert forskning og teknologiimplementering |
| 3 | Ingen så langt | Ganske viktig | Utvikling av nye teknologiske løsninger eller innovasjoner i et nyskapende selskap. |
| 4 | Nano-intro er ikke så veldig krevende, men det er ofte en del å gjøre. Det handler ikke så mye om forståelse, men mer om hvor god du er til å finne fram til relevant informasjon på internett og i bøker. | Ganske viktig | Forskning, framstilling av materialer, utvikling av ny medisin, konsulenttjenester, olje og gass, energi. Det er veldig mye spennende man kan drive med. |
| 5 | Fysikk 2. Jeg synes vi burde hatt innføring i Kvantefysikk og Bølgefysikk i stedet for dette emnet. | Veldig uviktig | Vel, det er vanskelig. Helt Nanoelektronikk, og ikke noe som involverer labarbeid. Det blir vanskelig å finne noe som er nanorelevant, så kanskje noe innen IT. |

Table 14 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4.2 Hvilke fag synes du ikke er krevende nok? | 5. Hvor viktig er den tverrfaglige/tverrfakustrukturen på programmet? | 6. Hva ønsker du å jobbe med i fremtiden? |
|----------|---|---|---|
| 6 | | Veldig viktig | Forskning og utvikling |
| 7 | | Veldig viktig | Forskning/utvikling, entreprenør, konsulent, undervisning/ viderefremidling av kunnskap på en eller annen måte, eller kanskje noe helt annet. |
| 8 | | Ganske viktig | |
| 9 | | Veldig viktig | Vet ikke |
| 10 | Introduksjon til Nanoteknologi | Passelig viktig | Vet ikke |
| 11 | | Veldig viktig | Forsker (i akademia eller bedrift), konsulent |
| 12 | Nanoteknologi Introduksjon | Ganske viktig | Utvikling av eigne produkt. |
| 13 | Nano-intro og ITGK | Veldig viktig | Forskning og utvikling av nye ting innenfor nanoteknologi. |
| 14 | | Veldig viktig | Produksjon av materialer og/eller medisiner som utnytter egenskaper på nanoskala, eventuelt forske på hvordan disse kan lages. |
| 15 | | Veldig viktig | Miljøvennlig energiteknologi, hydrogen og batterier |
| 16 | | Veldig viktig | Med miljø- og klimaløsninger. |
| 17 | Nano Intro. | Ganske viktig | Forskning kanskje |
| 18 | Usikker | Veldig uviktig | Konsulent |
| 19 | Faget bioteknologi virket for meg veldig overfladisk da jeg tok det og jeg synes man fint kunne gått litt mer i dybden her. | Veldig uviktig | Fremtiden er ennå litt uviss. Det er flere forskjellige ting jeg kan tenke meg. En foreløpig plan er ihvertfall å få "testet" ut arbeidsmiljøet etter endt studie, men jeg ser ikke bort ifra at det å ta en ph.d eller bli selvstendig næringsdrivende er en mulighet. |
| 20 | Nano intro. | Veldig viktig | Romteknologi, håper å kunne bruke nanomaterialer. |

Continued on next page

Table 14 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4.2 Hvilke fag synes du ikke er krevende nok? | 5. Hvor viktig er den tverrfaglige/tverrfakultstrukturen på programmet? | 6. Hva ønsker du å jobbe med i fremtiden? |
|----------|--|---|---|
| 21 | Jeg synes de fleste fagene kan være krevende på sin måte, men om man skal trekke fram noen, må det muligens ble de fagene som ikke gir karakterer: nano intro og måleteknikk. I måleteknikk kunne jeg godt sett at det var karakterer, ettersom jeg ikke ser noen stor grunn for at det ikke skal være det. | Passelig viktig | Jeg vet rett og slett ikke hva jeg vil bli enda |
| 22 | Fysikk | Veldig viktig | |
| 23 | | Veldig viktig | Vet ikke helt |
| 24 | Bioteknologi, medisin for teknologi og realfagsstuderter | Passelig viktig | Medisinsk forskning. |
| 25 | TFE4220 nanoteknologi introduksjon, fordi det kommer fram som et useriøst fag hvor ingen egentlig har sett på hva man ønsker å lære bort. Faget blir et sett med forelesninger som ofte er enten langt over ens nivå eller simpelthen uinteressante og lite lærerike, kombinert med noen større arbeid som ikke alltid er så motiverende som de kunne ha vært. | Passelig viktig | Forskning |
| 26 | Ingen ennå. | Ganske viktig | Muligens noe innen medisinsk bruk av nanoteknologi. |

