

Ausgewählte Bachelor-  
und Masterarbeiten 2018



### **Herausforderungen unserer Zeit bewältigen**

Die Bachelorarbeit ist das Meisterstück unserer Studentinnen und Studenten, mit dem sie beweisen, dass sie in der Lage sind, komplexe technische Probleme selbständig zu lösen. Zugrunde liegen reale Fragestellungen aus den Bereichen Energie, Mobilität, Information und Gesundheit. In den hier publizierten Arbeiten spiegeln sich aktuelle Herausforderungen unserer Gesellschaft wider. Der Bedarf an neuen Energie- und Mobilitätskonzepten, die alternde Bevölkerung und ständig wachsende Datenmengen sind einige der wichtigsten. Dazu kommen Chancen und Risiken der zunehmenden Automatisierung und Digitalisierung.

Wir entlassen dieses Jahr rund 500 Absolventinnen und Absolventen der Ingenieurwissenschaften. Sie haben solide Grundlagen und vertieftes Fachwissen erworben. Ein Teil von ihnen hat nach dem Bachelor- ein Masterstudium abgeschlossen. Die Zusammenarbeit mit Unternehmen war in Form von praktischen Arbeiten ein wichtiger Bestandteil ihres Studiums.

Die vorliegende Publikation umfasst eine kleine Auswahl von Abschlussarbeiten aus allen acht Bachelorstudiengängen der ZHAW School of Engineering und dem Master of Science in Engineering. Sie behandeln aktuelle Fragestellungen aus der industriellen Praxis und sind zum Grossteil in Kooperation mit Wirtschaftspartnern entstanden. Eine Übersicht sämtlicher Arbeiten finden Sie online unter [www.zhaw.ch/engineering/abschlussarbeiten](http://www.zhaw.ch/engineering/abschlussarbeiten).

Wir wünschen den diesjährigen Absolventinnen und Absolventen viel Glück und Erfolg für die Zukunft und hoffen, mit diesem Einblick in aktuelle Aufgabenstellungen weitere junge Frauen und Männer für ein technisches Studium zu begeistern.



Prof. Dr. Martina Hirayama  
Direktorin ZHAW School of Engineering

## Aviatic

---

Vom Modellflugzeug zum Flugzeugmodell.....	10
Von Genf nach Bangkok im Billigflieger .....	12
Der richtige Mix beim Flugzeugkauf.....	14

## Elektrotechnik

---

Auf sauberes Trinkwasser programmiert .....	16
Nicht hören, sondern fühlen .....	18
Eine App unterstützt die Hautkrebs-Früherkennung.....	20

## Energie- und Umwelttechnik

---

Selbstversorgerin in Sachen Energie .....	22
Stromkosten sparen dank Batteriespeicher.....	24
Mit weniger Energie zur Alufolie .....	26

## Informatik

---

Ein handliches Werkzeug für Data Scientists.....	28
Sicherheitslücken finden als Training .....	30
Ein Algorithmus analysiert Alarme .....	32

## Maschinentechnik

---

Keine schweren Säcke mehr schleppen .....	34
Eine Maschine für «krumme» Geschäfte .....	36
Fit am Schreibtisch.....	38

## Systemtechnik

---

Belastungstests für Velofahrer .....	40
Dem Hautkrebs auf der Spur .....	42
Ein Bock fürs Weltall.....	44

## Verkehrssysteme

---

Das Rad am rechten Fleck .....	46
Wer steigt um auf den Fernbus? .....	48
Attraktivere Mobilitätshubs dank Planungsunterstützung.....	50

## Wirtschaftsingenieurwesen

---

Per Web-App zur Serienproduktion.....	52
So muss kein Flieger am Boden bleiben .....	54
Für sichere Prognosen am Aktienmarkt .....	56

## Master of Science in Engineering (MSE)

---

Mit der Sprachlern-App zur einfacheren Integration .....	60
Den Flugbetrieb von SWISS mit Simulationen optimieren .....	62
Mit Kameras zur Präzision.....	64

### **Studiengänge im Überblick**

Das Studienangebot der ZHAW School of Engineering orientiert sich an den Bedürfnissen der Wirtschaft und vermittelt eine wissenschaftlich fundierte Ingenieurausbildung mit starkem Praxisbezug und interdisziplinärem Ansatz. Acht Bachelorstudiengänge bieten ideale Voraussetzungen für eine erfolgreiche Karriere als Ingenieurin oder Ingenieur.



### **Aviatic**

In der Luftfahrt gilt es, innerhalb kurzer Zeit eine Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben zu bewältigen. Das erfordert von allen Beteiligten umfangreiche Fachkenntnisse, eine vernetzte Denkweise, Team- und Kommunikationsfähigkeit sowie Selbstständigkeit bei der Arbeit im Spannungsfeld von Mensch, Technik und Umwelt. Das Bachelorstudium Aviatic vermittelt dafür fundierte naturwissenschaftliche und fachspezifische Grundlagen.

### **Elektrotechnik**

Ingenieurinnen und Ingenieure der Elektrotechnik erarbeiten optimale Lösungen für technisch anspruchsvolle Aufgaben. Eine breite naturwissenschaftliche Grundausbildung sowie die vertiefende Fachausbildung u.a. in Elektrizitätslehre, Elektronik, Regelungstechnik, Signalen und Systemen, Informatik sowie Kommunikationstechnik bieten dafür die besten Voraussetzungen.

### **Energie- und Umwelttechnik**

Das Studium der Energie- und Umwelttechnik vermittelt Fachkenntnisse und Methoden, um energietechnische Anlagen entwickeln, planen, bewerten und betreiben zu können. Effizienz in industriellen, thermischen und elektrischen Prozessen, Photovoltaik, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zählen zu den Kernthemen des jüngsten Studiengangs.

### **Informatik**

Die Informatik verändert sich rasant. Ständig entstehen neue Technologien und Anwendungsgebiete. Ebenso schnell ändern und erweitern sich die Berufsbilder. Im Studiengang Informatik werden neben aktuellen Trends primär Konzepte und Methoden vermittelt, die über aktuelle Hypes hinaus Bestand haben. Die umfassenden Wahlmöglichkeiten im Fachstudium tragen der Breite des Berufsfelds Rechnung und erlauben eine individuelle Profilierung und Vertiefung.

### **Maschinentechnik**

Die Maschinentechnik als Motor der technischen Innovation ist Spitzenreiter der Schweizer Exportindustrie und zählt zu den wichtigsten Produktionszweigen. An fast jedem Produkt, das neu entwickelt und produziert wird, sind Maschineningenieurinnen und -ingenieure beteiligt. Das Spektrum an Berufsmöglichkeiten ist sehr breit. Studierende wählen deshalb bei Studienbeginn zwischen den Vertiefungen Allgemeine Maschinentechnik und Material- und Verfahrenstechnik.

### **Systemtechnik**

Diese junge Ingenieurdisziplin basiert auf der wachsenden Komplexität technischer Produkte, die heute mechanische, elektronische und softwaretechnische Komponenten vereinen. Systemtechnik-Ingenieurinnen und -Ingenieure sind Generalisten komplexer Systeme und erarbeiten Lösungen für anspruchsvolle Aufgaben in Robotik, Medizintechnik oder Automatisierungstechnik.

### **Verkehrssysteme**

Die Schweiz besitzt eines der dichtesten Schienen- und Strassennetze Europas. Sie ist international ein Vorzeigeland im öffentlichen und nachhaltigen alpenquerenden Verkehr. Mit dem Studiengang Verkehrssysteme wurde für die Lösung zukunftsweisender Aufgaben ein schweizweit einzigartiges Angebot konzipiert. Es befasst sich mit dem Gesamtsystem Verkehr auf Schiene und Strasse und stellt sich dabei den komplexen Anforderungen der mobilen Welt von morgen.

### **Wirtschaftsingenieurwesen**

Wirtschaftsingenieurinnen und -ingenieure kombinieren mathematische, technische und wirtschaftswissenschaftliche Kompetenzen. Sie gehen komplexe betriebliche Problemstellungen systematisch an, beschreiben sie quantitativ und optimieren sie mittels computergestützter Methoden. Sie analysieren Unternehmensprozesse, gestalten Produkte oder Dienstleistungen kundengerecht und setzen Ressourcen ebenso zweckmässig wie effizient ein.

«Bis auf zwei, drei kleinere  
Anpassungen ist das Modell  
bereit für Messflüge.»

Michael Steger

## Vom Modellflugzeug zum Flugzeugmodell



Um die Kosten in der Flugzeugentwicklung zu senken, könnten erste Flugversuche eines neuen Flugzeugtyps künftig mit skalierten Modellflugzeugen durchgeführt werden. Die beiden Aviatic-Absolventen Himmel Kaplan und Michael Steger haben in ihrer Bachelorarbeit erste Schritte in diese Richtung unternommen.

Ein neues Flugzeugmodell zu entwickeln ist teuer: Über 20 Milliarden US-Dollar liess sich zum Beispiel Flugzeughersteller Boeing die Entwicklung des «Dreamliners» 787 kosten; auch der vergleichsweise kleine Businessjet PC-24 soll gemäss Angaben von Hersteller Pilatus über 500 Millionen gekostet haben. Wie könnte man diese Kosten künftig reduzieren? Mit dieser Frage haben sich die beiden Aviatic-Absolventen Himmel Kaplan und Michael Steger in ihrer Bachelorarbeit auseinandergesetzt. Die Idee: Es ist mit dem heutigen Stand der Technik möglich, ein skaliertes und dynamisch angepasstes Modell eines Originalflugzeugs zu bauen. Theoretisch könnte der Prozess umgekehrt werden. Erste Flugversuche eines neuen Flugzeugtyps könnten also mit einem Modell durchgeführt werden. Dadurch liessen sich Probleme frühzeitig erkennen und Entwicklungskosten einsparen.

### Unterschiede zum Original

Um diesen Prozess zu testen, sind Erfahrungswerte nötig. Himmel Kaplan und Michael Steger konzentrierten sich daher darauf, das Modell eines bereits bestehenden Flugzeugtyps – der Pilatus PC-7 – so umzubauen, dass es den Eigenschaften des Originals entspricht. Michael Steger erklärt: «Zwischen einem Modellflugzeug und dem Original gibt es gewisse Unterschiede. So mussten wir zum Beispiel die Form der Tragflächen, das Leitwerk und die Rumpflänge anpassen, um ein mit der echten PC-7 vergleichbares Modell zu erhalten.» Andere Eigenschaften wie etwa den Querschnitt des Rumpfs oder das Flügelprofil passten sie trotz Unterschieden zum Original nicht an, wie Himmel Kaplan erklärt: «Wir mussten Aufwand und Ertrag im Auge behalten: Ein solcher Umbau wäre sehr aufwändig gewesen; für Untersuchungen zum Trudeln und zum Strömungsabriss sind diese Eigenschaften aber auch nicht ganz so zentral.»

### Erste Testflüge

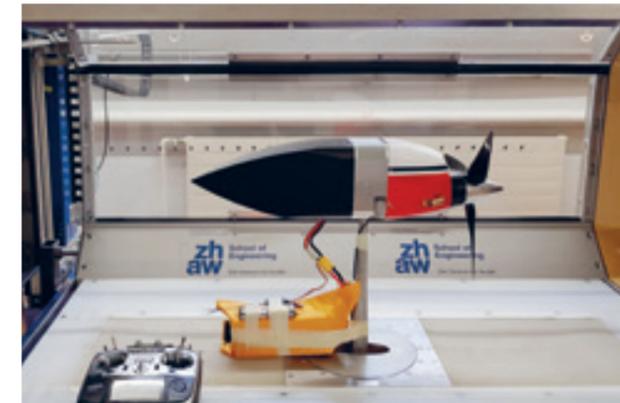
Das so optimierte Modellflugzeug durchlief anschliessend Tests im Windkanal, wobei die Absolventen die Eigenschaften des Propellers untersuchten. Mit einem Pendelverfahren berechneten sie zudem die Trägheitsmomente ihres Modells. Und zum Schluss statteten sie es mit Sensoren aus, die wertvolle Informationen über die Flugeigenschaften des Modells liefern und anschliessend mit den Daten des Originals verglichen werden können. «So weit sind wir noch nicht: Wir haben aber bereits erste Testflüge unternommen und untersucht, wie es sich bezüglich Trudeln und Strömungsabriss verhält. Bis auf zwei, drei kleinere Anpassungen ist das Modell bereit für Messflüge», berichtet Michael Steger. Allerdings verlangt das Modell dem Piloten einiges ab. «Es ist fast doppelt so schwer wie ein herkömmliches Modellflugzeug», erklärt Himmel Kaplan. «Das heisst, dass es vor allem bei Starts und Landungen etwas Fingerspitzengefühl und viel Platz braucht.»

### Messflüge in Planung

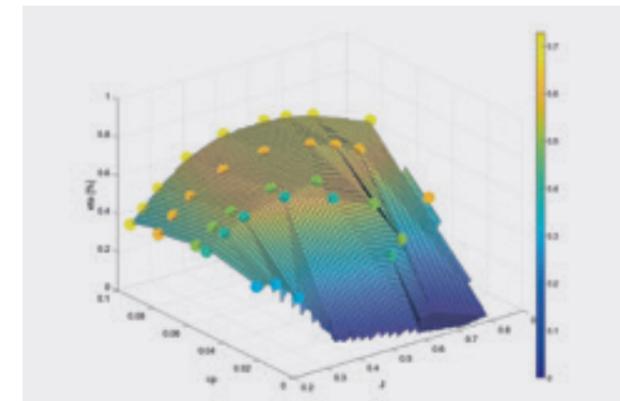
Dozent Leonardo Manfriani ist sehr zufrieden mit der Arbeit der beiden Absolventen: «Es war eine komplexe und vielseitige Aufgabe, die nicht nur handwerkliche Fähigkeiten beim Bau des Modells verlangte; die Absolventen führten auch Tests im Windkanal und entsprechende Berechnungen durch, kümmerten sich um die Instrumentierung und vieles mehr.» Damit hätten sie eine sehr gute Basis für weitere Arbeiten geschaffen, so der Dozent. «Es hat sich bereits ein Student gefunden, der das Projekt weiterführen wird. Neben Vorbereitungen und den effektiven Messungen ist ausserdem geplant, die Messflüge mit einer Drohne zu begleiten, um auch visuelle Eindrücke des Flugverhaltens zu erhalten.»



Himmel Kaplan (links) und Michael Steger haben ein PC-7-Modell so umgebaut, dass dessen Eigenschaften besser dem Original entsprechen.



Im Windkanal untersuchten die beiden Aviatic-Absolventen die Propellereigenschaften ihres Modells.



Ein 3D-Plot veranschaulicht den Charakter des Modellpropellers.

## Von Genf nach Bangkok im Billigflieger



Innerhalb Europas sind Billigfluglinien weit verbreitet. Aber sind sie auch auf der Langstrecke rentabel? Aviatic-Absolventin Adriana Kasap hat das in ihrer Bachelorarbeit am Beispiel der Strecke Genf-Bangkok kalkuliert.

Im internationalen Flugverkehr nimmt der Anteil der Low-Cost-Carrier, sprich Billiganbieter, kontinuierlich zu. Erste europäische Billigfluggesellschaften haben bereits Langstreckenflüge eingeführt. Deren Zieldestinationen liegen vor allem in Nordamerika. Billigflugverbindungen nach Asien hingegen sind bislang rar. Des Weiteren gibt es von der Schweiz aus derzeit noch gar keine direkten Low-Cost-Langstreckenflüge. Aviatic-Absolventin Adriana Kasap geht in ihrer Bachelorarbeit deshalb der Frage nach, ob sich eine solche Strecke überhaupt lohnen würde. Dazu hat sie zunächst den europäischen Reisemarkt untersucht und schliesslich anhand eines Fallbeispiels die Rentabilität geprüft.

### Angebot gibt es noch nicht

Start- und Zieldestination ihres Fallbeispiels hat die Absolventin nicht zufällig ausgesucht, sondern aufgrund von Analysen und Vergleichen mit bestehenden Angeboten. «Thailand ist Statistiken zufolge die beliebteste Destination der Europäerinnen und Europäer, die nach Asien fliegen», sagt Adriana Kasap. «Der Flughafen Bangkok ist zudem ein wichtiger Knotenpunkt.» Als Abflughafen in der Schweiz hat die Absolventin Genf gewählt, da es von dort aus – im Gegensatz zu Zürich – noch keine direkte Verbindung nach Bangkok gibt. «Ausserdem fliegen mehrere europäische Billigfluglinien den Flughafen Genf auf der Kurzstrecke an, was die Chance auf Zubringerflüge für die Langstrecke erhöht», so Adriana Kasap weiter.

### Vergleich gezogen

Kann die thematisierte Langstreckenoperation nach Bangkok rentabel sein? In ihren Recherchen zog Adriana Kasap als Vergleich die bereits bestehende Verbindung von Stockholm nach Bangkok hinzu, die vom Low-Cost-Carrier Norwegian Air Shuttle betrieben wird. «Schweden ist vom Bruttoinlandprodukt vergleichbar mit der Schweiz», erklärt die Absolventin. «Daher lassen sich auch die Ansprüche und Preisvorstellungen der Flugpassagiere vergleichen.» Konkret hat Adriana Kasap analysiert, dass der Preisvorteil von Norwegian gegenüber dem Full-Service-Carrier mit dem höchsten Anteil auf der Stockholm-Bangkok-Strecke bei durchschnittlich 11 Prozent liegt.

### Strecke nicht rentabel

Auf der Strecke Genf–Bangkok ist zur Zeit Etihad Airways der Anbieter mit dem höchsten Anteil. Zwar bieten Etihad Airways keinen Direktflug nach Bangkok an, dafür aber einen relativ niedrigen Durchschnittspreis, wie Adriana Kasap erläutert: «Die Preisanalyse hat gezeigt, dass der Low-Cost-Carrier einen Durchschnittstarif von 285 US-Dollar bieten müsste, um die Passagiere im Wettbewerb mit traditionellen Netzwerk-Carriern auf derselben Strecke für sich zu gewinnen.» Gemäss verschiedenen wissenschaftlichen Quellen beträgt der tiefste realisierbare Preis jedoch 430 US-Dollar. «Dieser Wert ist um 51 Prozent höher als der wettbewerbsfähige Preis und 34 Prozent höher als der Durchschnittspreis des Netzwerk-Carriers mit dem höchsten Anteil auf der Strecke Genf – Bangkok», vergleicht Adriana Kasap und zieht ein Fazit: «Aufgrund der Resultate kann abschliessend gesagt werden, dass sich der Billigflugbetrieb zwischen Genf und Bangkok nicht lohnt. Andere Beispiele bezüglich der Billigflugoperation zwischen der Schweiz und Asien könnten jedoch trotzdem rentabel sein.»



Adriana Kasap hat die Rentabilität einer möglichen Billigfluglinie auf der Langstrecke untersucht.



Auf der Strecke Genf-Bangkok kann eine Billigfluglinie nicht mit etablierten Volservice-Anbietern wie Etihad Airways konkurrieren.

## Der richtige Mix beim Flugzeugkauf



Fluggesellschaften haben theoretisch diverse Möglichkeiten, neue Flugzeuge zu finanzieren. Doch wie sieht die Realität aus? Drei Absolventen ermöglichen mit ihrer Bachelorarbeit am Zentrum für Aviatic einen Blick hinter die Kulissen bei den ganz grossen Entscheidungen.

Kaufen oder leasen? Diese Frage stellen sich nicht nur Privatpersonen bei der Anschaffung eines neuen Autos. Auch Fluggesellschaften müssen sorgfältig abwägen, wie sie neue Verkehrsflugzeuge finanzieren. Welche Möglichkeiten haben Airlines? Und welche internen und externen Faktoren bestimmen diese Möglichkeiten? Die Aviatic-Absolventen Basil Emch, Patric Fol und Elias Thalmann haben sich in ihrer Bachelorarbeit mit den verschiedenen Finanzierungsmodellen auseinandergesetzt. Herzstück ihrer Arbeit sind dabei qualitative Experteninterviews.

