

**R E P O R T**

# Künstliche Intelligenz als thematische Herausforderung für österreichische Universitäten

Barbara Heller-Schuh

Andrea Kasztler

Karl-Heinz Leitner



Künstliche Intelligenz  
als thematische Herausforderung  
für österreichische Universitäten

Barbara Heller-Schuh<sup>1</sup>  
Andrea Kasztler<sup>1</sup>  
Karl-Heinz Leitner<sup>1</sup>

Endbericht zum Projekt Nr. 1.63.00612.0.0 im Auftrag des  
Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung

AIT-ISP-Report Vol. 21  
September 2019

<sup>1</sup> AIT Austrian Institute of Technology GmbH



# Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1-7</b>
<b>2</b>	<b>Charakterisierung des Themenfeldes</b>	<b>2-9</b>
<b>3</b>	<b>Methodik und Vorgehensweise</b>	<b>3-14</b>
<b>4</b>	<b>Datenbasis</b>	<b>4-16</b>
<b>5</b>	<b>Internationale Betrachtung der KI-Forschung auf Ebene der Subthemen</b>	<b>5-18</b>
<b>6</b>	<b>Forschungsaktivitäten österreichischer Universitäten</b>	<b>6-24</b>
6.1	Profile österreichischer Universitäten	6-24
6.2	Kooperationsnetzwerke	6-27
<b>7</b>	<b>Governance-Mechanismen von international erfolgreichen Universitäten in der KI-Forschung</b>	<b>7-30</b>
7.1	Deutschland: TU München	7-30
7.2	Die Niederlande: TU Delft	7-34
7.3	Schweden: KTH	7-36
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>8-40</b>
<b>9</b>	<b>Referenzen</b>	<b>9-45</b>
<b>Anhang</b>		<b>9-46</b>

---



# 1 Einleitung

Die österreichische Forschungs- und Hochschulpolitik steht vor der permanenten Herausforderung, neue technologische und gesellschaftliche Trends zu adressieren. Wenngleich Universitäten ein hohes Maß an Autonomie gewährt wird, gilt es zugleich die Bildung von Schwerpunkten zu fördern, die Fähigkeit zu verbessern, Drittmittel zu akquirieren, Kooperationsbildung zu unterstützen und die Lehrkapazitäten auf die sich abzeichnenden zukünftigen Entwicklungen auszurichten.

Eine Entwicklung, die derzeit auf europäischer und nationaler Ebene große Aufmerksamkeit erlangt, ist die Digitalisierung. Diese wurden bereits in den aktuellen Leistungsvereinbarungen thematisiert und im Kontext des Projekts „Zukunft Hochschule“ in Bezug auf die Informatik-Ausbildung behandelt. Es zeichnet sich ab, dass das Thema Digitalisierung in der künftigen FTI-Strategie und in Verhandlungen zum 9. Forschungsrahmen-Programm großen Raum einnehmen werden. Auch der breitere Trend zu einer stärkeren Missionsorientierung kann in diesem Zusammenhang angeführt werden. Ferner gibt es das Ziel, eine Strategie für Künstliche Intelligenz für Österreich zu entwickeln.

Am Beispiel des Themenfeldes „Künstliche Intelligenz“ – ein weitreichender und besonders wichtiger Trend der Digitalisierung – sollen in dem vorliegenden Projekt die Ausgangsposition, die Stärken und Schwächen sowie die Potentiale der österreichischen Universitäten auf Basis unterschiedlicher Indikatoren und Analysen dargestellt werden. Künstliche Intelligenz<sup>1</sup> (KI, englisch Artificial Intelligence, AI) ist ein Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem Maschinellen Lernen befasst. Der Begriff ist nicht eindeutig abgrenzbar, dennoch wird er in Forschung und Entwicklung verwendet. Hinsichtlich der bereits existierenden und sich abzeichnenden Anwendungsbereiche gehört Künstliche Intelligenz zu den wegweisenden Triebkräften der Digitalen Transformation. Die gegenwärtige Welle des Fortschritts und der Popularität für KI wird in erster Linie durch die Verfügbarkeit riesiger Datenmengen, rapide steigende Rechenleistungen und Kapazitäten von Computern sowie deutlich verbesserte maschinelle Lernansätze und Algorithmen begünstigt.

KI stellt kein geschlossenes Forschungsgebiet dar, sondern eine Kombination einer Vielzahl von Techniken aus verschiedensten Disziplinen: Neben der Kerndisziplin Informatik spielen auch Psychologie, Neurowissenschaften, Mathematik und Logik, Kommunikationswissenschaft, Linguistik und Philosophie eine Rolle. Umgekehrt nimmt die Erforschung der KI ihrerseits Einfluss auf andere Gebiete, vor allem auf die Neurowissenschaften. Dies zeigt sich in der Ausbildung des Bereichs der Neuroinformatik, der der biologieverorientierten Informatik zugeordnet ist, sowie der Computational Neuroscience.

In dem vorliegenden Bericht wird das Themenfeld Künstliche Intelligenz (KI) inhaltlich beschrieben sowie Kategorien von Subthemen definiert. Ziel ist die Definition und Abgrenzung zu anderen Gebieten. Da KI einen breiten Überblicksbegriff darstellt, wird zunächst im Detail definiert, welche konkreten Forschungsgebiete, Methoden und Anwendungsfelder darunter verstanden werden. Mittels Desk Research und Screening von Projektberichten werden relevante Informationen identifiziert und inhaltlich analysiert. Anschließend wird eine Systematik gewählt, die das Thema KI für den vorliegenden Projektauftrag sinnvoll in ihren Unterthemen darstellt. Darauf aufbauend werden die Aktivitäten österreichischer Universitäten im Themenfeld KI untersucht sowie relevante KI-Akteure identifiziert und deren internationale Vernetzung und thematische Ausrichtung im Kontext von KI charakterisiert.

Vor dem Hintergrund der durchgeführten Analysen am Beispiel KI sollten sodann die Handlungsoptionen und Spielräume für eine Steuerung der universitären Aktivitäten vor dem Hintergrund der aktu-

1 Anm.: Die Verwendung des Begriffes Intelligenz wird von vielen KI-ForscherInnen im deutschsprachigen Raum abgelehnt, da er als unkorrekte bzw. zu enge Übersetzung des englischen Begriffes Intelligence gesehen wird, der wesentlich breiter in seinen Bedeutungen ist (und auch Begriffe wie z.B. Klugheit, Auffassungsvermögen und Einsicht umfasst).

ellen Governance-Strukturen in Österreich identifiziert werden. Dabei wird konkret untersucht, welche Rolle die Politik in besonders erfolgreichen Ländern und Universitäten gespielt hat, um eine Themenführerschaft im Bereich der KI zu erlangen. Schließlich werden Schlussfolgerungen und Möglichkeiten für die spezifische Förderung von KI an österreichischen Universitäten dargestellt.

Ziel der Studie ist es, Grundlagen für die Entwicklung von Strategien bei zukünftigen FTI-politischen und hochschulpolitischen Aktivitäten aufzubereiten.

## 2 Charakterisierung des Themenfeldes

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Begriff, der oftmals verwendet, jedoch selten in seiner Verwendung hinreichend spezifiziert wird. In der Literatur ist bis heute keine allgemein gültige Definition verfügbar. Dennoch ist man sich einig, dass – wenn auch die Idee, menschliche Intelligenz bzw. Vorgänge des menschlichen Denkens zu automatisieren und mit Maschinen nachahmen zu können, grundsätzlich alt ist<sup>2</sup> – als Geburtsstunde des Begriffes Artificial Intelligence eine 1956 von John McCarthy organisierte sechswöchige Konferenz am Dartmouth College in Hanover, New Hampshire (USA) gesehen wird. Die Themen der Dartmouth-Konferenz waren: Automatisierung heuristischer Prozesse und regelbasierter Fertigkeiten sowie der Fähigkeit Schach auf hohem Niveau zu spielen.<sup>3</sup>

Darüber hinaus wird allgemein zwischen zwei Strömungen der KI unterschieden, im Englischen zwischen narrow und general AI<sup>4</sup> bzw. im Deutschen zwischen schwacher und starker KI. Die Auffassung, dass Intelligenz unabhängig von der Trägersubstanz sei, wird von den VertreterInnen der *starken KI-Forschung* geteilt, die versucht KI-Systeme zu schaffen, die dem Menschen an Intellekt ebenbürtig sind bzw. diesen übertreffen. Im Gegensatz zur starken KI geht es bei der *schwachen KI* darum, konkrete Anwendungsprobleme des menschlichen Denkens zu meistern. Das menschliche Denken soll hier in Einzelbereichen unterstützt werden. Dabei ist die Fähigkeit zu lernen eine Hauptanforderung an KI-Systeme und muss ein integraler Bestandteil sein, der nicht erst nachträglich hinzugefügt werden darf. Ein zweites Hauptkriterium ist die Fähigkeit eines KI-Systems, mit Unsicherheit und probabilistischen Informationen umzugehen<sup>5</sup>.

Versucht man KI-Systeme in einfacher Weise abzubilden, so wird in der Literatur vielfach eine Darstellung gewählt, die dessen Fähigkeiten gemäß eines dem Menschen nachgeahmten natürlichen Handlungsablaufs in eine logische Reihenfolge bringt. Dementsprechend werden KI-Systeme auf übergeordneter Ebene meist in den Kategorien Wahrnehmen (sensing, perception) – Verstehen (reasoning/decision making/learning) – Handeln (acting) dargestellt.

### Abbildung 1: KI-Systeme können ihre Umwelt wahrnehmen, Situationen verstehen und Handlungen in der Umwelt setzen



Quelle: Teil einer Darstellung aus AIM AT 2030 Artificial Intelligence Mission Austria 2030 - Die Zukunft der Künstlichen Intelligenz in Österreich gestalten (2018)

2 Siehe auch Julien Offray de La Mettrie 1748 veröffentlichtes Werk L'Homme Machine.

3 Vgl. Konrad E. (1998) Zur Geschichte der Künstlichen Intelligenz in der Bundesrepublik Deutschland. In: Siefkes D., Eulenhöfer P., Stach H., Städtler K. (eds) Sozialgeschichte der Informatik. Studien zur Wissenschafts- und Technikforschung. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden.

4 Narrow AI refers to applications that provide domain-specific expertise or task completion, whereas general AI refers to an AI application that exhibits intelligence comparable to a human, or beyond, across the range of contexts in which humans interact." Quelle: ARTIFICIAL INTELLIGENCE Emerging Opportunities, Challenges, and Implications for Policy and Research Statement of Timothy M. Persons, Chief Scientist Applied Research and Methods, United States Government Accountability Office.

5 Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche\\_Intelligenz#cite\\_note-Nilsson-2009-1](https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche_Intelligenz#cite_note-Nilsson-2009-1)

Diese grundlegenden Fähigkeiten eines KI-Systems können wie folgt beschrieben werden:

**Wahrnehmen:** Mittels verschiedenster Sensoren wie Kameras, Mikrofone, Tastaturen, Websites, Sensoren für physikalische Größen (z. B. Temperatur, Druck, Abstand, Kraft / Drehmoment, taktile Sensoren) oder anderer Eingabegeräte wird die physische Welt um das System herum erfasst. Dabei geht es um das Sammeln von Daten in Form von Bildern, Tönen und Sprache.

**Verstehen:** Dies ist die Kernkompetenz eines KI-Systems, sozusagen sein Gehirn. Gesammelte Daten werden strukturiert und weiterverarbeitet, um sie geeignet interpretieren und für einen entsprechenden Kontext auswerten und Schlussfolgerungen ableiten zu können. Dazu dienen Technologien wie Natural Language Processing<sup>6</sup>, Expertensysteme<sup>7</sup> und Inferenzmaschinen<sup>8</sup>. Mit Hilfe von Verfahren der Wissensrepräsentation<sup>9</sup> wird Wissen in wissensbasierten Systemen formal abgebildet.

**Handeln:** Ein KI-System kann die gewählten Maßnahmen und Handlungen schließlich in der physischen Welt ausführen. Autopilot-Funktionen und unterstütztes Bremsen in Autos sind Beispiele dafür.

Von der High-Level Expert Group on AI der Europäischen Kommission wurde im Dezember 2018 eine Definition vorgeschlagen, die sich ebenfalls auf die drei grundlegenden Fähigkeiten von KI-Systemen bezieht. Im April 2019 wurde die Definition noch angepasst und lautet derzeit folgendermaßen<sup>10</sup>:

*“Artificial intelligence (AI) systems are software (and possibly also hardware) systems designed by humans<sup>11</sup> that, given a complex goal, act in the physical or digital dimension by perceiving their environment through data acquisition, interpreting the collected structured or unstructured data, reasoning on the knowledge, or processing the information, derived from this data and deciding the best action(s) to take to achieve the given goal. AI systems can either use symbolic rules or learn a numeric model, and they can also adapt their behaviour by analysing how the environment is affected by their previous actions.*

*As a scientific discipline, AI includes several approaches and techniques, such as Machine Learning (of which deep learning and reinforcement learning are specific examples), machine reasoning*

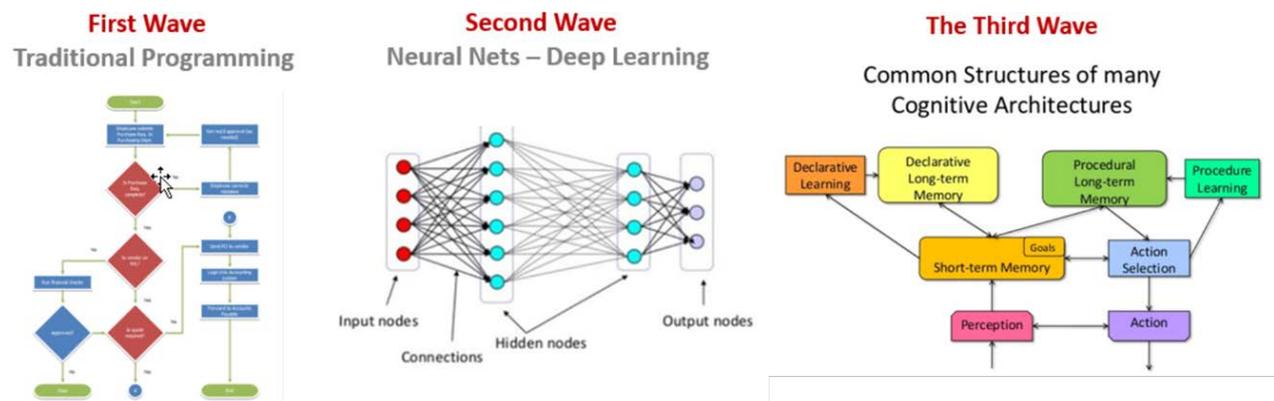
- 6 Natural Language Processing beschreibt Techniken und Methoden zur maschinellen Verarbeitung natürlicher Sprache. Ziel ist eine direkte Kommunikation zwischen Mensch und Computer auf Basis der natürlichen Sprache. Quelle: <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-natural-language-processing-a-590102/>
- 7 Ein Expertensystem ist ein Computerprogramm, das Menschen bei der Lösung komplexerer Probleme wie ein Experte unterstützen kann, indem es Handlungsempfehlungen aus einer Wissensbasis ableitet. Über sogenannte Wenn-Dann-Beziehungen kann menschliches Wissen für Computer verständlich dargestellt werden. Quelle: Wikipedia
- 8 Eine Inferenzmaschine (englisch Inference engine) ist eine Software aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz, die durch Schlussfolgerung neue Aussagen aus einer bestehenden Wissensbasis ableitet. Damit sind Inferenzmaschinen Kernbestandteil von Expertensystemen und anderen wissensbasierten Systemen. Quelle: Wikipedia
- 9 Wissensrepräsentation (englisch: knowledge representation) dient im Rahmen der Wissensmodellierung dazu, Wissen in Wissensbasierten Systemen formal abzubilden. Dazu sind verschiedene formale Sprachen und Notationen vorgeschlagen worden. Eine Sammlung auf diese Weise repräsentierten Wissens wird als Wissensbasis oder Wissensbank bezeichnet; im Semantic Web ist formalisiertes Wissen verteilt abgelegt. Im Gegensatz zur Wissensrepräsentation liegt der Schwerpunkt bei der Wissensorganisation mehr auf der Ordnung bestehender Wissensbestände, die nicht selbst dargestellt, sondern durch Metadaten beschrieben werden. Angewandt werden die Verfahren der Wissensrepräsentation unter anderem beim Bau von Expertensystemen, maschinellen Übersetzungsprogrammen, Systemen für computerunterstützte Wartung und Datenbankabfrageprogrammen.
- 10 Quelle: The European Commission's High Level Expert Group on Artificial Intelligence (2019): A Definition of AI: Main Capabilities and Disciplines, Definition developed for the purpose of the AI HLEG's deliverables European Commission, April 2019
- 11 Remark within the definition: "Humans design AI systems directly, but they may also use AI techniques to optimise their design."

(which includes planning, scheduling, knowledge representation and reasoning, search, and optimization), and robotics (which includes control, perception, sensors and actuators, as well as the integration of all other techniques into cyber-physical systems).”

In diesem Projekt wird darauf aufbauend ein breiter Zugang zu dem Thema gewählt und nicht die (ohnehin durchwegs problematische) Definition von Intelligenz – im Sinne einer starken KI-Forschung – wird als Bedingung gesehen, sondern das breite Feld der KI-Forschung, das sämtliche Methoden und Technologien umfasst, die konkrete Anwendungsprobleme des menschlichen Denkens meistern.

Betrachtet man die Entwicklung der KI-Forschung, so wird diese in drei Wellen beschrieben (siehe Abbildung 2). Der Werdegang erschließt sich vom klassischen Programmieren (1. Welle) über Data Science und Statistik (2. Welle) hin zu Kognitiven Architekturen (3. Welle). Kognitive Architekturen müssen die Fähigkeit besitzen, autonom in Echtzeit zu lernen, zu verallgemeinern, abstrakt zu argumentieren und natürliche Sprache zu verwenden.<sup>12</sup>

**Abbildung 2: Entwicklungswellen der KI-Forschung**



Quelle: Voss P. (2017): From Narrow to General AI and from External to Internal Intelligence. <https://medium.com/intuitionmachine/from-narrow-to-general-ai-e21b568155b9>

Werden KI-Systeme, die – wie schon beschrieben – ihre Umwelt wahrnehmen, sie verstehen und entsprechende Handlungen setzen können, betrachtet, so stellt sich die Frage nach den konkreten Methoden, die dies ermöglichen sowie ihren Anwendungen und Einsatzgebieten.

In der Literatur werden zahlreiche Systematiken vorgeschlagen, die versuchen Methoden und Anwendungsfelder der KI-Forschung geeignet zu strukturieren. Diesem Projekt wurde die Knowledge Map von Corea (2018) zu Grunde gelegt (siehe Abbildung 3), die Lösungsansätze (x-Achse) und Anwendungsfelder (y-Achse) der KI-Forschung sowohl in Einzelbereiche untergliedert, als auch die gruppierten Methoden bzw. Technologien durch Positionierung und Größe entsprechend im Forschungsfeld verortet.

