

Forschungskonzept für den Fachbereich Computerwissenschaften

1. Wissenschaftliche Zielsetzungen

Die primäre wissenschaftliche Zielsetzung des Fachbereichs Computerwissenschaften ist das Erzielen exzellerter Forschungsergebnisse. Diese entstehen oftmals in internationalen Kooperationen (mit führenden Forschungseinrichtungen und Industriepartnern wie Google und Oracle) und führen in der Regel zu hochqualitativen Publikationen, die sich durch breite Sichtbarkeit, teils auch über das Forschungsgebiet hinaus, auszeichnen. Ein besonderes Anliegen des Fachbereichs ist die Nachwuchsförderung, die sich in der hohen Anzahl an Doktoranden und deren hochwertigen wissenschaftlichen Output widerspiegelt.

Bei der Veröffentlichung von Forschungsergebnissen in der Informatik ist zu beachten, dass sich die Publikationskultur wesentlich von anderen Wissenschaftsdisziplinen unterscheidet. Neben den klassischen begutachteten Zeitschriftenpublikationen gibt es auch begutachtete Konferenzbeiträge (Publikationen in Konferenzsammelbänden, den sog. Konferenzproceedings), die in der inhaltlichen Qualität und der Striktheit des Begutachtungsprozesses den Zeitschriftenpublikationen um nichts nachstehen. Konferenzbeiträge können in manchen Bereichen der Informatik größere Bedeutung erlangen als die traditionellen Zeitschriftenartikel. Wie auch in der Habilitationsrichtlinie des Fachbereichs festgelegt, orientieren wir unsere Publikationsstrategie, wie viele andere Informatik-Fachbereiche auch, am ERA/CORE (Excellence in Research for Australia) Ranking: Publikationen mit den Einstufungen A* („Top Qualität“) und A („Sehr gute Qualität“) werden bevorzugt angestrebt. Publikationsmedien, die nicht in ERA/CORE vertreten sind, werden über vergleichbare Rankings und Metriken eingestuft. Unser Ziel ist die Menge an exzellenten Publikationen zu halten und wenn möglich noch zu erhöhen.

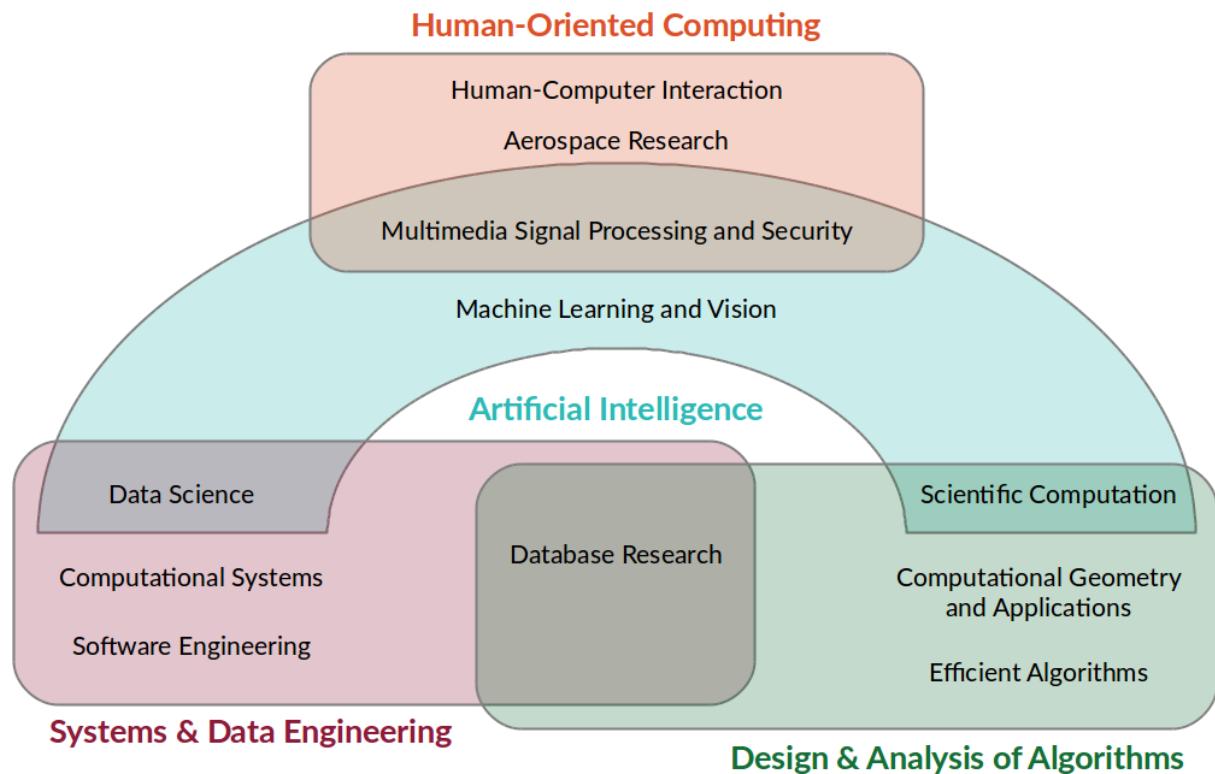
Weitere wissenschaftliche Zielsetzungen sind wie folgt:

