



Berner Fachhochschule  
Haute école spécialisée bernoise  
Bern University of Applied Sciences



2020

Abschlussarbeiten  
Travaux de fin d'études  
Graduation Theses

Master of Science in Engineering



**Prof. Dr. Lukas Rohr**  
Departementsleiter  
Directeur du département  
Head of Department

## Liebe Leserin, lieber Leser

Das Jahr 2020 wird uns lange in Erinnerung bleiben als das Jahr, in dem die Flexibilität aller notwendig war. Das Corona-Virus hat unseren Alltag kräftig durcheinandergerüttelt. Die Berner Fachhochschule hat diese Krise mit viel Engagement bewältigt: Innert weniger Tage wurde für die Studierenden und Dozierenden Distance Learning zur praktischen Herausforderung, die alle Beteiligten mit Bravour gemeistert haben.

Umso mehr macht es mich stolz, dass Sie, liebe Leserin, lieber Leser, die neueste Ausgabe des Books in den Händen halten.

Die Absolventinnen und Absolventen der Studiengänge im Departement Technik und Informatik konnten auch im letzten Jahr von zahlreichen Kooperationen mit anderen Hochschulen und unseren Industriepartnern profitieren. Sie hatten damit die Möglichkeit, die im Studium erworbenen Kompetenzen praxisnah umzusetzen und sich in der Berufswelt zu beweisen.

Mit Begeisterung habe ich die Zusammenfassungen der Abschlussarbeiten im Studiengang Master of Science in Engineering durchgesehen und ich lade Sie ein, Gleiches zu tun: Entdecken Sie, mit wie viel Hingabe, Entschlossenheit und Fachwissen unsere Studierenden aufzeigen, dass die Grenzen der Technologie nur dazu da sind, überwunden zu werden – und dass sie ausgezeichnete Kandidatinnen und Kandidaten für zukünftige Arbeitgeber sind.

Ich hoffe, dass die Lektüre dieser Arbeiten Sie inspiriert und Ihnen spannende Einblicke schenkt. Für Ihr Interesse an der Berner Fachhochschule und ihren Studierenden danke ich Ihnen.

Ihnen, liebe Studierende, gratuliere ich von Herzen zu Ihrer Abschlussarbeit! Und ich wünsche Ihnen auf Ihrem beruflichen und privaten Lebensweg alles Gute.

## Chère lectrice, cher lecteur,

2020 restera dans nos mémoires comme l'année marquée du sceau de la flexibilité. Le coronavirus aura profondément ébranlé notre quotidien. La Haute école spécialisée bernoise a surmonté la crise avec beaucoup d'engagement : en quelques jours, étudiant-e-s et enseignant-e-s ont maîtrisé avec bravoure le défi pratique de l'enseignement à distance.

Je suis d'autant plus fier de savoir la dernière édition de ce Book entre vos mains.

L'an dernier aussi, les diplômé-e-s des filières du département Technique et informatique ont eu la chance de collaborer avec d'autres hautes écoles et avec nos partenaires industriels. Ces coopérations leur ont permis de mettre en pratique les compétences acquises au cours de leurs études et de faire leurs preuves dans le monde professionnel.

C'est avec enthousiasme que j'ai parcouru les résumés des travaux de fin d'études des étudiantes et des étudiants de la filière Master of Science in Engineering et vous invite à en faire autant : vous découvrirez avec quel dévouement, quelle détermination et quelle expertise nos étudiant-e-s ont montré que les frontières de la technologie ne demandent qu'à être repoussées – et qu'ils et elles sont des candidat-e-s exceptionnels à disposition des futurs employeurs.

J'espère que la lecture de ces travaux vous inspirera et qu'elle vous ouvrira des perspectives captivantes. Je vous remercie de l'intérêt que vous portez à la Haute école spécialisée bernoise et à nos étudiant-e-s.

Quant à vous, chers étudiantes et étudiants, je vous félicite chaleureusement pour l'obtention de votre diplôme et vous souhaite le meilleur dans votre carrière professionnelle et votre vie privée.

## Dear Reader

2020 will long be remembered as the year when everyone had to show great flexibility. The coronavirus pandemic has turned everyday life upside down. Bern University of Applied Sciences has shown tremendous commitment in dealing with this crisis. Within the space of just a few days, distance learning became a practical challenge for students and lecturers which everyone concerned passed with flying colours.

This is why I am especially proud that you are now holding the latest edition of the Book in your hands.

The graduates of programmes in the Department of Engineering and Information Technology once again benefited from many opportunities to work with other universities and our partners in industry last year. This allowed them to apply the knowledge acquired throughout their studies to real-life scenarios and to prove their mettle in the world of work.

It was an absolute pleasure to read through the summarized graduation theses from the Master of Science in Engineering programme and I invite you to do the same. You will discover just how much dedication, determination and expert knowledge our students have shown in proving that the boundaries of technology are meant to be pushed back – and that they are outstanding candidates for future employers.

I hope you find reading these theses inspiring and that they provide many fascinating insights. Thank you for your interest in Bern University of Applied Sciences and its students.

I am tremendously proud to congratulate our students on their graduation. I wish them all every success for the future both professionally and personally.

# Inhalt

## Table des matières Contents

2

### Titel

- 3 Technik und Informatik an der BFH
- 6 Alumni BFH
- 7 Infotage
- 8 Master of Science in Engineering
- 10 Interview mit Student
- 12 Zusammenarbeitsformen
- 14 Liste der Absolventinnen und Absolventen
- 15 Masterarbeiten

### Titre

- 3 Technique et informatique à la BFH
- 6 Alumni BFH
- 7 Journées d'information
- 8 Master of Science in Engineering
- 10 Interview d'étudiant
- 12 Formes de collaboration
- 14 Liste des diplômé-e-s
- 15 Travaux de master

### Title

- 3 Engineering and Information Technology at BFH
- 6 Alumni BFH
- 7 Info days
- 8 Master of Science in Engineering
- 10 Interview with student
- 12 Collaboration
- 14 List of Graduates
- 15 Master Theses

### Impressum

**Berner Fachhochschule  
Technik und Informatik**

#### Online

book.bfh.ch

#### Inserate

kommunikation.ti@bfh.ch

#### Layout

Hot's Design Communication SA

#### Druck

staempfli.com

#### Auflage

400 Ex.

### Impressum

**Haute école spécialisée bernoise  
Technique et informatique**

#### Online

book.bfh.ch

#### Annonces

kommunikation.ti@bfh.ch

#### Mise en page

Hot's Design Communication SA

#### Impression

staempfli.com

#### Tirage

400 exemplaires

### Imprint

**Bern University of Applied Sciences  
Engineering and Information Technology**

#### Online

book.bfh.ch

#### Advertisements

kommunikation.ti@bfh.ch

#### Layout

Hot's Design Communication SA

#### Printing

staempfli.com

#### Edition

400 copies

# Technik und Informatik an der BFH

## Technique et informatique à la BFH

### Engineering and Information Technology at BFH

Die Berner Fachhochschule BFH ist eine anwendungsorientierte Hochschule mit einem innovativen und praxisnahen Angebot in Lehre, Forschung und Entwicklung sowie in der Weiterbildung. Sie bereitet Studierende auf berufliche Tätigkeiten vor, in denen wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden umgesetzt werden. Folgende Leitgedanken prägen die Berner Fachhochschule besonders:

- Die BFH entwickelt innovative Lösungen und geht auf die Bedürfnisse ihres wirtschaftlichen, technischen, kulturellen und sozialen Umfelds ein.
- Die BFH ist durch starke Partnerschaften im In- und Ausland verankert.
- Die BFH pflegt ihre Vielfalt und fördert den Austausch zwischen Fachdisziplinen, Denkkulturen und Handlungsmustern.

[bfh.ch/ti](http://bfh.ch/ti)

#### Das Bachelorstudium als starke Basis

Die Bachelorstudiengänge der BFH sind praxisorientiert und auf die Bedürfnisse des wirtschaftlichen Umfeldes ausgerichtet. Wer an der BFH studiert, kann dies praxisnah, interdisziplinär und in einem internationalen Kontext tun.

Im Bereich Technik und Informatik bietet die BFH eine vielfältige Auswahl an Bachelorstudiengängen, wobei die beiden Studiengänge Automobiltechnik und Medizininformatik sogar schweizweit einzigartig sind. Die meisten Studiengänge können zudem berufs begleitend und zweisprachig absolviert werden. Die sieben Bachelorstudiengänge im Bereich Technik und Informatik sind:

- Automobiltechnik
- Elektrotechnik und Informationstechnologie
- Informatik
- Maschinentechnik
- Medizininformatik
- Mikro- und Medizintechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen

Im Verlaufe des Bachelorstudiums wählen die Studierenden individuell einen Teil der Module. In späteren Semestern entscheiden sie sich für eine Vertiefung und arbeiten an forschungsnahen und praxisrelevanten Projekten mit.

Mehr Informationen unter [bfh.ch/ti/bachelor](http://bfh.ch/ti/bachelor)

La Haute école spécialisée bernoise est une haute école orientée vers la pratique. Elle propose une offre de cours, de recherche, de développement et de formation continue à la fois novatrice et proche de la pratique. Elle prépare les étudiant-e-s à des activités professionnelles qui mettent en œuvre des connaissances et méthodes scientifiques. La Haute école spécialisée bernoise se caractérise principalement par les idées directrices suivantes:

- La BFH développe des solutions innovantes et répond aux besoins de son environnement économique, technique, culturel et social.
- La BFH est ancrée en Suisse et à l'étranger grâce à des partenariats forts.
- La BFH entretient la diversité et encourage les échanges entre les disciplines spécialisées, entre les cultures de réflexion et entre les modèles d'action.

[bfh.ch/ti](http://bfh.ch/ti)

#### Les études de bachelor comme base solide

Les filières d'études de bachelor sont orientées vers la pratique et vers les besoins de l'environnement économique. Étudier à la BFH, c'est étudier dans un contexte pratique, interdisciplinaire et international. Dans le département Technique et informatique, la BFH propose un large choix de filières d'études de bachelor, dont deux filières uniques en Suisse: Technique automobile et Informatique médicale. La plupart des filières peuvent également être suivies en cours d'emploi et en deux langues. Le département Technique et informatique propose les sept filières d'études de bachelor suivantes:

- Technique automobile
- Génie électrique et technologie de l'information
- Informatique
- Mécanique
- Informatique médicale
- Microtechnique et technique médicale
- Ingénierie de gestion

Pendant leurs études de bachelor, les étudiant-e-s choisissent individuellement une partie des modules. Dans les semestres suivants, ils choisissent une orientation et participent à des projets pratiques proches de la recherche.

Pour en savoir plus [bfh.ch/ti/bachelor](http://bfh.ch/ti/bachelor)

Bern University of Applied Sciences BFH combines a hands-on approach with innovative and practical teaching, research and development, and continuing education. It prepares students for professional careers in fields involving the application of scientific findings and methods. Bern University of Applied Sciences is shaped by its guiding principles:

- BFH develops innovative solutions and addresses the needs of its economic, technical, cultural and social environment.
- BFH cultivates strong partnerships connecting it within Switzerland and the wider international community.
- BFH embraces diversity and encourages intellectual exchanges between the various academic disciplines and cultures, taking on board a variety of different approaches.

[bfh.ch/ti](http://bfh.ch/ti)

#### Bachelor's degree for a solid foundation

BFH Bachelor degree programmes are hands-on and focused on the needs of the economic environment. BFH offers students an interdisciplinary, practice-based approach in an international context. BFH offers a broad selection of Bachelor degree programmes in the field of Engineering and Information Technology, including Automotive Engineering and Medical Informatics programmes that are unique in Switzerland. Many of the degree programmes can also be taught on an extra-occupational basis and in two languages. The following seven Engineering and Information Technology Bachelor degree programmes are offered:

- Automotive Engineering
- Electrical Engineering and Information Technology
- Computer Science
- Mechanical Engineering
- Medical Informatics
- Microtechnology and Medical Technology
- Industrial Engineering and Management Science

Students have a choice of some modules during their Bachelor studies. In later semesters, they choose a specialisation and assist with research-related, practice-based projects.

For additional information please go to [bfh.ch/ti/bachelor](http://bfh.ch/ti/bachelor)

## Der Master als Sprungbrett

Ein Masterabschluss unterstreicht die ungebrochene Lernbereitschaft der Studierenden. Er eröffnet ihnen den Zugang zu anspruchsvollen Karrieren in Forschungs- und Entwicklungsabteilungen sowie herausfordernden Positionen in Produktion, Beratung oder öffentlichen Institutionen. Im Bereich Technik und Informatik bietet die BFH zwei Masterstudiengänge an:

Der Master of Science in Engineering MSE wird in Kooperation mit allen Fachhochschulen der Schweiz angeboten und zeichnet sich durch einen starken Praxisbezug, ein vielfältiges Modulangebot und ein schweizweites Netzwerk von Fachspezialisten und Studierenden aus. Mit Beginn des akademischen Jahres 2020-21 bietet die Berner Fachhochschule, Departement Technik und Informatik, das Studium im Rahmen der schweizweiten Neuausrichtung des MSE an: Masterstudierende wählen zwischen den festgelegten Vertiefungen Business Engineering, Civil Engineering, Computer Science, Data Science, Electrical Engineering, Energy and Environment, Mechatronics and Automation, Mechanical Engineering, Medical Engineering sowie Photonics.

Der englischsprachige Masterstudiengang für Biomedical Engineering mit den Vertiefungen Biomechanical Systems, Electronic Implants oder Image-Guided Therapy wird von der Universität Bern in Kooperation mit der BFH angeboten. Die Studierenden erwerben wissenschaftlich fundiertes, medizinisches und technisches Fachwissen. Lehre und Projekte sind anwendungsorientiert und interdisziplinär. Es bestehen enge Kooperationen mit Firmen, Forschungseinrichtungen und Spitälern. Der erfolgreiche universitäre Abschluss ermöglicht im Anschluss eine Doktorarbeit.