Continued on next page

Table 14 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4.2 Hvilke fag synes du ikke er krevende nok? | 5. Hvor viktig er den tverrfaglige/tverrfakustrukturen på programmet? | 6. Hva ønsker du å jobbe med i fremtiden? |
|----------|---|---|--|
| 27 | <p>Nano intro-faget var en spøk. Iom at dette ikke har karakterer vil jeg tro det er et motivasjonsfag (noe jeg syns er veldig bra, fordi det er mange som ikke vet hva de faktisk har søkt på). Men oppbygningen av det og gjennomføringen var helt tåpelig. Helt greit med ulike moduler, men faget må bygges opp på en helt annen måte. Her bør man faktisk bruke muligheten til å skape en gnist og en interesse for feltet som kan vare ut studieforløpet. Første endringen jeg ville gjort, er nok å ikke gjøre det til et såpass "faglig" fag med masse formler og prosesser osv (spesielt elektronikkdelen var gørrkjedelig). Dere bør heller få inn engangsforelesere fra næringslivet, sintef, masterstudenter og doktorgradsstudenter som forteller om det de jobber med og belyser hvilke muligheter man har etter endt studium og hvilke muligheter nanoteknologi har for fremtiden.</p> | Veldig uviktig | Helt ærlig, så vet jeg ikke. Kurere kreft? |
| 28 | Kan ikkje sei eg har hatt nokon enda. | Ganske viktig | Eg synast det virker interessant å jobbe med solceller, då gjerne av nanotråder eller noko som involverer coating med nanomateriale. |
| 29 | Synes alle er krevende på hver sin måte. Nanointro kan kanskje bli mer krevende | Passelig viktig | Forskning |

Continued on next page

Table 14 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4.2 Hvilke fag synes du ikke er krevende nok? | 5. Hvor viktig er den tverrfaglige/tverrfakustrukturen på programmet? | 6. Hva ønsker du å jobbe med i fremtiden? |
|----------|---|---|--|
| 30 | | Ganske uviktig | Vil skape et innovasjonssenter med tverrfaglig kompetanse fra NTNU og arbeidsliv. |
| 31 | Ingen. | Ganske viktig | Miljø. |
| 32 | Kjemi 1 er lett, men det er nok varierende etter hvor mye du har hatt på videregående. Nanoteknologi introduksjon er ikke et godt fag og er på en måte både for krevende og for enkelt. Her må det forbedringer til. Per nå går alt av likninger og avanserte metoder som nevnes over hodet på studentene - nivået må senkes på disse aspektene, og mer "hands on"-erfaring må inn. | Ganske viktig | Vet ikke. |
| 33 | Jeg synes kanskje MEMS-design, som jeg tar dette semesteret, er litt for mye repetisjon av ting jeg har lært fra før av. | Ganske viktig | Forskning innenfor faste stoffers fysikk. Jeg vurderer for øyeblikket hvilke konkrete stillinger jeg skal söke på. |
| 34 | | | |
| 35 | Fysikk 2 | Veldig viktig | Medisinsk teknologi: forskning, produktutvikling, mm. |

Continued on next page

Table 14 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4.2 Hvilke fag synes du ikke er krevende nok? | 5. Hvor viktig er den tverrfaglige/tverrfakustrukturen på programmet? | 6. Hva ønsker du å jobbe med i fremtiden? |
|----------|--|---|---|
| 36 | Fysikk 2 har vært litt for elementært etter at det ble gjort om. Det kan godt ta ett steg opp i vanskelighetsgrad på matten og ha flere øvinger. Bionanoteknologi kunne godt hatt lab og kanskje øvinger. I mange fag, hvor det ikke skal så mye til å få litt bedre innsikt i teknikker og utstyr synes jeg det er veldig greit med lab. Man får mye bedre føeling for faget og hvor utfordringene ligger. Generelt passelig til høy vanskelighetsgrad på fagene. | Ganske viktig | I fremtiden ønsker jeg å jobbe med å utvikle, komersialisere eller forske på banebrytende nanoteknologi som kan gjøre en forskjell i verden. |
| 37 | Fysikk2, Bioteknologi, Exphil. | Ganske viktig | Noe i krysningspunktet mellom elektronikk og IT. |
| 38 | Syns de andre fagene er passe krevende. | Ganske viktig | Vet ikke.. Syns det å jobbe med elektroniske materialer virker interessant, så kanskje å forske på det er noe for meg. Men har også lyst å jobbe med noe som omhandler medisin. |
| 39 | | Ganske uviktig | |
| 40 | Ingen. Det er greit og naturlig at fagene varierer litt i vanskelighetsgrad. | Veldig viktig | Enten forskning, ingeniørrettet eller konsulentbransjen. Vil jobbe med å forbedre verden innen miljø eller helse. Eksempler er vannrensing, batteriteknologi, drug delivery. |
| 41 | Ingen. | Ganske viktig | Medisin |
| 42 | Måleteknikk | Ganske viktig | Forskning ved universitet eller forskningsbedrift, utvikler innen elektronikk, utvikler innen IT |
| 43 | Ingen. | Veldig viktig | Forskning, utvikling eller konsulentvirksomhet. |
| 44 | Ingen. | Veldig viktig | Forsker eller underviser. |
| 45 | Exphil, men her er faget lagt opp på en svært dårlig måte. Jeg synes det burde være lagt opp til mye mer diskusjon av etikken | Passelig viktig | For tiden kunne jeg tenke meg å jobbe med forskning innen helse for å utvikle nødvendige medisiner som for eksempel kreftmedisin |