1. **Vernetzung:** Etablierung bzw. Vertiefung der wissenschaftlichen Kooperation mit den Institutionen an Science and Technology Hub Itzling sowie mit weiteren lokalen wissenschaftlichen Einrichtungen (andere Fachbereiche der Universität, Einrichtungen der PMU und der FHS).
2. **Drittmittelakquise:** Aufrechterhaltung der hohen Drittmittelquote des Fachbereichs, insbesondere auch um dem wissenschaftlichen Nachwuchs entsprechende Möglichkeiten für finanzierte Doktoratsprogramme anbieten zu können.
3. **Wissenstransfer:** Etablierung und Vertiefung der Kooperationen mit regionalen Klein- und Mittelunternehmen, um den Wirtschaftsstandort und die regionale Verankerung der Universität zu stärken. Hier ist insbesondere darauf zu achten, dass die Qualität der zu erzielenden Publikationen nicht unter dem regionalen und wirtschaftsnahen Aspekt leidet.

2. Forschungsschwerpunkte

Die Forschung am Fachbereich Computerwissenschaften der Universität Salzburg fokussiert sich auf die vier Schwerpunkte Systems & Data Engineering, Design & Analysis of Algorithms, Computational & Artificial Intelligence und Human-Oriented Computing. Die

Themen *Smart Data* und *Future Interfaces* aus der Wissenschafts- und Innovationsstrategie des Landes Salzburg werden damit in den Schwerpunkten Systems & Data Engineering und Computational & Artificial Intelligence bzw. Human-Oriented Computing abgedeckt.



Übersicht der vier Forschungsschwerpunkte am Fachbereich Computerwissenschaften

I. Systems & Data Engineering

Systems & Data Engineering beschäftigt sich mit dem Design und der Umsetzung von effizienten, zuverlässigen und sicheren Softwaresystemen. Dabei stehen grundlegende Systeme (z.B. Datenbanken, Betriebssysteme, Echtzeitumgebungen) und Werkzeuge (z.B. Programmiersprachen) im Vordergrund, welche als Basis für eine breite Palette von spezifischen Anwendungen dienen. Die systematische Konstruktion von Systemen durch die Verwendung formaler Methoden, die Analyse deren formaler Eigenschaften, deren praktische Umsetzung und empirische Auswertung sind zentrale methodische Elemente des Forschungsschwerpunktes.

Unser thematischer Fokus liegt auf folgenden Bereichen:

- **Multicore-skalierbare Datenstrukturen** ermöglichen die effiziente Verwendung von Maschinen mit vielen Rechenkernen, die aufgrund des Endes von Moore's Law und der jüngsten Entwicklungen im Hardware-Bereich der Hoffnungsträger für zukünftige Leistungssteigerungen sind. Dabei werden theoretische Aspekte (wie nicht-deterministische Effekte bei gleichzeitigem Zugriff) und die praktische Umsetzung der Datenstrukturen gleichermaßen betrachtet.
- **Skalierbare Techniken für Datenbanken.** Design und Entwicklung von Systemen und Werkzeugen, die massive Datenbestände (Big Data) effizient speichern und abfragen können. Ein Schwerpunkt ist die Zusammenführung von Daten aus

unterschiedlichsten Quellen (z.B. Data Cleaning) als Grundlage von Data Science Anwendungen.