Mehr Informationen unter [bfh.ch/mse](http://bfh.ch/mse)

## Le master comme tremplin

Un diplôme de master prouve que la volonté d'apprendre des étudiant-e-s est intacte. Il leur ouvre les portes d'une carrière fructueuse dans les départements de recherche et développement ou à des postes exigeants en production, en conseil ou dans des institutions publiques. La BFH propose deux filières d'études de master dans le domaine Technique et informatique :

Le Master of Science in Engineering (MSE) est proposé en coopération avec toutes les hautes écoles spécialisées suisses et se caractérise par un fort lien avec la pratique, une offre de modules variée et un réseau de spécialistes et d'étudiant-e-s dans toute la Suisse. Pour le début de l'année académique 2020-2021, la Haute école spécialisée bernoise, département Technique et informatique, propose des études dans le cadre de la nouvelle structuration du MSE en Suisse. Les étudiant-e-s du cycle de master peuvent choisir parmi les orientations fixées : à savoir Business Engineering, Civil Engineering, Computer Science, Data Science, Electrical Engineering, Energy and Environment, Mechatronics and Automation, Mechanical Engineering, Medical Engineering et Photonics.

La filière d'études de master anglophone d'Ingénierie biomédicale avec les orientations Biomechanical Systems, Electronic Implants et Image-Guided Therapy est proposée par l'Université de Berne en coopération avec la BFH. Les étudiant-e-s acquièrent des connaissances spécialisées médicales et techniques fondées sur une base scientifique. L'enseignement et les projets sont interdisciplinaires et axés sur la pratique. Une étroite coopération est en place avec les entreprises, les instituts de recherche et les hôpitaux. L'obtention du diplôme universitaire ouvre la porte vers un doctorat.

Pour en savoir plus [bfh.ch/fr/mse](http://bfh.ch/fr/mse)

## Master's degree to springboard your career

A Master's degree emphasises the students' unremitting desire to learn. It opens the door to a high-flying career in research and development or a challenging position in production, consultation or the public sector. BFH offers two Master's degree programmes in the field of Engineering and Information Technology:

The Master of Science in Engineering MSE is offered in cooperation with all Universities of Applied Sciences within Switzerland and provides a strong practical focus, varied modules and a Switzerland-wide network of specialists and students. From the beginning of the 2020-21 academic year, the Bern University of Applied Sciences Department of Engineering and Information Technology will offer the degree within the scope of the Swiss-wide restructuring of the MSE. Master's students will be able to choose between the following fixed specialisations: Business Engineering, Civil Engineering, Computer Science, Data Science, Electrical Engineering, Energy and Environment, Mechatronics and Automation, Mechanical Engineering, Medical Engineering and Photonics.

The Master degree programme in Biomedical Engineering, taught in English, with specialisations in the areas of Biomechanical Systems, Electronic Implants or Image-Guided Therapy is offered by the University of Bern in cooperation with BFH. Students acquire scientifically-based medical and technical knowledge. Teaching and projects are application-oriented and interdisciplinary. The programmes involve close cooperation with companies, research institutions and hospitals. Following the completion of the degree, students may progress to a doctorate.

For additional information please go to [bfh.ch/en/mse](http://bfh.ch/en/mse)

## Die Forschung und Entwicklung als Triebfeder der Innovation

Angewandte Forschung findet an der BFH in Instituten statt, die ein breites Kompetenzspektrum anbieten. Der Brückenschlag zwischen Grundlagenforschung und Produktentwicklung garantiert eine enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft. Neue Technologien und das aus Forschungs- und Industrieprojekten gewonnene Know-how werden in die Wirtschaft transferiert und mit Partnern geteilt, um neue Produkte und Verfahren zu entwickeln.

Im Bereich Technik und Informatik fokussiert die Forschung der BFH thematisch auf die Bereiche Technologien in Sport und Medizin, Energie und Mobilität, Digital Society and Security, Smart Industrial Technologies sowie Engineering and Business Innovation. Sie zeichnet sich durch folgende Faktoren aus:

- Sie ist anwendungs- und marktorientiert.
- Ziele sind die Entwicklung von Prototypen sowie der Technologietransfer.
- Es erfolgt eine enge Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Industrie.
- Die Nutzungsrechte gehen in der Regel an den Wirtschaftspartner.
- Fokussiert wird auf Schlüsseltechnologien der Zukunft.
- Es werden ein weitreichendes Netzwerk sowie multidisziplinäre Kooperationen genutzt.
- Die Forschung ist regional verankert und international relevant.

Mehr Informationen unter  
[bfh.ch/ti/industrie](http://bfh.ch/ti/industrie)  
[bfh.ch/ti/forschung](http://bfh.ch/ti/forschung)

## Die Weiterbildung als Programm

Die Weiterbildungsangebote der Berner Fachhochschule orientieren sich an den aktuellen Bedürfnissen der Wirtschaft, Gesellschaft und Kultur. Sie tragen dem sich ständig verändernden und globalen Umfeld Rechnung.

Das Weiterbildungsangebot im Bereich Technik und Informatik wendet sich an Ingenieurinnen und Ingenieure sowie an angehende Managerinnen und Manager. Ziel ist, vorhandene Kompetenzen zu erweitern und zu ergänzen. Dazu bietet die BFH eine einmalige, interdisziplinäre Palette von CAS-Modulen an, die zu verschiedenen EMBA-, MAS- und DAS-Studiengängen kombiniert werden können. Die Schwerpunkte liegen auf den Themen Innovation, Management, Information Technology, Data Science, Cyber Security und Digital Forensics, Technik, Digital Transformation und Digital Health.

Mehr Informationen unter  
[bfh.ch/ti/weiterbildung](http://bfh.ch/ti/weiterbildung)

## La recherche et le développement comme moteurs de l'innovation

À la BFH, la recherche appliquée a lieu dans des instituts qui offrent un large spectre de compétences. Le pont entre la recherche fondamentale et le développement de produits assure une étroite collaboration avec l'économie. Les nouvelles technologies et les connaissances acquises dans les projets de recherche et d'industrie sont transférées dans l'économie et partagées avec des partenaires en vue de développer de nouveaux produits et processus.

Dans le domaine Technique et informatique, la recherche de la BFH se concentre sur les thèmes Technologies en sport et en médecine, Énergie et mobilité, Digital Society and Security, Smart Industrial Technologies et Engineering and Business Innovation. Elle se caractérise par les facteurs suivants :

- Elle est tournée vers la pratique et le marché.
- Elle vise le développement de prototypes et le transfert technologique.
- Elle se fait en étroite collaboration avec l'économie et l'industrie.
- Les droits d'utilisation reviennent généralement au partenaire économique.
- Elle se concentre sur les technologies-clés de l'avenir.
- Elle tire profit d'un réseau étendu et de coopérations pluridisciplinaires.
- La recherche a un ancrage régional et une portée internationale.

Pour en savoir plus  
[bfh.ch/ti/industrie](http://bfh.ch/ti/industrie)  
[bfh.ch/ti/recherche](http://bfh.ch/ti/recherche)

## La formation continue comme programme

Les offres de formation continue de la Haute école spécialisée bernoise se tournent vers les besoins actuels de l'économie, de la société et de la culture. Elles tiennent compte de l'environnement mondialisé, en mutation permanente.

L'offre de formation continue du département Technique et informatique s'adresse aux ingénieur-e-s et aux futur-e-s managers en vue d'étendre et de compléter leurs compétences. La BFH propose à cette fin une gamme interdisciplinaire unique de modules CAS combinables entre différentes filières d'études EMBA, MAS et DAS. Les spécialisations portent sur les thématiques suivantes : innovation, management, informatique, Data Science, Cyber Security et Digital Forensics, technique, Digital Transformation et Digital Health.

Pour en savoir plus  
[bfh.ch/ti/formationcontinue](http://bfh.ch/ti/formationcontinue)

## Research and development as the driving force of innovation

At BFH, applied research is conducted in institutes offering a wide range of expertise. Bridging the gap between basic research and product development guarantees a close cooperation with the business world. New technologies and the expertise gained from research and industrial projects are transferred to the business world and shared with partners to develop new products and processes.

In the field of Engineering and Information Technology, BFH's research is focused on the areas of Technologies in Sport and Medicine, Energy and Mobility, Digital Society and Security, Smart Industrial Technologies, and Engineering and Business Innovation. It has the following distinguishing features:

- It is application- and market-oriented.
- It aims to develop prototypes and transfer technology.
- It cultivates a close cooperation with business and industry.
- Rights of use are usually transferred to the business partner.
- There is a focus on key technologies of the future.
- It relies on an extensive network and multidisciplinary cooperation.
- The research has a regional base and international relevance.

For additional information please go to  
[bfh.ch/ti/industry](http://bfh.ch/ti/industry)  
[bfh.ch/ti/research](http://bfh.ch/ti/research)

## Continuing education programmes

The further education courses offered by Bern University of Applied Sciences are aligned with current economic, social and cultural requirements, keeping pace with the constantly changing global environment.

The further education courses in Engineering and Information Technology address both engineers and future managers. They aim to expand and build on existing competencies. To this end, BFH offers a unique, interdisciplinary range of CAS modules that can be combined within different EMBA, MAS and DAS degree programmes. The programmes focus on the fields of innovation, management, information technology, data science, cyber security and digital forensics, engineering, digital transformation and digital health.

For additional information please go to  
[bfh.ch/ti/continuingeducation](http://bfh.ch/ti/continuingeducation)

# Alumni BFH

## Alumni BFH

## Alumni BFH

6 Alumni BFH vereint die ehemaligen Studierenden sowie die Alumni-Organisationen der BFH unter einem Dach. Als Alumni sind Sie Teil eines lebendigen Netzwerkes und profitieren von attraktiven Leistungen.

Sie erhalten regelmässig den Newsletter «Alumni aktuell» und können der Community auf Facebook, XING und LinkedIn beitreten. Übers Projekt Neptun beziehen Sie vergünstigte Laptops und profitieren vom attraktiven FH SCHWEIZ-Leistungsangebot. Auf Sprachkurse bei inlingua, auf Kurse der Volkshochschule Bern und auf das Sortiment von Mister Tie erhalten Sie 10% Rabatt. Zudem erhalten Sie 5% Rabatt auf Tablet-, Smartphone- und Mac-Reparaturen bei MobileRevolution GmbH.

Ausserdem können Sie am Netzwerk-Abend Alumni BFH, an den vielseitigen Events der Alumni-Vereine und am Sportangebot der Universität Bern teilnehmen. Im Online-Karriereportal finden Sie attraktive Stellenangebote, nützliche Checklisten und das Weiterbildungsangebot der BFH.

Mehr Informationen zu Alumni BFH und den Leistungen unter [alumni.bfh.ch](http://alumni.bfh.ch)

Alumni BFH réunit sous un même toit tous les anciens étudiant-e-s et les organisations Alumni de la BFH. En tant qu'Alumni, vous faites partie d'un réseau vivant et profitez de prestations attractives.

Vous recevez régulièrement la Newsletter «Alumni actuelle» et avez la possibilité de rejoindre la communauté sur Facebook, XING et LinkedIn. Le projet Neptun vous permet d'acquérir des ordinateurs portables à prix préférentiel et vous profitez également de l'offre de prestations FH SUISSSE. Vous bénéficiez d'un rabais de 10% sur les cours de langues chez inlingua ainsi que sur l'offre de cours de l'Université populaire de Berne. Vous bénéficiez également d'un rabais de 5% sur les réparations de tablettes, smartphones et Mac chez MobileRevolution GmbH.

De plus, vous pouvez participer à la soirée de réseautage Alumni BFH, aux différents événements des sociétés Alumni et à l'offre de sport de l'Université de Berne. Le portail de carrière en ligne vous propose des offres d'emploi attrayantes, des check-lists utiles et l'offre de formation continue de la BFH.

Plus d'informations sur Alumni BFH et les prestations sur [alumni.bfh.ch](http://alumni.bfh.ch)

The Alumni BFH unites former students as well as the Alumni organization of the BFH under one roof. As an alumnus you are part of a lively network and benefit from attractive services.

You regularly receive the informative newsletter «Alumni aktuell» and you may join the community on Facebook, XING and LinkedIn. Via the Neptune Project you purchase laptops at special conditions and you benefit from the attractive FH SWITZERLAND services. For language courses at inlingua, and courses offered by the Volkshochschule Bern, as well as the assortment of Mister Tie, you get a 10% discount. Further, you receive a 5% discount on tablet, smartphone and Mac repairs at MobileRevolution GmbH.

In addition, you can participate in the Alumni BFH network evening, the versatile events of the alumni associations, and make use of the sports facilities of the University of Bern. On the online career portal you will find attractive job opportunities, useful checklists as well as the continuing education offers of BFH.

More information about Alumni BFH and services under [alumni.bfh.ch](http://alumni.bfh.ch)



Die Alumni-Organisationen der BFH verbinden ihre Absolventinnen und Absolventen, ermöglichen das Knüpfen von Kontakten und den systematischen Aufbau eines Beziehungsnetzes.

Les organisations Alumni de la BFH réunissent leurs diplômé-e-s, leur permettent de nouer des contacts et de se créer un réseau de relations.

The BFH alumni organizations connect the graduates, enable socializing as well as creating an essential network.

# Infotage

## Journées d'information

### Info days

Interessiert Sie ein Studium an der Berner Fachhochschule? Wir öffnen unsere Türen: Holen Sie sich alle Informationen zu unseren Bachelor- und Masterstudiengängen, Zulassungsbedingungen, Studienbedingungen und unserer Schule. Führen Sie beim Apéro persönliche Gespräche mit Studierenden und Dozierenden, und besuchen Sie unsere Labore in Biel und Burgdorf.

Mit einer Weiterbildung auf Masterstufe gehen Sie in Ihrer Karriere einen Schritt weiter. Unsere umfassende, interdisziplinäre Palette von Modulen ermöglicht Ihnen, Ihre Kompetenzen auf verschiedensten Gebieten zu erweitern und zu ergänzen. Informieren Sie sich in einem persönlichen Beratungsgespräch.

Mehr Informationen unter [bfh.ch/ti/infotage](http://bfh.ch/ti/infotage)

Vous intéressez-vous à des études à la Haute école spécialisée bernoise? Nous vous ouvrons nos portes: venez recueillir toutes les informations utiles sur nos filières de bachelor et de master, sur les conditions d'admission, sur les conditions d'études et sur notre école. Discutez avec des étudiant-e-s et des enseignant-e-s lors de l'apéro et visitez nos laboratoires à Bienne et Berthoud.

Avec des études de master, vous faites un pas de plus dans votre carrière. Notre gamme étendue et interdisciplinaire de modules vous permet d'étendre vos compétences dans les domaines les plus divers. Informez-vous dans le cadre d'un entretien de conseil personnel.