### Experten im Interview

Als Basis für ihre Untersuchung führten die Absolventen eine tiefgehende Literaturrecherche durch. «In der bestehenden Literatur findet sich eine erstaunlich grosse Anzahl an verschiedenen Modellen», fasst Basil Emch den ersten Schritt zusammen. Mit dem angelesenen Wissen erstellten die Aviaticer einen halbstrukturierten Fragebogen. Fünf Experten von Fluggesellschaften, Leasingunternehmen und Aviation Consulting-Firmen standen den Absolventen Rede und Antwort. «Es stellte sich schnell heraus, dass die vorher angesprochenen Modelle reine Theorie sind», sagt Elias Thalmann. «In der Realität haben viele Fluggesellschaften wenig Alternativen, wenn es um die Finanzierung von Flugzeugen geht.»

### Kleine leasen, Grosse kaufen

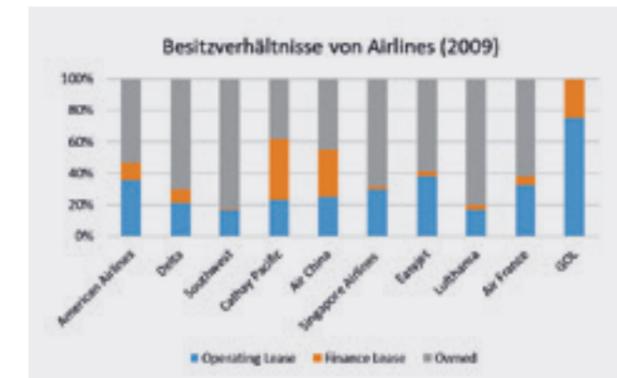
Patric Fol greift die hauptsächliche Erkenntnis der Arbeit voraus: «Eine allgemeingültige Aussage zum optimalen Verhältnis von Kauf zu Leasing kann man also nicht treffen.» Es hängt von der individuellen Situation der einzelnen Airlines ab, ob sie in der Lage sind, ein oder mehrere Flugzeuge zu finanzieren. «Fluggesellschaften, die entweder zu klein oder noch nicht lange am Markt sind, bekommen nicht so einfach das Vertrauen der Geldgeber», sagt Basil Emch. Sie setzen daher vor allem auf das Modell Leasing. Anders sieht es dagegen bei etablierten Fluggesellschaften aus. Ihr Kreditranking bei den Banken ist oftmals positiv – finanzielle Mittel sind ausreichend vorhanden. Da sie ausserdem mit einer Einsatzdauer der Flugzeuge von über 20 Jahren rechnen, ist der Kauf die bessere Strategie. Von den verschiedenen Faktoren, die den Kaufentscheid beeinflussen, haben die Absolventen den der Finanzierung von Triebwerken genauer unter die Lupe genommen. «Obwohl das Triebwerk etwa 20 Prozent der Kosten im Flugzeugbau ausmacht, lässt sich kein direkter Einfluss ableiten», resümiert Elias Thalmann.

### Flugzeugleasing nimmt zu

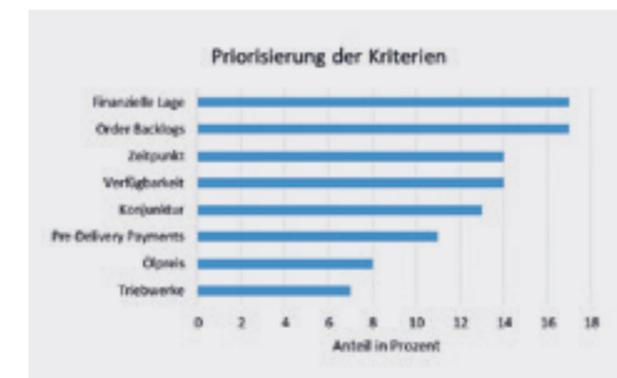
Auch wenn sich aus der Arbeit keine definitive Aussage zum besten Verhältnis von Kauf zu Leasing ableiten lässt, gibt sie dennoch vertieft Einblicke in die Entscheidungsmechanismen der Fluggesellschaften. Ausserdem stützen die Erkenntnisse aus den Gesprächen die Prognose zur künftigen Entwicklung auf dem Markt. «Wir gehen davon aus, dass sich der globale Anteil von geleasten Flugzeugen mittelfristig bei etwas über 50 Prozent einpendeln wird», sagt Basil Emch. Das sollte insbesondere für Fluggesellschaften und Leasingunternehmen interessant sein und weitergehende Diskussionen anregen.



Patric Fol, Basil Emch und Elias Thalmann (v.l.n.r.) haben die Entscheidungsmechanismen bei der Flugzeugbeschaffung analysiert.



Etablierte Airlines besitzen mehr eigene Flugzeuge als kleinere Anbieter.



Verschiedene Faktoren haben Einfluss auf die Entscheidung, ob ein Flugzeug gekauft oder geleast wird.

## Auf sauberes Trinkwasser programmiert



Sauberes Trinkwasser ist überlebensnotwendig. Was wir tagtäglich zu uns nehmen, muss frei von krankheitserregenden Bakterien sein. Mit der Optimierung eines Analysegeräts tragen die Elektrotechnik-Absolventen Sandro Furter, David Lorenz und Patrick Weiss dazu bei, dass Trinkwasser sicher ist.

Trinkwasser muss ständig auf mögliche Verunreinigungen und Bakterien überprüft werden. Bisher können punktuelle Laboruntersuchungen, die grösstenteils aus manuellen Arbeitsschritten bestehen, bis zu 72 Stunden in Anspruch nehmen. Im schlimmsten Fall kann diese Verzögerung zu schweren gesundheitlichen Folgen in der Bevölkerung führen. Daher ist die Nachfrage nach Messsystemen für ein dauerhaftes On-site-Monitoring gestiegen. Die Metanor AG entwickelt ein hochkomplexes, vollautomatisches Analysegerät, das die Bakterienbelastung des Trinkwassers mittels Durchflusszytometrie überwacht. Die Elektrotechnik-Absolventen Sandro Furter, David Lorenz und Patrick Weiss haben im Rahmen ihrer Bachelorarbeit das Steuerungssystem des Gerätes optimiert.

### Optimierung durch Vereinfachung

In dem Verfahren der Metanor werden Zellen markiert und mittels Laserlicht auf ihre Eigenschaften hin analysiert. «Wir wollten in unserer Bachelorarbeit nachweisen, dass der Fortschritt im Bereich Embedded Systems es mittlerweile erlaubt, die gesamte Anwendersoftware in einem Mikroprozessor zu vereinen», erläutert Sandro Furter. Bisher sind dazu drei verschiedene Rechner notwendig: ein Industriecomputer für die Steuerung des Gesamtsystems und die grafische Benutzeroberfläche sowie je ein Einplatinencomputer als Gateway und ein Mikroprozessor für die Datenakquirierung. Die Elektroingenieure haben sich für ihre Arbeit ausführlich mit dem Programmieren befasst. Sie nutzten den bereits im Gerät vorhandenen Multicore-Prozessor im System-on-a-Chip Field Programmable Gate Array (SoC-FPGA), um die gesamte Steuerung zu übernehmen.

### Von drei auf eins reduziert

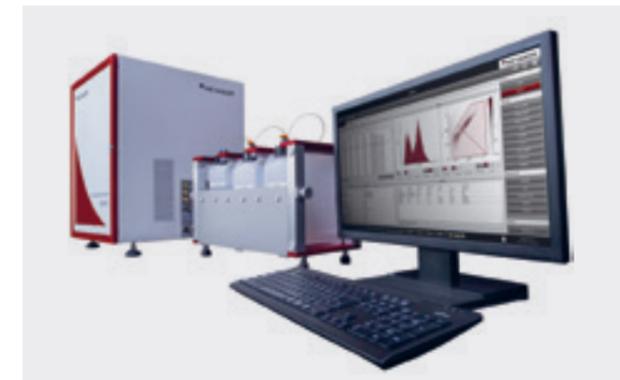
In ihrer Machbarkeitsstudie konnten die Absolventen die Komplexität des Geräts verringern und gleichzeitig nachweisen, dass keine teuren Industriecomputer und -prozessoren notwendig sind, um die Daten auszuwerten. Die Teile der Software, welche zuvor auf dem als Gateway funktionierenden Einplatinencomputer und dem Industriecomputer verteilt waren, haben sie zu einer einzigen Applikation vereint. «Diese Applikation läuft auf dem dritten Prozessor, einem Xilinx SoC Zynq-7000», so Sandro Furter. «Die beiden anderen Komponenten sind daher nicht mehr notwendig.» Um das System bedienen zu können, haben die Absolventen ein einfaches Web-Interface implementiert, das eine begrenzte Anzahl von Befehlen an das System schicken kann – bis hin zum Durchführen eines kompletten Messprogramms.

### Weitere Leistungssteigerung möglich

Die ersten Tests haben gezeigt, dass die Rechenleistung der SoC-FPGA ausreichend ist, um die gesamte Software zu betreiben. Zwar konnten die drei Absolventen noch keine Langzeitversuche durchführen, aber Sandro Furter, David Lorenz und Patrick Weiss gehen davon aus, dass sich durch zukünftige Softwareoptimierungen und Hardware der neuesten Generation die Leistung des Geräts steigern wird. «Mit der aktuell verwendeten Variante des SoC-FPGA gibt es noch grosses Potenzial in der Laufzeitoptimierung», erklärt Sandro Furter. Ihre Forschungsergebnisse können also wesentlich zur Weiterentwicklung des Analysegeräts beitragen. Und auch dazu, dass Wasserversorger die Möglichkeit haben, vor Ort den hygienischen und mikrobiologischen Zustand des Trinkwassers kontinuierlich zu überwachen.



David Lorenz, Patrick Weiss und Sandro Furter (v.l.n.r.) sorgen für sauberes Trinkwasser.



Die Firma Metanor AG stellt ein vollautomatisches Analysegerät zur Messung der Wasserqualität her.



Das Analysegerät misst die Bakterienzahl mittels Durchflusszytometrie.

«Wir haben es geschafft, Energie- und Datentransfer erfolgreich über einen Headset-Stecker zu kombinieren.»

Rico Jud

## Nicht hören, sondern fühlen



Der Headset-Stecker eines Smartphones dient normalerweise als Anschluss für die Kopfhörer. Die Elektrotechnik-Absolventen Tobias Grieder und Rico Jud beweisen in ihrer Bachelorarbeit, dass er auch für andere Anwendungen eingesetzt werden kann.

Moderne Smartphones verfügen über diverse interne Sensoren. Der Nachteil: Diese Sensoren werden oft von der hardwareeigenen Wärme beeinflusst. Die Folge sind ungenaue Messwerte beispielsweise bei der Temperatur. Die Elektrotechnik-Absolventen Tobias Grieder und Rico Jud haben in ihrer Bachelorarbeit eine Anwendung entwickelt, die einen Sensor extern über den Headset-Stecker des Smartphones betreibt und ausliest. Der Sensor benötigt dabei keine eigene Batterie, sondern wird über den Stecker mit Strom versorgt. Für ihr System haben die Absolventen sowohl eine App für das Android-Betriebssystem als auch eine Software für einen Mikrocontroller sowie die Elektronik entwickelt.

### Möglichst wenig Strom benötigen

Zunächst haben Tobias Grieder und Rico Jud analysiert, wie viel Strom über den Headset-Stecker zur Verfügung steht. «Wir haben Smartphones verschiedener Hersteller ausgemessen und unterschiedliche Ergebnisse erhalten», so Tobias Grieder. «Nur eines lieferte genügend Energie für unsere Anwendungsidee.» Nachdem sich die Absolventen also für ein Smartphone entschieden hatten, folgte die Frage nach dem geeigneten Sensor. «Wir haben zunächst einen CO<sub>2</sub>-Sensor gewählt, weil es den nicht schon integriert im Smartphone gibt», erklärt Rico Jud. «Bei den ersten Versuchen zeigte sich aber, dass dieser zu viel Strom verbraucht.» Die Absolventen wechselten deswegen zu einem sparsameren Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor.

### Alle Komponenten entwickelt

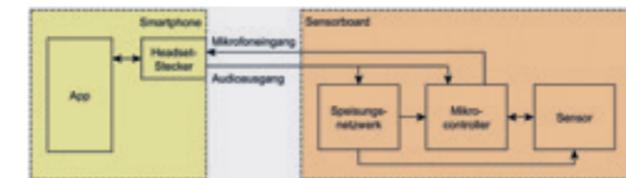
Den Datentransfer zwischen dem Smartphone und dem Sensor übernimmt ein Mikrocontroller. Die dazu nötige Software haben Tobias Grieder und Rico Jud selbst entwickelt. Die Energieversorgung dieser Komponenten erfolgt über ein – ebenfalls selbst entwickeltes – Speisungsnetzwerk. «Mit der App können Messwerte der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit separat angefordert und dargestellt werden», sagt Tobias Grieder. «Es ist ausserdem auch möglich, mit einer Langzeitmessung automatisch Messwerte über eine einstellbare Intervallzeit anzufordern und darzustellen.» Schliesslich haben die Absolventen die komplette Elektronik mit dem Speisungsnetzwerk, dem Mikrocontroller und dem Sensor für einen Prototyp aufgebaut.

### Anspruchsvolle Kombination

Der erstellte Prototyp wird ausschliesslich über den Headset-Stecker – also ohne eigene Batterie – betrieben. «Wir haben es geschafft, Energie- und Datentransfer erfolgreich über einen Headset-Stecker zu kombinieren», so Rico Jud. «Das Ganze sieht vielleicht etwas nach Spielerei aus, aber diese Bachelorarbeit hat viele Fachdisziplinen aus der Elektrotechnik erfordert.» Künftige Studierende könnten die Arbeit fortsetzen. «In weiteren Entwicklungsschritten sollte das Ziel sein, die Stromaufnahme sowie die Grösse der Elektronik zu reduzieren und den Datendurchsatz zu erhöhen», meint Tobias Grieder. Vor allem in Bezug auf den Datentransfer haben die Absolventen die Anwendung sehr flexibel aufgebaut. Softwareteile können einfach ausgetauscht oder in Zukunft noch erweitert werden.



Tobias Grieder (links) und Rico Jud haben den Headset-Stecker eines Smartphones umfunktioniert.

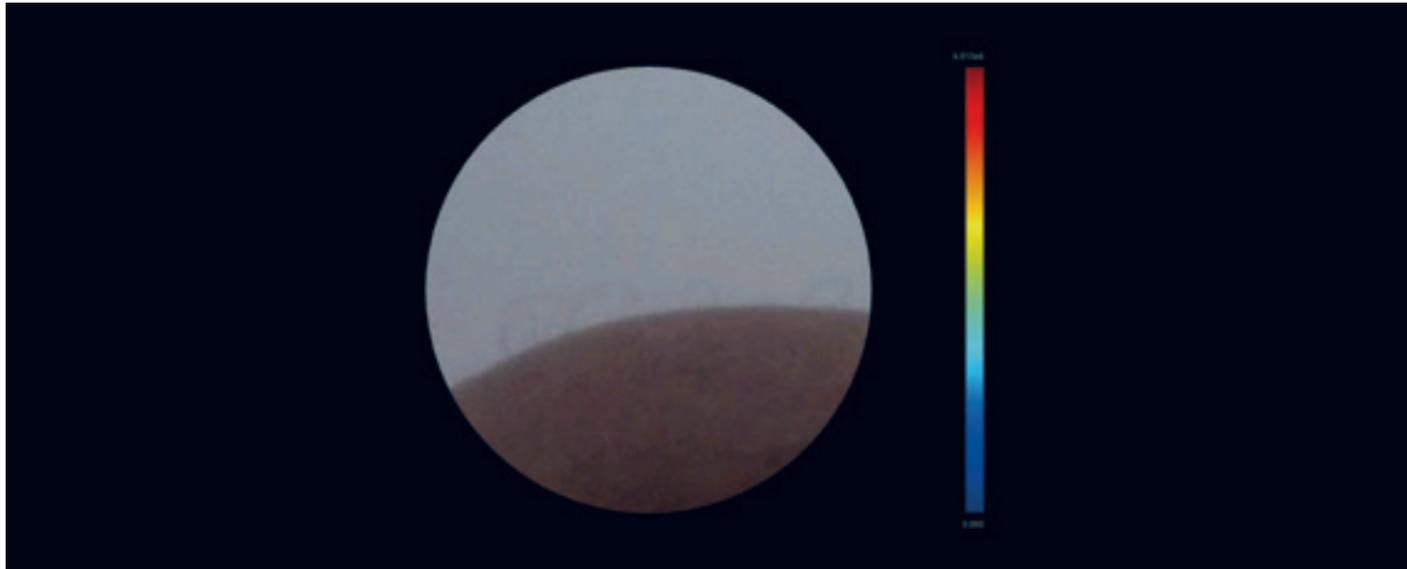


Das Blockschaltbild zeigt die Anwendung schematisch.



Der Sensor braucht keine eigene Batterie, sondern wird über den Headset-Stecker mit Strom versorgt.

## Eine App unterstützt die Hautkrebs-Früherkennung



Mit einer innovativen Untersuchungsmethode will das ZHAW-Spin-off Dermolockin die Hautkrebsdiagnose verbessern. Die beiden Elektrotechnik-Absolventen Noah Boateng und Marco Flüeler haben im Rahmen ihrer Bachelorarbeit für das Untersuchungsgerät DermolockinMini v1.0 eine Android-App entwickelt.

Mit mehr als 15'000 neuen Fällen pro Jahr ist Hautkrebs die am häufigsten auftretende Krebsart in der Schweiz. Eine frühzeitige Erkennung erhöht Heilungschancen und Lebenserwartung erheblich. Bisher werden Diagnosen subjektiv durch visuelle Inspektion der Haut erstellt. Häufig werden deshalb potenziell bösartige Läsionen ohne eindeutige Diagnose grossflächig chirurgisch entfernt. Eine innovative Untersuchungsmethode soll die Diagnose verbessern und so präventive Eingriffe minimieren: Lock-In-Thermographie. Das ist ein berührungsloses Prüfverfahren, das mittels gezielter Temperaturschwankungen und einer hochsensiblen Infrarotkamera Unregelmässigkeiten in Oberflächen bildhaft darstellt. Was als Forschungsprojekt an der ZHAW School of Engineering begann, wird nun vom Spin-off Dermolockin weitergeführt.

### Form und Funktion

Mit Dermolockin als Wirtschaftspartner haben die beiden Elektrotechnik-Absolventen Noah Boateng und Marco Flüeler im Rahmen ihrer Bachelorarbeit an der Weiterentwicklung der Technologie mitgearbeitet. Das System besteht aus einer Hardware-Komponente, mit der die Hautstellen gekühlt und die Infrarotbilder aufgenommen werden, und einer Android-App, mit deren Hilfe die resultierenden Daten ausgewertet und dargestellt werden. «Die App ist für Anwenderinnen und Anwender mit medizinischem Hintergrund gedacht, also zum Beispiel für Dermatologinnen und Dermatologen. Sie soll mit einfachen und schnellen Messungen potenziell kranke Hautstellen finden und aufzeigen», erklärt Noah Boateng. Das heisst auch, dass sich die Absolventen nicht nur um ein fehlerfreies Funktionieren ihrer App kümmern mussten. «Wir haben auch darauf geachtet, dass die Gestaltung stimmt und die App intuitiv bedienbar ist», ergänzt Marco Flüeler.

### Bild, Phase oder Amplitude

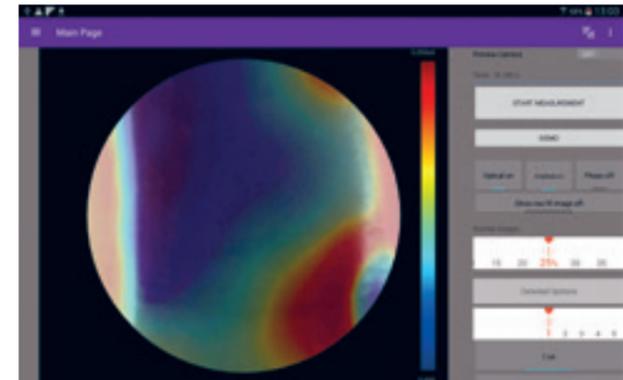
Via Internetprotokoll verbindet sich die App mit dem DermolockinMini-Gerät und greift auf dessen Kameras zu – eine optische und eine Infrarot-Kamera. Mittels Knopfdruck wird eine Messung ausgelöst. «Das heisst, DermolockinMini stellt der App eine Sequenz von Infrarotbildern zur Verfügung; diese werden dann mit intelligenten Bildverarbeitungsmethoden aufbereitet und angezeigt», so Noah Boateng. Dafür wird unter anderem die schnelle Fourier Transformation (FFT) angewendet – ein Algorithmus, der digitale Signale in ihre Frequenzanteile zerlegt. Die App zeigt dann wahlweise das optische Bild, die Phase oder die Amplitude der Fourier-Transformierten für jedes einzelne Pixel an. Insbesondere die Phasen-Informationen liefern dabei wertvolle Hinweise über potenziell kranke Hautpartien. «Der Benutzer oder die Benutzerin kann aber auch auf detailliertere Angaben oder Kombinationen zugreifen. Für Besprechungen oder Ähnliches haben wir zudem einen Vollbildmodus programmiert, bei dem die Bedienelemente versteckt sind und nur das aufgenommene Bild zu sehen ist», sagt Marco Flüeler.