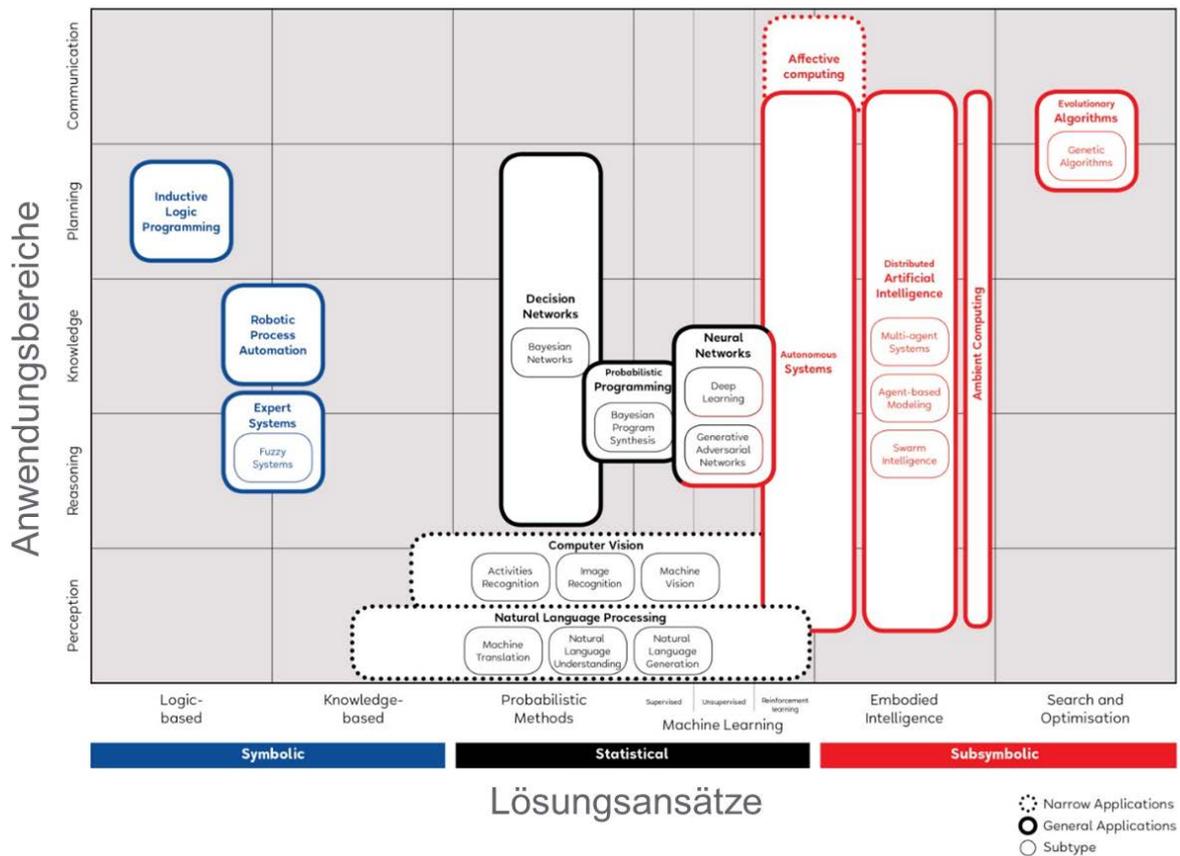
Auch die Zuordnung zu den drei Wellen der KI-Forschung erfolgt, indem die x-Achse in drei Bereiche gegliedert ist. Von links nach rechts sind hier zunächst die erste Welle (Symbolic) mit den Begriffen Logic-based und Knowledge-based über die zweite (Statistical) mit Probabilistic Methods und Machine Learning bis hin zur dritten Welle (Subsymbolical) mit Embodied Intelligence und Search and

12 Quelle: <https://becominghuman.ai/the-third-wave-of-ai-1579ea97210b>

Optimization aufgetragen. Auf der y-Achse sind ihrerseits die Anwendungsbereiche im Sinne des logischen Handlungsablaufs von KI-Systemen untergliedert von Perception, Reasoning, Knowledge, hin zu Planning und schließlich Communication.

Werden nun die auf der Wissenslandkarte verorteten Methoden bzw. Technologien betrachtet, so sind mit blauer Farbe (erste KI-Welle) im linken Bereich der Grafik die Methoden „Inductive Logic Programming, Robotic Process Automation und Expert Systems zu finden. Sie decken jeweils relativ kleine Anwendungsbereiche ab, nämlich Reasoning, Knowledge“ oder „Planning“. Diese Ansätze liefern Beiträge für konkrete Anwendungsprobleme, decken aber bei weitem nicht das Aufgabenspektrum ganzer KI-Systeme ab.

**Abbildung 3: KI-Methoden und Technologien in Form der AI Knowledge Map**



Quelle: nach Coreia F. (2018): AI Knowledge Map: How To Classify AI Technologies, Forbes.

Bewegt sich die Betrachtung auf der x-Achse in Richtung zweiter KI-Welle, so finden sich die schwarz dargestellten Gruppen von KI-Methoden, „Decision Networks“, Probabilistic Programming“ und „Neural Networks“. Letztere reichen jedoch schon in die dritte Welle hinein und sind daher zur Hälfte rot dargestellt. „Decision Networks“ decken bereits einen wesentlich größeren Bereich von „Reasoning“ bis „Planning“ ab. Zu Grunde liegen in diesem Bereich auch die Methoden zur Wahrnehmung der Umwelt „Computer Vision“ und „Language Processing“ bzw. bereits im dritten Bereich „Affective Computing“, das sich der Wahrnehmung von Emotionen widmet. Im dritten KI-Bereich werden die roten Felder der KI-Methoden bzw. Technologien dargestellt, die bereits im Sinne ganzer Systeme alle notwendigen Anwendungsbereiche abdecken. Hier finden sich „Autonomous Systems“, „Distributed Artificial Intelligence“ und „Ambient Computing“. Eine Ausnahme bilden die „Evolutionary Algorithms“, die lediglich den Bereich der Planung und Kommunikation abdecken.

Im Folgenden werden die einzelnen Methoden inhaltlich kurz vorgestellt (orientiert an Corea 2019).

- Inductive Logic Programming (ILP) verwendet formale Logik, um eine Datenbank mit Fakten darzustellen und Hypothesen zu formulieren, die aus diesen Daten abgeleitet werden.
- Unter Robotic Process Automation (RPA) versteht man die automatisierte Bearbeitung von strukturierten Geschäftsprozessen durch digitale Software-Roboter. Diese Technologie ermöglicht die Automatisierung sich wiederholender und regelbasierter Prozesse und Aufgaben, die herkömmlich von Menschen ausgeführt werden. Bei dieser robotergesteuerten Prozessautomatisierung übernehmen die Software-Roboter (Bots) die Rollen und Aufgaben von AnwenderInnen und interagieren mit anderen Softwaresystemen.
- Expert Systems sind Computerprogramme, die fest programmierte Regeln zur Nachahmung des menschlichen Entscheidungsprozesses enthalten. Fuzzy-Systeme sind ein spezielles Beispiel für regelbasierte Systeme, die Variablen in ein Kontinuum von Werten zwischen 0 und 1 abbilden, im Gegensatz zu herkömmlicher digitaler Logik, die zu einem Ergebnis von 0 oder 1 führt.
- Natural Language Processing (NLP) ist ein Gebiet, das sich mit dem Verarbeiten natürlicher Sprachdaten befasst, dazu gehören Sprachverstehen, Sprachgenerierung und maschinelle Übersetzung.
- Computer Vision (CV) umfasst Methoden zum Erfassen und Verstehen digitaler Bilder (normalerweise unterteilt in Aktivitätenerkennung, Bilderkennung und Bildverarbeitung).
- Decision Networks sind eine Verallgemeinerung der bekanntesten Bayes'schen Netzwerke bzw. Inferenzen, die eine Reihe von Variablen und ihre probabilistischen Beziehungen über eine Karte darstellen (auch als gerichteter azyklischer Graph bezeichnet).
- Beim Probabilistic Programming müssen nicht bestimmte Variablen gezwungenermaßen fest codiert werden, sondern es wird mit probabilistischen Modellen gearbeitet. Die Bayes'sche Programmsynthese (BPS) ist eine Form der probabilistischen Programmierung, bei der Bayes'sche Programme neue Bayes'sche Programme schreiben (anstelle von Menschen, wie beim Ansatz der probabilistischen Programmierung).
- Neural Networks (NNs oder ANNs) bilden eine Klasse von Algorithmen, die lose der neuronalen Struktur des menschlichen bzw. tierischen Gehirns nachempfunden sind und ihre Leistung verbessern, ohne explizit angewiesen zu werden, wie dies zu tun ist. Die bekanntesten Untergruppen neuronaler Netze sind Deep Learning (ein neuronales Netz mit mehreren Schichten) und Generative Adversarial Networks (GANs), zwei Netzwerke, die sich gegenseitig trainieren.
- Autonomous Systems ist ein KI-Unterfeld, das an der Schnittstelle zwischen Robotik und intelligenten Systemen liegt. Es umfasst beispielsweise intelligente Wahrnehmung, geschickte Objektmanipulation, planbasierte Robotersteuerung usw.
- Distributed Artificial Intelligence (DAI) bezeichnet Technologien, die Probleme lösen, indem sie an autonome „Agenten“ verteilt werden, die miteinander interagieren. Multi-Agenten-Systeme (MAS), Agenten-basiertes Modellieren (ABM) und Schwarmintelligenz sind drei nützliche Spezifikationen dieser Untergruppe, bei denen kollektives Verhalten aus der Interaktion von dezentralen selbstorganisierten Agenten resultiert.
- Affective Computing befasst sich mit der Erkennung, Interpretation und Simulation von menschlichen Emotionen.
- Ambient Intelligence (AmI) ist eine Vision, bei der die Gegenstände um uns herum Kommunikationsfähigkeit besitzen und kontextbewusst reagieren, sodass unser Alltag spürbar erleichtert wird und die „intelligente“ Umgebung uns somit unauffällig bei Bedarf unterstützt.
- Evolutionary Algorithms (EA) sind eine Teilmenge einer breiteren Informatikdomäne, die als evolutionäre Berechnung bezeichnet wird und Mechanismen verwendet, die von der Biologie inspiriert sind (z. B. Mutation, Reproduktion usw.), um nach optimalen Lösungen zu suchen. Genetische Algorithmen ist die am häufigsten verwendete Untergruppe von EAs. Hierbei handelt es sich um Suchheuristiken, die dem natürlichen Auswahlprozess folgen, um die geeignetste Lösung auszuwählen.

### 3 Methodik und Vorgehensweise

Für die Betrachtung der KI-Forschung wurden die Vorgangsweise und Methoden entsprechend gewählt, um Vergleiche auf Ebene der KI-Subthemen zu ermöglichen. Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, wurde zunächst eine geeignete Abgrenzung und Untergliederung des Themenfeldes definiert.

Anschließend wurde eine geeignete Suchstrategie für die Abfragen in den Datenbanken (Web of Science (WoS), EUPRO und FWF Project Finder) formuliert. Kriterien waren dabei einerseits die geeignete Erfassung des Themas, die adäquate Identifikation österreichischer Akteure sowie ausreichende Trefferzahlen.

**Tabelle 1: KI-Themen und die verwendeten Suchbegriffe**

KI-Themen	Suchbegriffe	KI-Welle
expert systems	expert system* OR fuzzy system* OR fuzzy logic	1
robotics	robotic*	1
natural language processing	natural language processing OR language understanding OR language generation OR machine translation OR speech recognition	2
computer vision	computer vision OR activity recognition OR image recognition OR machine vision OR face recognition	2
decision networks	decision network* OR bayesian network*	2
machine learning	machine learning OR *supervised learning OR reinforcement learning	2
neural network	neural network* OR deep learning OR generative adversarial network*	2, 3
autonomous systems	autonomous system* OR automated vehicle* OR connected vehicle* OR connected and automated vehicle* OR autonomous vehicle*	3
distributed artificial intelligence	distributed artificial intelligence OR swarm intelligence or agent-based modelling or multi-agent system*	3
evolutionary algorithms	evolutionary algorithm* OR genetic algorithm*	3
artificial intelligence	artificial intelligence	1, 2, 3

Für die Suche nach relevanten wissenschaftlichen Publikationen zu dem Thema eignen sich vor allem aussagekräftige spezifische Fachbegriffe. Um aus der Vielzahl an verfügbaren Begriffen jene auszuwählen, die sich am besten zur Identifikation relevanter Akteure auf dem Gebiet eignen, wurden zusätzlich zu der bereits vorgestellten KI-Landkarte von Corea auch die Ergebnisse einer AI-Studie<sup>13</sup> des Joint Research Centre (JRC) herangezogen, das eine spezielle Methodik entwickelt hat, um emergierende techno-ökonomische Segmente (TES) wie KI erfassen, analysieren und auch

13 Siehe Craglia M. (Ed.), Annoni A., Benczur P., Bertoldi P., Delipetrev P., De Prato G., Feijoo C., Fernandez Macias E., Gomez E., Iglesias M., Junkle-witz H, López Cobo M., Martens B., Nascimento S., Nativi S., Polvora A., Sanchez I., Tolan S., Tuomi I., Vesnic Alujevic L., (2018): *Artificial Intelligence - A European Perspective*, EUR 29425 EN, Publications Office, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97217-1, doi:10.2760/11251, JRC113826.

relevante Akteure identifizieren zu können. Die Methode beruht auf der Auswertung von Patentdaten, Wirtschaftsregistern, Publikationen und Vereinsregistern<sup>14</sup>. Im Rahmen dieser Analysen wurden auch für KI spezifische Schlagworte definiert, die die technologischen Aspekte des Themas beschreiben<sup>15</sup>. Anschließend wurden die JRC-Keywords und jene der im vorigen Kapitel vorgestellten AI Knowledge Map von Corea zu Themen zusammengeführt, wobei die resultierenden 13 KI-Themen auf Grund inhaltlicher Ähnlichkeiten bzw. geringer Trefferquoten zu 11 Themen zusammengefasst wurden. Anschließend wurden in jedem Thema verschiedene Co-Keywords definiert, um jedes Thema breit erfassen zu können. Tabelle 1 zeigt die resultierenden KI-Themen und deren Suchbegriffe.

Durch Auswahl und Download der relevanten Publikationen und Projekte wurde somit eine geeignete Datenbasis generiert, die in Access-Datenbanken systematisch gesammelt und für die weiteren Analysen aufbereitet wurde. So wurde beispielsweise eine Standardisierung der Organisationsnamen vorgenommen (siehe nächstes Kapitel). In Form von quantitativen Analysen der Trefferquoten wurden folgende Auswertungen der Daten vorgenommen:

- Charakterisierung der KI-Subthemen (zeitliche Entwicklung, Länder-Ranking): Trefferquoten der wissenschaftlichen Publikationen wurden insgesamt und je Subthema in ihrem Verlauf über zehn Jahre (2007-2017 bzw. 2018<sup>16</sup>) betrachtet. Weiters wurden die aktivsten Länder und ihre Trefferquoten erhoben. Insbesondere wurden auch Europa, USA und China einander gegenübergestellt.
- Thematische Schwerpunkte ausgewählter Länder (BE, CH, DE, NL, SE) und Spezialisierungsmuster österreichischer Universitäten mittels Revealed Comparative Advantage (RCA) Analysen: Die RCA-Analyse ist ein klassisches Instrumentarium zur Erfassung von relativen technologischen Stärken und Schwächen von Ländern und Regionen (vgl. beispielsweise Patel and Pavitt 1987, Soete 1987, Patel and Vega 1999, Le Bas and Sierra 2001). Der RCA Index ist das Verhältnis des Anteils der Publikationen bzw. Projekte eines Themas in einem Land an der Summe aller Publikationen/Projekte dieses Themas (in allen Ländern), und des Anteils der Publikationen/Projekte dieses Landes an allen Publikationen/Projekten in allen Ländern. Der Wertebereich des Index variiert um 1, so dass ein Wert von 1 bedeutet, dass der Anteil eines Themas in einem Land genau dem Anteil dieses Themas im gesamten Untersuchungsraum entspricht. Wenn für ein Land ein Wert größer als 1 errechnet wird, dann liegt eine relative Stärke bzw. Spezialisierung vor, hingegen liegt bei einem Wert von kleiner 1 eine relative Schwäche vor. Bei der Anwendung der RCA-Analyse gilt es zu bedenken, dass es bei der Konstruktion eines RCA Index bei einer kleinen Fallzahl zu irreführenden Ergebnissen kommen kann.
- Visualisierung und Analyse der Kooperationsnetzwerke (europäisches Ranking Organisationen und Länder): Die wichtigsten internationalen Kooperationspartner der österreichischen Universitäten in Publikationen bzw. EU-Projekten wurden erhoben und deren internationale Sichtbarkeit an Hand der Trefferquoten bewertet.

Schließlich wurden Interviews mit VertreterInnen der TU München, TU Delft und KTH Stockholm durchgeführt, um Governance-Mechanismen in anderen europäischen Ländern sowie Schlussfolgerungen für Österreich formulieren zu können.

14 Siehe auch De Prato, G., Lopez Cobo, M. et al. 2018. *The AI Techno-Economic Segment Analysis. Selected Indicators*. European Commission, Joint Research Centre, Seville, Spain.

15 Craglia M. (Ed.), Annoni A., Benczur P., Bertoldi P., Delipetrev P., De Prato G., Feijoo C., Fernandez Macias E., Gomez E., Iglesias M., Junklewitz H, López Cobo M., Martens B., Nascimento S., Nativi S., Polvora A., Sanchez I., Tolan S., Tuomi I., Vesnic Alujevic L. (2018): *Artificial Intelligence - A European Perspective*, EUR 29425 EN, Publications Office, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97217-1, doi:10.2760/11251, JRC113826.

16 Die Daten aus dem Jahr 2018 waren zum Erhebungszeitpunkt nicht vollständig. Sie wurden für aggregierte Auswertungen hinzugerechnet.

## 4 Datenbasis

Wie im vorigen Kapitel beschrieben, wurde für die quantitativen Analysen eine Datenbasis geschaffen, die wissenschaftliche Publikationen aus dem Web of Science (WoS), EU-Projekte aus der Datenbank EUPRO und FWF Projekte aus dem FWF Project Finder umfasst und nach KI-Subthemen untergliedert ist (siehe Abbildung 4). Für die Analysen wurden durch entsprechende Einschränkungen des Betrachtungszeitraumes jeweils sinnvolle Teilmengen herangezogen.