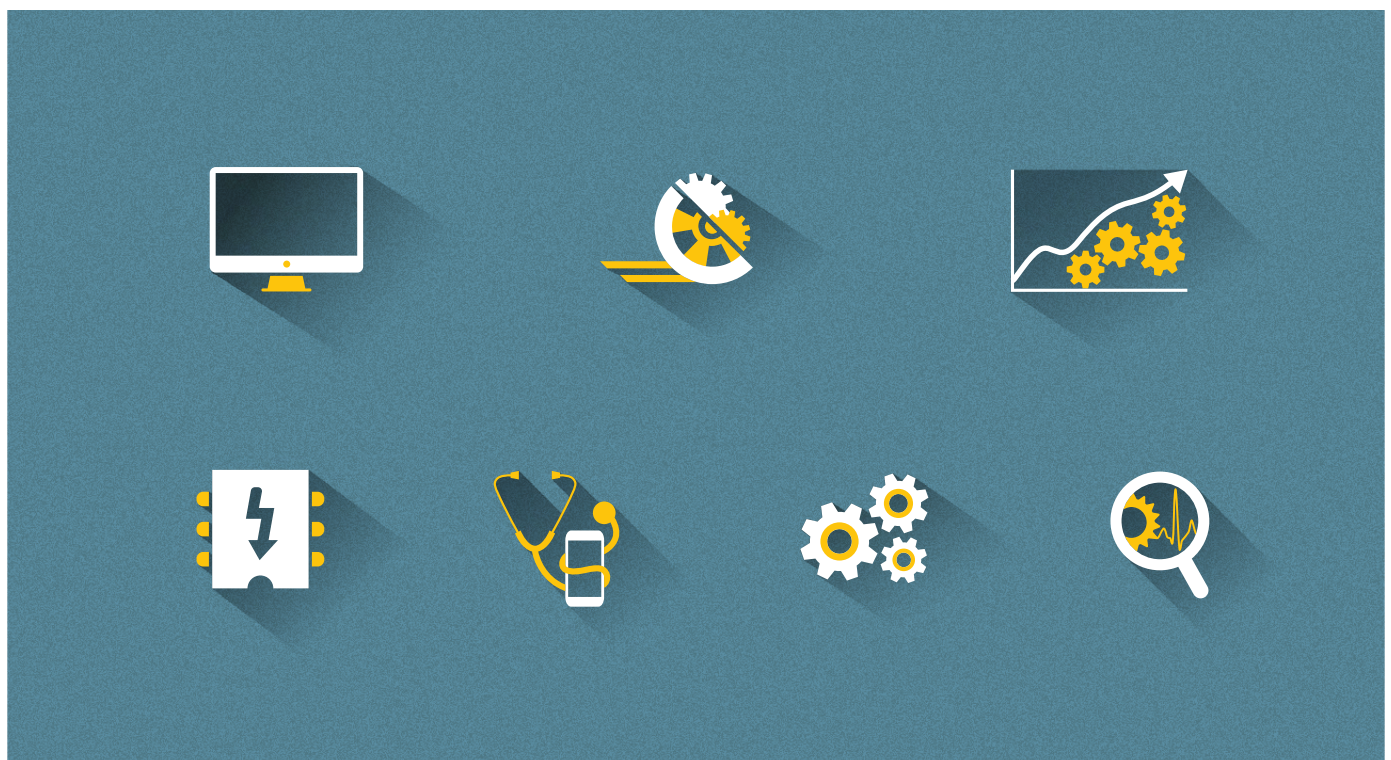
Pour en savoir plus [bfh.ch/ti/journeesdinformation](http://bfh.ch/ti/journeesdinformation)

Are you interested in studying at Bern University of Applied Sciences? If so, we invite you to attend our open house events. There you can obtain full information about our Bachelor's and Master's degree programmes and about requirements for admission, study conditions and our university. We welcome you to attend our cocktail reception to talk personally with students and professors and to visit our laboratories in Biel and Burgdorf.

You take your career a step further by continuing your education at the Master's level. Our broad, interdisciplinary range of modules allows you to expand and complete your competencies in the widest variety of fields. Arrange a personal consultation for all the details.

For additional information please go to [bfh.ch/ti/infodays](http://bfh.ch/ti/infodays)

7





# Master of Science in Engineering

8



**Prof. Dr. Michael Röthlin**

**Fachbereichsleiter Master of Science in Engineering**

**Responsable du domaine Master of Science in Engineering**

**Head of Division Master of Science in Engineering**

Der Studiengang Master of Science in Engineering (MSE) ist ein gemeinsames Bildungsangebot aller Schweizer Fachhochschulen und das MSE-Masterdiplom der höchste akademische Abschluss, den die Fachhochschulen im Bereich Technik und Informatik sowie Bauwesen vergeben. Das Studium steht nur den besten Abgängerinnen und Abgängern der Bachelorstudiengänge offen. Entsprechend hoch ist auch die Anerkennung dieses Mastertitels, der nunmehr seit über zehn Jahren in dieser Form angeboten wird. Die Abgängerinnen und Abgänger haben in allen Bereichen sehr gute Zukunftsaussichten.

## **Internationale Ausrichtung**

Mit der zunehmenden Internationalisierung steigt die Vergleichbarkeit der Studiengänge. Der internationale Austausch ist ein wichtiger Aspekt dieser Masterausbildung: Einerseits sind Studienaufenthalte im Ausland möglich, andererseits bieten mehrere Vertiefungen auch eine Mitarbeit in internationalen Forschungsprojekten an. Zudem wird die Mehrzahl der zentralen, gesamtschweizerisch organisierten Lehrveranstaltungen in Englisch durchgeführt, was den Studierenden nebst Kontakten mit Gleichgesinnten aus dem In- und Ausland auch sprachlich einen deutlichen Mehrwert bringt.

## **Hoher Praxisbezug**

Die Grundausbildung wird von den Schweizer Fachhochschulen gemeinsam an den zentralen Standorten in Lausanne, Zürich und Lugano angeboten. Parallel zur Grundausbildung werden die Studierenden von Beginn an in eine Forschungseinheit eingebunden und arbeiten an Projekten aus der Praxis. Die Masterarbeiten sind alle direkt an Fragestellungen aus der Wirtschaft gekoppelt. Die Vertiefungen pflegen dabei ihre eigenen Profilierungen, weisen aber eine identische Studienstruktur auf.

## **Gute Marktchancen**

Studienabgängerinnen und -abgänger qualifizieren sich mit dem Master of Science in Engineering für eine Karriere in Forschungs- und Entwicklungsabteilungen, in der Produktion, Logistik, in der Beratung in der Wirtschaft oder in öffentlichen Institutionen. Oder sie übernehmen Verantwortung bei der

La filière d'études Master of Science in Engineering (MSE) est une offre de formation commune à toutes les hautes écoles spécialisées et le diplôme universitaire de master MSE le plus élevé décerné par les hautes écoles spécialisées dans le domaine Technique et informatique ainsi que dans celui du Génie civil. Seuls les meilleurs diplômé-e-s des filières d'études de bachelor y ont accès. La reconnaissance de ce titre de master, offert sous cette forme depuis plus de dix ans, est d'autant plus élevée. De très bonnes perspectives d'avenir s'ouvrent aux diplômé-e-s dans tous les secteurs.

## **Orientation internationale**

Avec l'internationalisation croissante, il est de plus en plus facile de comparer les filières d'études. L'échange international est donc également un aspect important de cette formation de master: il est d'une part possible de faire des séjours d'études à l'étranger, d'autre part plusieurs orientations proposent une coopération à des projets de recherche internationaux dans le cadre de l'orientation technique. En outre, la majorité des cours centraux organisés au niveau national se déroulent en anglais ce qui permet aux étudiant-e-s d'entrer en contact avec des personnes de Suisse et de l'étranger partageant les mêmes idées et apporte une véritable valeur ajoutée au niveau linguistique.

## **Forte orientation pratique**

La formation de base est proposée conjointement par les hautes écoles spécialisées suisses sur les sites centraux à Lausanne, Zurich et Lugano. Parallèlement à la formation de base, les étudiant-e-s sont intégrés dès le début à une unité de recherche et travaillent sur des projets pratiques. Les travaux de master sont tous liés directement aux problèmes du monde économique. Les orientations gèrent leurs propres profilages mais présentent une structure d'études identique.

## **Bonnes opportunités sur le marché**

Avec le Master of Science in Engineering, les diplômé-e-s sont qualifiés pour une carrière dans des départements de recherche et développement, dans la production, la logistique, le conseil en entreprises ou institutions publiques. Ils peuvent aussi assumer

The Master of Science in Engineering (MSE) is a degree programme run jointly by all Swiss universities of applied sciences and the MSE master's degree is the highest academic qualification that these universities can award in engineering, information technology and civil engineering. Since only the best graduates from the bachelor's degree programme are admitted to the course, this master's degree – which has now been available in this form for more than ten years – enjoys a correspondingly high reputation. Graduates have outstanding future prospects in all areas.

## **International orientation**

Increasing internationalisation makes it easier to compare degree programmes. This explains why international exchange is also a key element of this master's programme. Study periods abroad are available and several specialisations offer the opportunity to collaborate on international research projects. Most of the lectures organised centrally for the whole of Switzerland are held in English, which is of great benefit to students linguistically as well as giving them the opportunity to meet like-minded peers from Switzerland and abroad.

## **High degree of practical application**

The foundation courses are provided jointly by the Swiss universities of applied sciences at the central locations in Lausanne, Zurich and Lugano. While following the foundation courses, the students are assigned a research unit right away and work on application-oriented projects. The master's theses are all directly linked to commercial issues. The specialist areas develop their own profile, but have an identical study structure.

## **Good market opportunities**

Master of Science in Engineering graduates are well qualified for careers in research and development departments, production, logistics, business consulting and public institutions. Some assume responsibility for the management of interdisciplinary projects. As most have already worked closely with a company on their master's thesis, they have excellent prospects when

Leitung interdisziplinärer Projekte. Weil sie meist schon für ihre Master-Thesis eng mit einem Unternehmen zusammengearbeitet haben, sind ihre Aussichten, anschliessend in der Wirtschaft Fuss zu fassen, exzellent.

### Titel/Abschluss

Master of Science in Engineering (MSc Engineering)

### Studienform

Vollzeitstudium (3 Semester) oder Teilzeitstudium (maximal 7 Semester)

### Unterrichtssprachen

Deutsch/Französisch/Englisch.

### Vertiefungen

Der Master of Science in Engineering umfasste bislang schweizweit sieben Vertiefungen, von welchen an der BFH-TI die vier Abschlüsse in Energy and Environment, Industrial Technologies, Information and Communication Technologies sowie Business Engineering and Production belegt werden konnten.

Mit Beginn des akademischen Jahres 2020-21 bietet die Berner Fachhochschule, Departement Technik und Informatik, das Studium im Rahmen der schweizweiten Neuausrichtung des MSE an: Masterstudierende wählen zwischen den festgelegten Vertiefungen Business Engineering, Civil Engineering, Computer Science, Data Science, Electrical Engineering, Energy and Environment, Mechatronics and Automation, Mechanical Engineering, Medical Engineering sowie Photonics.

Die Bezeichnung des gewählten Fachgebietes, resp. künftigen Profils, ergänzt den verliehenen Grad des Master of Science BFH in Engineering. Die fachliche Vertiefung wird mithilfe von Projekten, ergänzenden Veranstaltungen und der Masterarbeit in enger Zusammenarbeit mit einer Studienberaterin oder einem Studienberater (Advisor) absolviert.

### Masterarbeit

Die Praxisorientierung des Studienganges ist zentral: Studierende werden in Forschungsprojekten einbezogen und schreiben ihre Master-Thesis in der Regel in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen.

### Kontakt

Haben Sie Fragen zum Master-Studiengang MSE?  
Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme!

032 321 62 37  
katja.jeanbourquin@bfh.ch (Sekretariat)  
michael.roethlin@bfh.ch  
(Fachbereichsleiter)

### Mehr Informationen

bfh.ch/mse

la direction de projets interdisciplinaires. Comme ils ont, la plupart du temps, déjà étroitement collaboré avec une entreprise dans le cadre de leur travail de master, leurs perspectives de s'implanter dans le milieu économique sont excellentes.

### Titre/Diplôme

Master of Science in Engineering (MSc Engineering)

### Forme des études

Études à plein temps (3 semestres) ou études à temps partiel (maximum 7 semestres)

### Langues d'enseignement

Allemand/français/anglais.

### Orientations

Jusqu'à présent, le Master of Science in Engineering comprenait sept orientations à l'échelon national. Les quatre orientations suivantes étaient proposées à la BFH-TI: Energy and Environment, Industrial Technologies, Information and Communication Technologies, ainsi que Business Engineering and Production.

Pour le début de l'année académique 2020-2021, la Haute école spécialisée bernoise, département Technique et informatique, propose des études dans le cadre de la nouvelle structuration du MSE en Suisse. Les étudiant-e-s du cycle de master peuvent choisir parmi les orientations fixées: à savoir Business Engineering, Civil Engineering, Computer Science, Data Science, Electrical Engineering, Energy and Environment, Mechatronics and Automation, Mechanical Engineering, Medical Engineering et Photonics.

Le nom de l'orientation choisie ou du futur profil complète le grade de Master of Science BFH in Engineering décerné. L'orientation technique est effectuée en étroite collaboration avec un conseiller ou une conseillère à l'aide de projets, d'activités complémentaires et du travail de master.

### Travail de master

L'orientation pratique de la filière d'études est centrale: les étudiant-e-s sont impliqués dans des projets de recherche et rédigent généralement leur mémoire de master en collaboration avec une entreprise.

### Contact

Avez-vous des questions sur la filière d'études de master MSE?  
N'hésitez pas à nous contacter!

032 321 62 37  
katja.jeanbourquin@bfh.ch (secrétariat)  
michael.roethlin@bfh.ch  
(responsable du domaine)

### Plus d'informations

bfh.ch/fr/mse

it comes to getting established in the world of business.

### Title/degree programme

Master of Science in Engineering (MSc Engineering)

### Mode of study

Full-time study (3 semesters) or part-time study (a maximum of 7 semesters)

### Languages of instruction

German/French/English.

### Specialisations

The Master of Science in Engineering has until now covered seven specialisations throughout Switzerland, of which four can be taken at the BFH-TI: Energy and Environment, Industrial Technologies, Information and Communication Technologies, and Business Engineering and Production.