### Neuer Prototyp in Vorbereitung

Die Absolventen und der Industriepartner sind zufrieden mit dem Resultat ihrer Arbeit. «Das Zusammenspiel von Applikation und DermolockinMini v1.0 läuft wunschgemäss. Der Verbindungsaufbau funktioniert automatisch, die Bilder werden korrekt entgegengenommen und korrekt ausgewertet», so Noah Boateng. Parallel zur ihrer Bachelorarbeit wurde mit dem DermolockinMini v2.0 ein neuer Prototyp entwickelt. Marco Flüeler berichtet: «Wir haben die App so aufgebaut, dass sie mit minimalem Konfigurieraufwand an das neue Gerät angepasst werden kann.» In einem nächsten Schritt soll die App von Dermatologinnen und Dermatologen getestet werden.



Noah Boateng (links) und Marco Flüeler haben für das Hautkrebs-Diagnosegerät DermolockinMini v1.0 eine Tablet-Applikation entwickelt.



Benutzerinnen und Benutzer können sich verschiedene Informationen anzeigen lassen – hier zum Beispiel eine Kombination von optischem Bild und Amplitude der Fourier-Transformierten.

«'Power to Gas' ist deutlich wirtschaftlicher und daher auch die Lösung, die wir der Gemeinschaft Hard empfehlen.»

Andrea Antonini

## Selbstversorgerin in Sachen Energie



Andrea Antonini und Milo Bernasconi zeigen in ihrer Bachelorarbeit in Energie- und Umwelttechnik zwei Varianten auf, wie die Winterthurer Gemeinschaft Hard den Strom und die Wärme, die ihre Bewohner benötigen, selber produzieren und speichern könnte. Das ist möglich, aber derzeit noch vergleichsweise teuer.

Etwas ausserhalb Winterthurs, direkt an der Töss, liegt die ehemalige Spinnerei Hard. Heute leben und arbeiten in den Gebäuden rund um die erste mechanische Grossspinnerei der Schweiz etwa 250 Personen. Wie zur Zeit der Industrialisierung wird nach wie vor Strom aus Wasserkraft produziert, dieser fliesst allerdings ins Winterthurer Netz, dem das Quartier angeschlossen ist; geheizt wird mit Gas. Entsprechend ihrer ökologischen Grundhaltung wäre die Gemeinschaft Hard gerne energetisch autark. Sie hat deshalb die ZHAW School of Engineering mit einer Machbarkeitsstudie beauftragt. Andrea Antonini und Milo Bernasconi, Absolventen des Studiengangs Energie- und Umwelttechnik, haben sich der Aufgabe angenommen und im Rahmen ihrer Bachelorarbeit untersucht, ob eine autarke Energieversorgung möglich wäre und was es dazu alles bräuchte.

### «Power to Gas» oder Batteriespeicher

Die Absolventen haben zwei Konzepte ausgearbeitet, die Energieflüsse simuliert und die Kosten berechnet. In beiden Varianten produzieren Photovoltaikanlagen Strom, der entweder direkt verbraucht oder gespeichert wird. Die Wärme für Warmwasser und Heizung liefert ein Wärmepumpensystem. Die Art der Speicherung unterscheidet die beiden Varianten, wie Andrea Antonini erklärt: «In Variante 1 wird überschüssiger Strom im 'Power to Gas'-Verfahren in Wasserstoff umgewandelt und gespeichert. Bei Bedarf wird der Wasserstoff mit Brennstoffzellen wieder rückverstromt, auch um die Wärmepumpen für die Heizung anzutreiben und elektrische Energie in den Gebäuden bereitzustellen. In Variante 2 wird im Sommer der überschüssige PV-Strom genutzt, um mit Wärmepumpen grosse saisonale Warmwasserspeicher zu laden, die im Winter Heizenergie und Brauchwarmwasser bereitstellen. Zusätzlich sorgt ein Batteriespeicher für die Elektrizitätsversorgung im Winter.»

### Autarkie oder Netzeinspeisung

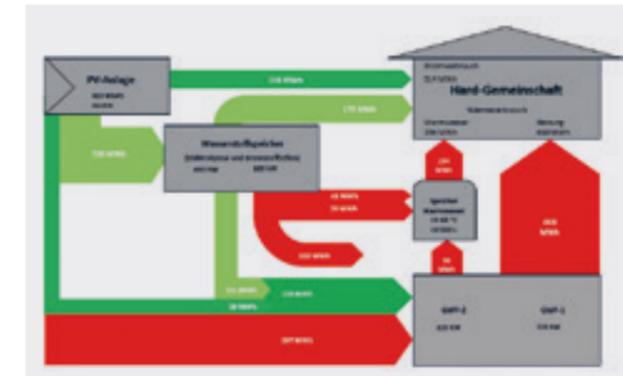
Die Modellierung der Energieversorgung und die Simulation der Energieflüsse, welche die beiden Absolventen entwickelt haben, zeigen auf, dass eine vollständige Autarkie der Gemeinschaft Hard mit beiden Varianten möglich wäre – jedoch zu unterschiedlich hohen Kosten. «Insbesondere der Batteriespeicher in Variante 2 ist sehr teuer, die Gesamtinvestitionskosten betragen rund 30 Millionen Franken. Der Preis der elektrischen Energie würde für diese Variante 12 Franken pro Kilowattstunde betragen», sagt Milo Bernasconi. Wesentlich günstiger ist die «Power to Gas»-Variante mit Gesamtkosten in der Höhe von 6,5 Millionen Franken und einem Strompreis von 1,10 Franken pro Kilowattstunde. Der Wärmepreis liegt für beide Varianten bei ca. 40 Rappen pro Kilowattstunde. «Variante 1 ist also deutlich wirtschaftlicher und daher auch die Lösung, die wir empfehlen», so Andrea Antonini. Der Preis könnte weiter gesenkt werden, wenn der produzierte Strom nicht direkt genutzt, sondern ins Netz gespeist würde. Die Gemeinschaft Hard wäre dann im strengen Sinn nicht autark, weil nachts oder im Winter Strom bezogen werden müsste; sie hätte aber zumindest eine ausgeglichene Energiebilanz, weil über ein Jahr betrachtet gleich viel Strom produziert wie bezogen würde.

### Möglich, aber teuer

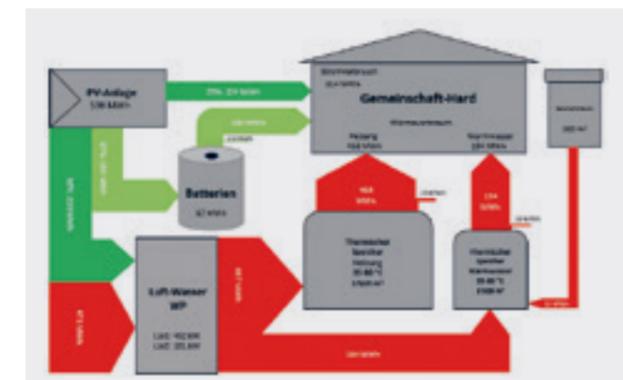
«Die Absolventen haben sehr gut aufgezeigt, dass eine energieautarke Gemeinschaft Hard möglich ist, dass aber derzeit der Preis recht hoch ist», sagt Dozent Joachim Borth. «Es ist insbesondere die Speicherung, welche die Kosten in die Höhe treibt.» Hinzu kommt, dass die Berechnungen von Andrea Antonini und Milo Bernasconi eine umfassende energetische Sanierung sämtlicher Gebäude der Gemeinschaft voraussetzen. «Daher sollte das Energiekonzept schrittweise umgesetzt werden. Es kann der Gemeinschaft als Leitfaden dienen, um das Ziel einer umfassenden nachhaltigen Energieversorgung anzusteuern», so Joachim Borth.



Andrea Antonini (links) und Milo Bernasconi haben zwei Energiekonzepte für die Gemeinschaft Hard erstellt.



Die erste und bevorzugte Variante speichert überschüssigen Strom mittels «Power to Gas»-Verfahren...



...während in der zweiten Variante saisonale Warmwasserspeicher und ein heute noch teurer Batteriespeicher zum Einsatz kommen.

«Unsere Bachelorarbeit dient  
Stadtwerk Winterthur als  
Vorlage für künftige Projekte mit  
ähnlicher Ausgangslage.»

Sara Engeler

## Stromkosten sparen dank Batteriespeicher



Wird innert kurzer Zeit eine hohe Stromleistung benötigt, entsteht eine Lastspitze. Sara Engeler und Claudia Morf haben in ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Energie- und Umwelttechnik untersucht, wie zwei Industrieunternehmen mit einem gemeinsamen Batteriespeicher die Lastspitzen ihres Strombedarfs brechen könnten.

Nicht nur der Verbrauch, sondern auch die Leistung wird bei der Stromrechnung berücksichtigt. Für zwei Industriebetriebe in Winterthur, die hohe Lastspitzen aufweisen, macht sich das deutlich bemerkbar: Mit durchschnittlich 196'600 Franken pro Jahr machen die Lastspitzen rund die Hälfte der Stromkosten aus. Könnten die Lastspitzen gebrochen werden, hätte das grosse Einsparungen zur Folge. Für den Auftraggeber Stadtwerk Winterthur untersuchten Sara Engeler und Claudia Morf, Absolventinnen des Studiengangs Energie- und Umwelttechnik, wie dies mit einem gemeinsamen Batteriespeicher erreicht werden könnte. Dabei bauten sie auf eine Projektarbeit auf, die sich zuvor bereits mit der Dimensionierung der Batterie auseinandergesetzt hatte. In der anschließenden Bachelorarbeit lag der Fokus auf der Netzintegration und Optimierung der Batterie sowie Berechnungen dazu, wie wirtschaftlich ein solcher Speicher wäre.

### Mittel- und Niederspannung zusammenführen

Die Absolventinnen mussten dabei verschiedene Schwierigkeiten meistern, wie Sara Engeler erklärt: «Obwohl es sich um benachbarte Firmen handelt, sind sie nicht am gleichen Stammkabel angeschlossen. Zudem liegen die Anschlüsse beider Betriebe auf verschiedenen Netzebenen – Mittel- beziehungsweise Niederspannung. Wir mussten also eine Lösung finden, wie beides zusammengeführt werden kann.» Bei einer Umwandlung von Mittel- auf Niederspannung wäre der mögliche Spannungsabfall zu hoch gewesen, weshalb sich die Absolventinnen für eine Zusammenführung auf Mittelspannungsebene entschieden. «Allerdings verlangen die rechtlichen Rahmenbedingungen in diesem Fall, dass nicht nur Strom bezogen, sondern auch Strom ins Netz eingespeist wird. Deshalb haben wir uns entschieden, den Batteriespeicher um eine Photovoltaikanlage zu ergänzen», sagt Claudia Morf.

### Prognosen und Lastverschiebung

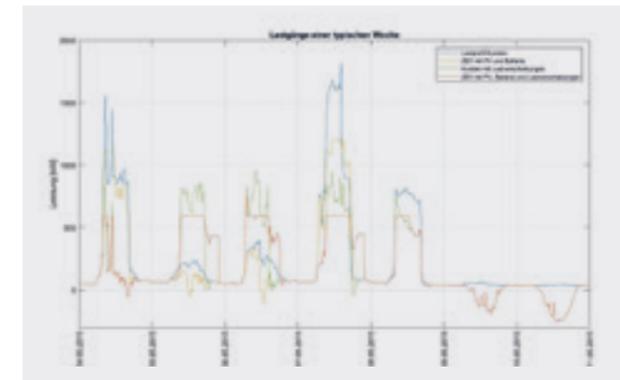
Um die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprojekts zu erhöhen, mussten die Absolventinnen die Batterie weiter optimieren. «Wir haben die Batterie gemäss den Lastprofilen der vergangenen drei Jahre ausgelegt. Zusätzlich haben wir Lastprognosen und Erzeugungsprognosen beigezogen und Möglichkeiten zur Lastverschiebung identifiziert. Das heisst: Aufgrund vergangener Daten versuchten wir vorauszusagen, wann wir die Batterie laden und wann wir sie entladen, um die Spitzen weiter zu reduzieren», erklärt Sara Engeler. Weil die Lastspitzen der beiden Unternehmen nicht mit den städtischen Lastspitzen zur Mittagszeit zusammenfallen, könnte Stadtwerk Winterthur die Batterie mitbenutzen. Weiter könnte die Batterie mit einer Leistungs- und Kapazitätserhöhung für Primärregelenergie eingesetzt werden. Claudia Morf fasst zusammen: «Mit diesem zusätzlichen Nutzen wäre das Gesamtprojekt bei gleichbleibenden Bedingungen und einem Zinssatz von fünf Prozent nach 16 Jahren amortisiert.»

### Vorlage für künftige Projekte

Die Absolventinnen geben allerdings zu bedenken, dass die Aufgaben, welche die Batterie dann effektiv übernehmen würde, im Vorfeld bekannt sein müssen – nur so könne die richtige Batterietechnologie ausgewählt werden. «Denn nicht jeder Batterietyp eignet sich für jede Aufgabe gleich gut», erklärt Claudia Morf. Allerdings bestehen derzeit keine konkreten Pläne, den Batteriespeicher für die beiden Industrieunternehmen tatsächlich umzusetzen, wie Sara Engeler sagt: «Unsere Bachelorarbeit dient Stadtwerk Winterthur eher als Vorlage für künftige Projekte mit ähnlicher Ausgangslage.»



Sara Engeler (links) und Claudia Morf haben im Rahmen ihrer Bachelorarbeit einen Batteriespeicher ins Netz von Stadtwerk Winterthur integriert.



Die Grafik zeigt anhand einer typischen Woche im Mai, wie die Lastspitzen (blau) durch Einsatz von Batterie, Prognose und Lastverschiebung reduziert werden können (orange).

## Mit weniger Energie zur Alufolie



Aluminium zu verarbeiten ist in der Regel mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Umso mehr lohnt es sich, die Herstellungsprozesse kritisch zu analysieren. In seiner Bachelorarbeit hat David Schaltegger konkrete Empfehlungen für ein Unternehmen erarbeitet.

Das Unternehmen Novelis Deutschland GmbH verarbeitet grosse Mengen Aluminium zu Produkten des täglichen Bedarfs. Der Herstellungsprozess vom Rohmaterial zur schlussendlichen Form als Grillschale oder Alufolie benötigt viel Energie – zu viel Energie, findet David Schaltegger, Absolvent im Studiengang Energie- und Umwelttechnik. Er hat im Rahmen seiner Bachelorarbeit unterschiedliche Lösungsansätze erarbeitet und untersucht, wie die Prozesse in der Herstellung so optimiert werden können, dass nicht nur die Umwelt, sondern auch das Unternehmen davon profitiert. Denn wo Energie eingespart wird, sinken schliesslich auch die Betriebskosten.

### Drei Lösungsansätze

Bereits in seiner Projektarbeit hatte David Schaltegger mit dem deutschen Unternehmen Novelis zusammengearbeitet. Damals bewertete der Absolvent rückwirkend bereits erfolgte Prozessoptimierungen aus Umweltaspekten. In seiner Bachelorarbeit hat er nun in enger Zusammenarbeit mit den Umweltingenieuren von Novelis konkrete Empfehlungen für die Energieeinsparung abgegeben. Im Fokus stand dabei eine 30 Jahre alte Glühofenanlage. Insgesamt hat der Absolvent drei Lösungsansätze erarbeitet. «Zunächst habe ich die Folgen eines neuen Wärmetauschers im Abluftstrom der Glühöfen betrachtet», so David Schaltegger. «Das heisst, dass die Prozessabwärme zurückgewonnen wird.» Doch das war dem Absolventen noch nicht genug.

### Ölbelastung als Problem

Als zweiten Lösungsansatz hat David Schaltegger die Anpassung der Prozesssteuerung ermöglicht: «Durch eine Messung der Ölbelastung im Abluftstrom können sich die Steuerelemente dynamisch an den Prozess anpassen.» In seinem dritten Lösungsansatz betrachtete der Absolvent einen vorgelagerten Walzprozess, der sich als entscheidender Faktor herausstellen sollte: «Im Walzprozess entsteht ein Ölfilm auf den Aluminiumprodukten», erklärt David Schaltegger. «Durch eine Reduktion dieser Ölbelastung liesse sich das Glühprogramm anpassen, sprich die benötigte Glühzeit senken.» Dies würde wiederum zu einer Reduktion der benötigten Energiemenge führen.

### Auswirkungen simuliert

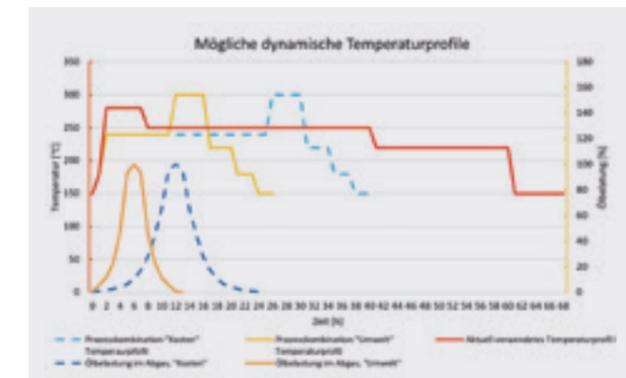
Die verschiedenen Lösungsansätze und deren Varianten hat David Schaltegger mit Hilfe eines Simulationsprogramms modelliert, um die daraus resultierenden Umweltauswirkungen abzuschätzen. «Die verwendeten Methoden berücksichtigen sowohl die Exergieaufwände durch die Temperaturunterschiede als auch den Ausstoss von treibhausrelevanten Gasen in Bezug auf die daraus resultierenden Schäden an Mensch und Umwelt», sagt der Absolvent. «Ich habe mich dabei an den Umweltzielen des Unternehmens Novelis orientiert.»

### Konkrete Empfehlungen

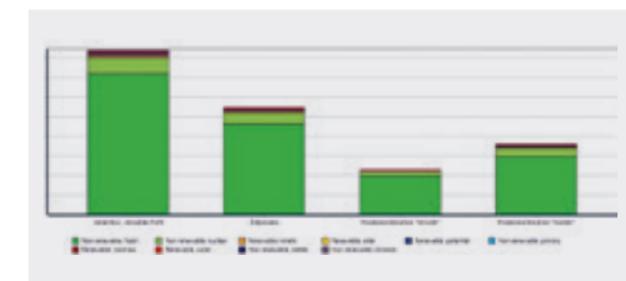
Anhand der vorgegebenen Zielwerte hinsichtlich der Energieeinsparung hat der Absolvent die einzelnen Varianten auf ihre Wirksamkeit geprüft. Abschliessend hat er zwei Prozesskombinationen vorgestellt, welche alle drei Lösungsansätze kombinieren. David Schaltegger erklärt: «In der einen Variante habe ich die absolut umweltverträglichste Kombination zusammengestellt, in der zweiten die kostengünstigste Kombination mit dem grössten Effekt.» Durch die Prozesskombination «Umwelt» kann die benötigte Energie um 73 Prozent verringert werden. Mithilfe der Prozesskombination «Kosten» würde eine Reduktion um 54 Prozent möglich. Damit hat David Schaltegger die angestrebten Werte des Unternehmens sogar deutlich unterboten.



David Schaltegger hat viel Potenzial zum Energiesparen entdeckt.



Die Abbildung zeigt die dynamischen Temperaturprofile der Prozesskombinationen «Umwelt» und «Kosten».



Die optimierten Prozesse (3. und 4. Säule) liegen im Energieaufwand deutlich unter den aktuellen Werten (1. Säule) und den Zielwerten (2. Säule).