Continued on next page

Table 14 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 4.2 Hvilke fag synes du ikke er krevende nok? | 5. Hvor viktig er den tverrfaglige/tverrfakultstrukturen på programmet? | 6. Hva ønsker du å jobbe med i fremtiden? |
|----------|--|---|---|
| 46 | N/A | Veldig uviktig | VItenkapsformidling! Da gjerne nanoteknologi, men også fag som fysikk, kjemi og biologi! |
| 47 | | Veldig viktig | Forskning, gjerne knyttet opp mot produkter eller produktutvikling |
| 48 | Bioteknologi er eit fag med lite pensum og ingen faste øvingar, kun ei posteroppgåve. Her kunne man kanskje gjort litt meir. | Ganske uviktig | Eg kan tenkje meg masse forskjellig: Forskningsjobb innanfor nanoelektronikk, jobbe med IT og soft wareutvikling, lektor, jobbe i ein elektronikkbedrift... |
| 49 | Ingen! | Veldig uviktig | Jeg vet ikke enda... jeg er usikker på om jeg vil fortsette på nano. |

Table 15: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | 7. ph.d.? | 8. eget selskap? | 9. Dersom ja i spørsmål 8, hvilke faglige ferdigheter og kunnskaper som du har fått fra NTNU trenger du for å lykkes? |
|----------|---|--|---|
| 1 | Jeg vet ikke! | Jeg vet ikke! | |
| 2 | Nei | Nei | |
| 3 | Godt mulig | Det får tiden vise | Lite foreløpig. LA i eksperter i team kan nok være lærerikt, og gründerjakten i regi av start NTNU var nyttig. |
| 4 | Ja, men har definitiv ikke bestemt meg. | Har ikke planer om det, men utelukker det ikke. | |
| 5 | Jeg vurderer det. | Det ville vært veldig gøy, men jeg har ingen ide. | |
| 6 | Vurderer det veldig | Nokon må jo absolutt få starta noko blant studenter frå nano | Kreativitet og innovasjon, samt økonomi og entreprenørskap. Kanskje ikke så veldig mykje av det i nano studiet spesifikt men. |
| 7 | Vurderer, men mest sannsynlig ikke | Kan være aktuelt | |
| 8 | | | |
| 9 | Nei | Nei | |
| 10 | Kanskje | Nei | |
| 11 | Kanskje, det er oppe til vurdering | Ikke per dags dato | |

Continued on next page

Table 15 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 7. ph.d.? | 8. eget selskap? | 9. Dersom ja i spørsmål 8, hvilke faglige ferdigheter og kunnskaper som du har fått fra NTNU trenger du for å lykkes? |
|----------|--|--|--|
| 12 | Ja | Ja | NTNU bidrar berre med det reitt faglege, altså fagkunnskapane som trengs. Sjølvdisplin, inovasjonslyst, arbeidsmoral og liknande er ting ein må stå for sjølv. Dei ferraste vil vere i stand til å starte eigne firma når dei er ferdig på NTNU, då dei i stor grad manglar grunnlaget for nyskaping. |
| 13 | Ja | Ja, med mindre jeg får meg et jobb som er relevant og stimulerende nok | Tverrfagligheten i nanoteknologi studiet er viktig. I tillegg til dette med muligheten vi får for nettverking med ulike bedrifter og internasjonalt samarbeid. |
| 14 | Nei | Nei | |
| 15 | Nei | Nei | |
| 16 | Nei | Ja | |
| 17 | Muligens | Nei | |
| 18 | Ikke foreløpig | Skal ikke utelukke det | |
| 19 | Ingen planer, men heller ikke utelukket. | Ingen plan per nå, men ser ikke bort fra det. | Ferdigheter som jeg har tilegnet meg fra NTNU som er essensielle for å lykkes er blant annet den faglige tyngden jeg har fått og evnen til å tilegne meg ny kunnskap, samt enkel innføring i økonomi og entreprenørskap som jeg ser på som viktig for å starte noe eget. I tillegg tror jeg også den kommende erfaringen fra EIT (eksperter i team) vil være veldig viktig å ha med seg. |
| 20 | Ja | Nei | - |
| 21 | kanskje | det tviler jeg på | |
| 22 | Ikke foreløpig, men mye kan jo endres på fem år... | Nei | |
| 23 | Ja | Det vet jeg ikke enda | |
| 24 | Ja | Nei | |
| 25 | Ja | Nei | |
| 26 | Usikker. | Nei ingen planer ennå. | |
| 27 | Det har jeg ikke bestemt enda. | Det har jeg ikke bestemt enda. | |
| 28 | Usikkert enda | Truleg ikke | |
| 29 | Kanskje, litt usikker. | Det virker veldig spennende, men ikke rett etter endt studie. | |