From the beginning of the 2020-21 academic year, the Bern University of Applied Sciences Department of Engineering and Information Technology will offer the degree within the scope of the Swiss-wide restructuring of the MSE. Master's students will be able to choose between the following fixed specialisations: Business Engineering, Civil Engineering, Computer Science, Data Science, Electrical Engineering, Energy and Environment, Mechatronics and Automation, Mechanical Engineering, Medical Engineering and Photonics. The title of the chosen field of study, or, in future, of the profile, supplements the Master of Science BFH in Engineering degree awarded. The specialisations are pursued through projects, supplementary events and the master's thesis in close cooperation with an advisor.

### Master's thesis

The practical focus of the degree programme is of prime importance: students are involved in research projects and generally write their master's theses in cooperation with a company.

### Contact

Do you have any questions about the MSE master's degree programme?  
We look forward to hearing from you.

032 321 62 37  
katja.jeanbourquin@bfh.ch (Secretariat)  
michael.roethlin@bfh.ch  
(Head of Division)

### More information

bfh.ch/en/mse

# Interview mit Student

## Interview d'étudiant

### Interview with student

10



Thomas Reto Strub

#### Warum haben Sie sich für dieses Studium entschieden?

Das Bachelorstudium in Informatik hatte ich als Jahrgangsbester abgeschlossen. Mein Studienberater legte mir damals nahe, auch das Masterstudium zu absolvieren. Da ich noch etwas skeptisch war, traf ich mich mit dem Leiter der zuständigen Master Research Unit, den ich bereits als Professor aus dem Bachelorstudium kannte. Er zeigte mir die Vorteile des MSE auf und stellte mir gleich mehrere spannende Projekte vor. Da das Modulangebot im Bereich IT und insbesondere im Bereich Data Engineering noch nicht so vielfältig war wie heute, erhielt ich zusätzlich das Angebot, die Vorlesungen und Prüfungen der CAS-Studiengänge Business Intelligence und Big Data als Teil meines Masterstudiums zu absolvieren. Gänzlich überzeugt hat mich schliesslich das Treffen mit zwei Mitarbeitenden des Industriepartners – der Direktorin Informatik der Solothurner Spitäler und ihres Stellvertreters. Sie haben mich von Beginn an unterstützt und mir unkompliziert und parallel zum Studium eine 50%-Stelle im Direktionsstab Informatik angeboten.

#### Wie sah der Studienalltag aus? Was gefiel Ihnen besonders gut an diesem Studium?

Zu Beginn des Studiums arbeitete ich an fünf Halbtagen beim Industriepartner in Solothurn und habe an einem bis zwei Abenden zentrale MSE-Vorlesungen auf dem Hochschulcampus beim Hauptbahnhof Zürich sowie an je einem Tag CAS-Vorlesungen an der BFH in Bern und lokale MSE-Vorlesungen an der BFH in Burgdorf oder Biel besucht. Während der nächsten Semester besuchte ich weiterhin an einem oder zwei Halbtagen zentrale Vorlesungen in Zürich. Die Projektarbeiten, die über 50% der Studienleistung ausmachen, rückten jedoch immer weiter in den Mittelpunkt. Daran arbeitete ich hauptsächlich zuhause oder beim Industriepartner. Regelmässig habe ich mich auch mit dem Studienberater an der BFH in Biel getroffen.

#### Arbeiteten Sie nebenher (während des Semesters / während der Ferien)?

Das Bachelorstudium hatte ich während drei Jahren als Vollzeitstudium absolviert, anschliessend wollte ich jedoch unbedingt

wieder in den Arbeitsalltag einsteigen. Daher habe ich das Masterstudium berufsbegleitend absolviert und war neben dem Studium zuerst 50%, während der letzten zwei Semestern zu 60% beim Industriepartner angestellt.

#### Was machen Sie heute beruflich? Inwiefern können Sie von Ihrem Studium profitieren?

Ich arbeite weiterhin beim Industriepartner, inzwischen als Projektleiter im Direktionsstab Informatik der Solothurner Spitäler. Diese Stelle wurde parallel zu meinem Studium speziell für mich geschaffen. Der Masterabschluss trug einen grossen Teil zu dieser ausserordentlichen Möglichkeit bei. Auch fachlich hilft mir mein Masterstudium, insbesondere die Weiterbildung im Rahmen der CAS-Studiengänge Business Intelligence und Big Data sowie das Modul über geografische Informationssysteme. Innerhalb der Direktion Informatik bin ich aufgrund meines technischen Fachwissens nun unter anderem verantwortlich für klinische und geografische Datenauswertungen. In dieser Rolle unterstütze ich unter anderem die Pflegeentwicklung sowie den ärztlichen Dienst und den Rettungsdienst bei der Optimierung ihrer Prozesse. Weiter bin ich als Projektleiter und Teilprojektleiter an verschiedenen Projekten zur Einführung sowie Integration von Applikationen beteiligt.

#### Welchen Tipp haben Sie für jemanden, der dieses Studium in Betracht zieht?

Das grösste Problem während meines Masterstudiums war die Vereinbarkeit der Studienprojekte mit dem laufenden Betrieb beim Industriepartner. Aufgrund der knappen Ressourcen konnten die nötigen Vorarbeiten innerhalb des Betriebs nicht termingerecht geschafft werden, was meine Studienarbeit direkt beeinflusst hat, die an die fixen Semesterstrukturen der Berner Fachhochschule gebunden war. Ich rate allen, die Studienarbeiten bei Industriepartnern absolvieren, die Rahmenbedingungen klar abzuklären. Es ist äusserst spannend, ein Projekt abzuschliessen und in den produktiven Einsatz zu übergeben, doch die Voraussetzungen müssen gegeben sein und die Abgrenzungen klar festgehalten werden.

The logo for Bystronic, featuring the word "Bystronic" in white text on a red background. The letter "y" is stylized with a grid of white dots.

**Bystronic**

# **Best choice.** Karriere bei **Bystronic.**

Cutting | Bending | Automation  
[careers.bystronic.com](https://careers.bystronic.com)

# Zusammenarbeitsformen

## Formes de collaboration

### Collaboration

- 12 Neue Erkenntnisse gewinnen, Synergien schaffen, Praxisnähe erfahren: Die Berner Fachhochschule arbeitet in der angewandten Forschung und Entwicklung eng mit der Wirtschaft und der Industrie zusammen. Dadurch wird die Verknüpfung von Forschung und Lehre gestärkt, und es fließt neues Wissen in den Unterricht ein. Dies führt zu einer qualitativ hochwertigen und praxisnahen Lehre.

Damit Unternehmen bereits heute die Spezialistinnen und Spezialisten von morgen kennenlernen oder sich an eine Thematik herantasten können, besteht die Möglichkeit, Projekt- oder Abschlussarbeiten in Zusammenarbeit mit Studierenden durchzuführen.

Als Wirtschaftspartner können Sie Themen vorschlagen. Werden Themen gewählt, bearbeiten Studierende diese alleine oder in kleinen Gruppen in dafür vorgesehenen Zeitfenstern selbstständig. Dabei werden die Studierenden durch ihre Fachperson sowie eine Dozentin oder einen Dozenten der Berner Fachhochschule betreut. Die Rechte und Pflichten der beteiligten Parteien werden in einer Vereinbarung geregelt.

Möchten Sie Themen für studentische Arbeiten vorschlagen und mehr über eine mögliche Zusammenarbeit erfahren? Kontaktieren Sie uns und überzeugen Sie sich vom Innovationspotenzial unserer Studierenden.

Acquérir de nouvelles connaissances, créer des synergies, découvrir la pertinence pratique : dans le domaine de la recherche appliquée et du développement, la Haute école spécialisée bernoise travaille en étroite collaboration avec l'économie et l'industrie. Le lien entre la recherche et l'enseignement en est renforcé et l'enseignement profite des nouvelles connaissances. Il en résulte un enseignement de haute qualité et axé sur la pratique.

Pour permettre aux entreprises de faire aujourd'hui déjà la connaissance des spécialistes de demain ou d'aborder un sujet, elles ont la possibilité de réaliser des projets ou des travaux de fin d'études en collaboration avec des étudiant-e-s.

En tant que partenaire économique, vous pouvez proposer des thèmes. S'ils sont choisis, les étudiant-e-s les traitent de manière autonome, seuls ou en petits groupes, dans les créneaux horaires prévus à cet effet. Les étudiant-e-s seront encadré-e-s par votre spécialiste ainsi que par une enseignante ou un enseignant de la Haute école spécialisée bernoise. Une convention régit les droits et les obligations des parties concernées.

Vous souhaitez proposer des thèmes pour des travaux d'étudiant-e-s et en savoir plus sur une éventuelle collaboration? Contactez-nous et laissez-vous convaincre par le potentiel d'innovation de nos étudiant-e-s.

Gain new insights, create synergies, experience practical relevance: Bern University of Applied Sciences BFH works closely with business and industry in areas of applied research and development. This strengthens the link between research and education, allowing new knowledge to flow into our teaching, which leads to high-quality and practice-oriented degree programmes.

To allow companies to get to know the specialists of tomorrow today or to explore a topic, they can carry out projects or theses in cooperation with our students.

As a business partner, you can suggest topics. Once these topics are chosen, students work on them independently, either individually or in small groups, within designated time frames. Students are supervised by both your specialist and a BFH lecturer. The rights and obligations of the parties involved are set out in a written agreement.

Would you like to suggest topics for student projects and find out more about possible cooperation? Contact us and convince yourself of the innovation potential of our students.

### Studentische Arbeiten | Travaux d'étudiant-e-s | Student projects

Das Modell einer flexiblen Zusammenarbeit mit Industrie und Wirtschaft wird in studentischen Arbeiten erfolgreich umgesetzt:  
La flexibilité du modèle de collaboration avec l'industrie et l'économie se concrétise avec succès dans les travaux d'étudiant-e-s:  
The model of flexible cooperation with industry and business is successfully implemented in student projects:



Semesterarbeit, Bachelor-Thesis, Master-Thesis  
Travaux de semestre, travail de Bachelor, mémoire de master  
Semester Projects, Bachelor Thesis, Master Thesis



Wochen bis Monate  
De quelques semaines à plusieurs mois  
Weeks to months



Kostenbeitrag zulasten des Auftraggebers  
Frais à charge du donneur d'ordre  
Costs are at the expense of the Client

### Auftragsforschung und Dienstleistungen | Recherche sous contrat et prestations de service | Contract Research and Services

Wir bieten Auftragsforschung und erbringen vielfältige Dienstleistungen für unsere Kundinnen und Kunden (inkl. Nutzung der BFH-Infrastruktur sowie des Forschungsnetzwerkes). | Nous effectuons des recherches sous contrat et fournissons une vaste palette de prestations de services à nos clientes et clients – y compris l'utilisation des infrastructures BFH et du réseau de recherche. | We carry out contract research and provide a wide range of services for our clients, such as exclusive use of the BFH infrastructure and the research network.



Planung, Coaching, Tests, Expertisen, Analysen;  
durchgeführt von Expertinnen und Experten  
Planification, coaching, tests, expertises, analyses par des expert-e-s  
Planning, Coaching, Tests, Expertise, Analysis: done by experts



Wochen bis Monate  
De quelques semaines à plusieurs mois  
Weeks to months



Marktbübliche Preise  
Prix du marché  
Prevailing Prices

### F&E-Kooperationen | Coopérations R&D | R & D Collaboration

Die BFH-TI erbringt Leistungen im Bereich der angewandten Forschung und Entwicklung:  
La BFH-TI fournit des prestations de service dans le domaine de la recherche appliquée et du développement:  
The BFH-TI provides services in Applied Research and Development:



Kooperationen mit Fördermitteln – mittlere und  
grössere Projekte mit:  
Coopérations bénéficiant de subventions – projets de moyenne  
et grande envergure avec:  
Public Aid – medium and large-sized projects with:

Innosuisse, SNF / FNS, EU / UE



Monate bis Jahre  
De quelques mois à plusieurs années  
Months to years



Teilfinanziert durch  
öffentliche Fördergelder  
Financement partiel par  
des subventions publiques  
Partly public funding

# Liste der Absolventinnen und Absolventen

## Liste des diplômé-e-s

## List of Graduates

14 Im Folgenden präsentieren wir Ihnen die Zusammenfassungen der Masterarbeiten Master of Science in Engineering des Jahres 2020.

Die Absolventinnen und Absolventen sind in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt. Bei Teams bestimmt die alphabetische Position des ersten Teammitglieds die Einordnung.

Die Studierenden haben die Texte – teils mit Unterstützung der betreuenden Dozierenden – selbst verfasst. Die Texte wurden vor Publikation nicht systematisch redigiert und korrigiert.

Ci-après, nous vous présentons les résumés des travaux de master en Master of Science in Engineering de l'année 2020.

Les diplômé-e-s sont présentés dans l'ordre alphabétique. Il en va de même lorsqu'il s'agit d'un team où ses membres sont présentés par ordre alphabétique.

Les étudiant-e-s ont rédigé les textes de façon autonome – parfois avec l'aide des enseignant-e-s qui les encadrent. Les textes n'ont pas systématiquement été relus ou corrigés avant la publication.

Below we have summarized for you the Master theses in Master of Science in Engineering in 2020.

The authors are listed alphabetically. For teams, the name of the first team member determines the alphabetical listing.

The texts were written by the students themselves, with some support from their lecturers. The texts were not systematically edited nor corrected before publication.

Bärtschi Joël.....	15	Kaderli Simon .....	20	Schranz Matthias .....	15
Bühlmann Florian Andreas.....	16	Konjevod Mario.....	21	Strub Thomas Reto .....	25
Eichenberger Stefan .....	17	Luder Daniel.....	22	Weyeneth Stefan.....	26
Haktanir Aysegül.....	18	Moulet Yoann .....	23	Zwahlen Marcel-David .....	27
Heiniger Lukas Jonas .....	19	Raitz Novais Thiago .....	24		

# Qualitätsschätzung von Laserschneidprozessen mittels Deep Learning

Studiengang: Master of Science in Engineering | Vertiefung: Industrial Technologies  
Betreuer: Prof. Roger Weber, Prof. Dr. Horst Heck  
Experte: Daniel Kühni (Inetronic AG)  
Industriepartner: Bystronic Laser AG, Niederörs

15

Das Laserschneiden hat sich aufgrund der schnellen Bearbeitung ohne mechanische Belastung in der Metallverarbeitungsindustrie etabliert. Zentrale Voraussetzung für eine hohe Wirtschaftlichkeit der Anlagen ist eine konstant hohe Schnittqualität. Die effektive Qualität wird jedoch erst nach der Entnahme der Werkstücke sichtbar. In dieser Thesis wurden Methoden entwickelt, welche mittels künstlicher Intelligenz anhand von Videoaufnahmen die Qualität des Laserprozesses schätzen.