## Ein handliches Werkzeug für Data Scientists



Wenn Datenforscher Texte eingehend analysieren oder klassifizieren wollen, ist ein grundlegendes Verständnis des Textkorpus unerlässlich. In ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Informatik haben Linus Metzler und Nadina Siddiqui ein Werkzeug programmiert, das den ersten Schritt zur Textanalyse wesentlich erleichtert.

Die Textkorpora, mit denen sich Data Scientists tagtäglich beschäftigen, sind gross: Das können zum Beispiel 30'000 Kundenbewertungen, 75'000 Tweets und 160'000 Kommentare sein. Wollen diese Umengen an Text eingehender untersucht werden, brauchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erste Anhaltspunkte, worum es in den Texten geht, welche Themen häufiger, welche weniger häufig auftauchen, wo sich Themen überlappen oder wie lang die Texte im Durchschnitt sind. «Bislang», so berichtet Dozent Mark Cieliebak, «haben wir uns dazu einfach die ersten 50 Texte durchgelesen, um ein Gefühl für den Textkorpus zu kriegen.» Mit einem handlichen Werkzeug, das IT-Absolvent Linus Metzler und IT-Absolventin Nadina Siddiqui im Rahmen ihrer Bachelorarbeit programmiert haben, wird dieser erste Schritt in Richtung einer vertieften Textanalyse nun wesentlich einfacher.

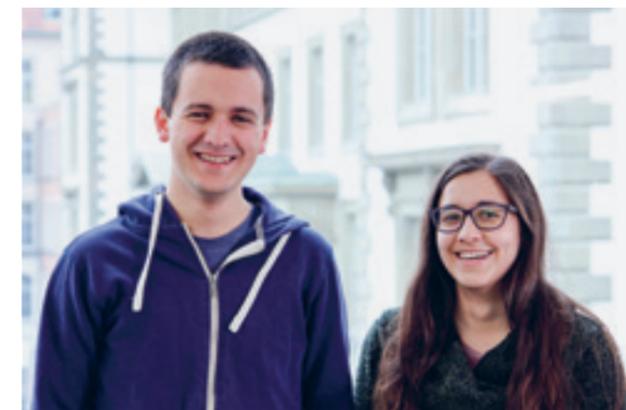
**Grafisch ansprechende Textinformationen**  
«Das Werkzeug umfasst zwei Module», sagt Absolvent Linus Metzler. «Das erste Modul verschafft einen ersten Überblick über den Textkorpus. Das zweite Modul erlaubt es, verschiedene Algorithmen miteinander zu vergleichen und so für die weitere Analyse den richtigen auszuwählen.» Anhand eines konkreten Beispiels erklärt seine Kommilitonin Nadina Siddiqui das erste Modul: «Wir haben uns Hasskommentare auf Wikipedia-Diskussionsseiten angeschaut. Die Daten, die wir verwendet haben, sind zuvor bereits manuell nach Textgattung klassifiziert worden: Obszönität, Beleidigung, Bedrohung und so weiter. Das Werkzeug liefert Nutzerinnen und Nutzern nun grafisch ansprechend aufbereitete Informationen darüber, wie viele Texte zum Beispiel in die Kategorie Bedrohung fallen, welche Wörter im gesamten Korpus oder in der Kategorie Obszönität besonders häufig vorkommen oder wie lang die Texte in der Regel sind.»

### Wie viele Wörter, wie viele Sätze?

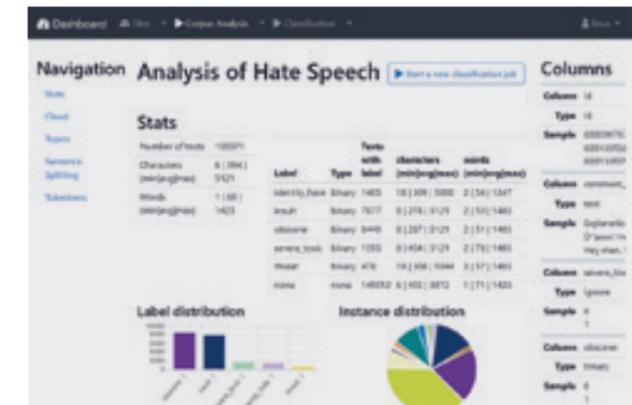
Die Frage der Textlänge – wie viele Wörter, wie viele Sätze ein einzelner Text umfasst – ist nicht so simpel, wie sie klingt. Denn was genau ein Wort und was ein Satz ist, dazu liefern verschiedene Algorithmen jeweils unterschiedliche Antworten. «Das ist so, weil grammatikalische oder orthografische Regeln im Web nicht immer eingehalten werden. Bei Wörtern machen vor allem Kombinationen mit Klammern, Bindestrichen, Schrägstrichen oder Auslassungspunkten Probleme», so Linus Metzler. Hinzu kommen moderne Erscheinungen wie Emojis oder Hashtags, die ebenfalls je nach Algorithmus unterschiedlich interpretiert werden. «Unser Werkzeug stellt die wichtigsten Unterschiede bei der Einteilung in Sätze und Wörter farblich codiert dar und erleichtert so die Wahl des richtigen Algorithmus», ergänzt Nadina Siddiqui.

### Besonders schwierige Texte

Um den Vergleich von Algorithmen geht es auch im zweiten Modul des Werkzeugs: Es gruppiert die Texte eines Korpus danach, ob verschiedene Algorithmen in der Textklassifikation – zum Beispiel nach positiver, negativer oder neutraler Grundstimmung – übereinstimmen. «Das Modul zeigt den Userinnen und Usern dann jeweils Beispiele für Texte, denen alle Algorithmen die richtige Klassifikation zugewiesen haben, bei denen alle Algorithmen falsch lagen und schliesslich Texte, bei denen sich die Algorithmen nicht einig waren», erklärt Linus Metzler. Anwenderinnen und Anwender sehen so auf einen Blick, welche Arten von Texten besonders einfach oder besonders schwierig zu klassifizieren sind – oder welche Algorithmen besser mit einer bestimmten Art von Texten zurecht kommen. Dozent Mark Cieliebak ist überzeugt: «Das macht die Textanalyse viel einfacher – insbesondere für Personen ohne Programmierkenntnisse.»



Linus Metzler und Nadina Siddiqui erleichtern mit ihrem Werkzeug die Arbeit von Data Scientists.

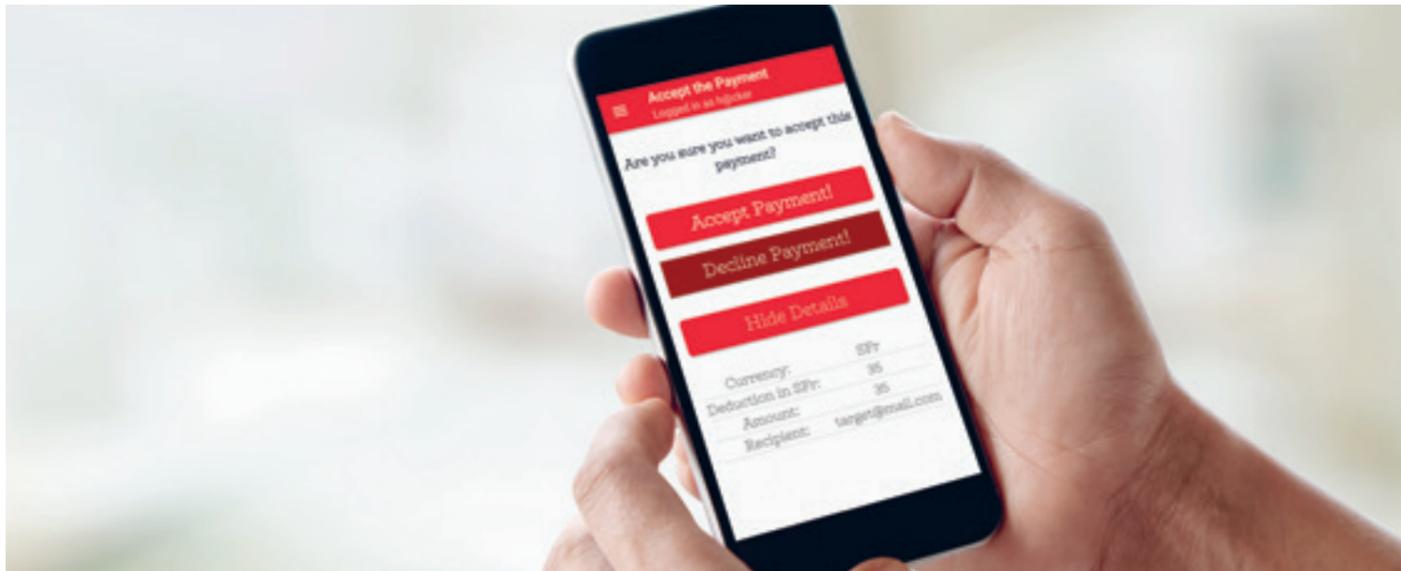


Auf einen Blick: Das Werkzeug liefert statistische Informationen zur Anzahl Texte, zu zentralen Begriffen und zur Textlänge.



Algorithmen liefern unterschiedliche Resultate, wenn es um die Einteilung eines Texts in einzelne Wörter geht. Dank der farblichen Codierung lassen sich diese Unterschiede schnell erkennen.

## Sicherheitslücken finden als Training



Die Informatik-Absolventen Benjamin Heusser und Savin Niederer haben als Bachelorarbeit eine E-Banking-App entwickelt und dabei bewusst Schwachstellen integriert. Die App soll Auszubildenden in der IT-Sicherheit zu Trainingszwecken dienen.

Um Softwareingenieure und Security-Tester auszubilden, sind möglichst realitätsnahe Trainingsumgebungen besonders wichtig. Dazu werden verwundbare Softwaresysteme eingesetzt, sprich Systeme mit bewusst integrierten Schwachstellen. Die Auszubildenden müssen diese Sicherheitslücken dann aufspüren. Eine solche realistische App für Trainingszwecke haben Benjamin Heusser und Savin Niederer im Rahmen ihrer Bachelorarbeit entwickelt. Und das aus gutem Grund: «Im Bereich der mobilen Android Apps existieren derzeit noch keine befriedigenden, öffentlich verfügbaren Lösungen für solche Trainings», sagt Dozent Marc Rennhard, der die Arbeit am Institut für angewandte Informationstechnologie (InIT) betreut hat.

### Schwachstellen realistisch verpacken

In einem ersten Schritt haben die beiden Absolventen verschiedene Szenarien aufgestellt, die als Basis für die verwundbare App dienen könnten. «Apps werden heute in vielen Bereichen des täglichen Lebens eingesetzt – vom Messenger bis zum E-Shopping», so Savin Niederer. Der Entschluss fiel schliesslich auf ein E-Banking-Szenario. Benjamin Heusser erklärt warum: «Diese Anwendung ist einerseits weit verbreitet und andererseits bietet sie uns vielfältige Möglichkeiten, die Schwachstellen auf realistische Art und Weise zu verpacken.» Also haben sich die Absolventen im nächsten Schritt daran gemacht, eine Banking-App samt zugehöriger Serverkomponente zu konzipieren und zu programmieren – als verwundbares System wohlgemerkt.

### Eine App zum Trainieren

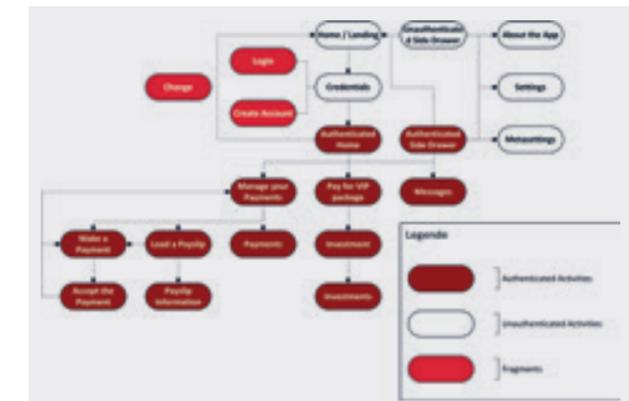
Als Grundlage für die Konzeption der verwundbaren App haben Benjamin Heusser und Savin Niederer eine umfassende Liste von typischen Schwachstellen, die in Android Apps auftreten können, ausgearbeitet. «Auf dieser Basis haben wir anschliessend innerhalb der App und im Rahmen der Kommunikation zwischen App und Serverkomponente insgesamt über 20 Schwachstellen programmiert», so Benjamin Heusser über die Umsetzung. «Beispielsweise haben wir absichtlich die Eingaben des Benutzers nicht korrekt überprüft, was ihm erlaubt, negative Beträge zu überweisen.» Die App selbst bietet den realistischen Funktionsumfang einer E-Banking-App. Sie folgt den Design-Guidelines von Android und wurde für die Android Version 7.x geschrieben. «Wer mit der App trainieren möchte, kann sie sowohl auf physikalischen Geräten als auch auf Emulatoren – also simulierten Android Systemen auf dem Computer – verwenden und analysieren», so Savin Niederer.

### Alle Anforderungen erfüllt

Darüber hinaus haben die Absolventen auch eine sogenannte Exploit-App entwickelt. «Mit dieser App lassen sich die Schwachstellen in der Banking-App vereinfacht demonstrieren», erklärt Benjamin Heusser. Zusätzlich haben die beiden Absolventen in ihrer Bachelorarbeit ein separates Lösungskapitel erstellt, in dem sie detailliert beschreiben, wie die Schwachstellen gefunden, ausgenutzt und behoben werden können. «Die App der beiden Absolventen erfüllt alle Anforderungen in Bezug auf Funktionsumfang, Realitätsnähe und integrierte Schwachstellen», so Dozent Marc Rennhard zufrieden. Inzwischen hat die App den ersten Praxistest bereits hinter sich gebracht: Informatik-Studierende im dritten Jahr haben sie im Modul «Software and System Security 2» erfolgreich als Lehrmittel anwenden können.



Benjamin Heusser (links) und Savin Niederer haben eine App bewusst mit Schwachstellen programmiert.



In der Konzeption der App sind bewusst Schwachstellen integriert.

«Je mehr Klassen wir zu-  
sammenlegen können,  
desto bessere Resultate  
erzielen wir.»

Marcel Schöni

## Ein Algorithmus analysiert Alarme



Ein System aus Messstationen sorgt im Schweizer Zugnetz dafür, dass bei festsetzenden Bremsen oder überhitzten Achslagern ein Alarm ausgelöst wird. Die beiden Informatik-Absolventen Jona Braun und Marcel Schöni haben in ihrer Bachelorarbeit untersucht, wie gut sich Machine Learning eignet, um die Alarme zu klassifizieren.

Wenn Bremsen festsetzen oder Achslager überhitzen, wird das unter Umständen zur Gefahr für Zugpersonal und Passagiere: Die hohen Temperaturen können zu Bränden führen oder das Material so sehr beschädigen, dass Achsenbrüche entstehen und Züge im schlimmsten Fall entgleisen. Damit es nicht so weit kommt, sind über das gesamte Schweizer Schienennetz rund 80 Zugkontroll-einrichtungen verteilt. Mit Infrarotsensoren messen sie die Temperaturen von Achsen und Bremsen vorbeifahrender Züge und lösen – falls ein bestimmter Grenzwert überschritten wird – einen entsprechenden Alarm aus. Der Zug wird daraufhin aus dem Verkehr genommen. Fehlalarme können vorkommen, zum Beispiel wenn eine Dampflok die Zugkontroll-einrichtung passiert, wenn die Sonne direkt auf die Sensoren scheint oder wenn es zu Funkenflug kommt. Darum beurteilt ein Team von Expertinnen und Experten jeden Alarm und kann allenfalls Entwarnung geben.

### Daten von 82'000 Alarmen

Die beiden Absolventen Jona Braun und Marcel Schöni haben im Rahmen ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Informatik untersucht, ob die Alarme auch mittels Machine Learning klassifiziert werden können. «Es handelt sich dabei aber lediglich um einen Prototyp – wir wollen die Expertinnen und Experten damit keinesfalls konkurrenzieren oder ersetzen», betont Marcel Schöni. Die Fachleute der SBB unterscheiden insgesamt 27 Klassen von Alarmen: darunter zum Beispiel echte und daher betriebsrelevante Alarme, aber eben auch Fehlalarme aufgrund von Sonneneinstrahlung, Dampf oder Funken. Für ihre Untersuchung griffen die beiden Absolventen auf Daten von 82'000 Alarmen aus den letzten neun Jahren zurück. «Die Daten lagen uns in Form von Temperaturkurven vor. Da es sich um die Daten echter Fälle handelt, wussten wir auch, um welche Klasse von Alarm es sich im konkreten Fall handelt», erklärt Jona Braun.

### Trefferquote von 98 Prozent

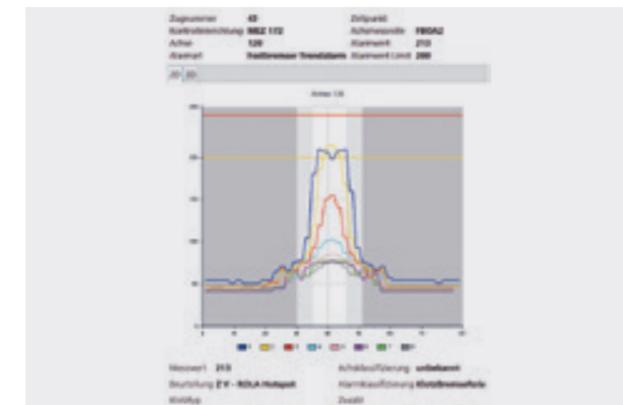
Mit den vorliegenden Daten machten sich die beiden Absolventen daran, verschiedene Algorithmen für ihre Aufgabe zu trainieren. 70 Prozent der Daten verwendeten sie für das Training und teilten den Algorithmen jeweils mit, um welche Alarmklasse es sich handelt. Nach abgeschlossenem Training mussten die verschiedenen Algorithmen die verbleibenden 30 Prozent ohne Hilfe klassifizieren. Das gelang insbesondere einem Algorithmus besonders gut: «Der Algorithmus XGBoost klassifizierte 98 Prozent der Alarme korrekt als echte oder Fehlalarme», berichtet Jona Braun. «Bei der Einteilung in die 27 Alarmklassen lag der Algorithmus in 94 Prozent der Fälle richtig.» Marcel Schöni ergänzt: «Das ist ein ausgezeichnetes Resultat und ein deutlich besseres Ergebnis als das der Systeme, die heute auf dem Feld im Einsatz sind.»

### Weniger Klassen, bessere Resultate

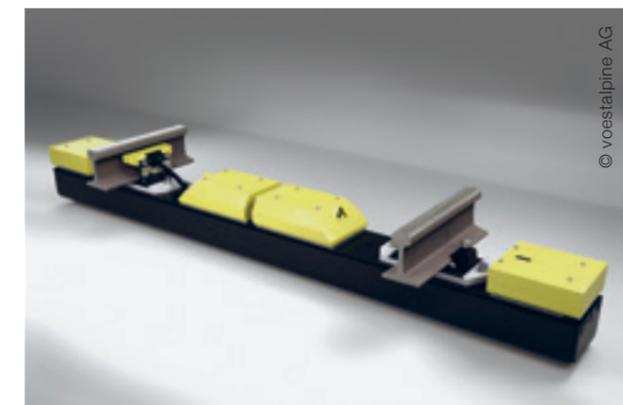
Im Rahmen der Untersuchung zeigte sich, dass auch der beste Algorithmus Schwierigkeiten hat, wenn sich zwei Klassen zu ähnlich sind. «Unser Fazit lautet: Je mehr Klassen wir zusammenlegen können, weil eine Unterscheidung nicht wirklich nötig ist, desto bessere Resultate erzielen wir», erklärt Marcel Schöni. In einem zusätzlichen Experiment beschäftigten sich die beiden Absolventen schliesslich noch mit dem ungünstigsten Fall: ein echter Alarm wird fälschlicherweise als Fehlalarm klassifiziert. «Wir haben das Klassengewicht angepasst; das heisst, wir haben dem Algorithmus quasi mitgeteilt, dass er im Zweifelsfall eher einen echten als einen Fehlalarm angeben soll. Damit haben wir diese spezifische Fehlerquote auf null reduzieren können», schliesst Jona Braun.



Marcel Schöni (links) und Jona Braun haben im Rahmen ihrer Bachelorarbeit den Einsatz von Machine Learning bei Alarmen im Zugverkehr untersucht.



Für ihre Untersuchungen griffen die beiden IT-Absolventen auf vorhandene Messdaten von Zugkontroll-einrichtungen zurück.