Continued on next page

Table 15 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 7. ph.d.? | 8. eget selskap? | 9. Dersom ja i spørsmål 8, hvilke faglige ferdigheter og kunnskaper som du har fått fra NTNU trenger du for å lykkes? |
|----------|--|---|--|
| 30 | Ja, dersom karakterane mine tillatar det | Ja, har erfaring med dette og vil gjøre det igjen | Foreløpig kun basic programmering fra it grunnkurs føler eg, men forhåpentligvis på dei høgare årstrinna få opplæring i/ og frie tilgang til labar og forskningsutstyr. Har fått eit OK nettverk med studentane på høgare årsstudium på nano. |
| 31 | Ikke for øyeblikket. | Nei. | |
| 32 | Vet ikke. | Vet ikke. | |
| 33 | Ja | Ikke noe konkret. | |
| 34 | | | |
| 35 | Kanskje | Nei | |
| 36 | Kanskje | Ja | Jeg trenger erfaring med grundervirksomhet mer enn noe annet. Dette er noe man får gjennom å prøve og feile, men det er heldigvis mange gode miljøer for dette ved NTNU. Jeg tror også at kunnskap innen økonomi, markedsføring og formidling vil komme godt med. Dette er fag jeg må ta som K-emner etter hvert. En god tverrfaglig bakgrunn hvor jeg har mulighet til å forstå kommunikasjon på tvers av fagfelt vil nok også være viktig. Viktigst av alt er en god forståelse for mitt fagfelt og grundig introduksjon til hvordan det kan bidra til å løse ekte problemer i verden. |
| 37 | Nei. | Har lyst å prøve. | - |
| 38 | Kanskje, tar det som det kommer. | Det hadde vært gøy det. | Har bare gått her et halv år da, så litt vanskelig å svare på. Men antar at jeg trenger veldig mye av ferdighetene og kunnskapene jeg får fra NTNU for å lykkes. |
| 39 | Nei | Nei | |
| 40 | Godt mulig | Godt mulig | Gjennom teknologiledelse har jeg lært basisen for markedsanalyse og noe av det som kreves for å lykkes. I tillegg har jeg opparbeidet en analytisk tenkemåte, og øvd på presentasjon og kommunikasjon i tekniske emner. |
| 41 | Ikke foreløpig | Ikke foreløpig | |
| 42 | Kanskje. Får se hvor gøy det er med masteroppgave. | Sannsynligvis ikke | |
| 43 | Muligens etter noen år i arbeid først. | Mindre sannsynlig. | |
| 44 | Vet ikke. | Ikke for øyeblikket. | |

Continued on next page

Table 15 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 7. ph.d.? | 8. eget selskap? | 9. Dersom ja i spørsmål 8, hvilke faglige ferdigheter og kunnskaper som du har fått fra NTNU trenger du for å lykkes? |
|----------|---------------------------------------|------------------|---|
| 45 | vet ikke | nei | |
| 46 | Nei | Vet ikke | Realfags- og nanokunnskapene, og å kunne forklare og formidle dette på en enkel og oversiktlig måte. |
| 47 | Vurderer det, men er langt fra sikker | nei | |
| 48 | Kanskje | Neppe | |

Table 16: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | 10. Hvilke akademiske ferdigheter/kunnskaper tror du generelt er viktige for å lykkes i fremtiden? |
|----------|---|
| 1 | |
| 2 | Evnen til å tenke raskt, kritisk og systematisk. |
| 3 | Bred kunnskap og muligheten til å kombinere fagfelt. Trygghet i områdene man har kompetanse på. |
| 4 | Du må ha god innsikt i realfag og kunne tenke nytt og kreativt. |
| 5 | I hovedsak bare det å kunne lære mye nytt raskt og effektivt. |
| 6 | Interdisiplineritet |
| 7 | |
| 8 | Litt av alt, men tror spesielt der å kunne END el matematikk, samt IT er viktig for fremtiden, tror også det er smart å være flink med språk. |
| 9 | Bred kunnskap om teknologi, kompetanse innen programmering og statistikk. |
| 10 | Å kunne arbeide både selvstendig og i team. Å se muligheter som andre ikke ser. |
| 11 | Være interessert og ha et ønske om å stadig lære mer. |
| 12 | Nytenking. Tverrfaglighet. |
| 13 | Dette med at vi blir oppfordret til å yte vårt beste med å kombinere det med aktiviteter ved siden av. At arbeidet vi leverer inn blir sett gjennom og får oss til å se igjennom for feil på en veldig pirkete nivå. |
| 14 | Problemløsning og hvilke tilnæringer som kan gjøres/antas. Evnen til å finne kunnskap, og til å se sammenhengen mellom fagfelt som virker adskilte. |
| 15 | Analytisk tenkemåte Bred faglig kunnskap Kommunikasjon- og presentasjon-skunnskaper Evne til å jobbe tverrfaglig |
| 16 | |
| 17 | |
| 18 | |
| 19 | Jeg tror slik som utvikling er at det vil være spesielt nyttig å ha kunnskaper og ferdigheter innen IT-sektoren og generelt bruk av IT-baserte verktøy. Samtidig så vil jeg påstå at det å ha en viss forståelse av økonomi, spesielt på det personlige plan er viktig, noe som ikke kommer gjennom grunnskolen per nå. |
| 20 | Kreativitet, å kunne tenke nytt. |
| 21 | Evnen til å tilegne seg kunnskap på en relativt kort (eksamens)tid. enkel programmering tror jeg også fort kan komme til nytte. ellers er det veldig avhengig av hva man skal jobbe med/som |
| 22 | En god kombinasjon av faglig bredde og spisskompetanse |
| 23 | Vite hvordan man skal gå frem for å løse problemer |