## Ausgangslage

Die Bystronic Laser AG ist einer der weltweit führenden Hersteller von hochautomatisierten Laserschneidanlagen für die Metallverarbeitungsindustrie. Die Schnittqualität muss dabei über mehrere Durchgänge sehr hoch bleiben, um Kosten der Nachbearbeitung oder Ausschuss zu vermeiden. Externe Faktoren wie rostiges Werkstückmaterial oder verschmutzte Schutzgläser der Laseroptik können den Prozess unvorhersehbar beeinträchtigen.

## Ziele

Das Ziel der Bystronic Laser AG ist es, die Schnittqualität anhand von Videoaufnahmen des Laserprozesses in Echtzeit zu schätzen. Vorstudien haben gezeigt, dass klassische Methoden der Bildverarbeitung ungenau sind. Die vorliegende Arbeit soll die Machbarkeit von Deep-Learning-Methoden prüfen. Dabei sollen Deep-Learning-Modelle durch maschinelles Lernen geeignete Merkmale finden und damit selbstständig die Schnittqualität schätzen. Die Methoden sollen die unterschiedlichen Qualitätsmerkmale auf einer mehrstufigen Skala robust und genau schätzen können. Die Untersuchungen sollen aber auch aufzeigen, welche Sensorik mit welchen Einstellungen für eine Industrialisierung zu wählen sind. Nicht zuletzt sollen diese Untersuchungen ein tieferes Verständnis des Laserprozesses liefern, da heute kein physikalisches Modell die Qualität des Prozesses mit ausreichender Genauigkeit vorhersagen kann.

## Umsetzung

Die Bystronic Laser AG hat ein umfassendes Datenset von verschiedenen Laserprozessen erstellt. Die Schnitt-

qualität ist nach der Bearbeitung quantitativ erfasst worden. Das Datenset wurde in dieser Thesis explorativ analysiert und mit den notwendigen Vorverarbeitungsschritten aufbereitet. Die multidimensionalen Ein- und Ausgabedaten sowie die umfangreichen Tests mit Kreuzvalidierung führten zu fast 3000 Trainings. Mithilfe des Frameworks Tensorflow wurde eine skalierbare Pipeline entwickelt, welche die Entwicklungszeit von Modellen massiv reduziert. Neue Deep-Learning-Modelle können mit wenigen Schritten in die Pipeline eingebunden und auf dem Datenset trainiert werden. Künftige Datensets von anderen Werkstoffmaterialien oder Prozesstechnologien können schnell auf den bewährten Modellen getestet werden.

## Resultate

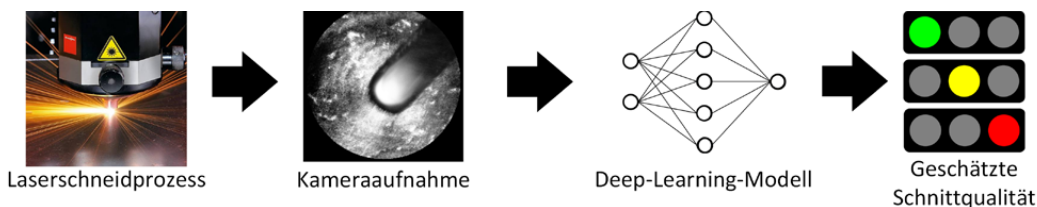
Die vorliegende Arbeit zeigt, dass Deep-Learning-Modelle, welche die zeitliche Dimension der Sensorik berücksichtigen, signifikant besser abschneiden als statische Modelle. Die vorgeschlagenen Algorithmen können zwei vordefinierte Qualitätsmerkmale mit einer Genauigkeit von über 98.5% schätzen. Ein weiteres Merkmal kann bereits zufriedenstellend ermittelt werden. Das Verständnis der Sensorik, des Laserprozesses sowie seine Auswirkung auf die Schnittqualität konnte verbessert werden, sodass in Zukunft noch gezieltere Studien möglich sind. Mit der entwickelten Pipeline kann dem Auftraggeber hierfür ein mächtiges und effizientes Werkzeug übergeben werden. Die im Rahmen dieser Arbeit entstandene Patentanmeldung unterstreicht den hohen Innovationsgrad dieser Lösung.



Joël Bärtschi



Matthias Schranz



Funktionsprinzip der Schnittqualitätsschätzung



# Towards Implementing a Crypto Currency Flow Analyzer for Law Enforcement Agencies

Degree programme : Master of Science in Engineering | Specialisation : Information and Communications Technologies  
Thesis advisor : Prof. Dr. Ulrich Fiedler  
Expert : MLaw Mike Kindler  
Industrial partner : Law Enforcement Agency, Switzerland

Law enforcement agencies struggle with the complexity of cryptocurrency crimes, since appropriate means of investigation are not available. If agencies had access to a visualization tool, they could explore and document the cryptocurrency transactions efficiently. In this work we demonstrate a visual presentation of Bitcoin transactions and present a software solution for efficiently working in cryptocurrency crime cases.



Florian Andreas Bühlmann  
f.buehlmann@gmail.com

## Initial Situation

Crime scenes are increasingly situated digitally in the internet. The seizure and subsequent investigation of evidence often reveals digital traces that lead to cryptocurrencies such as **Bitcoin**. Past cases have shown that the complexity of cryptocurrency investigations is often so high, that investigators had to use hand drawn visualizations to keep track of all relevant activities. However, focusing on the interesting activities and suppressing the irrelevant data is nearly impossible. If investigators had access to an **automated visualization**, they could find the relevant activities efficiently and document the results for use in court.

## Approach

In collaboration with a law enforcement agency we planned, designed and built an application that visualizes Bitcoin transactions. Since the requirements were initially unknown, we first developed the visual presentation, elaborated a systems- and screen-design and built a **minimum viable product**. Afterwards, we collected feedback from the investigators and conducted a **field-test**. We have then realized the improvements in an iterative process by working in three-weekly sprints. As a result, the agency could continuously influence the improvement process.

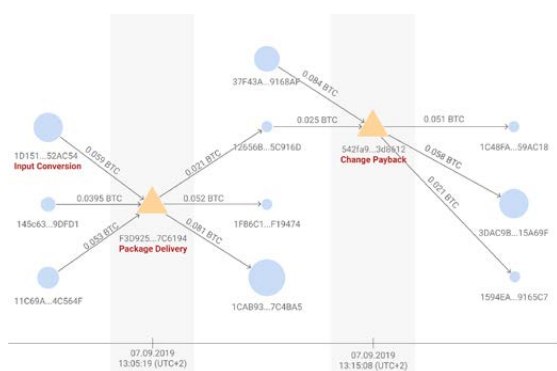
## Results

Our solution is a **web-accessible visualization tool** based on a graph. Investigators can visualize Bitcoin addresses and transactions, annotate elements, show additional details and export a PDF report. The proposed graph is aligned on a horizontal timeline, preserving the aspect of time, so that investigators can quickly locate all transactions in the relevant time frame. Furthermore, an automation process allows finding related addresses and transactions in the neighborhood so that new traces such as pyramid schemes can be discovered.

The data used in the visualization is retrieved from a publicly available web service. A **backend** component abstracts the data and provides an API and Web-Socket endpoint used by the frontend. The **frontend** component then presents the visualization to the user. In our tool we developed a custom algorithm for calculating and drawing the graph, as existing solutions were insufficient. Since we containerized the components, the tool can be easily distributed to other law enforcement agencies.

## Outlook

By having access to a visualization tool, law enforcement investigators can now find the relevant Bitcoin activities **more efficient**. The tool fits well into the existing law enforcement process, as documenting the results found by investigators is a key aspect. In the near future we will improve the tool by supporting more cryptocurrencies and integrating available databases for identifying and clustering wallets. We will also setup a platform **shared with other law enforcement agencies**, so that the tool can be used by other cantons and external feedback can be gathered.



Example visualization of two Bitcoin transactions



System Components

# Open Source SLAM Library for Embedded Systems

Degree programme : Master of Science in Engineering | Specialisation : Industrial Technologies  
Thesis advisor : Prof. Marcus Hudritsch

17

Simultaneous location and mapping (SLAM) is a technology used for robot navigation and augmented reality. Today most SLAM libraries are proprietary or not ready for embedded systems. In this thesis, we write and analyse a library based on Semi-Dense Visual Odometry (SVO), which runs on embedded systems. Compared to the publicly available implementation of SVO, our version uses stereo cameras as input and it has fewer dependencies to third-party libraries.

## Introduction

Humans use different sensors to estimate the pose of their head in a room. Everyone who has ever tried to stand on one leg with their eyes closed knows that closed eyes make finding the balance harder. This experiment shows that our eyes are an important factor for us humans to balance. In this thesis we use optical information from a camera to estimate its angle and position (pose). Knowing the position of an object is important in a lot of different applications and becomes always more important towards autonomous navigation. Examples of such applications are drone navigation or augmented reality. Those applications require a flexible and ideally mobile device.

The lab for Computer Perception and Virtual Reality (CPVR) at the Bern University of Applied Science uses an algorithm called ORB SLAM for projects related to augmented reality. It tweaked the algorithm to achieve an acceptable frame rate of 10-20 frames per second (fps) on mobile phones. However, a faster frame rate would mean that no interpolation is needed or that the algorithm could run on lower end devices.

## Concept

In this thesis, we implement and analyse an algorithm called Semi-Dense Visual Odometry (SVO) which is capable to run on embedded devices. The reference implementation uses monocular cameras, while we use a stereo camera. To estimate the pose the algorithm

performs four tasks. First, it maintains a 3D point cloud used to estimate the camera pose. Second, it performs a pose estimation based on the 3D cloud. We call this sparse image alignment. It uses a changed version of optical flow, which outputs a pose instead of a warp matrix. Third, to make the guess more accurate, it refines the pose by using standard optical flow, followed by a minimization of the re-projection error. Finally, in a last step, the algorithm performs a 3D point cloud update where it refines the cloud by taking the new pose into account. We implemented the algorithm as a library. To showcase it, we wrote an augmented reality application which is shown in the left figure.



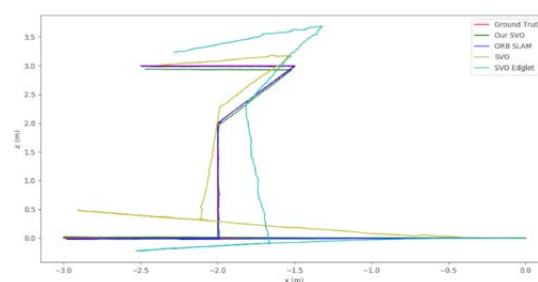
Stefan Eichenberger  
eichest@gmail.com

## Results

We compare our own implementation with two monocular implementations of the same algorithm and with stereo ORB SLAM. To compare the algorithms we generate a synthetic scene which we generate with the computer graphics software Blender. This method allows us to render a defined trajectory as ground truth. The figure on the right shows the trajectories of the different SLAM implementations from a top view compared to such a ground truth. We see that our SVO implementation and stereo ORB SLAM perform similar. However, our implementation runs almost twice as fast. The monocular SLAMs are, as expected, less accurate because they need to do a complex depth estimation. Based on the results, we conclude, that stereo SVO shows great potential as a SLAM algorithm for embedded devices.



Comparison of Different SLAM Implementations



Augmented Reality Application

# Dichtheitsprüfungskonzept für Li-Ionen Pouch-Batteriezellen

Studiengang: Master of Science in Engineering | Vertiefung: Industrial Technologies  
Betreuer: Prof. Dr. Axel Fuerst  
Experte: Dr. Pascal Maire

18

Die Qualität von Li-Ionen-Batteriezellen wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Weil die Batteriezellen von der Luftfeuchtigkeit sehr gut geschützt werden müssen, ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal ihre Dichtigkeit. Deshalb sind für Li-Ionen Pouch-Batteriezellen nur sehr kleine Leckraten zulässig. Die Entwicklung einer zeiteffektiven und aussagekräftigen Messmethode könnte bestehende Herausforderungen bei der Dichtheitsprüfung in der Pouch-Batteriezellproduktion überwinden.



Aysegül Haktanir

## Ausgangslage und Ziel

Die Forschungsgruppe Fertigungstechnologien für Batterien befasst sich mit der Entwicklung innovativer, nachhaltiger und kosteneffizienter Fertigungstechnologien für leistungsstarke Batteriezellen. In der bestehenden BFH-Batteriefertigungs-Pilotlinie können Testbatteriezellen hergestellt, ausgetestet und Optimierungsmethoden für die Batteriefertigung entwickelt werden. Um gezielte Ladezyklen und Kapazitäten zu erreichen, müssen die Pouch-Batteriezellen gasdicht und genügend evakuiert hergestellt werden. Aus diesem Grund brauchen die Li-Ionen Pouch-Batteriezellen eine zeiteffiziente und zuverlässige Dichtheitsprüfungsmethode. Da diese Batteriezellen vakuumiert und mit flüssigem Elektrolyt befüllt sind, ist deren Dichtheitsprüfung anspruchsvoll.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und das Testen eines Konzepts zur Dichtheitsprüfung von Li-Ionen Pouch-Batteriezellen.

## Vorgehensweise

Um Evakuierungsqualität und Dichtigkeit einer Pouch-Zelle zu überprüfen, wurden zuerst bestehende Messkonzepte untersucht. Anschliessend wurde eine berührungslose Messmethode, welche möglicherweise auch inline umsetzbar ist, festgelegt und getestet. Um vom Herstellungsprozess verursachte Störfaktoren möglichst zu vermeiden, wurde ein Design für die Probe festgelegt und die diese Proben

mit verschiedenen Versiegelungsprozess-Einstellungen in der BFH-Batteriefertigungs-Pilotlinie gefertigt.

Evakuierungsgrad sowie Dichtigkeit der Proben wurden für die als ungenügend und genügend gekennzeichnete Proben gemessen. Die Messergebnisse wurden analysiert und mit Hilfe von Maschine Learning Algorithmen klassifiziert.