Mittels Infrarotsensoren wird die Temperatur von Bremsen und Achslagern gemessen.

«Insgesamt haben wir rund 900 Kilogramm Salz mit der Anlage befördert.»

Chris Beyer

## Keine schweren Säcke mehr schleppen



In ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Maschinentechnik haben die Absolventen Chris Beyer und Michael Hürlimann für die Stedy Gwürz AG eine Anlage entwickelt, die 25 Kilogramm schwere Gewürzsäcke anhebt und entleert. Die Anlage ist bereits aufgebaut und wird demnächst beim Kunden in den Produktionsablauf integriert.

Für die Mitarbeiter der Stedy Gwürz AG ist es eine mühsame Aufgabe: Bevor ihre Gewürzmischungen weiterverarbeitet werden, müssen sie die 25 Kilogramm schweren Gewürzsäcke in Handarbeit in zwei Meter hohe Abfüllanlagen entleeren. Das soll dank der Bachelorarbeit von Chris Beyer und Michael Hürlimann nun ein Ende haben. Die beiden Absolventen des Studiengangs Maschinentechnik haben eine Anlage konstruiert, welche diese Aufgabe künftig übernimmt. «In einer früheren Bachelorarbeit ist dafür wichtige Vorarbeit geleistet worden. In unserer eigenen Projektarbeit haben wir die Funktion aller Komponenten bereits ausführlich getestet», erklärt Michael Hürlimann. «Also konnten wir uns im Rahmen der Bachelorarbeit darauf konzentrieren, die Komponenten zu einem Ganzen zusammenzuführen und die Software für die Anlage zu schreiben.»

### Probleme beheben

Zu Testzwecken wurde die Anlage zuerst im Maschinenlabor der ZHAW School of Engineering aufgebaut. Sie besteht aus einem Greifer, der die Gewürzsäcke anpackt, anhebt und einem von zwei Trichtern zuführt. Die Trichter sind mit Schneidwerkzeugen ausgerüstet, welche die Säcke aufschneiden. Dann muss der Greifer seine Ladung ausrütteln, damit nichts im Sack verbleibt. Bei den Tests stiessen die Absolventen auf Mängel, die es zu beheben galt. «Die Säcke hingen durch und konnten daher nicht in die Trichter gezogen werden. Wir haben aber Lösungen für dieses Problem gefunden», so Chris Beyer. Die Absolventen haben Pneumatikzylinder verwendet, um die Säcke anzuheben, und die beiden Trichter so angepasst, dass sie höhenverstellbar sind. Damit die Abfüllanlagen unter den abgesenkten Trichtern immer noch Platz haben, kürzten die Absolventen die Trichter und schweissten neue Leitbleche ein.

### Handbetrieb und Automatik

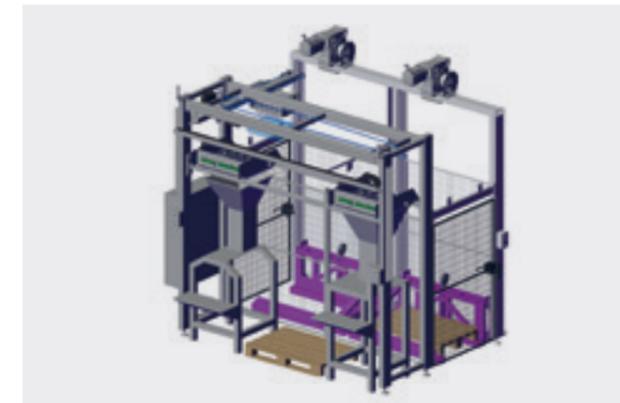
Die Software für den Betrieb der Anlage verfügt über zwei verschiedene Funktionsmodi, wie Michael Hürlimann erklärt: «Zum einen gibt es die Möglichkeit, die Anlage im Handbetrieb zu steuern. Dabei wird jede einzelne Teilfunktion – das Anheben, das Zuführen, das Aufschneiden und so weiter – von Hand ausgelöst. Das ist dann wichtig, wenn man zum Beispiel Störungen beheben muss.» Weiter kann die Anlage im Automatikmodus betrieben werden, bei dem alle Schritte automatisch ablaufen. Getestet haben die Absolventen die Anlage mit Salzsäcken. Chris Beyer berichtet: «Insgesamt haben wir rund 900 Kilogramm Salz mit der Anlage befördert – hätten wir dafür Gewürze genommen, wäre das natürlich viel zu teuer geworden.» Nach den Tests an der School of Engineering demontierten die Absolventen die Anlage, bauten sie bei der Stedy Gwürz AG auf und nahmen sie in Betrieb.

### Bereit für die Praxis

Noch stehen weitere Tests mit Gewürzsäcken und kleinere Optimierungen aus, die aber demnächst ausgeführt werden, so dass die Stedy Gwürz AG die Anlage bald für das Abfüllen von Gewürzen nutzen kann. Dozent Christian Abegglen, der die Bachelorarbeit am Institut für Mechatronische Systeme (IMS) betreut hat, ist sehr zufrieden mit dem Resultat: «Es war eine sehr umfangreiche und komplexe Arbeit, die viel Energie und Engagement seitens der Absolventen verlangte.» Sie hätten sehr selbständig und verantwortungsvoll mit ihrem Kunden zusammengearbeitet und damit bewiesen, dass sie bereit sind, in die Berufswelt entlassen zu werden. «Daher hat es mich auch überhaupt nicht erstaunt, dass die Absolventen umgehend eine Arbeitsstelle gefunden haben», so Christian Abegglen.



Michael Hürlimann (links) und Chris Beyer haben eine Anlage konstruiert, die beim Abfüllen von Gewürzen eingesetzt wird.



Die Anlage besteht aus einem Greifer, der Gewürzsäcke packt, sie auf verschiedenen Achsen befördert und zwei Trichtern mit Schneidwerkzeugen zuführt.



Die Absolventen testeten die Anlage mit Salzsäcken.

«Unsere Maschine deckt zwar nicht alle Möglichkeiten der CNC-gesteuerten Maschinen ab, soll jedoch als Alternative im Metallbau fungieren.»

Dominic Nyffeler

## Eine Maschine für «krumme Geschäfte»



Die Maschinentechnik-Absolventen Michael Frei und Dominic Nyffeler haben in ihrer Bachelorarbeit eine Biegemaschine als Bausatz entwickelt. Die günstige Alternative zu Industriebiegemaschinen vereint das Walzen, Biegen und Abkanten. Nun wollen die Jungingenieure die Maschine auf den Markt bringen.

Im Metallbau kommt das Umformen von Profilen oft zur Anwendung. Die Einsatzgebiete sind vielfältig. Die wohl häufigste Anwendung ist das Rohrbiegen von Geländern. Schweizer KMU kaufen die benötigten Profile meistens bei einem grossen Lieferanten. «Selbst sehr einfache Geometrien müssen bestellt werden, da eine eigene grosse CNC-Biegemaschine für Metallbaufirmen nicht rentabel ist», so Dominic Nyffeler. «Trotzdem kommt es oft vor, dass das gelieferte Profil bei der Endmontage noch angepasst werden muss oder eine einmalige Fertigung eines Geländers notwendig ist.» Ihre Profilbiegemaschine haben die Absolventen deshalb genau für das KMU-Segment konstruiert. Sie ist kompakt geplant und soll auch auf Baustellen transportierbar sein.

### Idee selber entwickelt

Nun stehen Michael Frei und Dominic Nyffeler kurz davor, ihre neuartige Profilbiegemaschine auf den Markt zu bringen. Die Idee, eine solche Maschine als Bausatz für den Metallbausektor zu erstellen, stammt von den beiden Maschinentechnik-Absolventen selbst. Was anfangs nur ein paar Handskizzen waren, entwickelte sich im Verlauf der Bachelorarbeit zu einem ersten Prototyp und schliesslich zu einem ausgereiften Entwurf einer vielseitig einsetzbaren Biegemaschine. «Unsere neu entwickelte Maschine vereint das Biegen, Walzen und Abkanten von Profilen wie Rohr-, Flach- und Kantenprofilen», erklärt Michael Frei. Ausgeliefert werden soll die Maschine den Kunden als einfacher Bausatz, den sogar Metallbau-Lernende zusammenbauen können.

### Industriepartner an Bord geholt

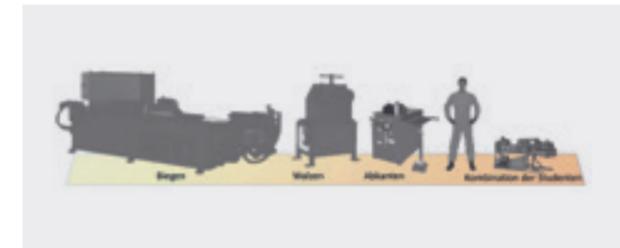
Nachdem die Absolventen zunächst ein grobes Konzept einer den Anforderungen entsprechenden Profilbiegemaschine skizziert hatten, folgte die Hauptdisziplin eines Ingenieurs: das Berechnen und Auslegen der Maschinenelemente. Dies erfolgte via CAD-Zeichnungen und Finite-Elemente-Methoden auf den Rechnern. So konnten die Jungingenieure für jedes Bauteil bestimmen, ob es den Belastungen standhält und für den Einsatz richtig dimensioniert ist. Gleichzeitig machten sich Michael Frei und Dominic Nyffeler auf die Suche nach Industriepartnern und konnten zwei Firmen für ihr Projekt begeistern. «In der firmeneigenen Werkstatt der Briner AG haben wir den Prototyp aufgebaut und die Maschine getestet», so Michael Frei. «Mit den Ergebnissen aus diesen Tests haben wir dann weitere Anpassungen für das Endprodukt vorgenommen.» Das Know-how erarbeiteten die Absolventen in Kooperation mit dem Zentrum für Produkt- und Prozessentwicklung (ZPP) der ZHAW und der Müller Metallbau, die ihrerseits die Anforderungen des Marktes und nötiges Fachwissen in das Projekt einbrachte.

### Bausatz kommt auf Bestellung

«Unsere Maschine deckt zwar nicht alle Möglichkeiten der CNC-gesteuerten Maschinen ab, soll jedoch als Alternative im Metallbau fungieren», sagt Dominic Nyffeler. Die komplette Steuerung haben die Absolventen hydraulisch gelöst. Sie verfügt über einen Biege- sowie einen Walzzyylinder mit je einer maximalen Anpresskraft von zehn Tonnen. Unter [www.die-biegemaschine.com](http://www.die-biegemaschine.com) erhalten Firmen auf Bestellung einen kompletten Bausatz mit allen nötigen Teilen geliefert. «Das Kit beinhaltet alle Hydraulikkomponenten, die Klein- und Einkaufsteile sowie die Fräs-, Dreh- und Schneidteile», sagt Michael Frei. Auszubildende im Metallbausektor können die gesamte Maschine gemäss einer vorgegebenen Dokumentation zusammenbauen.



Michael Frei (links) und Dominic Nyffeler haben eine Profilbiegemaschine entwickelt.



Aus drei mach eins: CNC 50 Biegemaschine von YLM, Walzmaschine von juwei, Abkantmaschine von Welsch und die Kombinationsmaschine der Studenten (v.l.n.r.).



Michael Frei (links) und Dominic Nyffeler bauen ihren Prototyp.

## Fit am Schreibtisch



Silas Hirschi und Mirco Huber haben im Rahmen ihrer Bachelorarbeit eine neue Messmethode für den Energieverbrauch von Büroangestellten entwickelt. Damit können die Absolventen den Nutzen von aktivitätsfördernden Massnahmen am Arbeitsplatz zuverlässig bestimmen.

Büroangestellte haben aufgrund ihrer sitzenden Tätigkeit während der Arbeitszeit oft nicht die Möglichkeit, sich ausreichend zu bewegen. Um Herz- und Kreislauferkrankungen vorzubeugen, gibt es immer mehr Bestrebungen, den Arbeitsplatz aktivitäts- und gesundheitsfördernd einzurichten; so zum Beispiel mit Stehpulten. Bisher ist der Nutzen solcher Massnahmen weder widerlegt noch bestätigt worden. Zur Messung der Aktivität und des Energieverbrauchs während sitzender Tätigkeiten wird bisher nur eine Methode genutzt. Die Maschinentechnik-Absolventen Silas Hirschi und Mirco Huber haben sich in ihrer Bachelorarbeit am Institut für Energiesysteme und Fluidengineering (IEFE) mit der Entwicklung einer neuen Messmethode auseinandergesetzt.

### Bestehendes kritisch hinterfragt

Eine bekannte Messmethode ist die Ergospirometrie. «Ihr Einsatz ist allerdings teuer und erfordert eine hohe Fachkompetenz in der Bedienung des Geräts sowie bei der Auswertung der Messdaten», sagt Mirco Huber. «Auch der Einsatz von Beschleunigungssensoren ist im Büro wenig praktikabel, da ein Grossteil der Bewegungen am Arbeitsplatz quasi-statisch ist und von den oberen Extremitäten ausgeführt wird.» Die Absolventen haben die bisherige Messmethode für den Energieverbrauch am Arbeitsplatz kritisch hinterfragt, um darauf aufbauend eine neuartige Lösung zu entwickeln. «Die Ergospirometriemaske erfasst den Energieverbrauch eigentlich sehr gut», erläutert Silas Hirschi. «Das Gerät schränkt aber das Sichtfeld ein und ist zudem relativ laut.»

### Sensoren optimiert

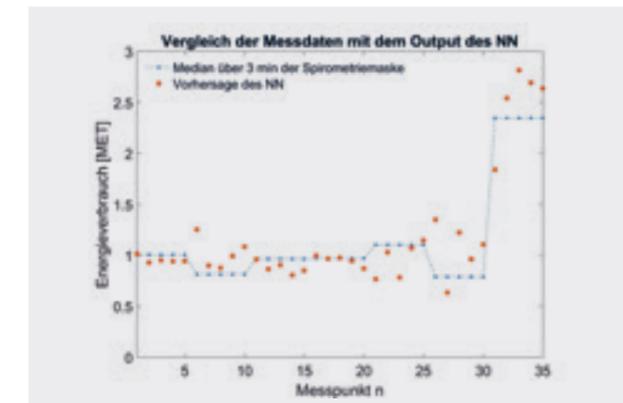
Aus Sicht der Absolventen misst das System den Energieverbrauch nicht zufriedenstellend. Als Lösungsansatz setzten die Absolventen auf sogenannte Elektromyografie-Sensoren (EMG). «Diese Sensoren messen die elektrische Muskelaktivität und können daher auch den Energieverbrauch quasi-statischer Aktivitäten – zum Beispiel das Tippen auf der Tastatur – erfassen», so Mirco Huber. Die Absolventen optimierten diese EMG-Sensoren so weit, dass sie robust genug sind, um im Büroalltag eingesetzt werden zu können. Das neue, an der Hüfte platzierte Gerät verfügt über kompakte Sensoren, eine Stromversorgung via Powerbank und einen Raspberry Pi-Platinencomputer für die Signalverarbeitung. Die Absolventen testeten das Messgerät zusammen mit einer Ergospirometriemaske und zeichneten eine Auswahl definierter Tasks mit möglichst vielen Probanden auf.

### Maske nicht mehr nötig

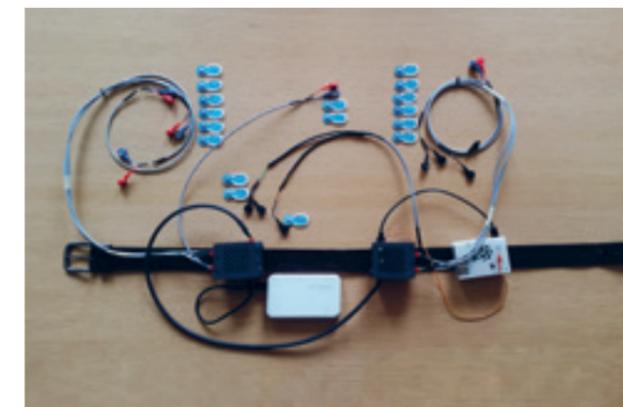
Im zweiten Schritt haben Silas Hirschi und Mirco Huber mit der MATLAB-Software ein neuronales Netzwerk programmiert. «Unser Ziel war es, dass die EMG-Signale mit denen der Ergospirometriemaske korrelieren», sagt Silas Hirschi. «Dadurch können spätere Messungen allein mit den EMG-Sensoren vorgenommen werden.» Das heisst, dass in Zukunft ganz auf die unangenehme Ergospirometrie verzichtet werden könnte. «Die Korrelationen zeigen schon vielversprechende Ansätze», führt Mirco Huber aus. «Die Tests müssen noch mit mehr Probanden durchgeführt werden, damit eine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann.» Diese Tests werden im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts durchgeführt.



Silas Hirschi (links) und Mirco Huber können den Energieverbrauch quasi-statischer Bewegungen messen.



In der Grafik lassen sich die Daten der Spirometriemaske und des neuronalen Netzwerks vergleichen.



Das von den Absolventen entwickelte System lässt mehr Bewegungsfreiraum zu.

«Mit den Daten der Sensoren habe ich die Belastung auf die Handgelenke des Velofahrers berechnet.»

Andreas Mörker

## Belastungstests für Velofahrer



Kann Velofahren noch bequemer werden? Es kann, findet Systemtechnik-Absolvent Andreas Mörker. Er hat mit einem Simulator verschiedene Velolenker auf ihre Ergonomie getestet.

Wer viel und lange mit dem Velo fährt, kennt es: Irgendwann fangen die Handgelenke an zu schmerzen oder die Finger werden taub. Ursache dafür ist der stetige Druck auf Nerven und Blutgefäße. Daher suchen Anbieter ständig neue Lösungen, um Fahrradlenker weiter zu verbessern. Dieses Ziel verfolgt auch der Fahrradzubehöranbieter Veloplus. In dessen Auftrag hat Andreas Mörker im Rahmen seiner Bachelorarbeit den Komfort eines neuen Lenkers getestet. Für diese Vergleichsstudie nutzte er einen neuen Simulator, der bereits am Institut für Mechanische Systeme (IMES) entwickelt worden war. «Die Arbeit war perfekt geeignet, um den neuen Simulator zu testen», beginnt Andreas Mörker, der selbst ein erfahrener Biker ist.

### Simulator für reale Strecken

Um ein realistisches Fahrscenario darstellen zu können, ist der Simulator mit zwei Antrieben ausgestattet. Die Simulation wird dabei aber nicht einfach vom Computer generiert, wie der Absolvent erklärt: «Es handelt sich um reale Strecken, die mit Sensoren in der Federgabel aufgenommen und anschliessend berechnet wurden.» Die Tests hat er mit einer Probandin und einem Probanden durchgeführt. Sie «fuhren» mit je drei unterschiedlichen Lenkern eine Teerstrasse, einen Waldweg und einen Mountainbike-Trail zum Vergleich. Dehnmessstreifen an der Lenkerklemmung zeichneten die Daten für je fünf Durchläufe von 30 Sekunden auf. «Mit dem Mittelwert der Dehnungen habe ich die auf die Handgelenke wirkende Kraft anhand eines Biegebalkenmodells berechnet», sagt Andreas Mörker.

### Klare Ergebnisse und ein weiterer Test

Die Vergleichstests mit den unterschiedlichen Lenkern und Fahrscenarien ergaben, dass der neu entwickelte Lenker die Stösse besser abfedert. «Das war nicht nur die subjektive Wahrnehmung der Testpersonen», sagt Andreas Mörker. «Auch die Messungen der Sensoren kommen zu diesem Resultat.» Da die Dehnmessstreifen selbst kleinste Veränderungen messen, kann man sogar leichte Verschiebungen des Oberkörpers erkennen. «Das hängt davon ab, wie man auf dem Fahrrad sitzt, und resultiert in unterschiedlichen Belastungen der Handgelenke», so der Absolvent. Um den neuen Simulator weiter zu testen, hat der Systemtechniker mittels Oberflächenelektromyografie zusätzlich die Aktivität der Schultermuskulatur beim Velofahren gemessen. Damit konnte er veranschaulichen, wie hoch die maximale Muskelkontraktion – also die nicht bewusst durchgeführte Muskelanspannung – in den jeweiligen Fahrscenarien ist.