**Abbildung 4: Datenbasis der quantitativen Analysen bestehend aus wissenschaftlichen Publikationen aus dem Web of Science (WoS), EU-Projekten aus der Datenbank EUPRO und FWF Projekten aus dem FWF Project Finder**

KI Thema	WoS Dokumente (gesamt) 2007-2018	WoS Dokumente (gesamt) 2016-2018	WoS Dokumente (EU28, NO, CH, IS) 2016-2018	EU-Projekte (FP7, H2020) 2007-2018	FWF Projekte 2007-2018
neural network	196.858	77.486	18.196	259	10
evolutionary algorithms	106.768	30.691	7.382	34	4
machine learning	89.021	42.981	13.830	602	30
robotics	78.977	27.097	10.091	763	8
computer vision	56.602	20.429	5.518	241	14
natural language processing	29.285	9.499	2.725	159	5
distributed artificial intelligence	21.796	6.766	2.114	51	4
artificial intelligence	20.129	8.377	2.661	285	14
expert systems	18.457	4.805	1.410	37	1
autonomous systems	11.902	5.465	2.254	116	1
decision networks	11.571	3.549	1.339	10	5
<b>Total set 1 (&gt;10,000 docs)</b>	<b>562.468</b>	<b>202.716</b>	<b>57.455</b>	<b>2.557</b>	<b>81</b>

Stand: 05.03.2019

Datenbasis zur Analyse der Trefferquoten weltweit

Datenbasis zur Analyse der Akteure

Auf Ebene der österreichischen Universitäten stellt sich die Datenbasis wie folgt dar (siehe auch Abbildung 5):

- **WoS-Publikationen:** Zeitraum: 2016-2018
  - Gesamt: 57.455 Publikationen
  - AT gesamt: 1.407 (2% aller WoS-Publikationen)
  - AT Unis: 1.048 (2% aller WoS-Publikationen)
- **EU-Projekte:** Zeitraum: 2007-2018
  - Gesamt: 2.122 Projekte
  - AT gesamt: 206 (10% aller EU-Projekte)
  - AT Unis: 98 (5% aller EU-Projekte)
- **FWF-Projekte:** Zeitraum: 2007-2018
  - Gesamt: 81 Projekte
  - AT Unis: 65 (80% aller FWF-Projekte)

**Abbildung 5: Datenbasis der quantitativen Analysen auf Ebene der österreichischen Universitäten bestehend aus wissenschaftlichen Publikationen aus dem Web of Science (WoS), EU-Projekten aus der Datenbank EUPRO und FWF Projekten aus dem FWF Project Finder**

Universität	Publikationen (2016-18)	EU-Projekte (2007-2018)	FWF-Projekte (2007-2018)
<b>Universität Wien</b>	125	7	5
<b>Universität Graz</b>	40	7	2
<b>Universität Innsbruck</b>	77	13	3
<b>Universität Salzburg</b>	68	4	4
<b>Technische Universität Wien</b>	243	28	18
<b>Technische Universität Graz</b>	172	18	19
Montanuniversität Leoben	7	2	2
Universität für Bodenkultur	3	2	
Veterinärmedizinische Universität Wien	5		
Wirtschaftsuniversität Wien	11	1	
<b>Universität Linz</b>	124	13	7
<b>Alpen-Adria Universität Klagenfurt</b>	59	1	1
Donau Universität Krems	10		
<b>Medizinische Universität Wien</b>	116	5	1
<b>Medizinische Universität Graz</b>	43	2	
<b>Medizinische Universität Innsbruck</b>	24	3	2
Akademie der bildenden Künste Wien			
Universität für angewandte Kunst Wien			1
Universität für Musik und darstellende Kunst Wien			
Universität Mozarteum Salzburg			
Universität für Musik und darstellende Kunst Graz			
Universität für künstl. und indust. Gestaltung Linz	2	1	
<b>Gesamt</b>	<b>1.048</b>	<b>98</b>	<b>65</b>

■ Volluniversität  
■ Technische Universität  
■ Medizinische Universität

Bei den Trefferquoten der wissenschaftlichen Publikationen sind erwartungsgemäß die technischen Universitäten bzw. technisch orientierten Universitäten (Uni Linz) führend, bzw. weisen auch die Volluniversitäten beachtliche Anzahlen auf, ebenso wie die Medizinischen Universitäten. Bei der Anzahl an Projekten ist ein deutlicherer Vorsprung der technischen Universitäten zu verzeichnen.

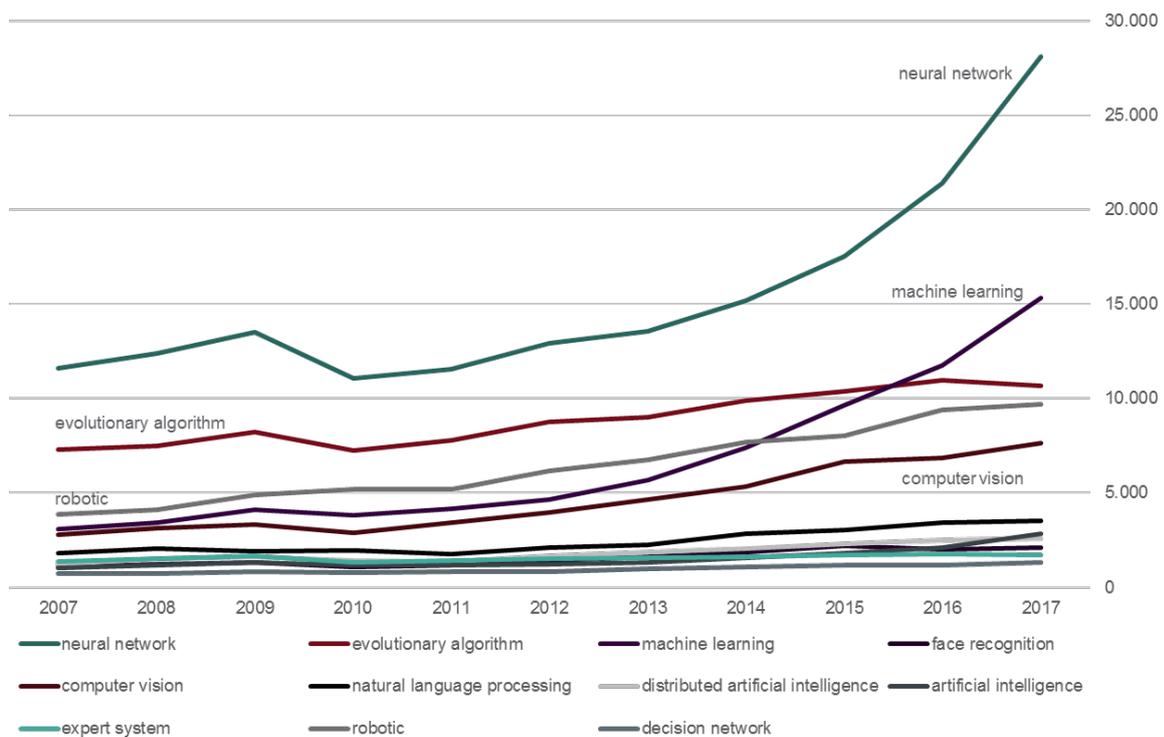
## 5 Internationale Betrachtung der KI-Forschung auf Ebene der Subthemen

Laut einer Studie von Elsevier (2018) wächst die KI-Literatur jährlich um 5,3% bzw. konnte in den letzten fünf Jahren ein Zuwachs von 12,9% beobachtet werden. Auf Grundlage der in diesem Projekt generierten Datenbasis wird im Folgenden eine allgemeine Betrachtung der WoS-Trefferquoten im Zeitraum 2007 bis 2017 bzw. 2018 vorgenommen, um die zeitliche Entwicklung des Forschungsthemas abzubilden und wichtige und stark wachsende Subthemen zu zeigen.

Auch die weltweite Verteilung der KI-Forschung bzw. die Schwerpunkte der Kontinente werden verglichen, um einen Überblick über das Forschungsgebiet zu erhalten. Anschließend werden die Spezialisierungen der europäischen Länder anhand von WoS-Publikationen und EU-Projekten im Zeitraum 2016 bis 2018 im Detail betrachtet.

Die zeitliche Entwicklung des Themas über zehn Jahre an Hand von WoS-Publikationen zeigt die KI-Themen Neuronale Netzwerke, Machine Learning (insbesondere seit 2012) und Computer Vision mit den stärksten Wachstumsraten (Abbildung 6). Publikationen in diesen drei Themen sind auch für die hohe jährliche Gesamtwachstumsrate verantwortlich.

**Abbildung 6: Anzahl der WoS-Publikationen pro Jahr und KI-Thema**



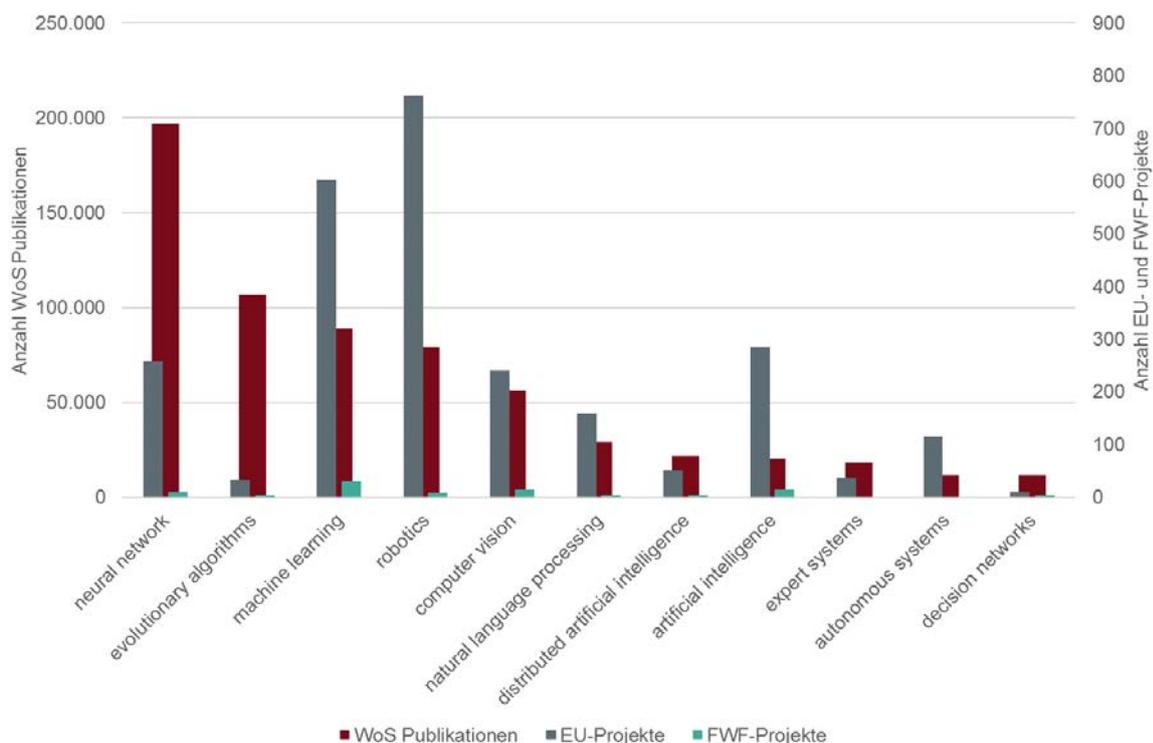
Werden die thematischen Schwerpunkte in WoS-Publikationen, EU- und FWF-Projekten von 2007 bis 2018 in Summe betrachtet (Abbildung 7), so finden sich als Top-Themen mit maximalen Trefferquoten in WoS-Publikationen Neural Networks, Evolutionary Algorithms und Machine Learning.

Hervorzuheben sind hier etwa zwei CERN Publikationen im Bereich Elementarteilchenphysik, die unter Verwendung von Techniken des Machine Learnings sowie Bayesian Neural Networks und unter Beteiligung zahlreicher AutorInnen aus über 200 verschiedenen Organisationen veröffentlicht wurden. Von österreichischer Seite waren die Technische Universität Wien sowie das Institut für

Hochenergiephysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) involviert. Eine weitere Publikation, an der über 80 Organisationen beteiligt waren, stammt vom Deutschen Krebsforschungszentrums der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HHG) zum Thema „Machine Learning basierte Klassifizierung von Tumoren im Zentralnervensystem“. An dieser war u.a. die Medizinische Universität Wien beteiligt.

Zentrale Themen in EU-Projekten sind vor allem Robotics und Machine Learning. Interessant ist, dass fast die Hälfte der Projekte über Marie-Sklodowska-Curie-Maßnahmen (542 Projekte) und den European Research Council (ERC; 415 Projekte) finanziert werden, die beide eher Projekte im Bereich der Grundlagenforschung fördern. Ein Fünftel der Projekte (419) wurden in den IKT Programmen in FP7 (Cooperation) und H2020 (LEIT) durchgeführt und 17% in Programmen zur Förderung von Klein- und Mittelunternehmen (KMU). Darüber hinaus sind KI-Themen auch in großvolumigen Initiativen wie dem Human Brain FET Flagship (54 Mio. Euro), an dem von österreichischer Seite die Technische Universität Graz, die Medizinische Universität Innsbruck sowie das Institute of Science and Technology Austria (IST Austria) beteiligt sind, sowie in den Joint Undertakings IMI (Innovative Medicine Initiative), ECSEL (Electronic Components and Systems) sowie Clean Sky relevant.

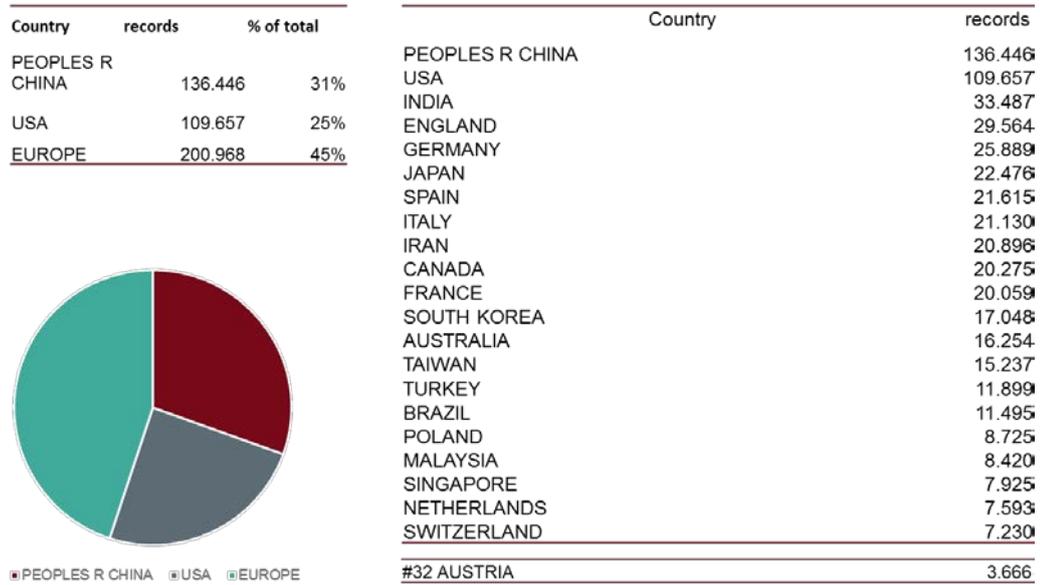
**Abbildung 7: Anzahl WoS Publikationen, EU- und FWF-Projekte pro KI-Thema (2007-2018)**



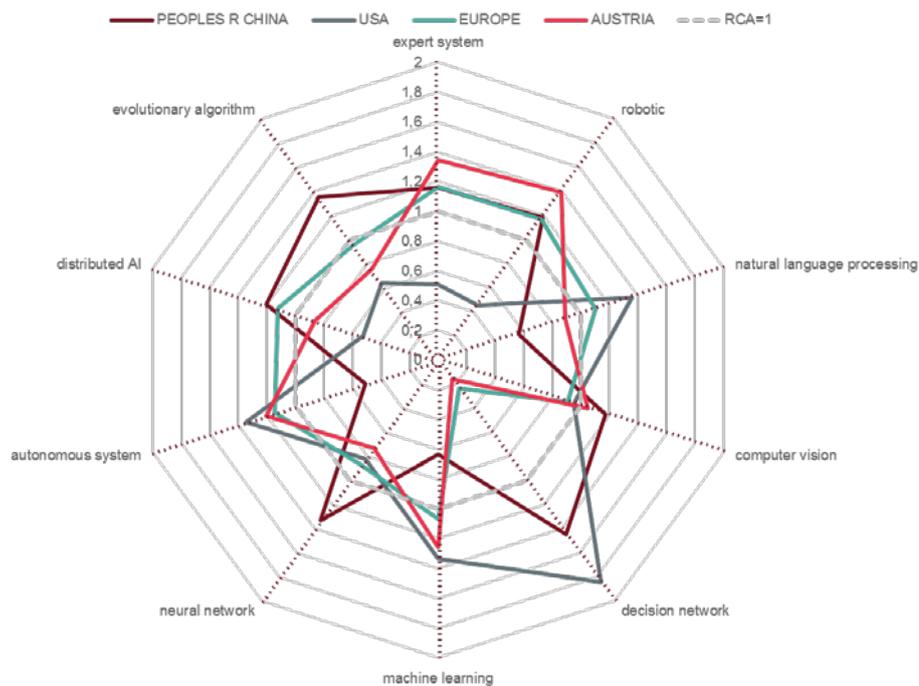
In FWF Projekten ist Machine Learning ebenfalls das zentrale Thema. Darüber hinaus werden Projekte im Bereich Computer Vision häufiger erwähnt. In Bezug auf die Trefferquote ist bei den FWF-Projekten zu erwähnen, dass bei den öffentlich zugänglichen Projektdaten zwar der Titel nicht aber das Abstract des Projekts heruntergeladen werden kann, die Suche nach Projekten im Bereich KI daher möglicherweise nicht alle relevanten Projekte erfasst hat. KI-Themen werden sowohl in Programmen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses – wie dem Zukunftskolleg Hochdimensionales Statistisches Lernen oder dem Doktoratskolleg Confluence of Vision and Graphics – adressiert als auch in zwei START Programmen zur Förderung exzellenter ForscherInnen mit mehrjähriger Forschungserfahrung. Darüber hinaus befassen sich um die 50 Einzel- und Internationale Projekte mit KI-Forschung.

Eine geografische Betrachtung von WoS-Trefferquoten zeigt, dass **Europa** nach wie vor die höchste Anzahl an Publikationen zum Thema KI aufweist (Abbildung 8). Europäische Publikationen entstehen zunehmend in internationalen Kooperationen mit Ländern außerhalb Europas, decken ein breites Spektrum an Themen ab und zeigen eine hohe Diversität der einzelnen Länder (Elsevier 2018).