Continued on next page

Table 16 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 10. Hvilke akademiske ferdigheter/kunnskaper tror du generelt er viktige for å lykkes i fremtiden? |
|----------|---|
| 24 | Regning, tilegne seg læring, gjennomføre prosjekter. |
| 25 | Evnen til å lære fort og å klare å sette seg inn i nye ting selv om man kanskje mangler en del av den teoretiske bakgrunnen. Bred kunnskap er også viktig. |
| 26 | Grunnleggende realfagskunnskaper og ferdigheter innen syntese og manipulasjon av nanomaterialer. |
| 27 | Ikke bare faglige, men også personlige ferdigheter er viktig. NTNU bør åpne opp mer for faglige verv som anerkjennes av fremtidige arbeidsgivere. Nanoteknologistudenter har masse å bidra med! Jeg syns også at NTNU er altfor dårlig til å vise frem nanostudentene til arbeidslivet. mange bedrifter vet ikke hva det er eller vet ikke hva de skal bruke nanostudenter til. Jeg syns at fakultetet skal hjelpe studentene her til å bli sett og lagt merke til av arbeidslivet. |
| 28 | Evnen til å lære nye ting, og å forstå fenomener ein ikkje har sett før. |
| 29 | For å lykkes i fremtiden (antar her at dere mener innen jobbrelatert retning, og ikke i livet generelt?) så tror jeg at å være tverrfaglig kommer godt med. Da kan man være fleksibel til å omskoleres dersom det skulle trenges. Men evnen man får til å lære og å anvende nytt materiale kommer også godt med. |
| 30 | Kreativitet, kommunikasjon, nettverk, praktisk tenkemåte, praktisk lært kunnskap. |
| 31 | Tverrfaglighet, samarbeidserfaring. |
| 32 | Faglig integritet og selvstendighet, kunnskap om gründervirksomhet. |
| 33 | Man må ha en solid faglig bakgrunn, men også ha erfaring med forskning og prosessen fram mot en vellykket publikasjon. |
| 34 | |
| 35 | For teknologer: Kunnskap innen basisfagene for matematikk, IT, fysikk, kjemi. I tillegg: kunnskap og ferdigheter innen innovasjon, prosjektarbeid (både selvstendig og i grupper), ledelse og entreprenørskap. |
| 36 | Intuisjon ovenfor problemløsning og oppbryting av komplekse problemstillinger. Kjennskap til dataprogrammering og dataeknologi. Kjennskap til forskningslivet, og jobblivet på lik fot. En mastergrad som er nyttig i et samfunn bygget på fornybarhet og bærekraft. |
| 37 | Kildebevissthet, gode forskningsmetoder, gode IT-kunnskaper |
| 38 | |
| 39 | |
| 40 | Analytisk tenkemåte hvor du ikke glemmer de store trekene. Evne til å samarbeide og kommunisere dine resultater/argumentasjon til utenforstående. Dybdekunnskap om det du jobber med, i tillegg til overflatekunnskap om en god del øvrige vitenskaper. |
| 41 | God kunnskap i flere områder og forskningsferdighetene mastergraden gir meg. |
| 42 | Grunnleggende kunnskaper innen aktuelle fagfelt. Evne til å lære seg nye ting. Evne til å se sammenhenger og løse problemer. Evne til å jobbe strukturert og effektivt. |
| 43 | Tverrfaglighet, evne til å tilegne seg informasjon og forstå sammensatte utfordringer. Kunne dele opp oppgaver i mindre bestanddeler. Spesielt IT-fagene er svært viktige ser jeg. |
| 44 | Vet ikke. |
| 45 | kunne forstå hvordan man skal takle store nye utfordringer. Hvordan man skal være på lab. Alt er nok viktig. Ikke sikker på nøyaktig hva som er viktigst. |
| 46 | Realfag er alltid viktig for nyskapning, og vil være utrolig viktig i fremtiden også. |

Continued on next page

Table 16 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 10. Hvilke akademiske ferdigheter/kunnskaper tror du generelt er viktige for å lykkes i fremtiden? |
|----------|---|
| 47 | |
| 48 | Evne til å samarbeide, tenkje logisk og analytisk. IT-kunnskapar blir vel berre viktigare og viktigare. |
| 49 | |

Table 17: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | 11. Jeg får tilstrekkelig veiledning og støtte i mitt studium | 12. Jeg kan ta kontakt med vitenskapelig ansatte når jeg trenger det | 13. Dersom jeg skulle valgt studie på nytt, så hadde jeg valgt nanoteknologi igjen |
|----------|---|--|--|
| 1 | Nøytral | Nøytral | Nøytral |
| 2 | Enig | Enig | Nøytral |
| 3 | Nøytral | Enig | Veldig enig |
| 4 | Enig | Enig | Veldig enig |
| 5 | Enig | Veldig enig | Uenig |
| 6 | Enig | Veldig enig | Veldig enig |
| 7 | Veldig enig | Enig | Veldig enig |
| 8 | Enig | Nøytral | Enig |
| 9 | Enig | Enig | Veldig uenig |
| 10 | Nøytral | Nøytral | Enig |
| 11 | Nøytral | Enig | Nøytral |
| 12 | Uenig | Veldig enig | Nøytral |
| 13 | Enig | Veldig enig | Veldig enig |
| 14 | Enig | Enig | Nøytral |
| 15 | Nøytral | Enig | Uenig/Nøytral |
| 16 | Nøytral | Nøytral | Uenig/Nøytral |
| 17 | Enig | Enig | Veldig enig |
| 18 | Veldig enig | Enig | Veldig enig |
| 19 | Veldig enig | Veldig enig | Veldig enig |
| 20 | Uenig | Nøytral | Uenig |
| 21 | Veldig uenig/Uenig | Enig | Uenig |
| 22 | Enig | Enig | Veldig enig |
| 23 | Enig | Veldig enig | Enig |
| 24 | Enig | Nøytral | Nøytral |
| 25 | Nøytral | Uenig | Enig |
| 26 | Nøytral | Nøytral | Enig |
| 27 | Veldig uenig | Veldig uenig | Veldig uenig |
| 28 | Enig | Enig | Veldig enig |
| 29 | Veldig enig | Veldig enig | Enig |
| 30 | Nøytral | Nøytral | Uenig |
| 31 | Nøytral | Enig | Veldig enig |
| 32 | Uenig | Nøytral | Nøytral |
| 33 | Enig | Nøytral | Nøytral |
| 34 | | | |
| 35 | Veldig uenig | Nøytral | Uenig |
| 36 | Uenig/Nøytral | Enig | Veldig enig |