### Breite Anwendungsmöglichkeiten

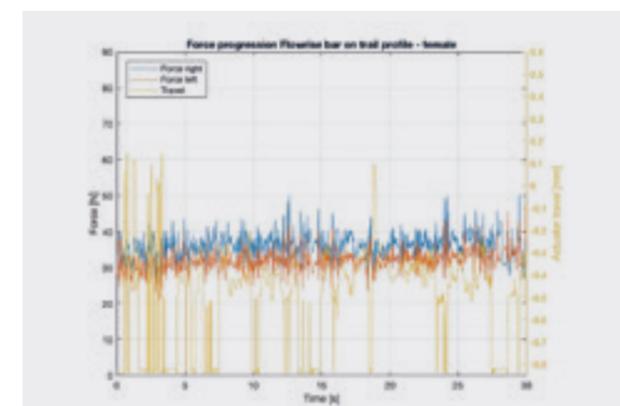
Nachdem die Tests für den Wirtschaftspartner so zufriedenstellende Ergebnisse erbracht haben, denkt Andreas Mörker über weitere Anwendungsmöglichkeiten des Simulators nach: «Vorstellbar wäre eine Kooperation mit SwissOlympic, um Material oder Trainingskonzepte zu testen.» Aber auch für die Produktentwicklung sieht er einen Mehrwert. «Ausserdem bietet der Fahrradsimulator viele Möglichkeiten für Forschungsprojekte und im Bereich der Funktionen gibt es noch grosses Entwicklungspotenzial.» Eine gute Chance für zukünftige Studierende, wie Andreas Mörker findet.



Andreas Mörker hat in einer Vergleichsstudie verschiedene Lenker getestet.



Der Simulator kann realitätsnahe Fahrscenarien darstellen.



Die Sensordaten zeigen, welche Kräfte auf die Probandin auf dem Mountainbike-Trail einwirken.

«Die thermische Anregung spielt bei diesem Verfahren eine zentrale Rolle.»

Giaele Quadri

## Dem Hautkrebs auf der Spur



Im Studiengang Systemtechnik haben Giaele Quadri und Andreas Bachmann einen Prototyp zur Detektion von Hautkrebs weiterentwickelt. Der Clou: Das Gerät erkennt Hautveränderungen rein optisch ohne Gewebeprobe.

Je früher Hautkrebs als solcher erkannt wird, desto grösser sind die Heilungschancen. Ausserdem kann durch eine frühzeitige Diagnose auch die Ausbreitung auf umliegende Organe verhindert werden. Nicht nur Position und Grösse, sondern auch die Ausbreitung eines Melanoms anhand der Metastasenbildung sind wichtige Informationen, um das Stadium der Erkrankung zu definieren und eine effektive Therapie zu gewährleisten. Diese Informationen erhalten Dermatologen oft erst durch Gewebeprobe. Eine vielversprechende Alternative zu solchen schmerzhaften und teuren Untersuchungen ist die dynamische Thermografie. Giaele Quadri und Andreas Bachmann haben sich in ihrer Bachelorarbeit mit dieser neuen Technologie auseinandergesetzt.

### Hautveränderungen erkennen

Die dynamische Thermografie ermöglicht eine rein optische und somit absolut schmerzfreie Analyse von Gewebe. «Bei dieser Untersuchungstechnik wird die Haut thermisch stimuliert», erklärt Dozent Mathias Bonmarin, der die Bachelorarbeit am Institute of Computational Physics (ICP) betreut hat. «Während die Haut durch kalte Luft angeregt wird, kann eine Infrarotkamera lokale Unterschiede in der Hauttemperatur erkennen.» Detektierte Temperaturschwankungen können wiederum auf lokale Hautveränderungen zurückgeführt werden – ein mögliches Indiz für Hautkrebs. Diese Untersuchungstechnologie ist bereits in einem von Mathias Bonmarin und der Dermolockin GmbH entwickelten Prototyp implementiert. In ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Systemtechnik haben Giaele Quadri und Andreas Bachmann diesen Prototyp weiterentwickelt.

### Kleiner und besser

«Der Prototyp bestand bisher aus drei Teilkomponenten: der Infrarotkamera, dem Transformator und der Halterung für die CO<sub>2</sub>-Kapsel», erklärt Andreas Bachmann. «Neu sind dank Akkubetrieb weder Transformator noch Netzkabel nötig.» Die übrigen Bestandteile wurden zu einer kompakten Einheit komprimiert. Giaele Quadri erklärt: «Die Halterung für die CO<sub>2</sub>-Kapsel haben wir platzsparend im Griff integriert.» Zusätzlich haben die beiden das Gerät um einige Funktionalitäten erweitert, wie Andreas Bachmann weiter ausführt: «Bisher musste man sehr viel manuell einstellen; das haben wir automatisiert.» Beispielsweise wird der Kältestrom nun automatisch ein- und ausgeschaltet, um die Haut mit Kaltluftschüben anzuregen.

### Gleichmässige Kaltluft

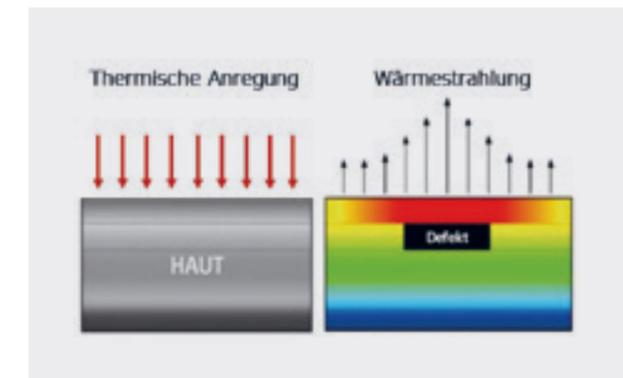
«Die thermische Anregung spielt bei diesem Verfahren eine zentrale Rolle», sagt Giaele Quadri. «Entscheidend ist, dass die Haut auf dem ausgewählten Bereich gleichmässig stimuliert wird, damit die anschliessende Analyse durch die Infrarotkamera aussagekräftig ist.» Sie und Andreas Bachmann haben zwei geeignete Anregungsmethoden – Konvektion und Konduktion – untersucht und im Prototyp umgesetzt. «Bei der Konvektion wird die Kaltluft direkt auf die Haut geblasen, bei der Konduktion wird eine Glasscheibe gekühlt, die auf der Haut liegt», so Andreas Bachmann.

### Testphase notwendig

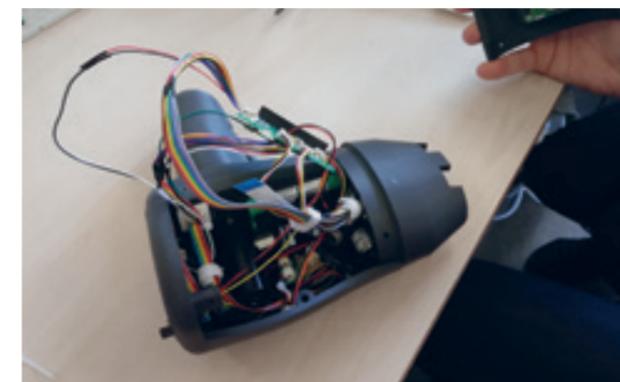
Hergestellt haben Giaele Quadri und Andreas Bachmann den Prototyp mittels 3D-Druck. Die Steuerung sowie die Darstellung und Auswertung der Bilder erfolgt mit einer Software auf einem separaten Gerät. «Die technische Funktionalität der Komponenten haben wir durch praktische Versuche während der Entwicklungsphase getestet», so Andreas Bachmann. «Um das Gerät im Zusammenhang mit dem thermografischen Verfahren zu prüfen, muss hingegen noch eine umfassende Testphase durchgeführt werden.» Diese könnte wiederum Inhalt einer weiteren Bachelorarbeit sein.



Andreas Bachmann und Giaele Quadri haben sich mit dynamischer Thermografie beschäftigt.

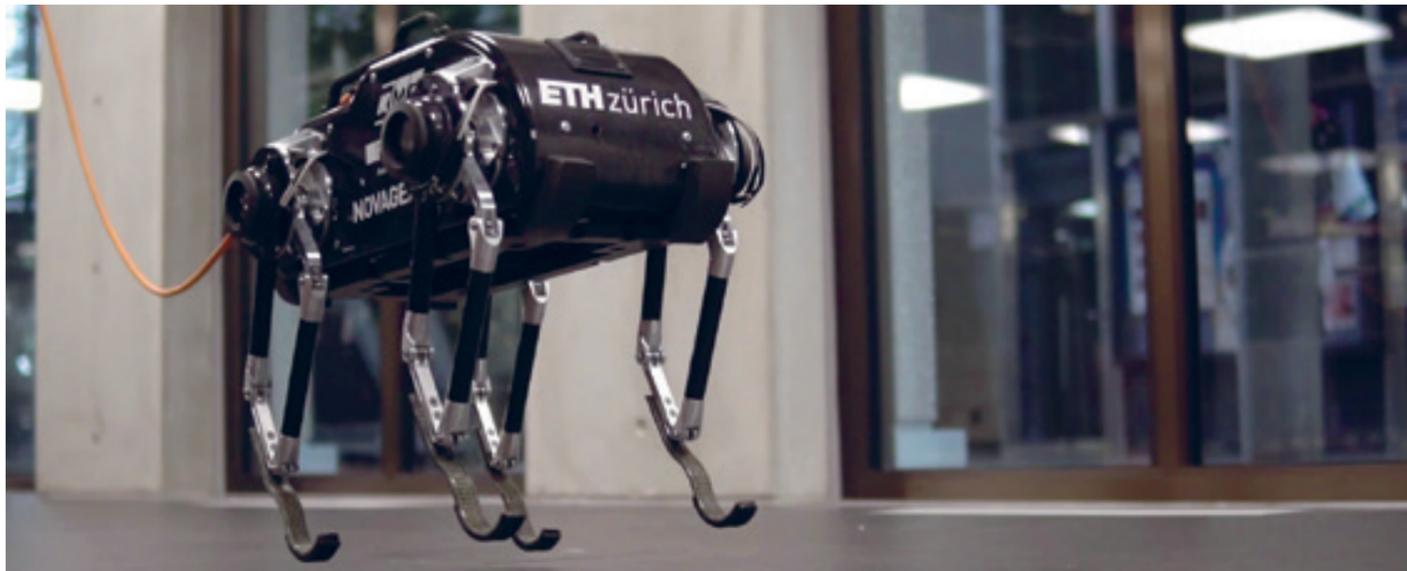


Hautveränderungen werden durch thermische Anregung sichtbar gemacht.



Der Prototyp birgt viel Innenleben auf engem Raum.

## Ein Bock fürs Weltall



Der Mars wurde bereits von rollenden Erkundungsrobotern befahren. Dass sich Roboter auf fremden Planeten auch anders fortbewegen könnten, zeigt der Space Bok. Die Systemtechnik-Absolventen Camille Huber und David Schaufelberger haben an dessen Entwicklung tatkräftig mitgewirkt.

Studierende der ETH Zürich und der ZHAW School of Engineering haben gemeinsam den Roboter Space Bok entwickelt. Er kann sich laufend und springend fortbewegen. Auf diese Weise soll er einst fremde Planeten im Weltall erkunden. «Dort ist Springen als Fortbewegungsart effizienter als Rollen, wie es herkömmliche Erkundungsfahrzeuge tun», erklärt David Schaufelberger. «Aufgrund der geringeren Gravitation gibt es beim Fahren in steilem Gelände Traktionsprobleme.» Er und Camille Huber haben im Rahmen ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Systemtechnik ein Elektronik-Konzept für den springenden Laufroboter entwickelt und umgesetzt.

### Dynamische Anforderungen

Aufgrund der hohen Ströme, die während des Springens fließen, stellt die Energieversorgung des Systems eine besondere Herausforderung dar, wie Camille Huber erläutert: «Diese dynamische Fortbewegungsart erfordert eine hohe Leistung während einer sehr kurzen Zeit. Dies führt zu hohen Stromspitzen mit steilem Anstieg.» Um die Lastströme einschätzen zu können, haben die Absolventen eine Bewegungssimulation durchgeführt. So konnten sie auf die wirkenden Drehmomente der Motoren schließen. Mit den gesammelten Daten haben die Absolventen mithilfe eines Modells für die Motoren und Motorencontroller den Laststrom berechnet, der während des kontinuierlichen Springens fließt.

### Stützkondensator notwendig

Auf Basis ihrer Untersuchungsergebnisse haben Camille Huber und David Schaufelberger ein Speisungskonzept erarbeitet. Für die Spannungsversorgung setzten sie auf einen Lithium-Polymer-Akku in Kombination mit einem Stützkondensator mit einer hohen Kapazität. «Der Kondensator dient als schneller Energiezwischenspeicher und ist deshalb der Schlüssel, um die Spannungsversorgung während dieses dynamischen Betriebs aufrechtzuerhalten», so Camille Huber. In Belastungstests haben die Absolventen nachgewiesen, dass die Versorgungsspannung auf einem stabilen Wert gehalten werden kann, dafür der Einsatz eines Stützkondensators aber absolut notwendig ist.

### Speziellösung entwickelt

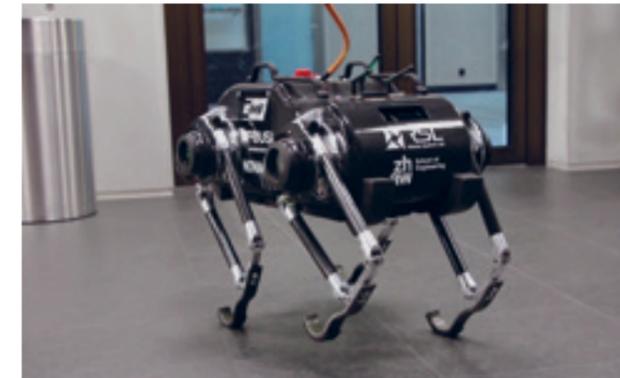
Um einen Lithium-Polymer-Akku sicher betreiben zu können, muss dieser durch ein Battery-Management-System (BMS) überwacht und geschützt werden. Das Gerüst für ein solches System konnten die Absolventen vom ETH-Spin-off ANYbotics übernehmen. Dennoch war eine Eigenentwicklung nötig, wie David Schaufelberger sagt: «Der Leistungsteil vom BMS war für unsere hohen Anforderungen nicht ausreichend dimensioniert. Wir haben deshalb eine Speziallösung entwickelt, welche die hohen Strombelastungen aushält und gleichzeitig kompakt bleibt.»

### Space Bok ist einzigartig

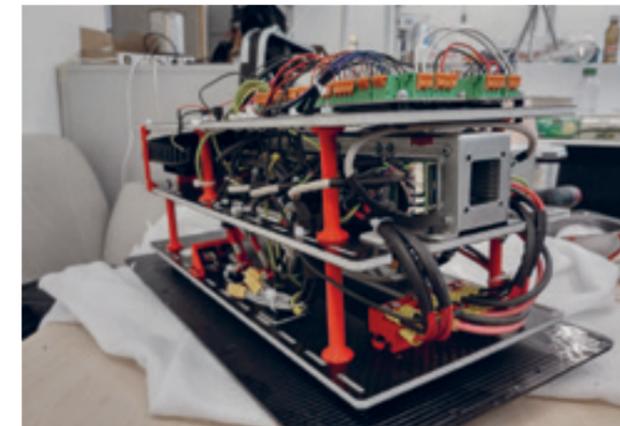
Ein weiterer zentraler Punkt der Bachelorarbeit war es, die entwickelte Elektronik platzsparend im engen Innenraum des Roboters zu integrieren. Die Absolventen kreierten auch für diese Herausforderung eine clevere Lösung. «Wir haben einen Elektro-Stack entwickelt, also die gesamte Bordelektronik quasi in einen kompakten Stapel verbaut», so David Schaufelberger. «Dieser lässt sich auch aus dem Roboter herausnehmen, so dass Wartungsarbeiten einfacher zu handhaben sind.» ZHAW-Dozent Michael Wüthrich ist begeistert vom Ergebnis der hochschulübergreifenden Zusammenarbeit: «Die Studierenden beider Hochschulen haben sich perfekt ergänzt und ein Produkt hervorgebracht, das bisher einzigartig ist.» Als nächsten Schritt in Richtung Weltall wollen die Studierenden ihren Space Bok am International Astronautical Congress (IAC) vorstellen. Ausserdem soll der Roboter an der European Space Agency (ESA) in Low-Gravity-Simulationsumgebungen weiter getestet werden.



David Schaufelberger (links) und Camille Huber haben den Space Bok mitentwickelt.



Der Space Bok kann laufen und springen.



Die Absolventen haben die Bordelektronik platzsparend verbaut.

«Je nach Modell sind in  
Winterthur 16 bis 34 Bike-  
Sharing-Standorte sinnvoll.»

Sandro Glarner

## Das Rad am rechten Fleck



Die richtige Wahl der Standorte beeinflusst den Erfolg von Bike-Sharing-Anbietern. Doch wie genau sieht die Planung aus, um möglichst effizient Städte mit Velos zu versorgen? Sandro Glarner und Jan Tüscher haben Optimierungsmodelle für verschiedene Ansprüche entwickelt.

In der Schweiz nutzen immer mehr Menschen Mobility-Sharing. Die verschiedenen Mobilitätsangebote werden daher stetig ausgebaut – so auch Bike-Sharing-Systeme. Die richtige Standortplanung ist dabei essentiell für den Abdeckungsgrad und den Erfolg des jeweiligen Anbieters. Sandro Glarner und Jan Tüscher haben für ihre Bachelorarbeit im Studiengang Verkehrssysteme die Problematik der bestmöglichen Standortplatzierung vertieft untersucht und auf dieser Basis einen eigenständigen Optimierungsansatz entwickelt. Ihre Ergebnisse unterstützen die PostAuto Schweiz AG und deren Bike-Sharing-Dienst PubliBike bei der Angebotsplanung.

### Ein Raster für Winterthur

Der erste Schritt war, sich ausführlich mit der vorhandenen Literatur zu Nachfrage und diversen Optimierungsansätzen zu beschäftigen. Für das darauffolgende Pilotprojekt haben die Absolventen einen Bereich der Stadt Winterthur ausgesucht, der vom Bahnhof Oberwinterthur bis nach Töss reicht. «Über diesen sogenannten Perimeter haben wir ein geometrisches Raster gelegt und für jedes einzelne Feld Daten betreffend Wohn- und Arbeitsplätzen sowie Reisezeiten angefordert», erklärt Sandro Glarner. «Die Daten erhält man entweder beim Bundesamt für Statistik oder über Google API.» Darauf basierend stellten Sandro Glarner und Jan Tüscher fünf verschiedene Optimierungsmodelle auf: ein Basismodell sowie je zwei Modelle, die entweder den Gewinn oder die Abdeckung maximieren.

### Abdeckung oder Gewinn maximieren

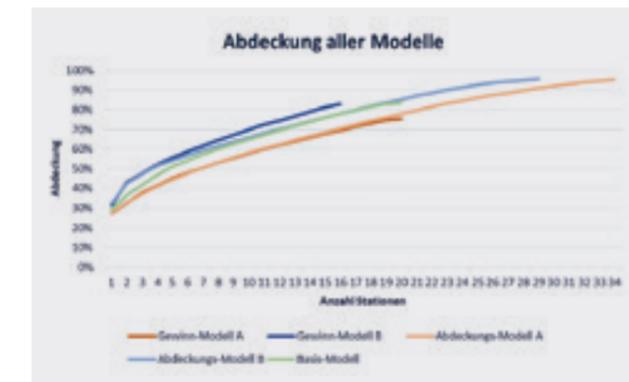
Jan Tüscher beschreibt das Basismodell folgendermassen: «Es berechnet für eine fixe Anzahl an Stationen die optimalen Standorte so, dass die Impedanz – also die gewichtete Summe von Distanzen zwischen den Nachfrageorten und Stationen – minimiert wird.» Durch das Anpassen der Parameter entwickelten die Absolventen weitere Modelle. Die zwei auf Gewinn ausgerichteten Modelle platzieren jeweils so viele Stationen im Perimeter, dass sich die Einnahmen abzüglich der Kosten maximieren. Im Gegensatz dazu ist das Ziel der anderen beiden Modelle, möglichst viel Nachfrage abzudecken, ohne dabei grössere Kosten als Einnahmen zu generieren. «Je nach Modell kamen wir zu der Erkenntnis, dass zwischen 16 und 34 PubliBike-Standorte optimal sind», schlussfolgert Sandro Glarner aus der Untersuchung. Der Abdeckungsgrad variiert dabei zwischen 76 und 96 Prozent. «Ausserdem ist es möglich, die gleiche Anzahl an Stationen so zu platzieren, dass die Abdeckungsrate steigt», folgert er weiter. «Im Gegenzug dazu werden jedoch die Laufdistanzen innerhalb der Einflussradien der einzelnen Stationen grösser», wendet Jan Tüscher ein.