**Abbildung 8: Länderranking – WoS-Publikationen 2007-2018**



**Abbildung 9: WoS-Publikationen in Europa, USA, China und Österreich (2007-2018)**



In den letzten Jahren ist ein starker Zuwachs an KI-Publikationen aus **China** zu beobachten. Von staatlicher Seite wird die KI-Forschung in Form eines nationalen Action Plans, hohen Investitionen (z.B. 2 Milliarden für große Forschungsprogramme 2018; weitere 2,1 Milliarden für Technologiepark in Peking) sowie die Schaffung eines attraktiven Forschungsumfelds nachdrücklich gefördert. Im

Vergleich zu KI-Publikationen aus Europa und den USA verfügen die chinesischen Veröffentlichungen über eine zunehmende aber noch immer vergleichsweise geringe Zitationsrate. Die **USA** wurden in Hinblick auf die Anzahl der KI-Publikationen mittlerweile von China überholt. Die KI-Forschung ist hier allerdings auch stark im Unternehmenssektor verankert, wo nicht jede Entwicklung über eine wissenschaftliche Publikation bekannt gemacht wird. Unternehmen wie Amazon und Google besitzen hohe Attraktivität für junge ForscherInnen, die zunehmend auch internationale Kooperationen eingehen<sup>17</sup>. Die Diversität der Forschungsthemen ist geringer als in Europa, aber größer als in China. Ein Land mit rasch zunehmender Bedeutung in der KI-Forschung ist **Indien** (Elsevier 2018).

Zur Identifizierung relativer Stärken und Schwächen der Länder in den einzelnen KI-Subthemen wurde der RCA-Index berechnet.<sup>18</sup> Ein Wert größer 1 bedeutet eine relative Stärke in diesem Thema im Vergleich zum gesamten Untersuchungsraum, ein Wert kleiner 1 bedeutet eine relative Schwäche. Anhand der Zuordnung der Themen zu den drei Wellen der KI-Forschung – wie in Kapitel 3 im Detail beschrieben – werden im Folgenden die Spezialisierung der Kontinente und Länder in den einzelnen Bereichen beschrieben.

In Hinblick auf die thematische Orientierung (Abbildung 9) zeigt **China** eine Spezialisierung in den Themen der 2. und insbesondere der 3. KI-Welle (Computer Vision, Decision Networks, Neural Networks, Distributed Artificial Intelligence und Evolutionary Algorithms). Auffallend wenig Forschung erfolgt in Natural Language Processing und Autonomous Systems, möglicherweise Themen, die eher über nicht publizierte Unternehmensforschung abgedeckt werden.

Die **USA** hingegen publizieren überdurchschnittlich häufig in Themen der 2. und teilweise auch der 3. KI-Welle. Spezialisierungen sind im Bereich Natural Language Processing, Decision Networks, Machine Learning, Autonomous Systems erkennbar. **Europa** ist zwar hinsichtlich der Anzahl der Publikationen in allen Themen mit Ausnahme von Neuronalen Netzwerken (China) und Decision Networks (USA) führend, zeigt aber keine ausgeprägte Spezialisierung. Österreichs Stärken liegen im Bereich Expert Systems, Robotics, Machine Learning und Autonomous Systems und damit hauptsächlich in Themen der 1. und 2. KI-Welle, und nur teilweise in der 3. KI-Welle.

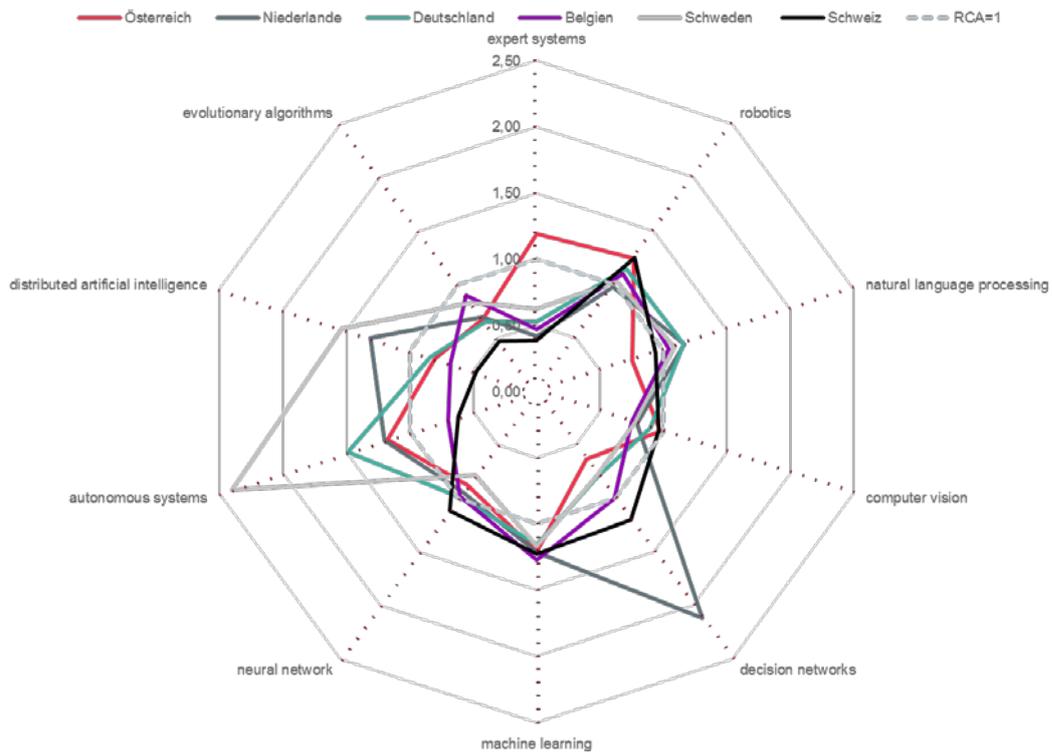
Innerhalb Europas wurden zum Vergleich die Publikationsaktivitäten Belgiens (BE), der Schweiz (CH), Deutschlands (DE), der Niederlande (NL) und Schwedens (SE) in den Jahren 2016-2018 herangezogen (Abbildung 10).

Länder mit deutlichen Spezialisierungen sind die Niederlande und Schweden. **Niederlande** weist eine hohe Spezialisierung in Decision Networks (2. KI-Welle) sowie eine moderate Spezialisierung in Distributed AI und Autonomous Systems (3. KI-Welle) auf. **Schweden** zeigt ebenfalls eine deutliche Spezialisierung in Autonomous Systems und Distributed AI und auch **Deutschlands** relative Stärken liegen in Autonomous Systems. Die übrigen Länder zeigen keine auffallenden Spezialisierungen: **Schweiz** setzt Schwerpunkte in den aktuellen KI-Themen Machine Learning, Neural Networks, Robotics und Decision Networks – Themen, die hauptsächlich der 2. KI-Welle zuzuordnen sind. **Österreich** weist moderate Spezialisierungen in Expert Systems (die höchste unter den Vergleichsländern), Robotics, Machine Learning und Autonomous Systems. Im Vergleich zum Gesamtuntersuchungszeitraum 2007-2018 liegen die Schwerpunkte der österreichischen Forschung also weiterhin hauptsächlich auf Themen der 1. und 2. KI-Welle und nur partiell auf Themen der 3. KI-Welle. Es zeigen sich aber in den letzten Jahren zunehmende Aktivitäten in den Themen Decision Networks und Neural Networks. Für **Belgien** ist nur eine moderate Spezialisierung in Machine Learning erkennbar, die jedoch auch alle Vergleichsländer vorweisen.

17 Vgl. auch Androsch H. et al. (Hg., 2018) Jahrbuch zu den Alpbacher Technologiegesprächen 2018. Technologie im Gespräch - Künstliche Intelligenz. Holzhausen, 2018

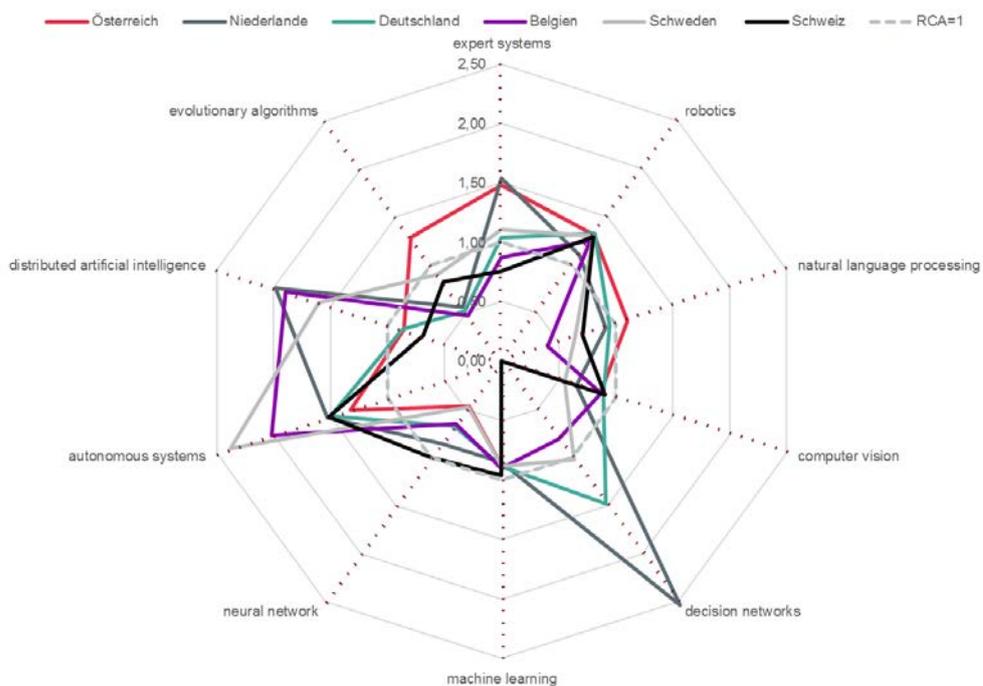
18 Zur Berechnung des RCA-Index siehe Kapitel 3 (Methodik und Vorgehensweise).

**Abbildung 10: WoS-Publikationen in AT, BE, CH, DE, NL und SE (2016-2018)**



Im Vergleich dazu sind bei den EU-Projekten ausgeprägtere Spezialisierungen (höherer RCA-Wert) der betrachteten Länder erkennbar (Abbildung 11). Länder mit ausgeprägten Spezialisierungen sind wieder die Niederlande und Schweden, aber auch Belgien zeigt bei den EU-Projekten deutlichere thematische Schwerpunkte.

**Abbildung 11: EU-Projekte in AT, BE, CH, DE, NL und SE (2016-2018)**



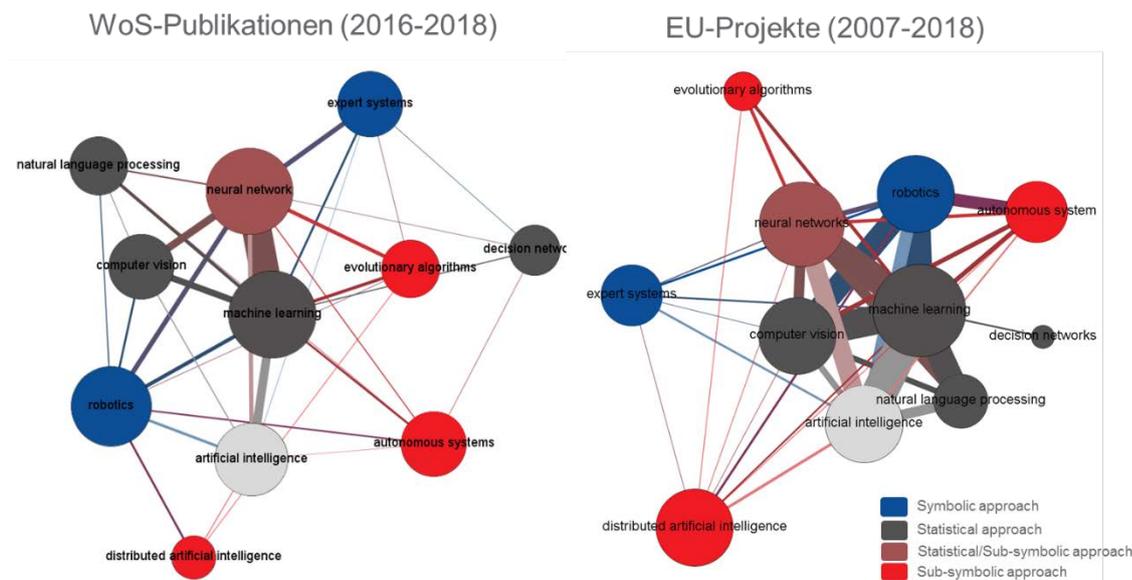
Die **Niederlande** verfügen über ein ähnliches Profil wie bei Publikationen, d.h. eine Spezialisierung in den Themen Decision Networks, Distributed AI und Autonomous Systems (Themen der 2. und 3. KI-Welle), zusätzlich aber auch in Expert Systems. **Schweden** zeigt ebenfalls eine ähnliche Spezialisierung wie bei Publikationen in den Bereichen Autonomous Systems und Distributed AI, den Themen der 3. KI-Welle. Im Gegensatz dazu zeigt **Belgien** keine Spezialisierung in Machine Learning (wie bei den Publikationen), sondern ebenfalls eine hohe Spezialisierung in den Themen der 3. KI-Welle, also Autonomous Systems und Distributed AI. **Deutschland** setzt wie in den Publikationen Schwerpunkte in Autonomous Systems (3. KI-Welle), weist aber zusätzliche Schwerpunkte in Decision Networks (2. KI-Welle). Die **Schweiz** zeigt bei den EU-Projekten ein anderes Profil als in den Publikationen: keine Schwerpunkte in den aktuellen KI-Themen Machine Learning, Neural Networks und Decision Networks, dafür eine moderate Spezialisierung in Autonomous Systems und Robotics (1. und 3. KI-Welle). **Österreich** weist auch bei EU-Projekten keine ausgeprägte Spezialisierung auf. Wieder liegen moderate Spezialisierungen in den Themen der 1. und 2. KI-Welle (Expert Systems und Robotics), gleichzeitig zeigt sich aber eine stärkere Schwerpunktsetzung bei Themen der 3. KI-Welle (Autonomous Systems und Evolutionary Algorithms).

## 6 Forschungsaktivitäten österreichischer Universitäten

### 6.1 Profile österreichischer Universitäten

Im Folgenden werden thematische Ausrichtung und Spezialisierung österreichischer Akteure im internationalen Kontext betrachtet. Um Schwerpunkte der österreichischen Universitäten abzubilden, wurden auf Grund der unterschiedlich hohen Trefferquoten WoS-Publikationen im Zeitraum 2016 bis 2018 und EU-Projekte 2007 bis 2018 in den ausgewählten KI-Subthemen analysiert, in denen österreichische Universitäten beteiligt waren.

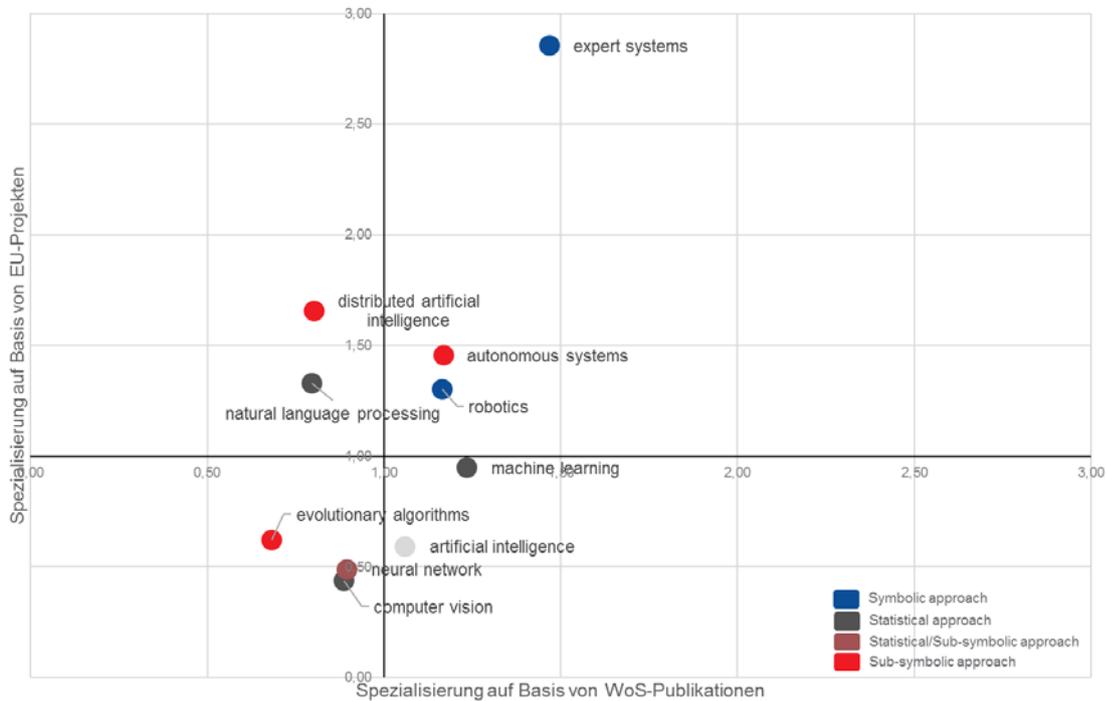
**Abbildung 12: Vernetzung von KI-Themen in WoS-Publikationen und EU-Projekten österreichischer Universitäten**



Um die inhaltliche Verknüpfung und Nähe der einzelnen betrachteten Subthemen abzubilden, wurden gemeinsame Nennungen in Publikationen und EU-Projekten dargestellt. Die Netzwerkdarstellung in Abbildung 12 zeigt die Wechselbeziehung zwischen KI-Themen in WoS-Publikationen (2016-2018) und EU-Projekten (2007-2018), an denen österreichische Universitäten beteiligt sind. Netzwerkknoten repräsentieren KI-Themen, die miteinander verbunden sind, wenn sie in WoS-Publikationen bzw. EU-Projekten gemeinsam vorkommen. Die Stärke der Verbindungen spiegelt die Häufigkeit des gemeinsamen Vorkommens wieder, die Knotengröße die Anzahl der KI-Themen mit denen ein KI-Thema verbunden ist (Degree) und die Knotenfarbe symbolisiert die drei KI-Wellen *Symbolic*, *Statistical* und *Sub-symbolic Approach* entsprechend der Darstellung von Corea (2018).