Continued on next page

Table 17 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 11. Jeg får tilstrekkelig veiledning og støtte i mitt studium | 12. Jeg kan ta kontakt med vitenskapelig ansatte når jeg trenger det | 13. Dersom jeg skulle valgt studie på nytt, så hadde jeg valgt nanoteknologi igjen |
|----------|---|--|--|
| 37 | Nøytral | Enig | Uenig |
| 38 | Nøytral/Enig | Nøytral | Nøytral |
| 39 | Nøytral | Nøytral | Uenig |
| 40 | Enig | Nøytral | Veldig enig |
| 41 | Veldig enig | Enig | Veldig enig |
| 42 | Nøytral | Nøytral/Enig | Veldig enig |
| 43 | Nøytral | Enig | Veldig enig |
| 44 | Enig | Enig | Veldig enig |
| 45 | Enig | Nøytral | Veldig enig |
| 46 | Enig | Nøytral | Enig |
| 47 | Veldig enig | Veldig enig | Nøytral |
| 48 | Veldig enig | Nøytral | Uenig |
| 49 | Uenig | Enig | Uenig |

Table 18: Spørreundersøkelse for MTNANO-studenter

| Entry Id | 14: Synes du det skal være mer/mindre av noe i studiet? |
|----------|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | Jeg har bare gått på nano et halvt år, så jeg har ikke så veldig mye erfaring. Siden kjemi er det faget jeg synes er mest spennende, håper jeg det blir flest mulig kjemiemner. |
| 5 | Jeg skulle ønske det var litt mindre kjemi, og at vi hadde hatt for eksempel Kretsteknikk. Jeg burde vel egentlig gått Elektro eller FysMat. En annen ting er at jeg skulle virkelig ønske at vi hadde et eget institutt. Slik det er nå, føler jeg at vi er en kasteball mellom ulike institusjoner der ingen egentlig vil ta ansvar for oss. Dermed blir vi bestandig nedprioritert, og aldri hørt i stor nok grad. |
| 6 | Meir lab generelt. |
| 7 | Mer fokus på nyskapning/innovasjon, og bedre muligheter til å utnytte tverrfagligheten. Slik det er nå er mange nanostudenter litt i midten av flere fagfelt, og hører kanskje ikke hjemme noe sted. Med et tettere tverrfaglig samarbeid tror jeg man kan utnytte kunnskapen vår i en mye større grad. |
| 8 | |
| 9 | Større mulighet til å velge matte- og programmeringsfag. |
| 10 | Mindre Introduksjon til Nanoteknologi, ettersom vi må ta alle de tre delene av faget senere som egne fag. |
| 11 | Legge mer til rette for innovasjon og "maker-miljø" tidlig i studieløpet. |
| 12 | Meir praktiske øvingar, der ein får sjå/prøve ulike faglege ting. |
| 13 | Mer nano relevant stoff i førsteklassen. |