## Fazit und Ausblick

Mit dem vorliegenden Konzeptaufbau und Versuchen konnten die ersten Ergebnisse für ein mögliches Inline-Messkonzept aufgezeigt werden. Demnach ist die Versiegelungstemperatur bezüglich der Dichtigkeit von Pouch-Batteriezellen ein sehr wichtiger Faktor. Mit der verwendeten Methode konnte die Evakuierungsqualität bis zu einem gewissen Evakuierungsgrad erkannt werden. Darüber hinaus konnten aufgrund des Versiegelungsprozesses verursachte Qualitätsfehler festgestellt werden, diese können wichtige Indizien zur Dichtigkeit geben.

Ein Vorteil des angewandten Messkonzept ist, dass zwei verschiedene Qualitätsmerkmale mit einem System zeiteffizient überprüft werden. Die gewonnenen Erkenntnisse erlauben es, den weiteren Entwicklungsbedarf des Systems festzulegen. Für die Umsetzbarkeit sollten weitere Messungen mit verschiedenen Pouch-Materialien sowie für gezielt festgelegte Leckraten durchgeführt und validiert werden.

Die Beobachtung der Spannungsqualität (engl. Power Quality) hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Einerseits ist der Netzbetreiber durch die EN50160 verpflichtet eine gewisse Power Quality zu garantieren und andererseits gibt die Entwicklung der Power Quality Informationen über den Zustand des Netzes. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, die Spannungsqualität mittels eines einzelnen repräsentativen Wertes zu quantifizieren, dem PQ-Index.

## Ausgangslage

Der Begriff Power Quality (PQ) umfasst Parameter wie Spannungsschwankungen, Flicker, Unsymmetrie und Oberschwingungen. Um einerseits die Überwachung wie auch den Vergleich der Powerquality innerhalb eines Netzes sowie Netzübergreifend zu vereinfachen, besteht das Interesse, diese Parameter zu einem einzelnen repräsentativen und stabilen Wert zusammenzufassen, einem PQ-Index.

## Realisierung und Ergebnisse

**Methodik:** Unter Berücksichtigung der jeweiligen Grenz- und Durchschnittswerte werden alle PQ-Parameter in ein gemeinsames Bezugssystem gebracht und anschliessend nach den Bedürfnissen des Netzbetreibers individuell bewertet und gewichtet, bevor diese dann zu einem Index zusammengefasst werden. Der PQ-Index setzt sich aus drei Teilindizes zusammen die einerseits die mittlere Spannungsqualität, den schlechtesten PQ-Parameter sowie eine Kombination aus beidem aufzeigen.

**DISQ:** Um den PQ-Index zu berechnen und zu analysieren wurde die Python basierte Software «DISQ» entwickelt. Mittels DISQ können PQ-Messdaten von beliebigen PQ-Messgeräten als csv-Datei importiert werden, worauf DISQ den PQ-Index berechnet und grafisch darstellt.

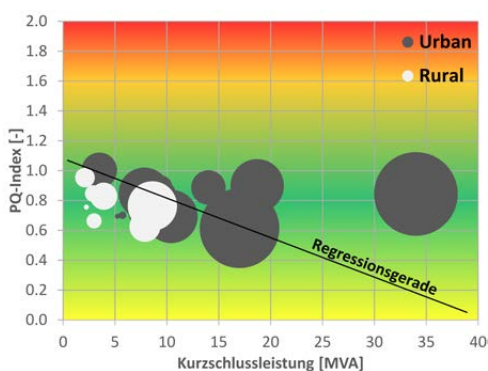
**Datenanalyse:** Im Rahmen zweier Messkampagnen wurde in mehreren urbanen sowie ruralen Netze die Lastflüsse, PQ-Parameter sowie Kurzschlussleistungen ( $S_k$ ) an diversen Netzknoten gemessen. Mit der Statistiksoftware R wurde anschliessend ein Regressionsmodell erstellt, mit dessen Hilfe sich der PQ-Index anhand der  $S_k$ - und Belastungswerte auf beliebige Netzknoten extrapolieren lässt. Mittels DISQ wurden zudem die Langzeitdaten von verschiedenen Netzbetreiber ausgewertet. Dabei zeigt sich anhand des Indexes, dass sich die durchschnittliche Spannungsqualität in den letzten Jahren bis auf einzelne Ausreisser nicht verändert hat.

**ZNPlight:** Das von der BFH entwickelte Excel-basierte Netzberechnungstool ZNPlight wurde um diverse Funktionalitäten hinsichtlich des PQ-Indexes weiterentwickelt. So wurde eine Funktion ergänzt, welche anhand des entwickelten Regressionsmodells für jeden Netzknoten eine Abschätzung des PQ-Index ausgibt.

**Modellierung:** Eines der gemessenen Netze wurde mittels der Netzanalysesoftware PowerFactory von DiGSILENT modelliert. In insgesamt sieben Szenarien wurde damit unter anderem der Einfluss verschiedener Netztopologien, Laständerungen, PV-Anlagen, Wärmepumpen und Oberschwingungsfilter auf die Spannungsqualität, resp. den PQ-Index, analysiert.



Lukas Jonas Heiniger  
077 530 36 56  
l.j.heiniger@gmail.com



PQ-Index für die mittlere Spannungsqualität in Abhängigkeit der Kurzschlussleistung und Belastung.

## Ausblick

Die Berechnung des PQ-Index mit der Software DISQ sowie dessen Abschätzung und Extrapolation in ZNPlight bieten dem Netzbetreiber zusätzliche unterstützende Hilfsmittel bei der Netzplanung in Fragen hinsichtlich der Spannungsqualität.

Die Extrapolation des PQ-Index mittels eines Regressionsmodells ist jedoch nur so genau, wie die dem Modell zugrunde liegende Datenmenge. Um das erstellte Regressionsmodell zu optimieren, und somit auch die Aussagekraft der geschätzten PQ-Indizes in ZNPlight weiter zu erhöhen, muss die Datengrundlage mit zusätzlichen Messungen erweitert werden.

# Skill-basierte Aufgabenplanung für Roboter in Handarbeitsplätzen von Herstellungsprozessen

Studiengang: Master of Science in Engineering | Vertiefung: Industrial Technologies  
Betreuer: Prof. Dr. Norman Urs Baier  
Experte: Dr. Enno de Lange (Johnson Electric International AG)

20

Die hier entwickelte Ansteuerung optimiert die Flexibilität der Verwendung eines Robotersystems in Herstellungsprozessen. Der Skill-basierte Ansatz verringert dazu den Aufwand bei der Umstellung auf andere Aufgaben. Durch die automatische Aufgabenplanung entfällt insbesondere das Programmieren des Bewegungsablaufs. Der Roboter kann so vereinfacht zur Unterstützung in Handarbeitsplätzen mit wechselnden Aufgaben eingesetzt werden.



Simon Kaderli  
s2k2@gmx.ch

## Ausgangslage

Bei der Herstellung von Produkten verschiedener Varianten und der Produktion von Testserien lohnt sich die vollständige Automatisierung wegen den kleinen bis mittleren Losgrößen oft nicht. Die Hürde, dabei Roboter zur Kooperation einzusetzen, ist insbesondere durch den Einrichtungsaufwand äusserst hoch. Deswegen werden viele Schritte, trotz den häufig repetitiven und eintönigen Arbeiten, von Hand ausgeführt. Ziel dieser Arbeit ist eine Roboterlösung zu entwickeln, die einen flexiblen und raschen Einsatz eines Roboters in der Produktion für verschiedene und wechselnde Aufgaben ermöglicht.

## Konzept

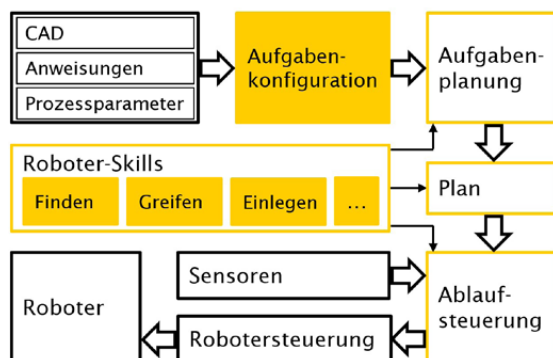
Roboter müssen in vielen Anwendungen jeweils ähnliche Teilaufgaben ausführen: Sie greifen Objekte, bewegen sie und legen sie hin. Mein Konzept baut auf diesen gleichbleibenden Grundabläufen auf. Indem die Teilaufgaben als parametrisierbare Skills implementiert werden, erhält der Roboter Fähigkeiten, die zusammengesetzt verschiedene und komplexe Prozessabläufe realisierbar machen. Der dazu nötige Plan mit den nacheinander auszuführenden Teilaufgaben wird automatisch aus der Aufgabenkonfiguration mit Informationen aus CAD-Modellen, Anweisungen und gewählten Prozessparametern generiert.

## Umsetzung

Für die Umsetzung des Konzepts wurde ein fahrbarer Roboter Aufbau mit kollaborativem Knickarmroboter, elektrischem Greifer und 3D-Kamera erstellt. Durch das Verwenden von ROS (Robot Operating System) bei der Implementierung der Software-Schnittstellen sind weitere Komponenten einfach integrierbar. Neben der Ablaufplanung wurden die Skills für den Roboter als Zustandsmaschinen, welche Roboterbefehle ausgeben und Sensordaten auswerten, in der Software implementiert. Als Beispielprozess dient die Verarbeitung von Spritzgussteilen in einer Stanze. Hierfür wurden auch anspruchsvolle Aufgaben als Skills umgesetzt, wie das Erkennen der Pose und entsprechende Ergreifen herumliegender Teile.

## Fazit

Im Gegensatz zum üblichen Teach-In-Verfahren müssen die einzelnen Roboterbewegungen mit dem neuen Ansatz nicht programmiert werden. Dies reduziert den Aufwand für das Einrichten bei ändernden Aufgaben und die dazu nötigen Robotik-Kenntnisse erheblich. Der Roboter kann somit wesentlich flexibler eingesetzt werden, wo er gerade benötigt wird. Um den Einsatzbereich des Roboters zusätzlich zu vergrössern, können in einem nächsten Schritt die Skills und die Konfigurationsschnittstelle erweitert werden.



Blockdiagramm Roboteransteuerung



Roboter Aufbau mit Visualisierung der 3D-Aufnahme

# FPGA based Spectral Domain OCT System

Degree programme : Master of Science in Engineering | Specialisation : Information and Communications Technologies  
Thesis advisor : Prof. Andreas Habegger  
Expert : Rico Zoss (ANNAX Unternehmensgruppe)

21

Spectral domain optical coherence tomography (OCT) depicts high speed acquisition with a high resolution depth measurement of sample structures. Key factors such as high speed image acquisition, high sensitivity, compact design of the system, high throughput and a competitive price are essential for many OCT applications. In this project, the desired properties are merged into a System-on-a-Chip (SoC).

## Introduction

OCT is a contactless imaging technique used for depth measurement of biological tissues. The application area of OCT is primarily in ophthalmological medicine. The optical signal is focused by a lens on the charge coupled device (CCD), which converts the incident light into electric current using the photoelectric effect. Currently, data is acquired by an expensive data acquisition card (DAQ) and processed in a central processing unit (CPU) or a graphic processing unit (GPU). The Institute for Human Centered Engineering (HuCE) uses a compact System-on-a-Chip (SoC) approach that combines a state of the art microcontroller unit (MCU) with a field programmable gate array (FPGA). This forms an embedded system that provides hardware/software co-design processing, which allows high speed data processing, due to an adaptable hardware algorithm.

## Method

The proposed Zynq UltraScale+ SoC and the optical hardware make it possible to realize the SD-OCT processing. Still, an additional custom defined printed circuit board (PCB) is needed (Figure 1). The data is acquired using CCD technology of 1024x1 pixels and transferred to the SoC via a differential signal transmission through an analog-to-digital converter (ADC). OCT is characterized by many processing steps which are implemented in the programmable logic (PL) of the SoC. The entire processing is controlled by the processing system (PS) of the SoC. The additional PCB is attached to an optical system by a bendable connection. In contrast to conventional rigid-flexible PCB's, this flexibility is achieved by a thin flame retardant (FR) core with two copper layers instead of the usual polyamide core. Due to the flexible PCB, movements caused by installation and handling of the system can be absorbed so that the sensor is not affected.

## Results

The interaction between the SoC and the additional PCB allows the interferences of the OCT system to be acquired and read out at a frequency of 54 MHz and a minimal exposure time of 25 us, resulting in an A-scan rate of 40 KHz. With the implementation of the processing in PL, it is possible to realize the entire OCT processing chain in a resource-efficient manner and to control the entire data stream through PS. This combination of semi-flex PCB and SoC has the maximum size of a credit card, which is smaller and more compact compared to any state of the art solution such as GPU based processing.

## Conclusion

In conclusion, we are proud to present a fully functional, highly integrated OCT system that fulfills the design goals. The decision to use a flexible PCB provides good protection against mechanical movements. Future work will be to use one of the versatile state of the art interfaces to stream the data wireless to external devices.



Mario Konjevod  
078 303 10 10  
Konjevodma@hotmail.com



Figure 1: Semi-Flex PCB with the CCD line sensor

# Enhanced Physics-Based Models for State Estimation of Li-Ion Batteries

Degree programme : Master of Science in Engineering | Specialisation : Energy and Environment

Thesis advisor : Prof. Dr. Andrea Vezzini, Dr. Priscilla Caliendo

22

Expert : Dr. Corsin Battaglia (EMPA - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology)

The current increase in energy and power density of Li-ion batteries combined with a continuous cost reduction for cell and battery system have led to the successful introduction of electric vehicles to the mass market. Besides the Li-ion cell, the Battery Management System (BMS) has become a core component of the complete battery system, providing safety and availability. This Thesis examines the crucial battery models for an accurate state of charge and health estimation.



Daniel Luder  
daniel@luder.ch

## Introduction and Research Objectives

Today, the states of batteries are mostly estimated using Kalman filters and battery models based on equivalent circuits. Unfortunately, these models are not capable to represent electrochemical states that are necessary for degradation minimization strategies to prolong battery life. The Doyle-Fuller-Newman (DFN) model is a pseudo-2D physics-based battery model (PBM) that accurately describes the electrochemical process of Li-ion cells. The model relies on theories of multiphase porous electrodes and concentrated solutions and is governed by a set of coupled nonlinear Partial Differential Equations (PDEs). The main objectives of this Thesis are the implementation of a PBM for state estimation on a BMS using parameters experimentally identified on a Li-ion cell.