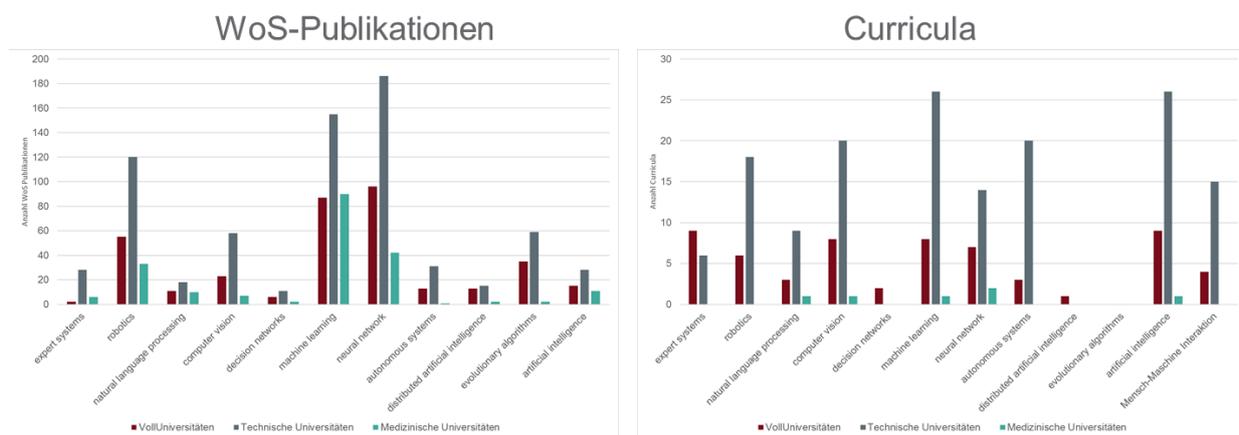
Das Netzwerk der KI-Themen basierend auf **WoS-Publikationen** zeigt, dass die einzelnen Publikationen offenbar spezifischer auf ein Thema ausgerichtet sind. Eine stärkere Verbindung besteht nur zwischen den KI-Themen Machine Learning und Neural Networks (in 54 Publikationen). Im Gegensatz dazu überlappen sich die Themen bei den **EU-Projekten** viel stärker, d.h. es werden häufiger mehrere KI-Themen in einem Projekt adressiert. Die Themen der 2. KI-Welle bilden den zentralen Cluster im Netzwerk und werden häufig in den Projekten gemeinsam behandelt. Die Themen der 3. KI-Welle sind nur partiell in diesem Cluster integriert. Tatsächlich werden diese Themen besonders häufig über grundlagenorientierten Projekten des ERC und Marie-Sklodowska-Curie-Maßnahmen finanziert.

**Abbildung 13: Spezialisierung österreichischer Universitäten auf Basis von WoS-Publikationen und EU-Projekten**



Fasst man die Spezialisierung österreichischer Universitäten in WoS-Publikationen und EU-Projekten zusammen, ergibt sich das folgende Bild (Abbildung 13): gemeinsame Spezialisierungen in Publikationen und Projekten zeigen sich in stärker anwendungsorientierten KI-Themen wie Expert Systems, Autonomous Systems and Robotics. Darüber hinaus liegt die Spezialisierung ausschließlich in WoS-Publikationen in Bereich von Machine Learning bzw. allgemeiner KI. KI-Themen, auf die österreichische Universitäten ausschließlich in EU-Projekten spezialisiert sind, sind Distributed AI und Natural Language Processing. Es lässt sich kein Zusammenhang zwischen der Spezialisierung der Universitäten und der Zugehörigkeit der Themen zu den drei KI-Wellen feststellen.

**Abbildung 14: Forschung und Lehre österreichischer Universitäten im Thema KI**

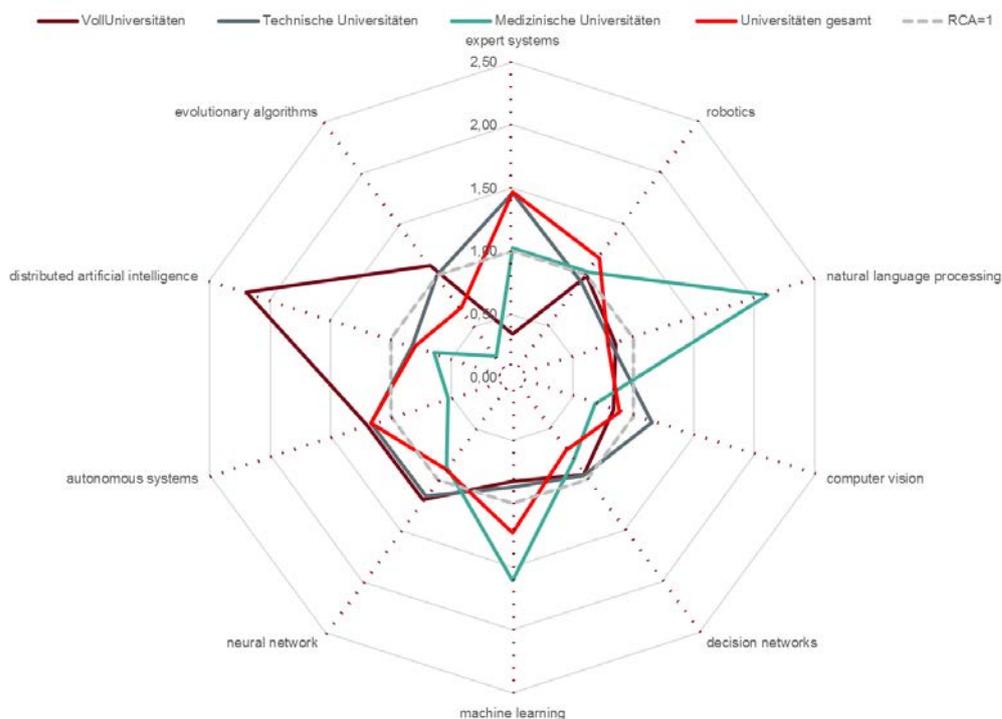


Der Vergleich der Publikationsaktivitäten österreichischer Universitäten aggregiert nach Universitätstyp<sup>19</sup> zeigt, dass mehr als die Hälfte der KI-Publikationen von den Technischen Universitäten stammen, 27% von Voll-Universitäten und 16% von Medizinischen Universitäten. Drei KI-Themen stehen im Vordergrund: Neural Networks, Machine Learning und Robotics. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern existieren vergleichsweise wenige Publikationen zum zweithäufigsten Thema der europäischen KI-Forschung, nämlich Evolutionary Algorithms (Abbildung 14).

KI-Themen werden auch breit in den Curricula<sup>20</sup> der Universitäten adressiert. Die häufigsten Nennungen beziehen sich auf die Themen Machine Learning, Computer Vision, Robotics und Autonomous Systems. Fast keine explizite Nennung finden in den Curricula zwei Themen der 3. KI-Welle, nämlich Evolutionary Algorithms und Distributed AI.

Die Profile der einzelnen österreichischen Universitäten, die im Bereich KI-Forschung und Lehre aktiv sind, sind im Anhang zu finden.

**Abbildung 15: Thematische Spezialisierung österreichischer Universitäten im Thema KI**



Die Universitäten weisen je nach Universitätstyp spezifische Spezialisierungen in einzelnen Themen auf (Abbildung 15). Bei den **Voll-Universitäten** liegen die Schwerpunkte eher in Richtung KI-Systeme, die eine breiteren KI-(Grundlagen)Forschung abdecken und eher der 3. KI-Welle zuzuordnen sind: Distributed AI (hier insbesondere die Universität Graz im Bereich Schwarmintelligenz), Autonomous Systems und Neural Networks.

Die **Technischen Universitäten** zeigen ein eher breites und unspezifisches Profil. Eine moderate Spezialisierung zeigt sich nur im Bereich Expert Systems (z.B. über die Publikationen der Universität

19 Unter Voll-Universitäten werden im Folgenden die Universitäten Wien, Graz, Innsbruck und Salzburg verstanden, zu den technischen Universitäten werden die Technischen Universitäten Wien und Graz, aber auch die Universitäten Linz und Klagenfurt gezählt und die Medizinische Universitäten umfassen die Medizinische Universitäten Wien, Graz und Innsbruck.

20 Die Daten stammen aus einer Erhebung des BMBWF, bei der KI-Bezüge in den Curricula mittels Stichwortsuche erfasst wurden. Datenbasis waren die auf den Websites der Universitäten zur Verfügung gestellten Curricula (exkl. auslaufender Curricula). Da die Datenqualität je nach Detailgrad der Curricula variiert, kann folgendes Ergebnis nur als Annäherung gesehen werden.

Linz/Softwarepark Hagenberg, Department of Knowledge Based Mathematical Systems zum Thema Fuzzy Systems). Bei den **Medizinischen Universitäten** liegen die Schwerpunkte eher in spezifischen Anwendungen, wie z.B. Natural Language Processing. In diesem Bereich sind die Medizinische Universitäten Graz und Innsbruck zu nennen, die sich mit unstrukturierten Patientendaten bzw. der Stimmaktivität von Kindern bei Störungen bei der Entwicklung des Nervensystems auseinandersetzen.

## 6.2 Kooperationsnetzwerke

Im folgenden Abschnitt werden die Kooperationen der österreichischen Universitäten betrachtet, die sich in ihren wissenschaftlichen Publikationen (WoS 2016-2018) und EU-Projekten (2007-2018) zeigen.

Zur Darstellung der internationalen Kooperationen der österreichischen Universitäten wurde zunächst eine Analyse der europäischen Top-Akteure in Publikationen bzw. EU-Projekten und deren Sichtbarkeit (auf Grund von Trefferquoten) durchgeführt. Auffallend dabei waren die Akteure aus Großbritannien, von denen sich 8 unter den ersten 15 Top-Europe Akteuren befinden. Die wichtigsten Partner der österreichischen Universitäten und deren internationale Sichtbarkeit sind in Tabelle 2 dargestellt. Kooperationen bestehen vorwiegend mit Deutschland (217 Co-Publikationen), Italien (90), UK (85), CH (61), Spanien (55), FR (51), NL (41), Australien (34), China (29) und Canada (29).

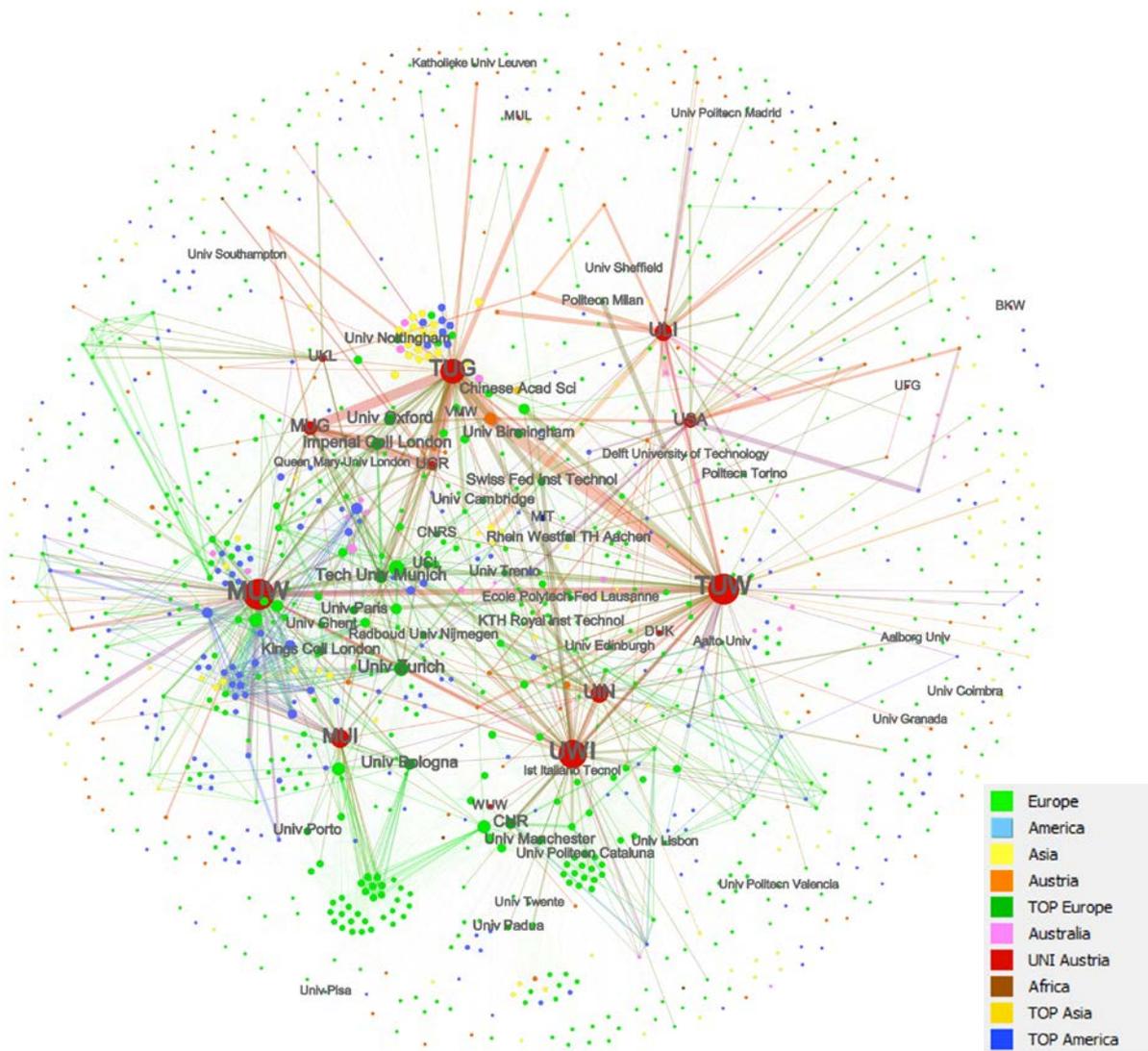
**Tabelle 2: Internationale Kooperationspartner der österreichischen Universitäten in Publikationen bzw. EU-Projekten**

Partner WoS 2016-2018	Co-Publ. AT-UNIs	Region/ Visibility	Partner EUPRO 2007-2018	Co-Proj. AT-UNIs	Region/ Visibility
ETH Zürich	27	TOP5 Europe	Fraunhofer Ges.	10	TOP2 Eur.
Max Planck Ges.	23	Europe	Karlsruher Inst. Tech.	9	TOP Eur.
Tech Univ Munich	19	TOP3 Europe	Univ. Coll. London	9	TOP7 Eur.
Univ Zurich	17	TOP Europe	Royal Institute of Techn. KTH	8	TOP Eur.
Fraunhofer Ges.	15	Europe	ETH Zürich	8	TOP3 Eur.
Univ Bologna	14	TOP Europe	CSIC Higher Council for Scientific Research	8	TOP Eur.
Rhein Westfal TH Aachen	12	TOP Europe	Ecole Polyt. Federale de Lausanne	7	TOP10 Eur.
Univ Munich	12	Europe	Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento S. Anna di Pisa (SSSUP)	7	TOP Eur.
Heidelberg Univ	12	Europe	University of Stuttgart	6	TOP Eur.
Univ Milan	11	Europe	FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION	6	TOP Eur.
Imperial Coll London	11	TOP2 Europe	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA)	6	TOP5 Eur.
Univ Trento	11	TOP Europe	Univ Zurich (UZ)	6	TOP Eur.
Univ Paris	11	TOP Europe	Tech Univ Munich	6	TOP Eur.
Tech Univ Dresden	10	Europe			
Charles Univ Prague	10	Europe			
Charite Univ Med Berlin	10	Europe			
IRCCS	10	Europe			
La Trobe Univ	9	Australia			
Nanyang Technol Univ	9	Asia			
Univ Oxford	9	TOP4 Europe			
Univ Amsterdam	9	Europe			
Univ Cyprus	9	Europe			
Univ Cambridge	9	TOP6 Europe			
Politecn Milan	8	TOP9 Europe			
Univ Calif Irvine	8	America			
Univ. Coll. London	8	TOP1 Europe			

Die Analyse der Co-Publikationen zeigt die gute Vernetzung der österreichischen Universitäten mit relevanten internationalen Akteuren (siehe Abbildung 16). Sie kooperieren substantiell mit renommierten nationalen, europäischen bzw. teilweise internationalen Forschungsorganisationen und darunter mit 47 der Top 50 Organisationen der EU. Weiters können sie die sechs wichtigsten Akteure zu ihren Partnern zählen mit einer substantiellen Anzahl von Co-Publikationen.

Intensive Forschungsk Kooperationen sind beispielsweise im Bereich der Neurowissenschaften und insbesondere z.B. zum Thema Autismus Früherkennung unter Beteiligung der TU, Medizin- und Universität Graz vorhanden, wo Methoden der KI-Forschung eingesetzt werden, um Autismus bei Kindern möglichst früh an Hand von Videoaufzeichnungen erkennen und behandeln zu können. Ein weiteres Beispiel für österreichische Universitäten, die in internationaler Kooperation KI-Methoden für medizinische Diagnostik einsetzen, ist die Retinaforschung. Unter Beteiligung der Medizin- und Volluniversität Wien werden hier KI-Methoden eingesetzt, um die breiten Möglichkeiten der allgemeinen Krankheitsdiagnostik am menschlichen Auge zu studieren bzw. einzusetzen. Auch in der Zell- bzw. Leukämie-Forschung gibt es beispielsweise hoch relevante Forschungsnetzwerke unter Beteiligung der Medizin- und Technischen Universität Wien, um nur einige ausgewählte Beispiele zu nennen.