Continued on next page

Table 18 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 14: Synes du det skal være mer/mindre av noe i studiet? |
|----------|--|
| 14 | Det burde være en forskerlinje eller et prosjekt tidlig i studiet hvor man knyttes til en forskningsgruppe, og dette bør gi studiepoeng eller inngå i et fag slik at det ikke blir som en jobb i tillegg til 100 % studium. Det bør også være mindre fokus på f.eks. stål og andre jernlegeringer i materialteknologi, og heller bruk av materialer og eksempler som er relevant for vårt studium og mulige framtidige arbeidsområder. Det burde også være mer valgfrihet i emner tidlig i studiet. |
| 15 | |
| 16 | |
| 17 | Vet ikke |
| 18 | |
| 19 | Jeg skulle gjerne ønske at det var flere "skreddersydde" emner i fagplanen. |
| 20 | Mer motivasjon til selve nanoteknologien. Jeg, som andreklassing, vet fortsatt ekstremt lite om hva studiet jeg går på faktisk går ut på. |
| 21 | Jeg har egentlig ikke det overordnede blikket til å kunne se hva som ikke trengs osv. Derfor har jeg heller ingen ting å klage på, eller som jeg skulle ønske at var annerledes i studiet. |
| 22 | |
| 23 | |
| 24 | Mer valgfrihet tidligere. |
| 25 | Mer tilstedeværelse tidlig fra prominente skikkelses med mye engasjement. Fra man ser dem noen korte stunder det første semesteret, er det lenge til man ser de menneskene som brenner for studiet vårt igjen. Studentene vil nok ha mye igjen av å se at det er andre enn bare dem som er engasjerte i hva de gjør på dagtid. |
| 26 | Ingen synspunkt ennå. |
| 27 | Jeg syns det bør være mye mer spesifikke nanofag helt fra starten av og gjennom hele studiet - ikke 2 år med bare tørre teorifag. Det virker så rart å ha et nano-introfag første halvår og så ikke se nanodelen igjen før et par år senere. Det er flere fag som i mine øyne kunne vært kuttet eller slått sammen for å få plass til dette (feks færre mattefag - ha 2 stk der det vi faktisk trenger er plukket ut. Utrolig mye som vi aldri kommer til å bruke igjen her!) I tillegg burde organisk kjemi heller vært obligatorisk for feks bio-retningen og ikke for resten. I tillegg ser jeg ikke poenget med feks elmag og måleteknikk som kanskje burde vært obligatorisk for elektronikkstudenter. Hele fagplanen bør gås gjennom, fag for fag, for å se om det faktisk er relevant! Det vil være utrolig givende og ikke minst motiverende å få ha nanofag gjennom hele studiet - det er faktisk nanoteknologi jeg går! Nå som jeg går i 2. klasse føler jeg litt at jeg har trykket på en slags snoozeknapp hvor det er utrolig mange kjedelige og teoritunge fag som jeg virkelig føler at jeg aldri kommer til å få bruk for. Jeg føler nesten at jeg studerer noe helt annet enn nanoteknologi akkurat nå. Er nesten sånn at jeg har mistet "nanofølelsen" og det syns jeg er trist. Jeg ser det også som positivt hvis nanoteknologi kunne hatt sitt eget institutt som jobbet mer for utformingen av studiet. I mine øyne er spesielt de første 2,5 årene veldig stappet med fag som egner seg best for elektro- og materiallinja. Det er veldig skjevt fordelt for de som faktisk ønsker å gå bionano. Det burde også diskuteres om man også skal få velge linje tidligere i studiet, feks etter halvannet eller 2 år istedenfor høsten i 3.klasse (for som jeg har nevnt over er det maaange fag jeg definitivt hadde klart meg uten...) |
| 28 | |
| 29 | Kanskje litt mer valgbare emner, blir litt mange emner i elektronikkretningen |

Continued on next page

Table 18 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 14: Synes du det skal være mer/mindre av noe i studiet? |
|----------|---|
| 30 | Kjem ikkje på noko. |
| 31 | Ingen kommentar så langt i studieløpet. |
| 32 | Mer erfaring med instrumenter og jobbing på NanoLab tidlig i studiet, tilrettelagt av Nano Intro. Kanskje retningsvalg tidligere? |
| 33 | Gjerne mer fysikk. F. eks. burde innføring i kvantemekanikk og klassisk mekanikk være en del av studiet. Videre skriver man en del lab-rapporter i dette studiet. Likevel burde man kanskje ha vært med på minst én seriøs publikasjon. Å skrive en lab-rapport er ikke helt det samme som å skrive en artikkel som skal publiseres. |
| 34 | |
| 35 | Det bør være mer oppfølging og veiledning av studenter, særlig når det gjelder innenfor karrieremuligheter. Det bør være en kultur der veien er kort mellom studenten og studieveilederen. Per i dag føler jeg ikke at jeg har noen å snakke med når jeg trenger det mest. Det er utrolig få som klarer å se for seg hvordan arbeidslivet deres vil se ut om 5-10 år. Det er vel ingen hemmelighet at få som søker nanoteknologi vet nøyaktig hva de kan bruke deres kompetanse til helt konkret. Det er forståelig at dette skyldes at statistikken er minimal, men likevel. Hvorfor opprettet NTNU dette studiet i utgangspunktet? Av erfaring så er det jo noe frafall på studiet; det varierer svært fra år til år, og jeg er usikker på hvordan tallene er i forhold til andre linjer. Uansett så har jeg en sterk oppfatning av at mye av frafallet rett og slett skyldes at man ikke helt kom til det man hadde sett for seg da man søkte studie. Her kan alle aktører som er med på å promotere studiet gjøre en bedre jobb når det gjelder å formidle slik informasjon utad. Selv har jeg erfaring fra at jeg sendte mailer med spørsmål ang MTNANO-studiet da jeg var elev ved videregående skole til studieveiledere ved NTNU uten å få svar. Da jeg ringte, kom jeg til en person som egentlig ikke kunne svare noe særlig på spørsmålene jeg hadde. MTNANO er uten tvil et prestisjefullt studie på grunn av det høye inntakskravet og de dyre fasilitetene, og det er synd at dette skal være avgjørende faktorer for at man søker. Uten å ville snakke på vegne av alle andre så vil jeg likevel understreke at jeg tror dette sitter inne hos veldig mange uten at de nødvendigvis vil innrømme det. For hva er det man egentlig vet om nano, uansett hvor mye realfag man har hatt på videregående? Hva er det man vet om studiet, når det er såpass nytt og har så liten offentlig statistikk? MTNANO bør være spesielt myntet på elever som syns forskning og muligens innovasjon er interessant. Jeg må innrømme jeg til tider føler en betydelig demotivasjon for å gjennomføre studiene, blant annet på grunn av det jeg anser som en relativt usikker fremtid. Linjeforeningen jobber mye for å promotere både nano som studie og vitenskap. Bedriftskontakten har for eksempel arrangert et jobbseminar for linjeforningsmedlemmene der alumni har blitt invitert for å snakke om deres arbeidsliv. Vi er også i gang med å utvikle et samarbeid med Samarbeidsforum om å få snakke om nanoteknologi ved videregående skoler i Norge. Likevel så føler jeg ikke at det er helt riktig at vi som linjeforening skal ha et så stort "ansvar" når det gjelder å formidle informasjon om studiet. Alt vi gjør, gjør vi jo tross alt fordi vi er en engasjert gjeng... Jeg skulle ønske NTNU kunne gjøre mer, både for oss som studerer og for fremtidige studenter. |