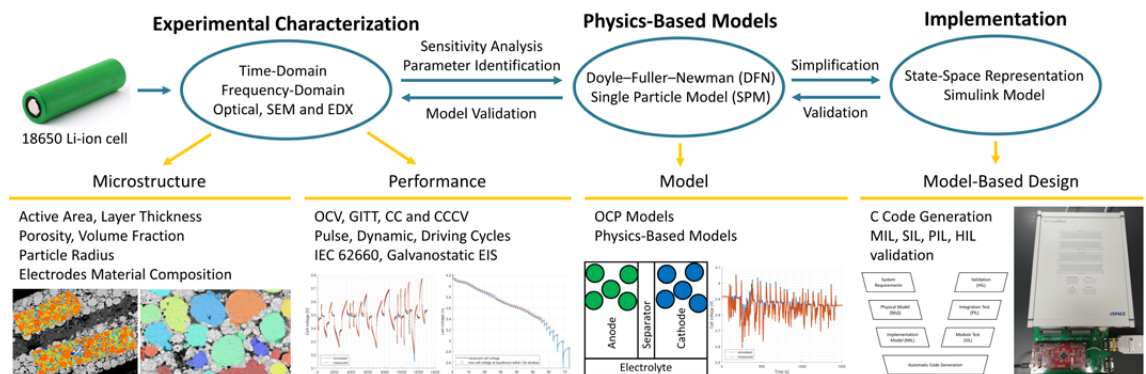
## Investigation and Implementation Methodology

To identify the DFN model parameters, they are first grouped into geometric, thermodynamic and kinetic parameters. Microstructure analysis determines the geometric parameters by optical and scanning electron microscopy including energy dispersive X-ray spectroscopy and subsequent image processing. The thermodynamic parameters are optimized with the Levenberg-Marquardt algorithm using Open Circuit Voltage (OCV) and Galvanostatic Intermittent Titration Technique (GITT) tests. The most sensitive

kinetic parameters are classified by QR decomposition with column pivoting and identified with nonlinear least-square regression techniques based on trust region and multiple data sets with shared parameters. To implement the PBM on an embedded system, the DFN model is simplified to the Single Particle Model (SPM) that approximates the solid phase of each electrode with a single spherical particle. The PDEs of the SPM are reduced to Ordinary Differential Equations (ODE) assuming polynomial lithium concentration in the particle and applying volume-averaged methods to the solid and liquid phase to preserve the electrolyte dynamics. Finally, the model is implemented as a state-space representation in Simulink combined with an Extended Kalman Filter (EKF) for optimal state estimation. The Simulink model is converted into C code and validated on the embedded system according to Model-Based Design (MBD).

## Results and Expected Impact

The parameters for a physics-based Li-ion battery model were successfully identified using state-of-the-art testing and optimization methods, resulting in excellent model performance for realistic driving cycles. PBMs are therefore expected to become the key technology in advanced BMSs due to their ability to estimate electrochemical states and thus control degradation processes to maximize battery life.



Research methodology illustration encompassing experimental characterization, physics-based models and implementation into an embedded system.

# Battery energy storage system design for office building

Degree programme : Master of Science in Engineering | Specialisation : Energy and Environment  
Thesis advisor : Prof. Dr. Andrea Vezzini  
Expert : Andreas Hirt (Energie Services Biel/Bienne)  
Industrial partner : SIP Biel/Bienne, Nidau

With their high responsiveness, battery energy storage systems have the possibility to offer different services in the field of power supply. However, each of these operating strategies has a different influence on the ageing of the battery. By considering this degradation process in the initial sizing of the system, the operational life can be extended and the profitability of the project optimized.

## Motivation

In most system integration projects, the question of the lifetime of battery energy storage systems (BESS) is a central issue in sizing. As ageing is strongly influenced by the operating point (SoC, DoD, C-rate), each operating strategy causes a more or less rapid degradation of the storage capacity. The search for the optimal battery configuration is the key to extending the life of the system and ensuring its long-term profitability.

## Methodology

The analysis carried out in this project relates to a real situation: the integration of a BESS in a commercial building equipped with photovoltaic production plant. Different scenarios are generated based on consumption and production profiles calibrated to the characteristics of the reference building and analyzed. Four "primary" operating strategies that can be provided by BESS are selected:

- Peak shaving (PS)
- Self-consumption optimization (SCO)
- Frequency containment reserves (FCR)
- Uninterruptible power supply (UPS).

The sizing of the BESS is performed for each of the scenarios and control strategies. In all cases, the ideal power profile of the battery is simulated and the energy

performance as well as degradation of the system are estimated using mathematical models based on several scientific publications on the subject. An economic analysis is finally carried out to determine the BESS configuration that generates the lowest depreciation cost. At the same time, the revenues generated by the operating strategy are evaluated, which allows the profitability of the system to be estimated.

After dealing with each "primary" strategies individually, the evaluation is repeated by providing several services with a single BESS. The impact of the combination on the sizing, degradation process and economics of the battery is calculated following the same logic and compared to the "primary" configurations.

## Results

The ageing analysis of the BESS showed that, for the assumptions made for this project, the optimization of self-consumption has the lowest degradation rate. On the other hand, the reduction of power peaks leads to significant stress that significantly reduces the lifetime of the system.

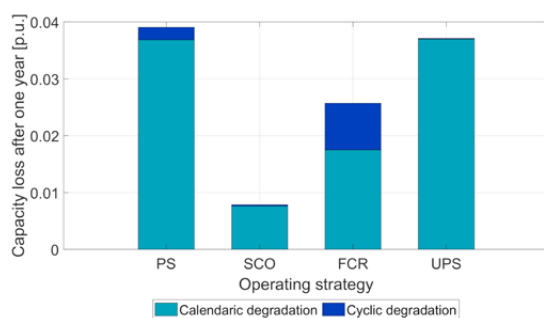
From an economic point of view, only peak shaving and frequency containment reserves strategies are beneficial under certain conditions. Unfortunately, the current energy market context does not allow to guarantee the necessary profitability for the other services offered by the BESS.

Finally, the combination of services slightly improves the situation but it does not reverse the trends identified during the analysis of "primary" strategies.

More generally, this project has established a calculation method to estimate the degradation of a BESS in a simplified way for the dimensioning process of the system. Thanks to this, a complete technical-and-economic analysis can be carried out, as was the case for this work.



Yoann Moullet  
yoann.moullet@bluewin.ch



Storage capacity lost after one year of operation for different operating strategies



# Lastprofilgenerator - Energieperspektiven 2050

Studiengang: Master of Science in Engineering | Vertiefung: Energy and Environment  
Betreuer: Prof. Michael Höckel  
Experte: Dr. Andreas Beer (Alevar GmbH)

24

Die modernen Stromnetze ändern ihre Anforderungen aufgrund der laufenden Veränderungen der Energiestruktur ständig. Diese Veränderungen erfordern eine Quantifizierung, um eine strukturierte Netzplanung im Verteilnetz zu gewährleisten. Dieses Projekt stellt einen Lastprofilgenerator vor, der die Veränderungen der Energiestruktur basierend auf der Energieperspektiven 2050-Szenarien quantifiziert.



Thiago Raitz Novais  
thiago.novais@gmail.com

## Ausgangslage

Die aktuellen Stromnetze zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer, grosse Anlagenwerte, hohe Kapitalkosten und geringe Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Bedingungen aus. In einem Umfeld, in dem die Effizienz immer wichtiger wird, ist neben dem optimalen Betrieb vor allem eine sorgfältige Planung des Stromnetzes von besonderer Bedeutung. Die modernen Stromnetze ändern ihre Anforderungen aufgrund der laufenden Veränderungen der Energiestruktur ständig. Die hohe Durchdringung des Niederspannungsnetzes mit erneuerbaren Energien, wie z.B. der Photovoltaik, die Substitution der kohlenstoffbasierten Wärmezeugung durch effiziente elektrische Wärmepumpen sowie der steigende Anteil an Elektrofahrzeugen stellen neue Herausforderungen an die Netzplanung. Dadurch besteht ein Interesse daran, den Einfluss dieser Technologien basierend auf Entwicklungsszenarien zu quantifizieren.

## Ziele

Gemäss dem Stromversorgungsgesetz (StromVG), soll ein Netz nur dann ausgebaut werden, wenn die Gewährleistung eines sicheren, leistungsfähigen und effizienten Netzes während des gesamten Planungshorizontes nicht durch eine Optimierung oder Verstärkung erreicht werden kann. Das hiermit zu entwickelnde Tool ist in der Lage, die Durchdringung unterschiedlicher Technologien unter Berücksichtigung des Entwicklungsszenarien der Energieperspektiven 2050 zu adressieren und mit wenigen Knopfdrücken Lastprofile zu erstellen, sowie Optimierungsmöglichkeiten anzubieten, die das Lastprofil beeinflussen.

## Resultate

Der in dieser Arbeit entwickelte Lastprofilgenerator ermöglicht die Erstellung von Lastprofilen, die mit gemessenen Profilen korrelieren, sowie die Auswertung möglicher Lastentwicklungsszenarien in Verteilnetzen auf Einzelverbraucherebene. Die auf den

Energieperspektiven 2050 basierenden Lastentwicklungsszenarien bieten eine sozio-ökonomische Grundlage für die Entwicklung von Lasten bezogen auf verschiedene Technologien und ermöglichen es dadurch, Entscheidungen für den Planungshorizont realistisch zu treffen. Aufgrund der ständigen Veränderungen im Energiesektor besteht ein Bedarf an Flexibilität bei der Erstellung von Szenarien und bei der Durchdringung von Technologien sowie bei der Berücksichtigung konfigurierbarer Szenarien für bestimmte Regionen. Diese Flexibilität ist in die Software integriert und erlaubt eine hohe Anpassungsfähigkeit der Szenarien, indem der Einfluss jeder Technologie oder einer Kombination dieser Technologien quantifiziert werden kann.

## Ausblick

In Verbindung mit einem Lastflussberechnungs-Tool (ZNPLight, NEPLAN oder PowerFactory) ermöglicht dieses Tool die Analyse von Stromnetzen und unterstützt damit die Untersuchung von Netzoptimierungen, die Planung von Netzverstärkungen und die Erkennung von Hotspots im Netz. Diese Software ist in ihrer Anwendung vielseitig verwendbar und wurde noch in der Beta-Phase in Projekten zusammen mit der Industrie erfolgreich getestet.

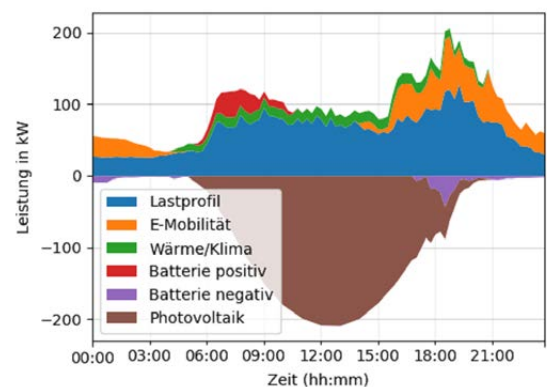


Fig. 1: Lastentwicklung in einem Niederspannungsnetz mit 130 Wohnungen

# Beitrag der Informatik an die Wertschöpfung eines Spitals

Studiengang: Master of Science in Engineering | Vertiefung: Information and Communications Technologies

Betreuer: Prof. Rolf Gasenzer

Experte: Valentin K. Wepfer (Ixedio AG)

Industriepartner: Solothurner Spitäler AG, Direktion Informatik, Solothurn

25

Es soll ein auf die Spital-IT ausgerichtetes Kennzahlen- und Informationssystem erarbeitet werden, das auf einem Balanced Scorecard-Modell basiert. Die Master-Thesis trägt den Untertitel «Transparenz durch strategische Leistungskennzahlen» und fokussiert dabei auf die Auswahl der relevanten Perspektiven und Kennzahlen sowie deren datenbasierte Umsetzung in eine lauffähige Business Intelligence-Anwendung.

## Ausgangslage

Im Gesundheitswesen generell und in der Spitallandschaft im Besonderen steht eine Reihe von Investitionen an, beispielsweise im regulatorischen Rahmen des elektronischen Patientendossiers (EPD) oder bei Datenschutz und Datensicherheit. Gleichzeitig kämpfen Spitäler aber vermehrt darum, genügend Mittel zu erwirtschaften, um notwendige Investitionen in Informations- und Medizintechnik sowie die ganze Infrastruktur finanzieren zu können. Daher muss auch die Spital-IT den von ihr erbrachten Nutzen für das Gesamtspital laufend ausweisen können.

Die Balanced Scorecard ist ein etabliertes Werkzeug für Führungskräfte, um die Aktivitäten einer Unternehmung oder Organisationseinheit ganzheitlich zu betrachten. Sie unterstützt bei der Entscheidungsfindung, indem sie nicht nur die finanziellen Leistungen beleuchtet, sondern auch Kundenorientierung, Prozesseffizienz und weiter auszuschöpfende Potenziale aufzeigt. Im Praxiseinsatz wurden aus dem Standardmodell für unterschiedliche Zwecke optimierte Modelle abgeleitet, die beispielsweise auch die Innovationskraft oder den Beitrag an die Unternehmensziele darstellen. Besonders relevant für vorliegendes Projekt sind Anpassungen für öffentliche beziehungsweise gemeinnützige Organisationen sowie für interne IT-Abteilungen.

In vorbereitenden Studienarbeiten zu dieser Master-Thesis sind die Grundlagen zur Erstellung einer für die Spital-IT optimierten Balanced Scorecard gelegt worden.

## Zielsetzung

Das Hauptziel ist erreicht, wenn ein kennzahlengestütztes Informations- und Decision Support-System verfügbar ist, mit dessen Hilfe die Führungskräfte die Spital-IT und deren Projekte mit weniger Zeitaufwand und zeitnäher überwachen und steuern können. Das Nebenziel ist erreicht, wenn mit dem gleichen System auch der Beitrag der Informatik an die Wertschöpfung des Gesamspitals qualitativ oder quantitativ aufgezeigt und belegt werden kann.