### Modell für die wirtschaftlichste Platzierung

Das Fazit der Untersuchung: Je nach Berechnung sind die Einnahmen bei 16 bis 20 Stationen maximal. Vor allem wenn diese im Stadtzentrum und an wichtigen Transitpunkten eingerichtet sind. «Das Hinzufügen weiterer Stationen erhöht zwar die Abdeckung, senkt jedoch den Gewinn», erklärt Jan Tüscher. Anhand der gewonnenen Ergebnisse können PostAuto und PubliBike die bestmögliche Verteilung von Velo-Stationen in Winterthur planen. Und auch für die Absolventen hatte die Untersuchung einen Mehrwert, wie Sandro Glarner sagt: «Vor allem die Erfahrung mit der Nachfrage- und Datenanalyse ist ein Plus im Bewerbungsgespräch.»



Sandro Glarner (links) und Jan Tüscher haben die optimale Verteilung für Bike-Sharing-Standorte ermittelt.



Die einzelnen Modelle erreichen unterschiedlich hohe Abdeckungsgraden.



Das Basismodell empfiehlt 20 Bike-Sharing-Standorte in Winterthur

## Wer steigt um auf den Fernbus?



In Deutschland haben Fernbuslinien in jüngster Zeit grossen Erfolg. Aber könnten sie auch in der Schweiz mit der Bahn konkurrieren? Dieser Frage sind die Verkehrssysteme-Absolventen Samuel Bissig und Philipp Hess in ihrer Bachelorarbeit nachgegangen.

Im Juni 2018 haben die ersten Fernbuslinien innerhalb der Schweiz ihren Betrieb aufgenommen – weitere könnten folgen. Ob und wie viele Reisende nun von der Bahn auf den Bus umsteigen werden, ist bisher noch nicht wissenschaftlich prognostiziert worden. Im Auftrag der Schweizerischen Südostbahn AG (SOB) haben sich Samuel Bissig und Philipp Hess dieser Thematik angenommen. In Kooperation mit der SBB wird die SOB ab 2020 die Fernverkehrslinie über die Gotthard Bergstrecke übernehmen, also von Basel bzw. Zürich bis nach Locarno fahren. Auch auf dem Korridor Bern-Zürich-Chur ist eine Kooperation zwischen der SOB und SBB vorgesehen. Für die Absolventen stand also die Frage im Mittelpunkt, ob ein schweizerisches Fernbusangebot eine Konkurrenz für die Korridore der Kooperation SOB-SBB sein könnte.

### Pendler keine Nutzergruppe

Konkret haben Samuel Bissig und Philipp Hess das Potenzial verschiedener Nutzergruppen für Fernbusse in der Schweiz untersucht und diese dazu befragt. Weiter haben sie eine detaillierte Situationsanalyse der beschriebenen Korridore sowie des Fernbusmarktes im In- und nahen Ausland durchgeführt. Hinzugezogen haben sie ausserdem Passagierdaten der SBB und den Mikrozensus für Mobilität und Verkehr 2015. Aus den demografischen Angaben sowie den Umfrageergebnissen zu Zweck und Reiseansprüchen konnten die Absolventen Nutzerprofile erstellen. «Wir haben diejenigen Personengruppen gewählt, bei denen aus unserer Sicht das grösste Potenzial für einen Fernbusanbieter zu sehen ist», sagt Samuel Bissig. «Die Umfrage hat beispielsweise ergeben, dass bei Pendlern nur eine sehr kleine Nachfrage für Fernbusse als Transportmittel zum Arbeitsplatz besteht.»

### Ticketpreis ist entscheidend

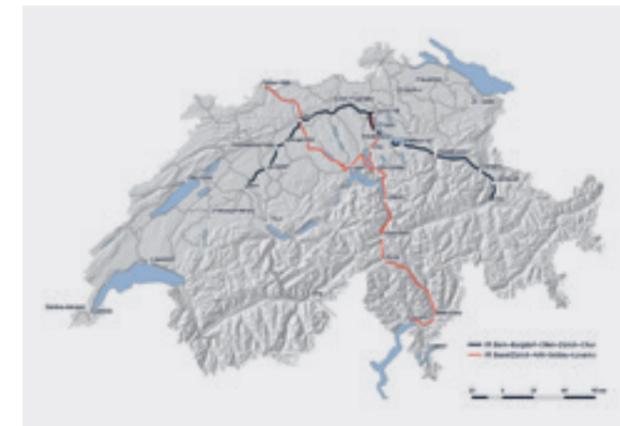
Gestützt auf die Umfrageresultate haben die Absolventen Nutzerprofile erstellt sowie das Potenzial der jeweiligen Nutzergruppe berechnet. Auf Pendler als Nutzergruppe haben sie verzichtet und stattdessen den Fokus auf den Freizeitverkehr gelegt. «Das grösste Potenzial war bei Personen in Ausbildung zwischen 16 und 30 Jahren zu erkennen», so Philipp Hess. «Über 20 Prozent aller Befragten, die in diese Nutzergruppe fallen, würden ein schweizerisches Fernbusangebot nutzen.» Samuel Bissig ergänzt: «Das heisst, sie könnten es sich vorstellen, wenn der Preis attraktiv ist.» Der Ticketpreis ist laut Umfrage der Absolventen das wichtigste Kriterium, noch vor der Reisezeit. Komfort und On-Board-Service tragen kaum zur Entscheidung bei. «Während in Deutschland der Fernbus mit WLAN gegenüber der Bahn gepunktet hat, ist das hierzulande weniger wichtig», sagt Philipp Hess.

### Potenzial vorhanden

Mit dem Mikrozensus für Mobilität und Verkehr 2015 haben die Absolventen den Anteil am Gesamtverkehr der jeweiligen Nutzergruppen herausgefiltert und mit dem Potenzial aus der Umfrage kombiniert. So konnte mithilfe der SBB-Passagierzahlen für jede Nutzergruppe definiert werden, wie viele Personen auf den jeweiligen Korridoren von der Bahn auf den Fernbus umsteigen könnten. Unter der Woche weisen laut Berechnungen unter einem Prozent aller Wege, welche mit der Bahn zurückgelegt werden, ein Potenzial für den Fernbus auf. Am Samstag liegt dieser Wert bei über drei Prozent, sonntags bei über fünf Prozent. «Diese Zahlen klingen nach wenig, aber auf den gesamtschweizerischen Bahnverkehr bezogen sind das mehrere hundert Menschen – es wären also schon ein paar Busse gefüllt», sagt Samuel Bissig und resümiert: «Somit ist das Potenzial zwar nicht so gross wie beispielsweise in Deutschland, trotzdem dürften preissensitive Kunden durchaus von der Bahn auf den Fernbus abwandern.»



Samuel Bissig (links) und Philipp Hess haben das Potenzial von Fernbussen in der Schweiz untersucht.



Die SOB wird in Kooperation mit der SBB künftig ihr Streckennetz ausweiten – die Fernbusse werden zur Konkurrenz.



«Mit der operativen Ausrichtung unserer App haben wir einen systematisch geordneten Zugang zum Wissensmanagement geschaffen.»

Roger Gerhard

## Per Web-App zur Serienproduktion



Prozesse zu optimieren ist eine typische Aufgabe für Wirtschaftsingenieure. Die Absolventen Roger Gerhard und Benjamin Rother haben dazu in ihrer Bachelorarbeit ein digitales Handbuch entwickelt, das zur Steigerung der Effizienz beim grössten Autobauer der Welt beiträgt.

In der Prozesskette eines Fahrzeugherstellers sind die Schritte von der Produktentwicklung zur Serienproduktion essentielle Bestandteile der Wertschöpfung. Beim Hersteller Volkswagen ist das Bindeglied zwischen Entwicklung und Produktion die sogenannte Pilothalle – eine Abteilung, in der die Konzepte der technischen Entwicklung zum ersten Mal an realen Fahrzeugen getestet werden. Bei der schrittweisen Steigerung der Produktreife von Fahrzeugprojekten bis zum Serienproduktionsstart spricht man von Anlaufmanagement. Optimale Abläufe im Anlaufmanagement tragen wesentlich zum Unternehmenserfolg bei. Roger Gerhard und Benjamin Rother haben sich im Rahmen ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen dieser herausfordernd komplexen Thematik gestellt.

### Problemfelder aufgedeckt

Am Beispiel des Fahrzeuganlaufs des Modells Tiguan bei der Volkswagen Group Russland haben die beiden Absolventen in Vorbereitung auf die Bachelorarbeit bereits eine Business-Analyse durchgeführt und in ihrer Projektarbeit ausgewertet. Als eines der Hauptergebnisse konstatierten sie einen zu geringen Automatisierungs- sowie Standardisierungsgrad von Geschäftsabläufen im Anlaufmanagement. «Daraus resultieren nicht unerhebliche redundante Aufwände», so Benjamin Rother. «Weiter stellten wir markante Probleme in der Kommunikation innerhalb des gesamten Pilothallenverbundes sowie ein aufwändiges und unstrukturiertes Wissensmanagement fest.» Mit ihrer Vision eines digitalen Handbuchs als Anlaufmanagement-Leitfaden machten sich die Absolventen daran, zur Lösung aller aufgeführten Problemfelder beizutragen.

### Digitaler Leitfaden

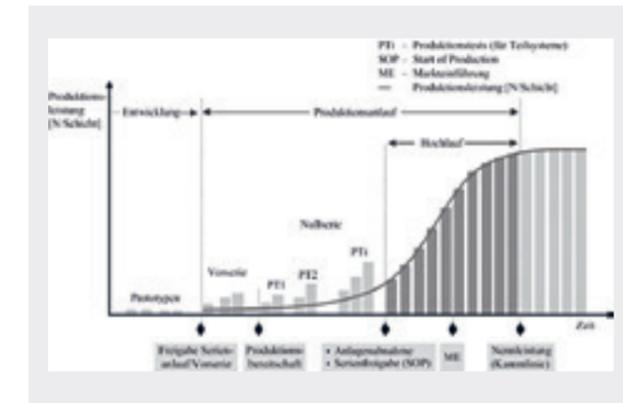
«Praxispartner unserer Bachelorarbeit war dann der Volkswagen-Hauptsitz in Wolfsburg, von wo sämtliche Produktionsstandorte weltweit gemanagt werden», erklärt Benjamin Rother. Auf Grundlage zahlreicher Experteninterviews in Wolfsburg formulierten die Absolventen erste Anforderungen für die Entwicklung ihres digitalen Handbuchs. Mit der Applikationsentwicklung wagten sich die Wirtschaftsingenieure auf ein Terrain ausserhalb ihres Fachgebiets. «Dank der grossartigen Unterstützung unseres Dozenten haben wir aber auch die Softwareentwicklung gemeistert», so Roger Gerhard. Das Resultat ist eine Java-basierte Web-Applikation, die einen individuellen Leitfaden für Pilothallenmitarbeitende bei Fahrzeuganlaufprojekten weltweit bereitstellt.

### Grosses Potenzial erkannt

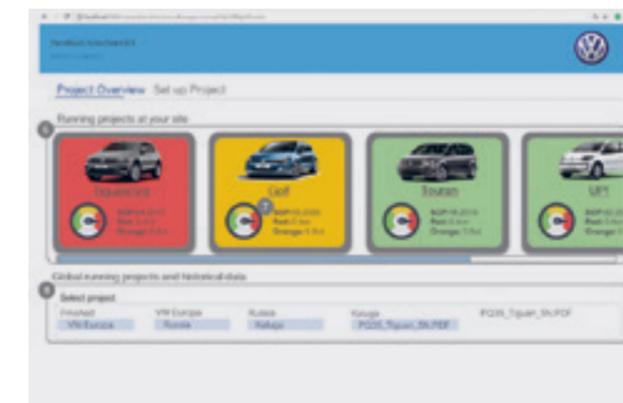
«Mit der operativen Ausrichtung unserer App haben wir einen systematisch geordneten Zugang zum Wissensmanagement geschaffen», sagt Roger Gerhard. «Wir haben die Ursachen von redundanten Arbeitsvorgängen identifiziert und folglich automatisiert.» Benjamin Rother ergänzt: «Zudem fördert das Handbuch die weltweite Kommunikation und den Erfahrungsaustausch innerhalb des gesamten Pilothallenverbundes und damit die Vermeidung von wiederkehrenden Fehlern im Anlaufmanagement.» Vom grossen Potenzial ihrer Lösung sind nicht nur die Absolventen selbst überzeugt. In Wolfsburg präsentierten die beiden Wirtschaftsingenieure ihre Entwicklung in verschiedenen Abteilungen. «In einem so grossen Unternehmen gehen Umstellungen natürlich nicht von heute auf morgen vonstatten», so Benjamin Rother. «Aber ich bin überzeugt, dass die Verantwortlichen das Potenzial unserer Lösung erkannt haben und die nächsten Schritte einleiten werden zur Weiterentwicklung unseres digitalen Handbuchs.»



Roger Gerhard (links) und Benjamin Rother haben mit Volkswagen zusammengearbeitet.



Das Anlaufmanagement von der Produktentwicklung zur Serienproduktion ist essentiell für die Wertschöpfung.



Das Resultat der Bachelorarbeit ist eine Web-Applikation, die als Leitfaden bei globalen Fahrzeuganlaufprojekten dient.



«In unserer Studie zeigen wir auf,  
an welchen Knöpfen man drehen  
muss, um eine künstliche Verände-  
rung des Index hervorzurufen.»

Kevin Röschli

## Für sichere Prognosen am Aktienmarkt



Am Aktienmarkt nehmen mathematische Berechnungen zum weiteren Verlauf des Kurses eine wichtige Rolle ein. Gleichzeitig sind sie Ziel von Manipulationen. Kevin Röschli und Lars Vetter sind in ihrer Bachelorarbeit den Fehlerquellen auf die Spur gekommen.

Der Wert von Aktien unterliegt aufgrund verschiedenster Einflussfaktoren einem steten Wandel. Die sogenannte Volatilität misst die relative Schwankungsbreite eines Wertpapierkurses. Je höher die Volatilität eines Wertpapiers ist, desto risikoreicher ist dieses. Das populärste Mass für die Volatilität des US-Aktienmarktes ist der CBOE Volatility Index (VIX), der alle 15 Sekunden von der Terminbörse Chicago Board Options Exchange (CBOE) veröffentlicht wird. Umgangssprachlich auch als Angstbarometer bezeichnet ist der VIX seit einiger Zeit in die Kritik geraten. Er gilt als anfällig für versehentliche, aber auch für vorsätzliche Fehler. Jüngstes Beispiel: Im Februar 2018 ist der VIX von seinem historischen Tiefstand überraschend auf einen seiner höchsten Werte gestiegen. Vorwürfe der Manipulation wurden laut.

### Blick hinter die Kulissen

Kevin Röschli und Lars Vetter haben den VIX im Rahmen ihrer Bachelorarbeit im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen genauer unter die Lupe genommen. Sie sammelten und untersuchten Datensätze aus der Vergangenheit, um herauszufinden, wieso sich der VIX so ungewöhnlich verhalten hat und wo der Index anfällig für Manipulationen sein könnte. «Die mathematische Konstruktion des Index ist hochkomplex», so Kevin Röschli. «Aber es ist uns gelungen, einen theoretischen und empirischen Blick hinter die Kulissen des VIX zu werfen.» Die beiden Absolventen haben den Einfluss und die Besonderheiten der verschiedenen Rechenschritte untersucht. Auf diese Weise konnten sie schliesslich die mathematische Formel hinter dem VIX aufschlüsseln.

### Ungereimtheiten aufgedeckt

Wer hat überhaupt ein Interesse daran, den VIX zu manipulieren? «Wer zum Beispiel auf den Verlauf des VIX wettet, kann sich mit Manipulationen massiv bereichern», erklärt Kevin Röschli. In ihren Annäherungen an die Formel für den Index haben die Absolventen einige Ungereimtheiten aufgedeckt. In der Analyse der historischen Daten stellten sie ausserdem ungewöhnliche Verhaltensmuster fest. «Unsere Ergebnisse zeigen, dass der VIX eine gründliche Überprüfung seiner theoretischen Grundlagen, Berechnungsweisen und der Marktmechanismen benötigt», so Lars Vetter.

### Erste umfassende Studie

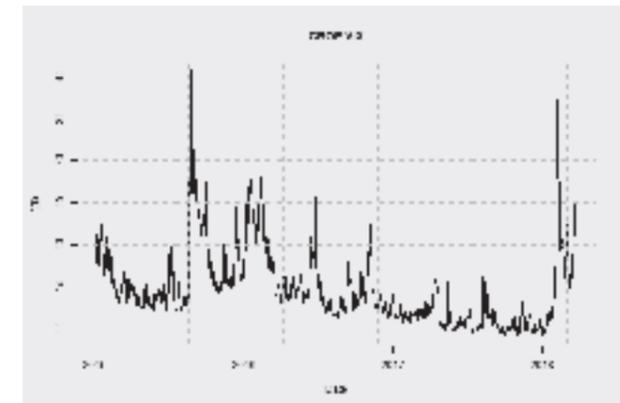
Mit den zur Verfügung stehenden historischen Optionskursen haben die beiden Absolventen simuliert, welchen Einfluss ein Marktteilnehmer unter Verwendung der aktuellen Formel auf die mathematischen Berechnungen des VIX-Werts nehmen kann. «In unserer Studie zeigen wir konkret auf, an welchen Knöpfen man drehen muss, um eine künstliche Veränderung des Index hervorzurufen», sagt Kevin Röschli. Und Lars Vetter ergänzt: «Gemäss unseren Recherchen ist dies die erste umfassende Studie über den VIX und seine Unzulänglichkeiten in Bezug auf seine theoretischen und empirischen Aspekte.»

### Grundlage für Revision

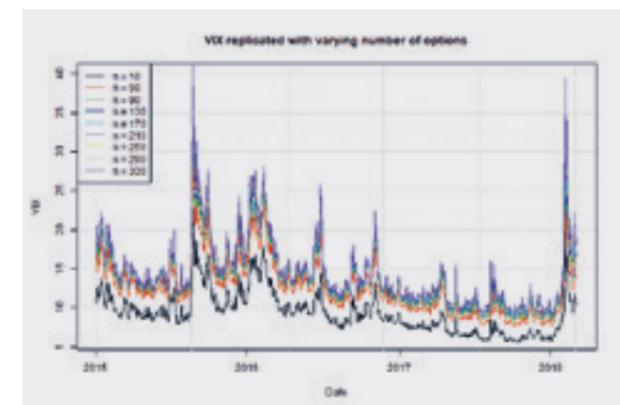
Ihre Ergebnisse adressieren Kevin Röschli und Lars Vetter an die CBOE. Findet die Bachelorarbeit dort Gehör, könnte sie die Grundlage für eine Revision des VIX bilden. Denn nur wenn die Erkenntnisse und Empfehlungen der Absolventen den Weg in die Praxis finden, können sie den VIX sicherer und weniger anfällig für Manipulationen oder Fehler machen – und das wäre zum Nutzen aller Marktteilnehmer.



Lars Vetter (links) und Kevin Röschli haben sich intensiv mit dem Aktienmarkt beschäftigt.



So hat sich der CBOE VIX seit 2015 entwickelt.



Die Grafik zeigt neun verschiedene Simulationen des Index mit unterschiedlicher Anzahl verwendeter Optionen.