Continued on next page

Table 18 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 14: Synes du det skal være mer/mindre av noe i studiet? |
|----------|---|
| 36 | Det bør være mye mer innvolvering fra fakultetene og instituttene for å bedre kvaliteten på nanoteknologistudiet og sørge for at det hele tiden er i verdensklasse. Det bør være enda mer fokus fra rekruttering til ferdig master at det er et forskningsrettet studiet, mer en en allmennnyttig mastergrad. Alt for mange av dem som går ut, eller kunne gått ut med nøkkelkunnskap innen nanoteknologi velge i stedet å gjøre noe helt annet. Dersom man kan rekruttere folk som vet hva de går til og som i mindre grad kommer til å endre mening i løpet av disse fem årene, så hadde det vært fenomenalt. Tilsvarende bør det være mer mulighet for å begynne med forskning tidlig i studiet. Dette kan for eksempel være som ekstra fag hvor man kan drive med enkel forskning sammen med en forskningsgruppe og få "deltatt" på vitnemålet. Det å jobbe alene på labb med relevante prosjekter og ha egne tanker og planer er en utrolig bra og gøy. (snakker av egen erfaring) Mulighet for å gå kombinert doktor og master (litt som i Aarhus) bør også vurderes. Det er veldig bra å være best, men det hjelper ikke dersom man ikke er motivert for dette fagfeltet. Det jeg tror ville bidratt mest til å få en ordentlig struktur og plan bak studiet hadde vært å ha et egen nanoinstitutt som var ansvarlig både for mye forskning på nanoteknologi og for studiet nanoteknologi. Man kunne godt tatt inn flere studenter dersom det kunne ansvarliggjøre en slik struktur. Med et mer koordinert nanostudie med flere og enda mer engasjerte studenter kan man begynne å la studenter drive forskning og delta i internasjonale konkurranser for studenter. Dette fordi de med et eget institutt ikke ville trenge å ta ansvar for driften av studiet i like stor grad. Kanskje litt ufullstendige tanker, men jeg håper dere fanger opp essensen. |
| 37 | Mer kvantefysikk, mer programmering |
| 38 | Det er akkurat passelig. |
| 39 | |
| 40 | Mer fokus på entreprenørskap og innovasjon, med større muligheter for å være med i en forskningsgruppe ved siden av. Et forslag kan være at man kan bli med i en forskningsgruppe istedenfor et av de valgfrie emnene i 3-4. klasse. Det hadde vært utrolig kult og resultatgivende om "alle" jobbet med noe nytt og spennende innen deres spesialisering. Da hadde det blitt veldig mange givende, tverrfaglige diskusjoner innad i klassen i lunsjpauser osv, og det er ofte i de settingene virkelig innovasjon skjer. Det er vanskelig å ta bort noe, jeg er glad for alle fagene jeg har hatt. |
| 41 | |
| 42 | Ja, men synes ikke nødvendigvis mine personlige preferanser bør bestemme hvordan studiet blir for alle andre. |
| 43 | Mer strømlinjeformet valg av fag (per i dag er det ikke alltid nivå på fag er rett for de tidspunktene de kjøres: fysikk 1 på førsteåret var over vårt nivå. Kvanteintro ble litt for lett etter Fysikk 2 (men for stort hopp fra Fysikk 2 til Kvante 1). Men dette er problemområder som muligens utarbeides etterhvert som studiet blir "eldre". |
| 44 | Ikke foreløpig. Jeg synes det første semesteret har vært bra. |
| 45 | |
| 46 | Tror det blir bra å endre nanointro, bortsett fra det er det ikke noe jeg kan sette fingeren på for øyeblikket. |
| 47 | Kan være fint med litt mer praktisk erfaring, eller kanskje bare demonstrasjoner (e.g. under laboratoriebesøk) i fag som Nanomaterialer (3. årstrinn), hvor produksjonmetoder er sentralt, men en ikke gjør annet enn å lese om det. |

Continued on next page

Table 18 – *Continued from previous page*

| Entry Id | 14: Synes du det skal være mer/mindre av noe i studiet? |
|----------|---|
| 48 | |
| 49 | TFY4115 ikke i 1. året og 1. semesteret. |