## Realisierung

Während der Master-Thesis wurde – basierend auf einem Balanced Scorecard-Modell – anhand des Beispiels der Direktion Informatik der Solothurner Spitäler AG zuerst ein Kennzahlensystem theoretisch aufgebaut, das auf die speziellen Anforderungen einer Spital-IT angepasst ist. Dieses Modell konnte anschliessend auf der Plattform ServiceNow in eine lauffähige Applikation praktisch umgesetzt werden. Einerseits ging es darum, die relevanten Perspektiven und Kennzahlen herauszuschälen, die für die effektive Steuerung einer Spital-IT allgemein relevant sind. Dazu wurden verschiedene optimierte Balanced Scorecard-Modelle untersucht und die relevanten Perspektiven und Kennzahlen identifiziert. Andererseits mussten auch die gegebenen Voraussetzungen und Randbedingungen im Beispielspital berücksichtigt werden, um in der Folge eine lauffähige Applikation realisieren zu können. Daher wurde die Auswahl an Perspektiven und Kennzahlen auf diejenigen eingeschränkt, die unter den heute geltenden Voraussetzungen von der Datenlage her auch effektiv umgesetzt werden können.

## Stand und Ausblick

Das Modell steht und die darauf aufbauende Applikation ist realisiert. Nach Abschluss der Master-Thesis wird das Gesamtprojekt weitergeführt. Dabei geht es vorab um eine ausführliche Analyse und Bewertung der ersten Resultate aus dem Testbetrieb im Beispielspital. In den folgenden zwei Jahren laufen daneben weitere Projekte, um die Steuerungsmöglichkeiten der Führungskräfte der Spital-IT zu verbessern. Parallel dazu soll die Balanced Scorecard im produktiven Betrieb weiter eingesetzt und laufend verbessert werden.



Thomas Reto Strub  
thomas.strub@strubt.ch

# Tracker für Bahnsignale

Studiengang: Master of Science in Engineering | Vertiefung: Energy and Environment  
Betreuer: Prof. Marcus Hudritsch

26

Tracking-Algorithmen und Tools in der digitalen Bildverarbeitung gibt es bereits viele, in der Art wie es die Firma LOCSIM AG benötigt, jedoch noch nicht. Für die Erleichterung der aktuell manuellen Bearbeitung der Videofilme wurde im Rahmen dieser Thesis ein Tool und Tracking-Algorithmus entwickelt, mit welchem Bahnsignale halbautomatisch über lange Distanz grössen- und rotationstreu getrackt werden können.



Stefan Weyeneth  
s.weyeneth85@gmx.ch

## Von manuell zu halbautomatisch

Die Firma LOCSIM AG verwendet für ihre Bahnsimulatorenentwicklungen einen videobasierten Streckenausblick. Damit die Bahnsignalstellung während der Simulation verändert werden kann, müssen die Signale mit einem künstlichen Bild überdeckt werden. Das dazu notwendige Platzieren der Bilder erfolgt manuell und ist daher zeitaufwändig und kostenintensiv. Umso wichtiger war es, im Rahmen dieser Thesis ein für die Firma verwendbares Fertigprodukt zu erstellen, das auf Bahnsignale spezialisiert ist und diesen Prozess vereinfacht. Der Bediener legt im entwickelten Tool den zu verfolgenden Bereich beim Initialframe fest. Beim anschliessend ausgelösten Startbefehl wird der zuvor definierte Bereich über eine bestimmte Distanz automatisch getrackt, wobei die Objektgrösse und Rotation berücksichtigt werden.

## Vorgehen

Nach der Entwicklung der Benutzeroberfläche wurden mehrere bereits existierende Tracking-Methoden untersucht, die in OpenCV implementiert sind. Es

zeigte sich, dass die genauesten Ergebnisse für diesen Zweck nur erreicht werden können, wenn die reale Distanz von der Kamera zum Bahnsignal berücksichtigt und eine Kombination aus Feature-Detektor, Filterung von Ausreissern, optischem Fluss, Template Matching und einer partiellen affinen Transformation angewendet wird. Im letzten Schritt wurden die algorithmuspezifischen Parameter optimiert, sodass der Tracker für Signale mit unterschiedlichen Wetter- und Umweltbedingungen gute Resultate liefert.

## Resultate

Der Tracker zeigte bei unterschiedlichen Situationen gute Ergebnisse, wie z.B. «Signal mit Blinklicht», «Signal im Nebel» und «Aufnahmen mit leichten Federungsbewegungen des Zuges». Bei naher Distanz sind die Ergebnisse sehr gut. Bei weiter Distanz sind Abweichungen in Form von einem Positionsoffset nicht ausgeschlossen, können aber manuell korrigiert werden.



Getracktes blinkendes Bahnsignal bei Nebel. In der Mitte ist das Resultat von 380 Frames sichtbar dargestellt. Links ist das Initialframe, rechts Zoomausschnitt Mitte (nach ca. 130 Frames).

# Batteriesimulation mit FEniCS

Studiengang: Master of Science in Engineering | Vertiefung: Industrial Technologies  
Betreuer: Prof. Dr. Axel Fuerst  
Experte: Kaya Yaykiran (Renata SA)

27

Für die Erforschung und Entwicklung neuer Batteriedesigns sind Simulationen ein wichtiges Werkzeug. Auf dem Markt sind mehrere Softwarepakete für solche Berechnungen erhältlich, die meisten davon sind jedoch proprietär und für die Benutzung müssen Lizenzen erworben werden. In dieser Arbeit wurde ein Tool für die Simulation von Batterien basierend auf dem frei verfügbaren Softwarepaket «FEniCS» erstellt.

## Ausgangslage

Ein wichtiger Schritt für die Energiewende ist das effiziente Speichern von elektrischer Energie. Für elektrische Fahrzeuge werden dafür fast ausschliesslich aufladbare Lithium-Ionen-Batterien verwendet. Diese weisen eine hohe Energiedichte auf, die für eine grosse Reichweite des Fahrzeuges notwendig ist. Die immer grösser werdende Energiedichte bringt aber auch Nachteile mit sich. Eine elektrochemische Batterie erzeugt funktionsbedingt Wärme. Diese muss aus der Batterie abgeführt werden, da diese sonst beschädigt würde. Durch die steigenden Energiedichten wird die Wärmeableitung immer mehr zum Problem.

Für die Entwicklung von neuen Batteriedesigns und Kühlsystemen sind Simulationen ein unerlässliches Werkzeug. Auf dem Markt sind mehrere Softwarepakete für solche Berechnungen erhältlich, die meisten jedoch mit einer proprietären Lizenz. Dadurch wird der Zugang zu solcher Software vor allem für kleine Unternehmen und Forschungsgruppen erschwert.

## Ziele

In dieser Arbeit soll ein umfassendes thermisches Modell einer aufladbaren Lithium-Ionen-Batterie erstellt werden. Damit die Wärmeerzeugung innerhalb der Batterie akkurat abgebildet werden kann, ist zusätzlich ein detailliertes elektrochemisches

Modell notwendig. Das gesamte Modell soll mit freier Software erstellt werden, damit der Zugang für alle Anwender gewährleistet ist. Zudem soll das Programm einfach durch den Anwender modifizierbar sein.

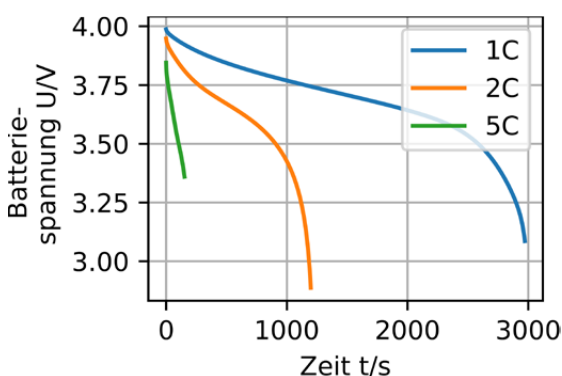
## Ergebnisse

Als elektrochemisches Modell wurde das pseudo-zweidimensionale-Modell (P2D-Modell) von Doyle, Fuller und Newman gewählt. Das P2D-Modell wird häufig in der Literatur verwendet, da es mehrere Male mit experimentellen Daten validiert wurde und gut mit der Realität übereinstimmt. Mit den Ergebnissen des P2D-Modells können die Wärmequellen innerhalb der Batterie bestimmt werden und so die Temperatur der Batterie berechnet werden. Das P2D-Modell ist durch temperaturabhängige Parameter mit der Temperaturgleichung gekoppelt.

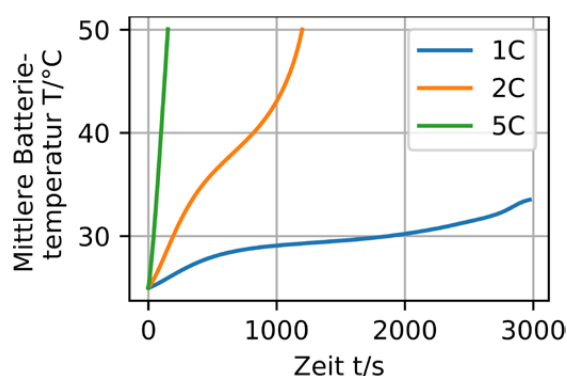
Implementiert wurde das Modell mit FEniCS, ein quelloffenes und frei verfügbares Softwarepaket für die Finite-Elemente-Methode (FEM). Der Vorteil von FEniCS ist die einfache Syntax, die ähnlich der mathematischen Formulierung der Gleichungen ist. Dadurch kann der Benutzer das Programm leicht modifizieren. Die beiden Abbildungen zeigen beispielhaft die Batteriespannung resp. die mittlere Batterietemperatur. Simuliert wurde das Entladen mit einem konstanten Strom, wobei die C-Rate ein Mass für die Höhe des Entladestromes ist.



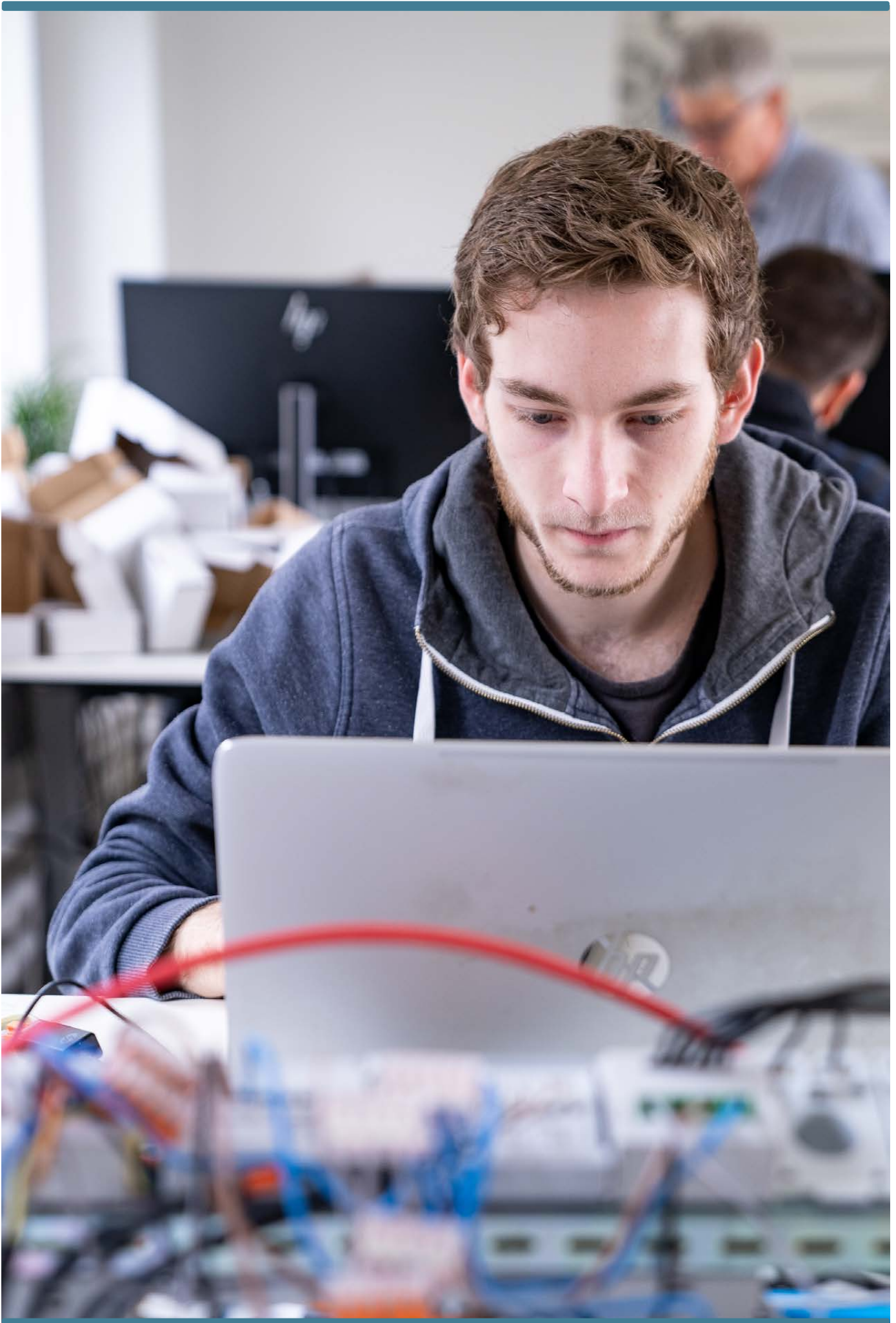
Marcel-David Zwahlen  
m.zwahlen94@gmail.com



Simulierter zeitlicher Verlauf der Batteriespannung beim Entladen mit verschiedenen C-Raten



Simulierter zeitlicher Verlauf der mittleren Batterietemperatur beim Entladen mit verschiedenen C-Raten



**Berner Fachhochschule**

Master of Science in Engineering  
Quellgasse 21  
2502 Biel

Telefon +41 32 321 62 37

office.ti@bfh.ch  
bfh.ch/mse

**Haute école spécialisée bernoise**

Master of Science in Engineering  
Rue de la Source 21  
2502 Bienne

Téléphone +41 32 321 62 37

office.ti@bfh.ch  
bfh.ch/fr/mse

**Bern University of Applied Sciences**

Master of Science in Engineering  
Quellgasse 21  
2502 Biel

Telephone +41 32 321 62 37

office.ti@bfh.ch  
bfh.ch/en/mse