- **Echtzeitsysteme** gewinnen zunehmend an Bedeutung, z.B. als eingebettete Systemen in Fahrzeugen. Der Fokus liegt auf der Entwicklung von „Digital Twins“, welche solche Systeme mit hoher Genauigkeit simulieren können und der Entwicklung deterministischer, zertifizierbarer Komponenten, z.B. für autonomes Fahren.

Die Entwicklung von neuen, skalierbaren Systemen ist ein einzigartiger Wettbewerbsvorteil auch für Anwendungsforschung, die auf diese Systeme aufbaut. Oft markiert die Effizienz des Systems die Grenzen der Machbarkeit und effiziente Systeme eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten. Dadurch motiviert stehen die ForscherInnen im regen Austausch mit KollegInnen aus anderen Fachbereichen (z.B. Z_GIS, FB Ökologie und Evolution), lokalen Industriepartnern (z.B. Porsche Informatik) sowie internationalen Konzernen (z.B. Google).

II. Design & Analysis of Algorithms

Motiviert durch die physikalisch bedingte Stagnation sequentieller Rechenleistung forschen wir an effizienten Berechnungsmethoden, sprich Algorithmen, die modernen Anforderungen bezüglich wachsender Datenmengen gerecht werden. Unser Ziel ist dabei der Entwurf von Algorithmen, die einen möglichst geringen Einsatz von Ressourcen wie Zeit, Speicher und Energie benötigen.

Thematisch befassen wir uns hauptsächlich mit Algorithmen für folgende Domänen:

- **Netzwerke** (Abteilung *Efficient Algorithms*): Es werden Lösungen für fundamentale Probleme auf Graphen wie die Berechnung kürzester Wege gesucht, Protokolle für Lastbalancierung und Voting entwickelt sowie die Informationsausbreitung in sozialen Netzwerken untersucht.
- **Geometrie** (Arbeitsgruppe *Computational Geometry and Applications*): Im Vordergrund steht dabei die Lösung fundamentaler geometrischer Probleme wie die Berechnung von Straight Skeletons und Voronoi-Diagrammen von Kreisbögen sowie der Einsatz geometrischer Algorithmen in Anwendungen, beispielsweise für Computer-Aided Design.
- **Lineare Algebra** (Abteilung *Scientific Computation*): Neben der Entwicklung von Algorithmen zur Signal- und Bildverarbeitung werden Fragestellungen im Grenzbereich diskreter und kontinuierlicher Optimierung behandelt.
- **Datenintegration** (Abteilung *Database Research*): Untersuchungsgegenstand sind hierbei effiziente Algorithmen für die Zusammenführung großer Datenmengen aus unterschiedlichen Quellen basierend auf Ähnlichkeitsmaßen.

Wir legen in unserer Forschung einen starken Fokus auf zukunftsfähige Rechenmodelle, insbesondere für parallele, verteilte und dynamische Umgebungen. Aus methodischer Sicht betreiben wir sowohl Grundlagenforschung durch mathematische Analyse und experimentelles Algorithm Engineering sowie angewandte Forschung durch die Entwicklung von industriell einsetzbaren Software-Paketen.

III. Artificial Intelligence

Es handelt sich hier um Teilgebiete der Informatik, die sich mit der Automatisierung von intelligenten Entscheidungsprozessen und Verhalten und dem maschinellen Lernen befassen. Bezogen auf die existierenden und potentiellen Anwendungsbereiche werden diese Verfahren

zu den wesentlichen Triebkräften der digitalen Revolution gezählt. Die am Fachbereich betrachteten Themen spannen einen weiten Bogen von klassischen Methoden der Computational Intelligence wie Evolutionäre Algorithmen und neuronale Netze (inklusive aktuellsten deep-learning Verfahren im Bereich des maschinellen Lernens) bis hin zu Anwendungen im Bereich Visual Computing wie medizinische Bildanalyse und Biometrische Verfahren.