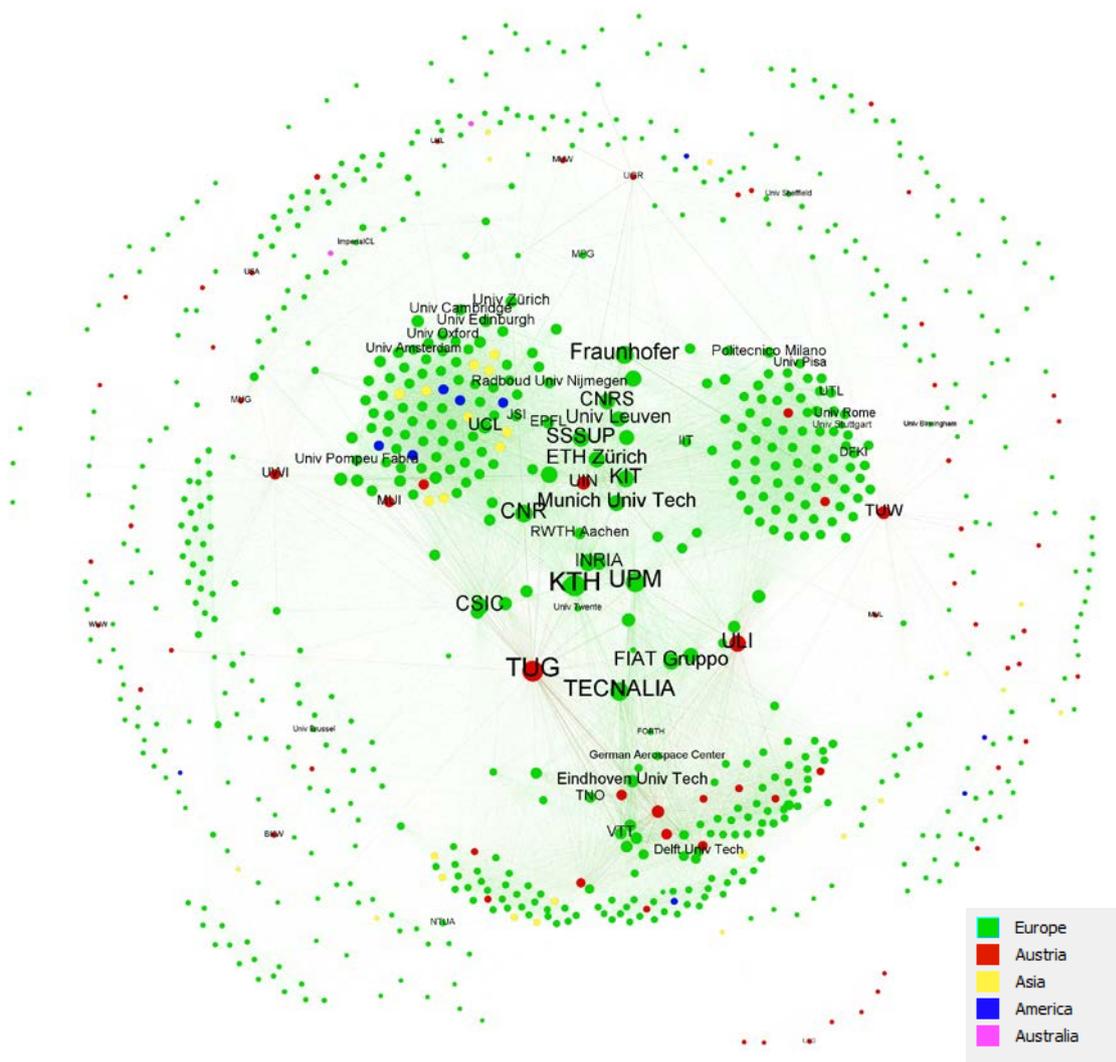
**Abbildung 16: Österreichische Universitäten (rot; mit Kurzbezeichnungen versehen) und deren Kooperationspartner an Hand von Co-Publikationen (EU28, NO, CH, IS; 2016-2018)**



Anm.: Die Knoten stellen Akteure dar, deren Größe dem Grad der Vernetzung entspricht, d.h. der Anzahl an Partnern. Die Verbindungslinien zwischen den Akteuren (Netzwerk-Kanten) ergeben sich auf Grund von gemeinsamen Publikationen. Je mehr Co-Publikationen vorhanden sind, umso stärker ist die Linie. Eigene Darstellung (Software: Gephi)

Ebenso zeigt die Analyse der EU-Projekte die gute Vernetzung der österreichischen Universitäten mit renommierten europäischen bzw. auch internationalen Partnern wie der deutschen Fraunhofer Gesellschaft, dem Karlsruhe Institute of Technology, dem University College London, dem schwedischen Royal Institute of Technology KTH oder der ETH Zürich (siehe Abbildung 17). In diesem Netzwerk lassen sich auf Grund von Projekten mit sehr großen Konsortien etwas andere Kooperationsstrukturen ablesen, als bei den wissenschaftlichen Publikationen. Jene Akteure, die in mehrere verschiedene Konsortien eingebunden sind bzw. waren, befinden sich an zentraler Netzwerkposition in der Mitte zwischen den äußeren Clustern. Diese Akteure können als zentrale Player identifiziert werden, darunter auch die TU Graz und die Universitäten Innsbruck und Linz.

**Abbildung 17: Österreichische Universitäten (rot; mit Kurzbezeichnungen versehen) und deren Kooperationspartner an Hand von Co-EU-Projekten (EU28, NO, CH, IS; 2007-2018)**



Anm.: Die Knoten stellen Akteure dar, deren Größe dem Grad der Vernetzung entspricht, d.h. der Anzahl an Partnern. Die Verbindungslinien zwischen den Akteuren (Netzwerk-Kanten) ergeben sich auf Grund von gemeinsamen Publikationen. Je mehr Co-Publikationen vorhanden sind, umso stärker ist die Linie. Eigene Darstellung (Software: Gephi)

## 7 Governance-Mechanismen von international erfolgreichen Universitäten in der KI-Forschung

Basierend auf den Ergebnissen des Science Mappings zu KI werden im Folgenden herausragende Universitäten von drei ausgewählten Ländern untersucht und analysiert, welche Rolle die Politik für die Erlangung dieser Position gespielt hat. Dabei wird konkret herausgearbeitet, welche Bedeutung die europäische, nationale, regionale und universitätsinterne Politik gespielt hat, um eine führende Position im Bereich der KI zu erlangen.

Für die Analyse wurden Länder ausgewählt, an denen sich Österreich häufig orientiert, was die Struktur, die Governance und die Möglichkeiten des Lernens betrifft. Dabei wurden Deutschland, die Niederlande und Schweden herangezogen, die gemäß unseren Analysen die Positionen 2, 8 und 12 in Europa einnehmen, gemessen am Publikationsoutput zum Thema KI in den Jahren 2016-18. Mit 782 Publikationen ist die TU München die führende deutsche Universität auf dem Gebiet der KI. In den Niederlanden ist die TU Delft mit 595 Publikationen die Nummer 1 in der KI-Forschung. Das Royal Institute of Technology (KTH) ist mit insgesamt 298 Publikationen die führende Universität Schwedens.

Im Folgenden wird für die drei genannten Universitäten jeweils analysiert, welche Rolle spezifische Förderprogramme und Strategien sowohl im Umfeld der Universität als auch innerhalb der Universität gehabt haben. Für die Analysen wurden Interviews mit VertreterInnen der Universitäten durchgeführt und Sekundärquellen recherchiert.

### 7.1 Deutschland: TU München

#### *Entwicklung der TU München*

Die TU München gilt als die führende deutsche Universität auf dem Gebiet der KI. Schon einer der frühen Pioniere der Informatik, Prof. Friedrich Bauer, war in München tätig und hat den Grundstein für die Entwicklung der Informatik gelegt. Der Begriff Informatik wurde in München mitgeprägt und die erste Software-Entwicklungskonferenz an der TU München abgehalten. Heute ist die Fakultät für Informatik mit 24 Lehrstühlen die größte in Deutschland. Innerhalb der Fakultät für Informatik wurde KI in den 1990er Jahren als ein Forschungsschwerpunkt definiert. Bereits in den 1980er Jahren wurden erste Forschungsgruppen zu KI etabliert. Erwähnt werden kann etwa die von Wolfgang Bibel (später an der University of British Columbia und der TU Darmstadt tätig) mitgegründete Forschungsgruppe KI/Intellektik/Automated Reasoning. Diese Arbeiten bilden wichtige Grundlagen für das automatische Beweisen.

Auch in anderen Fakultäten der TU München wird Forschung zu KI betrieben, große Bedeutung hat sie in den letzten Jahren vor allem an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik gewonnen. Auch hier arbeiten verschiedene Lehrstühle und Center an diversen Fragen der KI Forschung. Genannt werden kann etwa das Center of Competence Robotics, Autonomy and Interaction, in dem derzeit in einer Reihe von öffentlich und privat geförderten Projekten (DFG, ERC, EU) KI-Forschung durchgeführt wird.<sup>21</sup> Das Center war auch am Exzellenzcluster „Kognition für technische Systeme – CoTeSys“ beteiligt, das unter Koordination von Prof. Martin Buss von 2006 bis 2016 gelaufen ist und in Kooperation mit anderen deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen abgewickelt wurde.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> vgl. <https://www.ei.tum.de/forschung/coc-robotics-autonomy-and-interaction/>

<sup>22</sup> Vgl. <https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/25268764?context=projekt&task=showDetail&id=25268764&>

Als fakultätsübergreifender bzw. universitärer Forschungsschwerpunkt konnte das Thema KI innerhalb der TU München erst in jüngster Zeit etabliert werden und hat entsprechende Aufmerksamkeit im Rektorat gewonnen. Nicht zuletzt aufgrund der großen Bedeutung von KI, gibt es seit drei Jahren sehr große Unterstützung von Seiten der Universitätsleitung für sämtliche Belange der ForscherInnen. So wurden mit Unterstützung des Rektorats fakultätsübergreifend 2018 die Munich School of Robotics and Machine Intelligence (MSRM), geleitet durch Prof. Sami Haddadin, und 2019 das Munich Center for Technology in Society (MCTS) (2019) gegründet. Bei ersterem liegt der Fokus auf Anwendungen der KI für Roboter. Beide Zentren sind Beispiele von sogenannten „Integrative Research Centers“, in denen stark interdisziplinär zusammengearbeitet wird.

Angeführt werden können weiters die jüngst gegründete Graduiertenschule für Data Science, die ebenfalls Fragestellungen der KI auf der Agenda hat, sowie der Forschungsverbund zu Automatisierung und Digitalisierung. Letzterer wurde von der TU München in Kooperation mit der Ludwig-Maximilian Universität (LMU), dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) und dem Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit (AISEC) etabliert. Innerhalb des Verbundes entwickeln ForscherInnen künftig Technologien für die Automatisierung und Digitalisierung der Industrie. Die TU München ist überdies am Zentrum Digitalisierung.Bayern (2015) beteiligt, das seinen Sitz in Garching hat und sich auch mit gesellschaftlichen Auswirkungen der Digitalisierung und der KI befasst.

### ***Förderungsprogramme durch das BMBF***

Bereits mit der ersten KI-Welle Ende der 1980er Jahre hat man in Deutschland auf nationaler Ebene begonnen, KI zu fördern. Die größte und bedeutendste Initiative war dabei das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierte Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI). Dieses wurde 1988 von einem der zu diesem Zeitpunkt führenden deutschen Wissenschaftler auf dem Gebiet der KI, Prof. Wolfgang Wahlster, mitinitiiert. Damit ist die Bundesregierung bereits im Zuge der ersten KI-Welle aktiv geworden. Dieses als öffentlich-private Partnerschaft finanzierte Zentrum wuchs ausgehend vom Standort Kaiserslautern auf mehrere Standorte und ist heute die größte Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der KI.

Wenngleich die TU München bis heute am DFKI nicht direkt beteiligt ist – jedoch über diverse Kooperationsprojekte enge Beziehungen pflegt –, wird die Bedeutung dieses Zentrums von der TU München anerkannt. Durch das DFKI ist es erstmals gelungen, KI als wichtiges Thema in der Forschungspolitik zu verankern. Im Zentrum sind an den unterschiedlichen Standorten heute über mehr als 1.000 Personen (davon rund 400 studentische MitarbeiterInnen) mit KI befasst, gleichzeitig hat man nach einer Anfangseuphorie auch die darauffolgende Ernüchterung und die zeitweilige Stagnation miterlebt. Die überzogenen Erwartungen konnten nur teilweise realisiert werden und immer wieder musste das DFKI Überzeugungsarbeit leisten, um weitere Finanzierungen durch das BMBF zu lukrieren.

Auf nationaler Ebene hat das BMBF im Zuge der Entwicklung der nationalen KI-Strategie jüngst weitere Maßnahmen gesetzt, um KI-Forschung zu fördern. So wurden seit 2018 sechs bundesweite Kompetenzzentren finanziert, die sich mit Big Data und Machine Learning befassen.<sup>23</sup> Die TU München ist dabei gemeinsam mit der LMU im Forschungsverbund für Machine Learning integriert. Das Munich Center for Machine Learning (MCML) wird von den Fächern Informatik und Statistik der TU München und der LMU getragen und strebt eine enge Verknüpfung von Wissenschaft und Wirtschaft in Forschung, Qualifizierung und Wissenstransfer an.

23 Vgl. <https://www.softwaresysteme.pt-dlr.de/de/ml-kompetenzzentren.php>.

In diesem Zusammenhang kann auch auf die aktuell entwickelte deutsche KI-Strategie verwiesen werden und dem Ziel der Bundesregierung, mindestens 100 Professuren für KI an deutschen Universitäten zu schaffen.<sup>24</sup> Das BMBF hat dazu im Frühjahr 2019 gemeinsam mit der Alexander von Humboldt Stiftung ein Programm initiiert, mit dem KI-WissenschaftlerInnen aus dem Ausland für Deutschland gewonnen werden sollen. Die Forschungsthemen reichen vom Machine Learning über Robotik und Computerlinguistik bis hin zur Ethik.

Überdies ist die Frage der Bedeutung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Entwicklung des Themenfelds KI im Allgemeinen und der TU München im Besonderen von Interesse. Im Rahmen von zahlreichen geförderten Projekten konnten sich die einzelnen Forschergruppen an der TU München zweifelsohne sehr gut entwickeln. Eine darüberhinausgehende Mobilisierungs-, oder Koordinationsfunktion wird aber von Seiten der TU München nicht gesehen. In diesem Zusammenhang kann auch darauf verwiesen werden, dass die DFG im Bereich der KI in der Vergangenheit deutschlandweit relativ wenig spezifische Schwerpunktprogramme mit einem größeren Volumen (Sonderforschungsbereiche, Graduiertenkollegs etc.) initiiert bzw. gefördert hat.

Was Förderungen auf nationaler Ebene betrifft, kann auch die Rolle der Exzellenzinitiative untersucht werden. Die TU München errang im Juli 2019 zum dritten Mal das Prädikat der Exzellenzuniversität. KI ist in den im Rahmen der Exzellenzinitiative geförderten Graduiertenschulen, Exzellenzclustern und dem Zukunftskonzept jedoch kein expliziter Bestandteil an der TU München. Insgesamt hat die Exzellenzinitiative nur eine geringe direkte Wirkung auf das Thema der Informatik im Allgemeinen und der KI im Besonderen. In den ersten beiden Ausschreibungsrunden war das Thema der Informatik kaum präsent und KI wurde bislang, auch in der jüngsten Ausschreibungsrunde nur vereinzelt thematisiert. Dies liegt auch daran, dass KI und verwandte Themen wie Big Data in den internen Strategiebildungsprozessen im Wettbewerb mit anderen Themen und Disziplinen kaum an Bedeutung gewonnen haben. Einzige Ausnahme bildet das oben angeführte Projekt „Kognition für technische Systeme – CoTeSys“. Ein weiteres Exzellenzcluster-Projekt zum Thema KI (ohne Beteiligung der TU München) wird von der Universität Saarbrücken geleitet.

### ***Förderungen in Bayern***

Auch auf landespolitischer Ebene können in Bayern Maßnahmen im Zusammenhang mit der Förderung von KI angeführt werden. So wurde 1988 das Bayrisches Forschungszentrum für wissensbasierte Systeme (FORWISS) gegründet, welches im Rahmen des sogenannten Forschungsverbund-Programms finanziert wird. Die Forschungsverbünde wurden aus Privatisierungserlösen finanziert und hatten zum Ziel, den Aufbau von aktuell wichtigen Forschungsthemen zu unterstützen. Im FORWISS wurden in einem Verbund zwischen Universitäten und der Wirtschaft wichtige Fragestellungen der KI-Forschung behandelt, zum damaligen Zeitpunkt vornehmlich der Aufbau von wissensbasierten Systemen. Dieses Zentrum gab dem Thema KI zusätzlich Rückenwind und die TU München konnte sich als führende Forschungseinrichtung etablieren. Aber auch hier hat laut Angaben des Vertreters der TU München nach einer Anfangseuphorie wieder eine gewisse Ernüchterung eingesetzt.

Des Weiteren wurde 2018 das Bavarian Research in Artificial Intelligence Network (BRAIN) etabliert. Dabei soll ein Spitzenforschungscampus entstehen, der die führenden Einrichtungen der Region München vernetzt, neben den beiden Universitäten auch das Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und Fraunhofer-Institute. Finanziert werden mit dieser Initiative auch neue Professuren.

<sup>24</sup> Vgl. [https://www.bmbf.de/files/Nationale\\_KI-Strategie.pdf](https://www.bmbf.de/files/Nationale_KI-Strategie.pdf).

## **Wirtschaftliches Umfeld**

Für die Entwicklung der TU München auf dem Gebiet der KI-Forschung hat die Industrie als Partnerin und Financier zweifelsohne eine wichtige Rolle gespielt. Mit Industrieunternehmen wie Siemens und BMW bestehen seit jeher enge Beziehungen. Diese Unternehmen finanzieren nicht nur Forschungsprojekte, sondern sind zugleich Impulsgeber und innovative Anwender von neuen Technologien. Als wichtiger Meilenstein insbesondere für die Informatik- und KI-Forschung wird die Ansiedelung eines Forschungszentrums der IBM in München betrachtet. Erwähnt werden müssen auch die Forschungszentren von Microsoft und Google, die ebenfalls in jüngster Zeit ihre Standorte stark ausgebaut haben und dabei auch in einigen KI-Bereichen forschen. Außerdem wird Siemens am Standort Garching einen Forschungsbereich zu autonomen Systemen aufbauen. Angeführt werden kann ferner, dass die Industrie Stiftungsprofessuren finanziert, so hat etwa Allianz eine Professur für "Großskalige Datenanalyse und Maschinelles Lernen" abgesichert.

Dieses Umfeld hat enorm geholfen, die Reputation des Standorts München international weiter zu stärken. Insbesondere für die zunehmende Herausforderung, NachwuchswissenschaftlerInnen zu rekrutieren, spielt dies eine entscheidende Rolle.

## **Europäische Forschungsprogramme**

Die TU München hat traditionell eine starke Position und hohe Erfolgsquote bei Forschungsförderungen von Seiten der Europäischen Kommission (ERC Grant, Forschungsrahmenprogramme, etc.). Die Fakultät für Informatik der TU München ist etwa ein wichtiger Partner im "Human Brain Project" der Europäischen Union, in dem neue Erkenntnisse in den Bereichen Neurowissenschaften, Datenverarbeitung und Hirnforschung vorangetrieben werden. Die hohe Reputation und gute internationale Vernetzung helfen auch beim Agenda-Setting von Themen auf europäischer Ebene.

## **Resümee**

Die TU München ist einer der forschungstärksten deutschen Universitäten. Sie war prägend für die Etablierung des Faches Informatik im deutschsprachigen Raum und konnte früh eine Spitzenposition erlangen.<sup>25</sup> Die Informatik an der TU München ist regelmäßig an der Spitze in diversen fachspezifischen Rankings und hat unter anderem vier Leibniz-Preisträger und eine Leibniz-Preisträgerin.<sup>26</sup> Weiters hat die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik einige renommierte Forschungsgruppen im Bereich der Robotik. In diesem Umfeld konnte sich auch die KI-Forschung sehr gut entwickeln. Die starke Position der TU München ist historisch begründet – wichtige Pioniere der Informatikforschung und auch der KI waren an der TU München tätig – und auch durch das starke industrielle Umfeld geprägt. Spezifische bzw. thematische nationale oder europäische Forschungsprogramme spielen dazu im Vergleich eine geringe Rolle. Wenngleich vor allem Forschungsprogramme auf der nationalen Ebene das Thema immer wieder unterstützt haben, ist deren Rolle laut Aussagen der TU München begrenzt.

Die TU München ist ein Beispiel dafür, dass es starken Universitäten gelingt, sich auch in neuen Themen wie der KI, die sich aus etablierten Feldern herausentwickeln oder an den Schnittstellen zwischen Disziplinen entstehen, frühzeitig zu etablieren. Basierend auf ihren Stärken in existieren-

25 So feierte die TU München 2016 das 50-jährige Bestehen der Informatik-Ausbildung. Im Wintersemester 1967/68 wurde an der heutigen TU München erstmals der Studiengang "Informationsverarbeitung" angeboten. Das Startsignal hierzu gab Prof. Friedrich Ludwig Bauer mit seinem zweisemestrigen Vorlesungszyklus "Einführung in die Informationsverarbeitung".