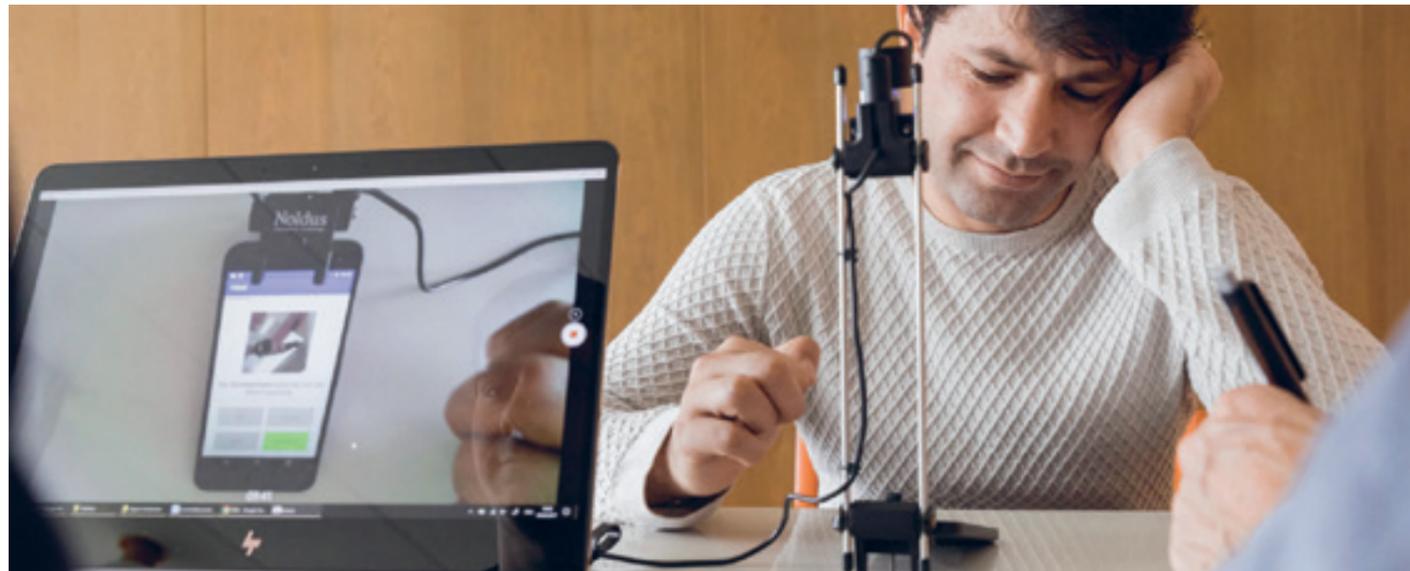
### **Master of Science in Engineering**

Den besten Bachelorstudierenden mit einem Bachelorabschluss Grade A oder B steht die Ausbildung zum Master of Science in Engineering (MSE) offen. Das Masterstudium ist der höchste akademische Fachhochschulabschluss und eröffnet anspruchsvolle Karrieremöglichkeiten sowie eine Weiterführung der akademischen Laufbahn. Die fachliche Vertiefung findet an einem der 13 Institute und Zentren der ZHAW School of Engineering statt, wo die Studierenden an konkreten Industrieprojekten arbeiten.

«Wichtig ist vor allem die Benutzer-  
freundlichkeit für Lernende mit  
unterschiedlichen Sprach- und  
Bildungshintergründen.»

Matthias Käser

## Mit der Sprachlern-App zur einfacheren Integration



In seinem Masterstudium hat Absolvent Matthias Käser eine Sprachlern-App für Flüchtlinge entwickelt. Die App setzt anstatt auf Übersetzungen auf Bilder und ermöglicht Menschen unterschiedlichster Herkunft eine gemeinsame Lerngrundlage.

Allein in der Deutschschweiz befinden sich zehntausende Menschen im vorläufig aufgenommenen Zustand des Asylprozesses. Ihr Weg zur gesellschaftlichen Integration führt über das Erlernen der deutschen Sprache. Diese stellt häufig die grösste Hürde dar. Aber nur wer sich in der Landessprache verständigen kann, hat Zugang zum alltäglichen Leben. Vor allem für Immigrierte ist dies wichtig. In ihren Unterkünften in der Schweiz ist die deutsche Sprache oftmals die einzige Verbindung, die sie untereinander oder zu Einheimischen haben. Wer nicht täglich einen Deutschkurs besucht, macht oftmals zu wenig Lernfortschritte, um sich im Alltag zu verständigen. In diesem Zusammenhang hat Masterabsolvent Matthias Käser am Institut für angewandte Informationstechnologie (InIT) die Sprachlern-App FRIMI entwickelt.

### Ergänzung zum Unterricht

Die App FRIMI entstand in Zusammenarbeit mit der Projekt-Initiantin Margrit Brunnschweiler-Koch und wurde durch eine Projektförderung der St.Galler Kantonalbank anlässlich ihres 150-jährigen Bestehens unterstützt. «FRIMI steht für FROm Immigration to Integration», erklärt Prof. Dr. Hans-Peter Hutter, der das Projekt am InIT leitet und die Masterarbeit betreut hat. «Die App soll es den Immigrierten in der Deutschschweiz einfach und jederzeit ermöglichen, den Grundwortschatz auf Deutsch zu üben.» Dennoch ist die App nicht als Ersatz für den Deutschunterricht gedacht, sondern als sinnvolle Ergänzung zu diesem. Sie ermöglicht ausserhalb des Unterrichts das Repetieren und Erweitern des Grundwortschatzes – selbstständig ohne Lehrperson.

### Mit Bildern zum Lernerfolg

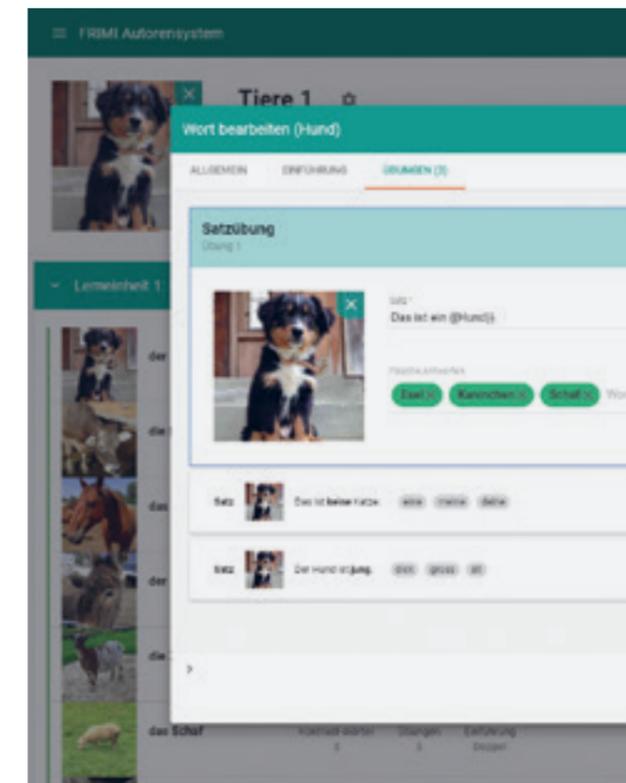
Einen ersten Prototyp der App hatte Matthias Käser bereits in einer vorangegangenen Projektarbeit entwickelt. Seine Masterarbeit umfasst nun neben dem Lernkonzept die technische Umsetzung der App. «Wichtig ist dabei vor allem die Benutzerfreundlichkeit für Lernende mit unterschiedlichen Sprach- und Bildungshintergründen», so Matthias Käser. Diese hat der Masterstudent direkt mit Immigrierten getestet: «Dabei stellte sich heraus, dass alle Beteiligten mit der FRIMI-App effizient lernen können, egal welchen Bildungs- und Sprachhintergrund sie besitzen.» Aufgebaut ist die App nach dem Prinzip einer Lernkartei. Der Clou: Die App kommt ohne Übersetzungen aus, da sie ausschliesslich mit Bildern und Erklärungen in der Zielsprache Deutsch arbeitet. Somit kann die App vielen Menschen mit ganz unterschiedlichen Muttersprachen beim Deutschlernen helfen. Das FRIMI-Lernsystem umfasst neben der App für die Lernenden auch ein Autorensystem, in dem Lehrpersonen die Lerninhalte für die Lern-App einfach und flexibel erfassen können.

### Die App steht

Mit dem Abschluss der Masterarbeit ist die technische Implementierung des FRIMI-Lernsystems abgeschlossen. Das Autorensystem wird bereits von Margrit Brunnschwiler-Koch und freiwilligen Deutschlehrerinnen und -lehrern verwendet, um die Lerninhalte der verschiedenen, nach Themen organisierten Lerneinheiten zu erfassen. Dabei stellen sie für die verschiedenen Themenfelder die dazugehörigen Wörter und Bilder, Synonyme und Antonyme, Sätze und Dialoge zusammen, aus denen dann die Übungen für die Lerneinheiten erzeugt werden. Die Lernenden können dann in der App die gewünschte Lerneinheit auswählen, die sie gerade üben wollen. Diese dauern je nach Vorwissen 10 bis 15 Minuten und können jederzeit unterbrochen und an gleicher Stelle wieder fortgesetzt werden. «Ausserdem gibt uns die App die Möglichkeit, Daten über das Lernverhalten und die Fortschritte der Lernenden zu sammeln und zu analysieren», sagt Matthias Käser. So kann das Lernpensum an die Lernenden angepasst werden.



Matthias Käser hat eine Sprachlern-App für Flüchtlinge entwickelt.



Im Autorensystem werden die Lerninhalte zu verschiedenen, nach Themen organisierten Lerneinheiten erfasst.

«Dank dem Simulator können Flugpläne bereits vor Erscheinen getestet und verschiedene Versionen durch den Szenario-Manager miteinander verglichen werden.»

Daniel Pfiffner

## Den Flugbetrieb von SWISS mit Simulationen optimieren



© SWISS International Air Lines

Daniel Pfiffner hat seine Masterarbeit im Rahmen eines grösseren Forschungsprojekts erstellt, in welchem die ZHAW School of Engineering einen Flugnetzsimulator für SWISS International Air Lines entwickelt. Die Masterarbeit beinhaltet die Konzeption und Implementation einer Softwarekomponente für das Szenario-Management, mit welcher operative Szenarien gespeichert, evaluiert und verglichen werden können.

Der Flugverkehr ist heutzutage hochkomplex und ohne technische Hilfsmittel ist es für Menschen kaum mehr möglich, Flugpläne im Detail zu evaluieren oder Auswirkungen von operativen Entscheidungen verlässlich abzuschätzen. Aus diesem Grund entwickeln das Institut für Datenanalyse und Prozessdesign (IDP) und SWISS zusammen ein umfangreiches, modellbasiertes Softwaretool zur Simulation des Flugbetriebs. Dieses dient einerseits dazu, Flugpläne in der Entwurfsphase bezüglich ihrer operativen Eigenschaften zu überprüfen und vorausplanend eventuelle Engpässe zu vermeiden. Andererseits bietet es Entscheidungsunterstützung im operativen Betrieb. Insbesondere lässt sich damit prüfen, ob der Flugplan an einem spezifischen Tag wie geplant umgesetzt werden kann, wobei

auch aufgezeigt wird, welche Flugzeuge eingesetzt werden, welche Flüge Verspätung haben werden und welche Flüge unter Umständen gestrichen werden müssen. «Mit dem Einsatz des Flugnetzsimulators verfolgt die SWISS das Ziel, eine möglichst hohe Performance – insbesondere bezüglich Pünktlichkeit – an den Tag zu legen», erklärt ZHAW-Absolvent Daniel Pfiffner. Im Rahmen seiner Masterarbeit hat er den Simulator mit einem Szenario-Manager erweitert. Dank dessen Benutzeroberfläche ist das Tool zum einen leichter zu bedienen, zum anderen ermöglicht es den direkten Vergleich verschiedener Szenarien untereinander. So lässt sich schnell erkennen, ob sich bestimmte Veränderungen am Flugplan positiv auf den gesamten Tagesablauf auswirken.

### Operativer und strategischer Einsatz

Wie sieht die Anwendung nun im operativen Geschäft aus? «Gesetzt den Fall, wir erwarten morgen Schneefall, so werden die Start- und Landezeiten von den ursprünglichen Zeiten im Flugplan abweichen. Mittels Simulator lassen sich nun die konkreten Verspätungen und die Auswirkungen auf den gesamten Tagesverlauf voraussagen», so Daniel Pfiffner. «Daraus kann das Operations Center der SWISS wiederum die besten Massnahmen ableiten und neue Szenarien erstellen. Diese können durch den Szenario-Manager auf ihre Vorteile getestet werden.» So wird innert nützlicher Frist ein situationsbedingt modifizierter Flugplan erstellt, der die Ablaufverzögerungen reduziert. Soweit die operative Anwendung. Aber auch für den strategischen Einsatz ist der Szenario-Manager geeignet, wie der Masterabsolvent erläutert: «Dank dem Simulator können die jeweiligen Flugpläne für die Sommer- oder Wintermonate bereits vor Erscheinen getestet und verschiedene Versionen durch den Szenario-Manager auf einfache Weise miteinander verglichen werden.»

### Drei Entwicklungspakete

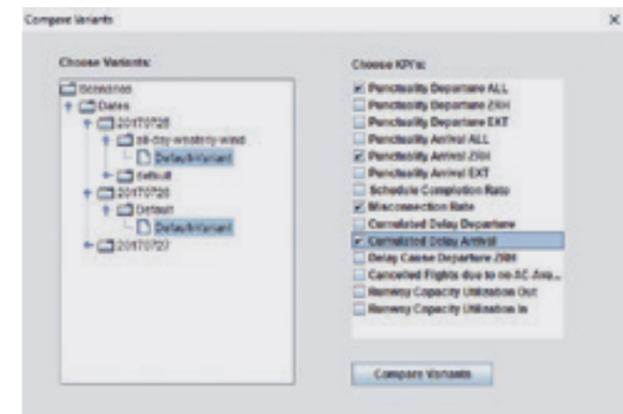
Die Entwicklung des Szenario-Managers hat Daniel Pfiffner in drei Pakete aufgeteilt. Im ersten Paket geht es um die Strukturen und Funktionen, die einen Umgang mit den Szenarien ermöglichen. Konkret hat er dafür auf Kundenwunsch eine Excel-Oberfläche entwickelt. «Mit dieser benutzerfreundlichen Oberfläche lassen sich Szenarien sehr einfach erstellen, speichern und verändern», so Daniel Pfiffner. Im zweiten Paket folgte die Entwicklung eines Komparators, der die Resultate von Szenarien miteinander vergleicht und Unterschiede aufzeigt. Daniel Pfiffner erklärt: «Den Komparator habe ich in einem Java-Programm mit einem Swing User Interface umgesetzt.» In einem dritten Paket hat der Masterabsolvent Konzepte für die Automatisierung der Simulationsabläufe entwickelt, welche zukünftig in den Simulator integriert werden können. Der Simulator wird bereits im operativen und strategischen Betrieb eingesetzt und das Szenario-Management ist dabei eine wichtige Stütze.



Daniel Pfiffner hat einen Szenario-Manager für einen Flugnetzsimulator entwickelt.



So sieht das User Interface des Flugnetzsimulators aus.



Der Komparator vergleicht die Resultate von Szenarien miteinander und zeigt Unterschiede auf.

«Sollen sechs Achsen simultan eingesetzt werden, erfordert dies eine enorm hohe Positioniergenauigkeit.»

Oliver Tolar

## Mit Kameras zur Präzision



Im Rahmen seines Masterstudiums hat Oliver Tolar zunächst einen neuartigen Sechs-Achsen-3D-Drucker mitentwickelt. Dieser druckte bis anhin nicht genau genug. Als Masterarbeit hat er den 3D-Drucker nun mit einem optischen Kalibriersystem ausgestattet.

Das Fused-Deposition-Modelling (FDM) ist ein weit verbreitetes 3D-Druckverfahren. Es findet nicht nur in industriellen Bereichen – vorzugsweise für Rapid Prototyping – sondern mittlerweile auch im privaten Bereich Anwendung. «Die Gerätetechnik hat sich dabei seit Jahren nicht wesentlich verändert», sagt Oliver Tolar. «Üblicherweise beinhaltet so ein System einen beweglichen Druckkopf und ein in der Höhe verstellbares horizontales Druckbett.» So entsteht schichtweise ein dreidimensionales Objekt. Doch es geht auch anders: Am Institut für Mechatronische Systeme (IMS) hat Oliver Tolar im Masterstudium gemeinsam mit seinem Kommilitonen Denis Herrmann den Prototyp eines Sechs-Achsen-3D-Druckers mit einer schwenkbaren Plattform entwickelt. Für diesen völlig neuartigen Aufbau hat er als Masterarbeit ein optisches Kalibriersystem entwickelt.

### Bisher starke Abweichungen

Ein wesentlicher Vorteil des Sechs-Achsen-3D-Druckers ist, dass er überhängende Geometrien ohne Stützmaterial herstellen kann. Es müssen also weder überflüssiges Druckmaterial entfernt noch etwaige Grate beseitigt werden. Somit entfällt mindestens ein zusätzlicher Arbeitsschritt. «Sollen sechs Achsen simultan eingesetzt werden, erfordert dies aber eine enorm hohe Positioniergenauigkeit – sowohl vom Druckkopf als auch vom Druckbett», erklärt Oliver Tolar. «Wir haben den Druckeraufbau möglichst kostengünstig gestaltet, wodurch teilweise starke Abweichungen auftreten.» Da die Wiederholgenauigkeit des Geräts jedoch sehr hoch ist, können diese Fehler mittels einer Kalibrierung verringert werden.

### System erkennt Reflexionsmarken

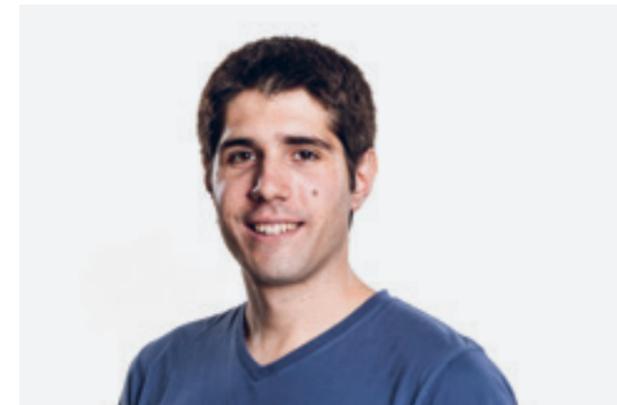
Oliver Tolar hat in seiner Masterarbeit ein optisches Kalibriersystem in Form einer Stereokamera entwickelt. Es erfasst die Abweichungen von Soll- zu Ist-Positionen der gesamten Kinematik. Dazu hat der Absolvent zwei baugleiche Kameras am Rahmen des 3D-Druckers angebracht. Vor der eigentlichen Fehlererfassung beim 3D-Drucker hat er das Kamerasystem umfassend kalibriert, so dass damit genaue räumliche Vermessungen durchgeführt werden können. «Die Positionen der Kinematik werden dadurch erfasst, dass das System daran fixierte Reflexionsmarken optisch erkennt», so Oliver Tolar.

### Messungen decken Fehler auf

Mit dem optischen Kalibriersystem hat Oliver Tolar Abweichungen des Druckkopfs von bis zu einem Millimeter von der Soll-Position gemessen. Zudem ist der Winkel des Druckbetts bis zu 1,2 Grad vom Soll abgewichen. Was nach wenig klingt, ist in diesem Fall laut Oliver Tolar von grosser Relevanz: «Dieser Fehler hat gravierende Auswirkungen auf das Druckresultat und führt zudem zu Kollisionen der schwenkbaren Druckplatte mit dem Druckkopf.» Die Messungen haben bestätigt, dass eine Kalibrierung des 3D-Druckers für die sinnvolle Nutzung aller Achsen unumgänglich ist.

### System dient nicht nur 3D-Drucker

Das von Oliver Tolar entwickelte optische Kalibriersystem erkennt die Reflexionsmarker zuverlässig und kann deren Position im gesamten Arbeitsraum des 3D-Druckers mit einer Genauigkeit von mindestens 0,1 Millimeter erfassen. Mit seiner Masterarbeit hat Oliver Tolar aber nicht nur den 6-Achsen-3D-Drucker weiterentwickelt. Sein Kalibriersystem ist mit wenig Aufwand auch zur Ausmessung beliebiger anderer Geräte adaptierbar.



Oliver Tolar hat ein optisches Kalibriersystem entwickelt.



Der Sechs-Achsen-3D-Drucker ist neu mit Kameras und Reflexionsmarkern ausgerüstet.



Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften

## **School of Engineering**

Technikumstrasse 9  
CH-8400 Winterthur

Telefon +41 58 934 73 33  
[info-sg.engineering@zhaw.ch](mailto:info-sg.engineering@zhaw.ch)  
[www.zhaw.ch/engineering](http://www.zhaw.ch/engineering)  
[facebook.com/engineering.zhaw](https://facebook.com/engineering.zhaw)