Im Detail sind folgende Themen in den Forschungsschwerpunkt *Artificial Intelligence* involviert:

- **Data Science:** Im Zentrum des Forschungsinteresses steht das Finden häufiger Muster, in Transaktionsdaten sowie in Sequenzen und Graphen. Methodisch werden Clusteringverfahren, deep-learning Verfahren sowie evolutionäre und schwarmbasierte Heuristiken eingesetzt und weiterentwickelt.
- **Machine Learning and Vision:** In diesem Bereich werden Lernverfahren zum Umgang mit Daten spezieller Struktur neu- und weiterentwickelt. Diese Ansätze werden primär auf Problemstellungen im Bereich Vision und medizinischer Bildanalyse angewendet.
- **Multimedia Signal Processing and Security:** Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit Themen an der Schnittstelle zwischen Signalverarbeitung und Sicherheitsfragen und der Anwendung und Weiterentwicklung von Methoden des Forschungsschwerpunkts in diesen Bereichen, wie z.B. biometrischen Systemen, Verschlüsselungsverfahren für visuelle Daten, Watermarking und perceptual Hashing.
- **Scientific Computation:** Die praxisnäheren Themen dieser Abteilung beschäftigen sich mit Themen der diskreten Simulation sowie klassischen Verfahren der Computational Intelligence, während die eher theoretisch orientierten Bereiche Themen wie Logikkalküle, automatisches Beweisen sowie Mathematik und Algorithmik in Bild- und Signalverarbeitung umfassen.

IV. Human-Oriented Computing

Digitale Transformationsprozesse und steigende Rechnerallgegenwart bewirken eine zunehmende Durchdringung menschlicher Lebensbereiche mit Computertechnologien. Wir verstehen daher die menschenorientierte Gestaltung von Informationstechnologien als eigenständiges Forschungsziel. Dabei befassen wir uns zum einen mit dem Wechselspiel von Mensch und Maschine, vor allem in modernen technologischen Kontexten wie Future Mobility und Industrie 4.0. Zum anderen forschen wir an Technologien, die den Mensch selbst als Zielobjekt haben, wie zum Beispiel biometrische und medizinische Anwendungen.

Im Detail umfasst der Schwerpunkt Human-Oriented Computing folgende Forschungsbereiche:

- **Aerospace Research:** Dieser anwendungsorientierte Forschungsbereich zielt auf die nachhaltige Modernisierung des europäischen Flugverkehrs-Managements. Die Entwicklung konzentriert sich dabei auf Flugverkehrs-Simulationen für die Analyse von Katastrophen-Szenarien und Maßnahmen zu Lärmverminderung und CO₂-Reduktion sowie neue drahtlose Kommunikationstechnologien.
- **Human-Computer Interaction:** Ziel dieses interdisziplinär aufgestellten Bereichs ist, das Zusammenspiel von Menschen und Rechnern zu verstehen und neu zu konzipieren. Der Fokus liegt hierbei auf den Themen Embodied and Tangible Interaction, Contextual Interfaces, Special Users, Material & Experiential Foundations und Contextual Persuasion.

- **Multimedia Signal Processing and Security:** Die von der Arbeitsgruppe behandelten Themen wie z.B. biometrische Authentifizierung, Sicherheitsbewertung von geschützten visuellen Daten und computer-unterstützte medizinische Diagnosesysteme sind ohne eine durchdringende Beschäftigung mit der User-Perspektive nicht adäquat adressierbar. Wesentliche Aspekte werden durch diese Perspektive gewonnen und fließen verbessernd in die Entwicklung der Systeme ein.

3. Alleinstellungsmerkmale

Mehrere Mitglieder des Fachbereichs wurden mit nationalen und lokalen Forschungspreisen ausgezeichnet, z.B. sind je zwei FB-Mitglieder Preisträger des Heinz-Zemanek-Preises der Österreichischen Computergesellschaft und des Kurt- Zopf-Preises der PLUS, ein FB-Mitglied ist Preisträgerin des Hedy-Lamarr-Preises der Stadt Wien und vier gegenwärtige FB-Mitglieder wurden oder werden sub auspiciis praesidentis promoviert. Darüber hinaus gibt es mehrere Preisträger des Würdigungspreises des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung sowie Preisträger einer Talentförderungsprämie für Wissenschaften des Landes OÖ, des Christian Doppler-Preises des Landes Salzburg sowie des Sackler-Preises der NW-Fakultät der PLUS. Mehrere Artikel von FB-Mitgliedern wurden für ihre herausragende Qualität mit einem Best Paper Award prämiert.