26 Die Informatik der TU München gehört etwa laut den "World University Rankings 2016-2017" zu den Top 10 weltweit in "Computer Science".

den Feldern können sie rasch neue Themen entwickeln und Mittel akquirieren. Damit ist man zugleich häufig besser vorbereitet als andere Universitäten, wenn, wie im Zuge der jüngsten KI-Welle und -Euphorie, sehr viele Mittel in die KI-Forschung fließen.

## 7.2 Die Niederlande: TU Delft

### ***Entwicklung der TU Delft***

Forschungen zu KI haben sich an der TU Delft rund um einige spezifische Themenbereiche wie der Robotik entwickelt. Bereits 2013 wurde das inter fakultäre TU Delft Robotics Institute gegründet, in dem KI-relevante Forschung wie etwa Machine Learning gebündelt und vorangetrieben wurde.<sup>27</sup> Bereits zuvor hatte ein Forschungsteam sich mit Robotern beschäftigt und Ansätze der KI nutzbar gemacht. Mit der weltweiten Welle, die um 2010 eingesetzt hat, lag die Idee auf der Hand, Robotics, KI und Machine Learning zu bündeln, auch um den großen Erwartungen industrielle Anwendung realisieren zu können, Rechnung zu tragen. Die Universitätsleitung unterstützte durch eine interne Anschubfinanzierung den Aufbau des Instituts. Zusätzlich konnten auch bald weitere öffentliche und private Mittel eingeworben werden.

Darüber hinaus wird auch an anderen Instituten KI-Forschung betrieben, unter anderem am Department for Cognitive Robotics und Delft Center for Systems and Control (beide Faculty of 3mE, Mechanical, Maritime and Materials Engineering), das TU Delft Transport Institute (ebenfalls inter fakultär).

An der TU Delft hat man wie auch an anderen Universitäten erkannt, dass der Bedarf an WissenschaftlerInnen und TechnikerInnen mit KI-Ausbildung steigt und daher begonnen, das Delft Artificial Intelligence Research and Education (DAIRE) zu etablieren. Große Unterstützung erhält die TU Delft dabei von Seiten der Politik.

Die TU Delft hat auch beim 2017 publizierten Dutch AI Manifesto mitgewirkt, einer durch die KI-Community formulierten Strategie zur Förderung von KI in den Niederlanden.<sup>28</sup>

### ***Förderungen auf nationaler Ebene***

Wenngleich über klassische Antragsforschung bereits seit den 1980er Jahren öffentliche Forschungsprojekte aus Drittmitteln finanziert werden konnten, hat sich das Umfeld für die Finanzierung von KI-Forschung erst in den letzten drei bis fünf Jahren verbessert. So gelang es vor fünf Jahren, bei einem spezifischen Call ein großes Projekt zu Deep Learning für Roboter zu akquirieren. Der niederländische Wissenschaftsfonds NWO hat in der Vergangenheit im Allgemeinen relativ wenig Projekte zu KI finanziert. Insgesamt spielte die Finanzierung durch die nationalen Forschungsförderungsfonds nach Ansicht des Vertreters der TU Delft damit eine eher untergeordnete Rolle für den Aufbau und die Entwicklung des Themenfelds KI.

Von Seiten der nationalen Forschungspolitik haben KI-relevante Themen erst in der jüngsten Dutch National Research Agenda (NWA), die vor allem zum Ziel hat, die Kooperation zwischen Wissenschaft und Industrie zu fördern und Forschungsaktivitäten zu koordinieren, Einzug gefunden.<sup>29</sup> Mit dem Begriff der sogenannten „Routes“ sind Forschungsakteure aufgefordert, ihre Aktivitäten untereinander abzustimmen. Eine derartige Route wird als „Responsible use of big data“ definiert, in die auch die TU Delft eingebunden ist. Die Dutch National Research Agenda hat dabei den Anspruch,

<sup>27</sup> <https://tudelftroboticsinstitute.nl/labs>

<sup>28</sup> Vgl. <http://ii.tudelft.nl/bnvki/wp-content/uploads/2018/09/Dutch-AI-Manifesto.pdf>

<sup>29</sup> Vgl. <https://wetenschapsagenda.nl/national-science-agenda/?lang=en>

gesellschaftliche Missionen zu adressieren, indem gemeinsam und abgestimmt komplexe Themenstellungen behandelt werden.

### ***Wirtschaftliches Umfeld***

Die Finanzierung von Forschungsprojekten durch die Industrie hat an der TU Delft traditionell eine sehr große Bedeutung, wovon auch Entwicklungen auf dem Thema der KI profitiert haben. Dabei werden im Rahmen von durchaus längerfristigen Projekten auch häufig PhDs finanziert, wobei Projekte in Kooperation mit Unternehmen aus unterschiedlichen Wirtschaftssektoren durchgeführt werden. Besonders großes Interesse konnte dabei für die Roboterforschung geweckt werden, verspricht gerade diese den Anwendern einen hohen kommerziellen Nutzen.

### ***Europäische Forschungsprogramme***

Unterschiedlichste Finanzierungsformen durch Europäische Forschungsprogramme werden von der TU Delft breit genutzt. Im Bereich der KI gibt es aktuell Beteiligungen an einigen H2020 Projekten wie auch einen ERC Grant. Gleichzeitig ist man sich dem immer kompetitiveren Umfeld für europäische Projekte bewusst. Wichtig für die TU Delft sind auch Beteiligungen an ELLIS und CLAIRE, zwei europäische Initiativen zur Bündelung der Forschungsaktivitäten auf europäischer Ebene.<sup>30</sup>

### ***Resümee***

Die Stärke der TU Delft im Bereich der KI ist nicht das Ergebnis einer konzertierten Strategie innerhalb der Universität oder den Niederlanden. Der Erfolg ist das Ergebnis der guten allgemeinen Bedingungen, die WissenschaftlerInnen in den Niederlanden vorfinden, der frühen, bereits in den 1980er Jahren begonnenen Universitätsreformen, der sehr guten allgemeinen finanziellen Ausstattung der Universitäten durch eine Basisfinanzierung, der traditionell hohen internationalen Ausrichtung und der kompromisslosen Orientierung auf wissenschaftliche Exzellenz.

Wie in anderen Ländern hat die nationale Forschungspolitik das Thema der KI erst in jüngster Zeit aufgegriffen. Wie andere Nationen konnte und wollte man sich nicht der neuen KI-Euphorie entziehen und sieht entsprechend auch große Potentiale. Während nun durch zahlreiche Maßnahmen auch KI explizit gefördert wird und koordinierte Aktivitäten durchgeführt werden, gab es davor keine spezifische (finanzielle) Förderung von KI in den Niederlanden.

Was die Zukunft betrifft, sieht man die größte Herausforderung an der TU Delft in der Rekrutierung von wissenschaftlichem Nachwuchs. Mittlerweile ist es etwa sehr schwierig PhDs zu gewinnen, da Universitäten in zunehmendem Wettbewerb mit den großen internationalen IT-Unternehmen stehen, die nicht nur höhere Löhne zahlen können, sondern auch große Spielräume und Gestaltungsmöglichkeiten bieten, interessante Forschungsfragen zu adressieren. Während vor rund zehn Jahren noch kaum ein Unternehmen Forschung zu Machine Learning oder KI durchgeführt hat, hat sich dies mittlerweile drastisch geändert. Hinzu kommt auf akademischer Ebene noch der steigende Wettbewerb mit chinesischen Universitäten, die aufgrund ausgezeichneter Bedingungen ebenfalls Humankapital anziehen.

Ferner wird der steigende Aufwand für die Akquisition von Forschungsmitteln als zunehmend problematisch gesehen. Angeführt wird hier etwa die sinkende Erfolgsquote bei europäischen Forschungsprogrammen.

30 Vgl. <https://ellis.eu/> und <https://claire-ai.org/>

## 7.3 Schweden: KTH

### **Entwicklung der KTH**

Die KTH ist eine der renommiertesten schwedischen Universitäten und die führende technische Hochschule des Landes. Bereits in den 1980er Jahren konnte sich die KTH international in Themen positionieren, die später durch die KI beeinflusst wurden bzw. sich als Subthemen entwickelt haben. Hier können vor allem die Forschungen zum Thema Computer Vision, zu Robotik und zu Control Engineering genannt werden. Beispielsweise wurden an der KTH die Forschungsarbeiten zum Thema Computer Vision rund um Jan Olof Eklund sukzessive in Richtung KI und Machine Learning ausgebaut.

Die Finanzierung dieser Forschungsaktivitäten erfolgte durch diverse öffentliche und private Mittel. Als wichtige Fördergeber fungierten dabei der Swedish Research Council (SRC), die Swedish Foundation for Strategic Research (SSF), die Förderungsagentur VINNOVA und die Industrie. Die Mittel von Seiten des SRC waren stärker grundlagenorientiert und thematisch offen, während Förderungen durch die SSF und der VINNOVA anwendungsorientierter sind und teilweise eine thematische Ausrichtung haben.

Zwei Initiativen wurden als besonders wichtig für die Entwicklung der KTH hervorgehoben: Zum einen war dies die von der Regierung in 2009 ins Leben gerufene „Strategie Research Area Initiative“. Zum anderen das im letzten Jahr aufgesetzte „AI, Autonomous Systems and Software Program“.

### **Strategische Förderung durch die Regierung**

Die Förderung von strategischen Forschungsthemen („Strategic Research Area SRA“) wurde 2009 von der Regierung initiiert und hat keine spezifische vordefinierte thematische Ausrichtung oder eine Eingrenzung auf einzelnen Disziplinen. Das Programm hatte den Anspruch, die Spitzenforschung an schwedischen Universitäten zu fördern. Nach einem relativ starken Ausbau von regionalen Universitäten und Fachhochschulen Anfang der 2000er Jahre kam es zu einer forschungspolitischen Diskussion mit dem Ergebnis, dass auch die Forschung von stark international ausgerichteten und etablierten Universitäten gezielt gefördert werden sollte, um im internationalen Wettbewerb weiter zu bestehen. Das Programm wurde administrativ vom SRC abgewickelt, die beiden anderen wichtigen Förderungsagenturen SSF und VINNOVA waren jedoch ebenfalls involviert.

Die KTH war in diesem Bottom-up getragenen Prozess mit dem Projekt „Information and Communication Technology – the next generation (ICT TNG)“ erfolgreich, koordiniert durch Prof. Karl Henrik Johansson (EECS).<sup>31</sup> Dem Antrag war fakultätsintern eine Analyse vorausgegangen, bei dem viele neue Forschungsthemen und -fragen, unter anderem auch zu KI, identifiziert wurden. Insgesamt konnten im Rahmen dieses Programms seither rund 35 Mio. Euro an Forschungsmitteln gesichert werden. Dies ist auch für die KTH eine im Vergleich zu anderen Förderungen beachtliche Summe. Das Ziel der strategischen Entwicklung der Fakultät („renew the faculty“) durch die Schaffung neuer Professuren durch entsprechende Anschubfinanzierungen („startup funds“) wurde konsequent umgesetzt. Insgesamt wurden damit in den letzten zehn Jahren 15 neue Professuren etabliert mit einer Finanzierung von 1 bis 1,5 Mio. Euro pro Einheit. Ein entsprechendes Wachstum, getragen durch weitere Drittmittel, war die Folge.

31 Vgl. <https://www.ict-tng.kth.se>

## **Finanzierung von KI durch die Wallenberg Stiftung**

Die Forschung an der KTH wie auch an anderen schwedischen Technischen Universitäten wird traditionell stark von der Industrie beeinflusst und so haben sich nach Angaben der KTH die akademische und industrielle Forschung ko-evolutionär entwickelt. Man spricht hier von der „Systems Industry“ und der Anforderung, integrative technische Systeme zu entwickeln, die gleichzeitig eine Reihe von anwendungs- wie auch grundlagenorientierten Forschungsfragen generieren. In diesem Zusammenhang können Unternehmen wie ABB, Ericsson oder Volvo angeführt werden. Wenngleich die Industrie im internationalen Vergleich keine besonders hohe direkte Projektförderung vergibt, besteht eine enge Verzahnung und auch eine Unterstützung für die Anliegen der Universitäten bei der Politik oder bei Förderungsagenturen.

Für die Entwicklung der KI ist das oben angeführte, 2018 durch die Wallenberg Stiftung (Knut and Alice Wallenberg Foundation AWF) finanzierte „AI, Autonomous Systems and Software Program (WASP)“ wichtig.<sup>32</sup> Die Wallenberg Stiftung will insgesamt rund 1 Mrd. SEK für dieses Programm bereitstellen (umgerechnet rund 93 Mio. Euro). Gefördert werden in diesem Programm einige schwedische Universitäten, wobei die KTH eine der vier Universitäten ist, die primär gefördert werden. Die Stiftung finanziert laut ihrer Satzung grundlagenorientierte Forschung in allen Disziplinen zum Wohle der Gesellschaft. Dabei vergibt die AWF in der Regel Projekte für Forschungsgruppen von bis zu fünf WissenschaftlerInnen.

Alle rund zehn Jahre wird ein bedeutend größeres Projekt („Jubilee donation“) finanziert und hier erkannte man vor fünf Jahren die große Dynamik der Digitalisierung und die Bedeutung für die Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft. Die KTH war in Kooperation mit anderen Universitäten und Industrieunternehmen in die Konzeption dieses Programms eingebunden. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Industrie konnten die EntscheidungsträgerInnen überzeugt werden, auf dieses Thema zu setzen. Im Rahmen des Projekts werden im Wesentlichen ProfessorInnen, WissenschaftlerInnen und PhDs rekrutiert bzw. finanziert. Unter anderem sollten in den beteiligten vier Universitäten somit 200 PhDs unterstützt werden.

## **Europäische Forschungsprogramme**

Forschungsfinanzierung von Seiten der Europäischen Kommission spielt ebenfalls eine wichtige Rolle für die KTH und es gibt in allen Bereichen (H2020, FET, ERC, Flagship Projekte etc.) erfolgreiche Projektakquisitionen. Traditionell reüssiert die KTH sehr gut, vor allem bei IKT Programmen, häufig in Kooperation mit der starken schwedischen Telekomindustrie. Bei den jüngsten Entwicklungen zu 5G zählt die KTH in Europa zu den führenden Forschungseinrichtungen.

Wenngleich die Beteiligung an den europäischen Programmen sehr wichtig ist und als Element des Forschungsportfolios gesehen wird, sind nach Angaben der KTH jedoch keine spezifischen Impulse ausgegangen oder Projekte hervorzuheben, die dem Thema KI jedoch einen besonderen Vorschub gewährt hätten. Die oben angeführten nationalen Förderungen werden als entscheidend für den Erfolg auf dem Gebiet der KI-Forschung gesehen.

## **Strategien auf nationaler Ebene**

Neben den angeführten Förderungen hat die schwedische Regierung (wie auch andere europäische Länder) begonnen, eine nationale KI-Strategie zu entwickeln. 2018 wurde der „National Approach to Artificial Intelligence“ publiziert, der unterschiedliche Maßnahmen aufzählt, die Forschung, Innovation, Ausbildung, Regulierung und Bewusstseinsbildung umfasst.<sup>33</sup> Bedeutung für Universitäten hat

<sup>32</sup> Vgl. <https://wasp-sweden.org/>

<sup>33</sup> Vgl. <https://www.government.se/491fa7/contentassets/fe2ba005fb49433587574c513a837fac/national-approach-to-artificial-intelligence.pdf>

etwa das in diesem Kontext gestartete Ausbildungsprogramm „Competence for Sweden“, eine Kooperation zwischen sieben Universitäten. Des Weiteren hat 2018 VINNOVA ein spezifisches anwendungsorientiertes Programm zur Förderung von KI-Innovationen initiiert, bei dem der Aufbau des Science Parks „AI Innovation of Sweden“ finanziell unterstützt wird.

### **Aktuelle Strategien durch die KTH**

Im Zusammenhang mit dem oben angeführten strategischen Programm durch das Ministerium hat man die Forschungsagenda innerhalb der KTH ständig weiterentwickelt. Die aktuellen Schwerpunkte des Forschungsgebiets „ICT – Next Generation“ sind: i) Learn (hier sind auch die Themen KI und Machine Learning angeführt), ii) Trust (umfasst die Themen Security und Privacy) sowie iii) Connectivity (umfasst unter anderem Internet of Things (IoT)). Dieser strategische Forschungsbereich ist Teil des strategischen Plans der KTH und auch vom Universitätsrat abgesegnet. Die Definition dieses Forschungsbereichs illustriert, dass KI nicht als einzelnes Thema definiert wird, sondern in einem breiteren Programm integriert ist. Dabei wird zugleich versucht, KI für unterschiedlichste Felder offen zu halten und Interdisziplinarität zu fördern. Für das strategische Forschungsthema „ICT – Next Generation“ gibt es entsprechende Mittel aus dem internen Finanzierungstopf mit einer hohen Priorität, die Forschungsthemen und -anwendungen quer über verschiedene Forschungsgruppen und Fakultäten voranzutreiben. Dies ist getragen von der Philosophie, grundlagenorientierte und anwendungsorientierte Forschung zu bündeln.

Ein weiterer Schritt in diesem Zusammenhang seitens der Universität ist die Integration der beiden Schools für Computer Science und Electrical Engineering, die nunmehr als School of Electrical Engineering and Computer Science (EECS) firmiert.<sup>34</sup> Dadurch erhofft man sich Synergien zu lukrieren und neue Themen an der Schnittstelle von Informatik und Elektrotechnik zu forcieren, vorangetrieben auch durch Entwicklungen in der KI.

Die KTH hat 2018 auch einen spezifischen Masterstudienlehrgang zu Machine Learning etabliert, um den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern und der steigenden Nachfrage der Industrie nachzukommen.<sup>35</sup> Diese war damit die erste in Europa, die einen Studiengang explizit zu Machine Learning etabliert hat.

Mit Blick in die Zukunft, betont man in der KTH, dass im Zuge der hohen Dynamik und des globalen Wettbewerbs in der KI die internationalen Kollaborationen ausgebaut werden sollen. Neben existierenden Beziehungen mit US-amerikanischen Universitäten werden dabei zukünftig auch zunehmend Kooperationen mit Universitäten in China oder Südkorea ausgebaut. Der Austausch von StudentInnen, PhD und dgl. erlaubt es, längerfristige stabile Netzwerke aufzubauen. Die KTH ist überdies Gründungsmitglied des Nordic Five Tech Artificial Intelligence Network, das im Frühjahr 2019 gegründet wurde.