Absolventen des Fachbereichs arbeiten in weltweit bekannten multinationalen Konzernen (z.B. Google) und Forschungseinrichtungen (z.B. UC Berkeley, RWTH Aachen, University of Waterloo, IST Austria, University of Reading, Universität Hamburg) und auch wurden/werden drei AbsolventInnen sub auspiciis praesidentis promoviert. Unter den von Mitgliedern des Fachbereichs betreuten Doktoranden findet sich auch ein ERC Starting Grant Holder.

Systems & Data Engineering. Systemnahe Grundlagenforschung, wie sie in Salzburg betrieben wird, ist an anderen österreichischen Universitäten wenig vertreten. Ein besonderes Merkmal ist die enge Verzahnung zwischen den theoretischen Grundlagen und der praktischen Umsetzung. Die Ergebnisse sind von internationaler Bedeutung und finden in den entsprechenden Forschungsgemeinden höchste Anerkennung, bezeugt durch die Veröffentlichung in den angesehensten Publikationsmedien. So kommt etwa die Hälfte aller österreichischen Artikel in den Top-3 Datenbank-Outlets aus Salzburg.

Eine Reihe von Techniken und Systemalgorithmen, die zum Teil klassische Probleme lösen und in Salzburg entwickelt wurden, sind bis dato ungeschlagen. Dazu zählen der weltweit schnellste und am besten multicore-skalierende Memory Allocator (ein wesentlicher Bestandteil jedes Computerprogramms), sowie die schnellsten multi-core Datenstrukturen für Stacks und Pools (beides grundlegende Datenstrukturen). Im Bereich Datenbanksysteme wurden in Salzburg die weltweit effizientesten Lösungen für mehrere Data Cleaning Aufgabenstellungen entwickelt (Tree Edit Distance, Tree Similarity Join, Top-k Subtree Search, sowie Top-k Set Join auf Streams). Zur Reproduzierbarkeit der Forschungsergebnisse werden die entsprechenden Softwarepakete Großteils online zur Verfügung gestellt (z.B. scalloc.cs.uni-salzburg.at, dbresearch.uni-salzburg.at/projects).

Design & Analysis of Algorithms. Im Bereich effizienter Algorithmen gibt es am Fachbereich eine sehr hohe Expertise für theoretische Fragestellungen. Dadurch ist die Universität Salzburg bei den hochkompetitiven, internationalen Top-Tier Konferenzen für theoretische Informatik und verteiltes Rechnen mit fundamentalen Beiträgen vertreten. In den

Bereichen Lastbalancierung und spektraler Analyse von Graphen in diesem Kontext existieren Kompetenzen, die an anderen Standorten in Österreich nicht vorhanden sind. Im Teilgebiet der geometrischen Algorithmen sind FB-Mitglieder an etlichen Publikationen beteiligt, die mehr als 100 Mal zitiert wurden. Zudem wurden die weltweit einzigen industriell einsetzbaren Implementierungen von Algorithmen zur Berechnung von Straight Skeletons und Voronoi-Diagrammen von Kreisbögen entwickelt. Die Universität Salzburg vergibt jedes Jahr einige Software-Lizenzen für diese Implementierungen.

Artificial Intelligence. In diesem Forschungsschwerpunkt gibt es methodisch sowie im Bereich der betrachteten Anwendungsbereiche starke nationale Alleinstellungsmerkmale. Methodisch ist die Ausrichtung auf „Lernen mit Strukturierten Daten“ in Österreich jedenfalls einzigartig, insbesondere in der Kombination mit entsprechenden Publikationen in führenden Medien. Im Bereich der Anwendungsbereiche ist die Bearbeitung von Themen an der Schnittstelle zwischen Sicherheitstechnik und Bild- und Signalverarbeitung (z.B. Biometrie, Verschlüsselung von visuellen Daten und Sicherheitsevaluierung, Watermarking) auf österreichischer Ebene an keinem Standort mit ähnlicher Konstanz vertreten, was die kontinuierliche Beschäftigung mit der Thematik, die Durchführung von EU, FWF und FFG Projekten und die Publikation der Ergebnisse in führenden Publikationsmedien betrifft. Weiters ist die Bereitstellung von Software im Sinne von „Reproducible Research“ und des Servicegedankens für die Scientific Community ein wesentlicher Beitrag: beispielsweise werden auf www.borgelt.net die Softwaresysteme „MoSS“ (Molecular Substructure Miner - ein Programm zum Finden häufiger und diskriminanter Molekülfragmente) und „CoCoNAD“ (COntinuous time CLOsed Neuron Assembly Detection - ein Programm zum Finden von Ensembles in Neuronalen Spike Trains) angeboten, auf www.wavelab.at finden sich mit „USIT“ und „PLUS OpenVein“ die weltweit umfangreichsten freien Softwaresysteme im Bereich der Iris- und Venenbiometrie.

Human-Oriented Computing. Der Bereich Human-Computer Interaction ist in seiner Größe und Drittmittelstärke in Österreich einzigartig und zeichnet sich durch seine Stakeholder-, Kontext- und Evaluierungsorientierung aus. Die Erforschung und der Entwurf neuer, innovativer Interaktionskonzepte, die Konzeption und Umsetzung von Experience Prototypen und theoretisch geleitete Reflexion und Diskurs sind weitere Alleinstellungsmerkmale in der österreichischen Forschungslandschaft. In der Entwicklung von Computer-Assisted Diagnosis Systems (in der Arbeitsgruppe Multimedia Signal Processing and Security) ist ein nationales Alleinstellungsmerkmal die Beschäftigung mit Endoskopievideos aus dem Gastro-intestinalen Trakt mit der Fokussierung auf die Pathologien Dickdarmkrebs und Zöliakie.

4. Zukünftige Entwicklungen

Die in Ausschreibung befindliche Professur für Technische Informatik deckt am Fachbereich ein wesentliches, bisher nicht vertretenes Fachgebiet ab. Neben den offensichtlichen Verbesserungen in der Abdeckung der Lehrinhalte wird die Professur auch ausgezeichnet an die gegenwärtige Forschungslandschaft am Fachbereich andockbar sein. Bezogen auf die vier Forschungsschwerpunkte ist eine Zuordnung zu Systems & Data Engineering zu erwarten, wodurch die bestehenden Kompetenzen um Hardware-nahe Aspekte ergänzt werden, welche von großer Bedeutung in der Systemforschung sind. Anwendungsbezogene Forschungsbereiche können aber auch starke Bezüge zu Human-Oriented Computing (wie z.B. im Bereich Robotik) oder Artificial Intelligence (wie z.B. im Bereich Sensorik) aufweisen.

Ein wesentliches zusätzliches Querschnittsthema im Bereich der Forschungsschwerpunkte ist die bisher nicht vertretene IT-Sicherheitstechnik, die Bezüge zu allen vier Forschungsschwerpunkten aufweist. Sicherheitsaspekte im Sinne von „IT-Security and Privacy“ sind fester Bestandteil vieler Bereiche der Informatik und dürfen daher nicht außer Acht gelassen werden. Häufig sind Sicherheit, Datenschutz und -privatsphäre und Effizienz konkurrierende Ziele und viele interessante Entwicklungen fordern eine enge Zusammenarbeit von Sicherheitsexperten und Experten aus anderen Gebieten. Es ist ein ganz klares Desiderat des Fachbereiches hier eine personelle und inhaltliche Akzentuierung zu erreichen, da bei uns derzeit zentrale Themen der IT-Security und Privacy kaum vertreten werden. Die Arbeitsgruppe „Multimedia Signal Processing and Security“ behandelt zwar Themen an der Schnittstelle zwischen Sicherheitstechnik und Bild- und Signalverarbeitung, aber keine Kernthemen der IT-Sicherheit¹. Es ist hochgradig wünschenswert und notwendig (nicht zuletzt für den Standort Salzburg) hier eine Positionierung durch eine Qualifizierungsstelle in der IT-Sicherheitstechnik vorzunehmen.

Da die Bedeutung der Informatik im wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext stetig zunimmt und daher sogar oftmals als neue Kulturtechnik bezeichnet wird, repräsentiert dieses Forschungskonzept und die entsprechende Planung nur eine Momentaufnahme der aktuellen Entwicklungen und akuten Bedürfnisse. Weitere Entwicklungen, insbesondere auch die durchzuführenden Stellenbesetzungen mit ihren konkreten inhaltlichen Ausprägungen, werden weiteren Gestaltungs- und Besetzungsbedarf aufzeigen.

¹ Wir möchten hier noch erwähnen, dass das Zentrum für sichere Energieinformatik an der FH Salzburg auch nur lediglich Randgebiete der IT-Sicherheit bearbeitet.