### **Resümee**

Die gute finanzielle Ressourcenausstattung durch die diversen öffentlichen Programme, Forschungsförderungsfonds und Stiftungen und die Möglichkeit, grundlagenorientierte Forschung in den technischen Disziplinen zu fördern, wird als wichtige Erfolgsstrategie der KTH gesehen. Auch internationale Benchmarks bestätigten dabei immer wieder, die guten Bedingungen für grundlagenorientierte Forschung in den technischen Wissenschaften im internationalen Vergleich.<sup>36</sup>

34 Siehe <https://www.kth.se/en/forskning/omraden/elektroteknik-och-datavetenskap-1.787823>

35 Vgl. <https://www.kth.se/en/studies/master/machinelearning/description-1.48533>

36 Vgl. [https://www.vr.se/download/18.5639980c162791bbfe69788d/1555334890011/Swedish-Research-Barometer\\_VR\\_2017.pdf](https://www.vr.se/download/18.5639980c162791bbfe69788d/1555334890011/Swedish-Research-Barometer_VR_2017.pdf)

ForscherInnen der KTH konnten durch ihre gute Reputation und internationale Vernetzung im Bereich der Informatik, Elektrotechnik und Roboterforschung früh das Thema der KI adressieren und in ihre Forschungsagenden integrieren, auch wenn sie im Kern nicht immer KI-ForscherInnen waren bzw. sind. Die Bedeutung einer sorgfältigen Auswahl von WissenschaftlerInnen, die in der Lage sind, neue Themen aufzubauen, zeigte sich dabei vor allem im vom Ministerium finanzierten „ICT – Next Generation Programm“, mit dem es gelungen ist, den Lehrkörper zu „erneuern“ und signifikant zu wachsen.

Bei der KTH verfolgt man die Strategie, dass einzelne Institute und Forschungsgruppen möglichst die gesamte Spanne der Forschungstätigkeiten von der Grundlagenforschung bis hin zur Anwendung und des Transfers abdecken sollen.<sup>37</sup> In diesem Zusammenhang und in Hinblick auf die zunehmende Bedeutung von KI-Forschung für die Wirtschaft (Google etc.) wird betont, dass man die Führung nicht aus der Hand geben bzw. der Industrie überlassen will: das Ziel muss es bleiben, die grundlegenden Forschungsfragen zu formulieren und die Forschungsagenda wesentlich mitzubestimmen.

37 Ein interviewter Vertreter der KTH drückt dies so aus: „We make sure that we make room for basic visionary long term research where you do not know for years whether it is useful or not, in the area of AI that could be mathematics for AI, and so on, and at the same time to work with our colleagues which are in more applied areas.“

## 8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Künstliche Intelligenz (KI) hat sich in den vergangenen fünf Dekaden zu einem zentralen Themenkomplex entwickelt und ist heute ein Treiber der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung. Bereits in den 1940er Jahren wurde die Theorie der „Künstlichen Neuronalen Netze“ entwickelt und in den 1950er Jahren schließlich der Begriff der Künstlichen Intelligenz geprägt.

KI-Forschung hat jüngst eine breite Aufmerksamkeit in der Scientific Community, der Wirtschaft, der Gesellschaft, den Medien und der Politik erfahren. Intelligente Algorithmen, große Datenmengen und multinationale IT-Konzerne treiben diese Entwicklung voran, verbunden mit großen Hoffnungen und Versprechungen, gesellschaftliche Herausforderungen zu lösen und die Lebensqualität zu verbessern, aber auch der Angst vor der Abhängigkeit des Menschen von technischen Systemen oder dominanten Unternehmen.

KI ist zu einem gesellschaftlichen Thema geworden, prägt öffentliche Debatten und wurde in den letzten Jahren auch von der Forschungspolitik global aufgegriffen. In Europa haben die Kommission und viele Mitgliedsstaaten begonnen, spezifische KI-Strategien zu entwickeln. In Österreich arbeitet die Bundesregierung ebenfalls an der Entwicklung einer entsprechenden Strategie. Darüber hinaus gibt es ExpertInnengruppen, Interessensvereinigungen und Netzwerke, die das Thema vorantreiben und unterschiedlichste Fragestellungen adressieren.

Die wesentlichen Forschungsarbeiten in der KI wurden bislang (noch) von den Universitäten durchgeführt und publiziert. Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung und Lehre der Universitäten ist wesentliche Triebkraft für die weitere Entwicklung in der KI und auch ausschlaggebend dafür, ob eine Nation die Entwicklung mitgestalten und das wirtschaftliche Potential heben kann.

Vor diesem Hintergrund wurden in dieser Studie statistische und bibliometrische Analysen sowie Interviews durchgeführt, um die Entwicklungen im Bereich der KI-Forschung in Österreich aufzuzeigen und international zu verorten. Damit können erstmals systematische Befunde zur Ausgangslage, Entwicklung und des Potentials Österreichs in der KI-Forschung mit einem Fokus auf österreichische Universitäten präsentiert werden.

Betrachtet man die zeitliche Entwicklung der Anzahl von Artikeln im Web of Science, so sind in den letzten zehn Jahren die größten Wachstumsraten mit den Begriffen Neuronale Netzwerke, Machine Learning und Computer Vision verknüpft. Misst man die weltweite Beteiligung an der KI-Forschung an WoS-Publikationen, so hat Europa noch den höchsten Anteil, allerdings besteht ein starker Zuwachs in China und den USA, welche mittlerweile bei der Anzahl der Publikationen von China überholt wurden. Auch die Bedeutung von Indien nimmt derzeit rasch zu.

Die Analyse und der geografische Vergleich der inhaltlichen Spezialisierungen haben gezeigt, dass China und USA stärkere Spezialisierungen aufweisen als Europa. Diese Länder setzen verstärkt auf zukunftsorientierte Themen der zweiten und dritten Welle der KI-Forschung. Europa hingegen zeigt keine ausgeprägte Spezialisierung mit Ausnahme einiger Länder: Die Niederlande, Schweden und Deutschland zeigen deutliche Spezialisierungen in den Themen Autonomous Systems, Decision Networks und Distributed AI (zweite und dritte Welle), gemessen an Publikationen und EU-Projekten. Österreich weist hingegen keine ausgeprägte Spezialisierung im internationalen Vergleich auf. Stärken liegen eher in den Themen Expert Systems, Robotics, Machine Learning und Autonomous Systems, allesamt stärker anwendungsorientierten Forschungsfelder. Österreichische Universitäten betreiben allerdings auch relevante Forschung in den derzeit stark wachsenden Feldern Neural Networks, Machine Learning und Computer Vision.

Die Analyse der von den Universitäten angebotenen Lehrveranstaltungen mit KI-Bezug illustriert, dass diese zum Großteil der Spezialisierung der Forschung entsprechen bzw. KI-Themen breit adressieren.

Was die Kooperationen betrifft, so verfügen österreichische Universitäten über ein Netzwerk an nationalen, europäischen und teilweise internationalen Forschungspartnern. Dabei verfügen sie über eine substantielle Anzahl von Co-Publikationen/-Projekten mit hochrangigen europäischen Akteuren (wie z.B. ETH Zürich, TU München, University College London, Fraunhofer Gesellschaft etc.), die einen hohen Anteil ihrer wichtigsten Kooperationspartner darstellen.

Vor dem Hintergrund dieser Befunde stellt sich die weiterführende Frage, welche Strategien für den Ausbau der KI-Forschung an österreichische Universitäten eingeschlagen werden können. Der Vergleich mit führenden europäischen Universitäten im Bereich der KI sollte hier Hinweise geben, welche Strategien ausgewählte Universitäten in der Vergangenheit verfolgten und welchen Beitrag spezifische öffentliche Förderungen für die Profilbildung geleistet haben. Die Frage lautet entsprechend, welche Bedeutung universitäre, regionale, nationale und europäische Programme und Maßnahmen gespielt haben, um eine führende Position einzunehmen.

Der Vergleich mit führenden Universitäten in Deutschland (TU München), den Niederlanden (TU Delft) und Schweden (KTH) zeigt dabei zusammenfassend:

- Alle drei untersuchten Universitäten hatten in ihren Ländern schon früh auf dem Gebiet der Informatik und der Elektrotechnik eine führende Rolle eingenommen, allen voran die TU München, die den Begriff der Informatik im deutschsprachigen Raum mitgeprägt hat. Dadurch konnten die Universitäten bereits relativ früh zumindest in Teilbereichen der KI, z.B. Robotics oder Autonomous Systems, Fuß fassen und sich international positionieren. Breit definierte Forschungsschwerpunkte zu KI existierten bis vor Kurzem jedoch weder an der TU München noch an der TU Delft oder KTH. Innerhalb der Universitäten ist dies erst in den letzten drei bis fünf Jahren gelungen, in denen KI-ForscherInnen auch durch die zunehmende Popularität des Themas in der Öffentlichkeit Rückenwind bekommen haben.
- Insgesamt war der Erfolg auf dem Gebiet der KI nicht das Ergebnis von spezifischen thematischen öffentlichen Forschungsprogrammen, die etwa in den 1980er Jahren, 1990er Jahren oder 2000er Jahren initiiert worden wären. Eine der wenigen Ausnahmen bilden das in Deutschland gegründete Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) oder das Kompetenzzentrum für wissensbasierte Systeme, die das Thema insgesamt befördert haben, jedoch keine spezifische Bedeutung für die Profilbildung oder Positionierung der TU München hatten.
- Sehr wohl wurden KI-Themen in Forschungsprojekten und -programmen integriert und damit etwa im Zuge allgemeiner Förderungen von IKT oder industriellen Robotern durchgeführt. Die klassischen Wissenschaftsfonds (DFG in Deutschland, NWO in den Niederlanden und SRC in Schweden) haben dabei im Rahmen von klassischen Bottom-up formulierten Anträgen Projekte gefördert.
- Eine explizite Unterstützung von Seiten der Politik für KI hat in allen drei Ländern erst vor rund drei bis fünf Jahren eingesetzt. Insgesamt gehen dabei die Impulse von den jeweiligen Regierungen bzw. den zuständigen Ministerien aus, die forschungspolitisch agieren und neue Themen setzen. In dieser kurzen Zeit ist es in allen drei Ländern bereits gelungen, erste Maßnahmen tatsächlich umzusetzen und Förderungen zuzuweisen.
- Von allen drei Universitäten wird betont, dass die starke Grundlagenorientierung in der Forschung ein wichtiger Erfolgsfaktor war. Schweden gilt dabei nach eigenen Angaben als einzigartig, was die Möglichkeiten betrifft, auch in den technischen Wissenschaften für grundlagenorientierte Projekte Drittmittel einzuwerben.
- Alle Forschungsgruppen und Institute der hier untersuchten Universitäten, die sich mit KI beschäftigen, haben Förderungen von Seiten der Europäischen Kommission akquiriert und traditionell eine starke Position bei der Einwerbung von EU-Mitteln (Bsp. Rahmenprogramme, ERC

Grants). Die Akquisition von Förderungen im Rahmen von Europäischen Forschungsprogrammen und Fonds war ein wichtiges Element im gesamten Forschungsportfolio der einzelnen Forschungsgruppen, wird aber von keiner der untersuchten Universitäten als richtungsweisend oder entscheidend für den Erfolg in der KI gesehen.

- Die Analyse der drei Universitäten zeigt die hohe globale Vernetzung und die Internationalität der WissenschaftlerInnen. Die KTH nennt dabei als wichtigen Erfolgsfaktor ein großes Förderungsprojekt, aus dessen Mitteln mehrere Professuren besetzt werden konnten. Die Auswahl dieser Personen und ihres Potentials (academic leadership), ein neues Thema aufzubauen, wurde hier als essentiell betrachtet. Dabei betont man zugleich, dass Felder und Forschungsfragen, auch in Bezug auf KI-Forschung, nicht zu eng definiert werden sollten.
- Als große zukünftige Herausforderung wird von allen untersuchten Universitäten der zunehmende Wettbewerb mit den globalen IT-Unternehmen (Google, Amazon, IBM etc.) gesehen, die sehr große Summen in KI investieren und dabei selbst teilweise grundlagenorientierte Forschung betreiben. Die globalen IT Unternehmen besitzen dabei nicht nur Daten und Algorithmen, sie können durch ihre hohen Gehälter auch viele junge ForscherInnen anziehen. Des Weiteren sind China und andere asiatische Länder wichtige Player.
- Die Antwort auf diese veränderte globale Landschaft wird darin gesehen, Kooperationen aufzubauen, sowohl mit Unternehmen als auch mit Universitäten im fernen Osten. Der Austausch von Studierenden, ForscherInnen und DissertantInnen erlaubt es, nachhaltig Beziehungen zu etablieren. Des Weiteren werden zunehmend spezifische Ausbildungsprogramme von den Universitäten zu KI konzipiert und umgesetzt.
- Die hier vorgestellten europäischen Spitzenuniversitäten auf dem Thema der KI betonten unisono, dass es vor dem Hintergrund des veränderten Umfelds (Rolle von IT Unternehmen, Rolle von China etc.) zunehmend schwierig wird, im Bereich der Grundlagenforschung mitzuhalten. Die befragten ForscherInnen der Universitäten heben hervor, dass Zukunftspotentiale vor allem in der Anwendung, in spezifischen Nischen und der interdisziplinären Forschung (Bsp. Medizin, Roboter) liegen.

Was sind mögliche Handlungsfelder für Österreich im Kontext dieser Befunde?

- Die Dynamik der Entwicklungen auf dem Gebiet der KI sind enorm. Die hier analysierten Universitäten konnten sich früh in spezifischen Feldern der KI-Forschung etablieren. Dies war, wie illustriert wurde, nicht das Ergebnis einer nationalen Strategie oder eines spezifischen Förderungsprogramms. Die Universitäten haben aber vor bereits rund drei bis fünf Jahren begonnen, das Thema KI universitätsintern voranzutreiben und zu fördern und auch tatsächlich Maßnahmen umgesetzt. Diese zwei bis drei Jahre mögen in diesem hoch-dynamischen Umfeld jedoch bereits einen entscheidenden Vorteil darstellen.
- Besonders deutlich wird das schnelle Agieren auch auf Seiten der nationalen Politik: Alle hier untersuchten Länder haben bereits im Vorjahr eine nationale KI-Strategie etabliert und erste Maßnahmen zur Unterstützung der Forschung an Universitäten umgesetzt bzw. gefördert. In Öster-

reich ist bislang weder eine Strategie publiziert noch sind bis dato größere Maßnahmen zur Förderung von KI initiiert worden.<sup>38</sup> Vor diesem Hintergrund ist in Österreich rasches Handeln gefordert.

- Die Förderung von Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Forschung in den technischen Wissenschaften sind gleichermaßen wichtig für den Erfolg in der KI. Österreich hat hier traditionell Schwächen, was grundlagenorientierte Forschung in den Ingenieurwissenschaften betrifft.<sup>39</sup> Sämtliche Maßnahmen zum Ausbau der Grundlagenforschung in den relevanten Feldern der KI sind entsprechend zu begrüßen. Die Umsetzung einer Exzellenzinitiative, die für KI-Forschung offen ist, die Unterstützung bei der Etablierung eines SFBs (Sonderforschungsbereichs) und die Finanzierung von zusätzlichen Professuren (wie z.B. Stiftungsprofessuren) können hier angeführt werden. Zusätzlicher Finanzierungsbedarf ergibt sich in diesem Zusammenhang auch in Bezug auf die Finanzierung von Infrastrukturen (Rechenkapazitäten, Zugang und Hosting von Datensätzen, Cloud-Lösungen etc.).
- Vor dem Hintergrund des veränderten Umfelds (Rolle von IT Unternehmen, Rolle von China etc.) wird es für Universitäten zunehmend schwierig, im Bereich der KI-Grundlagenforschung mitzuhalten. Obwohl Österreich keine expliziten Spezialisierungen in den KI-Forschungsthemen aufweist, liegen Stärken eher in anwendungsorientierten Bereichen. Dies könnte ein großes Potential für die Zukunft darstellen, da die universitäre KI-Forschung sich vermutlich künftig eher in Richtung spezifische Anwendungen und Nischen sowie in Richtung interdisziplinäre Forschung verlagern wird (Bsp. Medizin, Roboter). Auch im Hinblick auf die Spezialisierungsmuster zeigt sich, dass erfolgreiche Vergleichsländer stärkere Fokussierungen aufweisen, insbesondere in den Zukunftsthemen.
- In der (interdisziplinären) Erforschung von neuen Anwendungen, etwa im Bereich Robotik oder Medizin, gibt es Potential für die österreichischen Universitäten. Des Weiteren gibt es noch viele Nischen, die an den Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Disziplinen liegen, die besetzt werden können. Die Universitäten sollten in diesem Zusammenhang gestärkt werden, im Rahmen von internen Strategiebildungsprozessen und der Definition von Forschungsschwerpunkten (bspw. im Rahmen von Leistungsvereinbarungen), KI-relevante Themen zu integrieren. Forschungsschwerpunkte im Bereich von Industrie 4.0, der Medizin oder des Verkehrs bieten hier etwa Potential. Zusätzlich sollte die Zusammenarbeit zwischen den unterschiedlichen Universitäten und Forschungseinrichtungen gestärkt und Kompetenzen gebündelt werden, um kritische Massen zu schaffen.
- Österreichische Universitäten sollten dabei unterstützt werden, internationale Kooperationen zu intensivieren. Angeführt werden können hier Initiativen wie ELLIS und CLAIRE, zwei europäischen Initiativen zur Bündelung der Forschungsaktivitäten auf europäischer Ebene.<sup>40</sup> Ferner sind auch Kollaborationen mit starken aufstrebenden Playern außerhalb Europas (Bsp. China) anzustreben.

38 Im Kontext der Erarbeitung der KI Strategie wurden publiziert: Österreichischer Roboterrat (2018): Die Zukunft Österreichs mit Robotik und Künstlicher Intelligenz positiv gestalten, White Paper des Österreichischen Rats für Robotik und Künstliche Intelligenz, Wien, November 2018; Wiesmüller M., Hegny, I., Triska, M. et al. (2018). Artificial Intelligence Mission Austria 2030 - Die Zukunft der Künstlichen Intelligenz in Österreich gestalten, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, Wien; Schaper-Rinkel, P., Dachs, B., Wasserbacher, D. (2019): Künstliche Intelligenz: Potentiale und Herausforderungen in Bezug auf Förderinitiativen, AIT, Jänner 2019; Prem, E., Ruhland, S. (2019): Artificial Intelligence Potenzial. Österreich: Zahlen, Daten, Fakten. Eine Annäherung auf Basis wirtschaftsstatistischer Analysen, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Mai 2019.

39 Vgl. Leitner, K-H., Dachs, B., Degelsegger, A. et al. (2015): Stärkefelder im Innovationssystem: Wissenschaftliche Profilbildung und wirtschaftliche Synergien, Auftragsprojekt für das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien.

40 Vgl. <https://ellis.eu/> und <https://claire-ai.org/>

- Die Nachfrage nach KI-ForscherInnen und -ExpertInnen ist auch in Österreich steigend. Wie in anderen Ländern sollten verstärkt spezifische Ausbildungsprogramme von Seiten der Universitäten angeboten werden.<sup>41</sup> Fragen der KI-Forschung sollten aber auch in den Curricula der angrenzenden Disziplinen entsprechend adressiert werden und auch gesellschaftliche und ethische Aspekte abdecken.

<sup>41</sup> Angeführt werden kann, dass die Johannes Kepler Universität Linz ab dem Wintersemester 2019 das neue Bachelorstudium Artificial Intelligence anbieten wird.

## 9 Referenzen

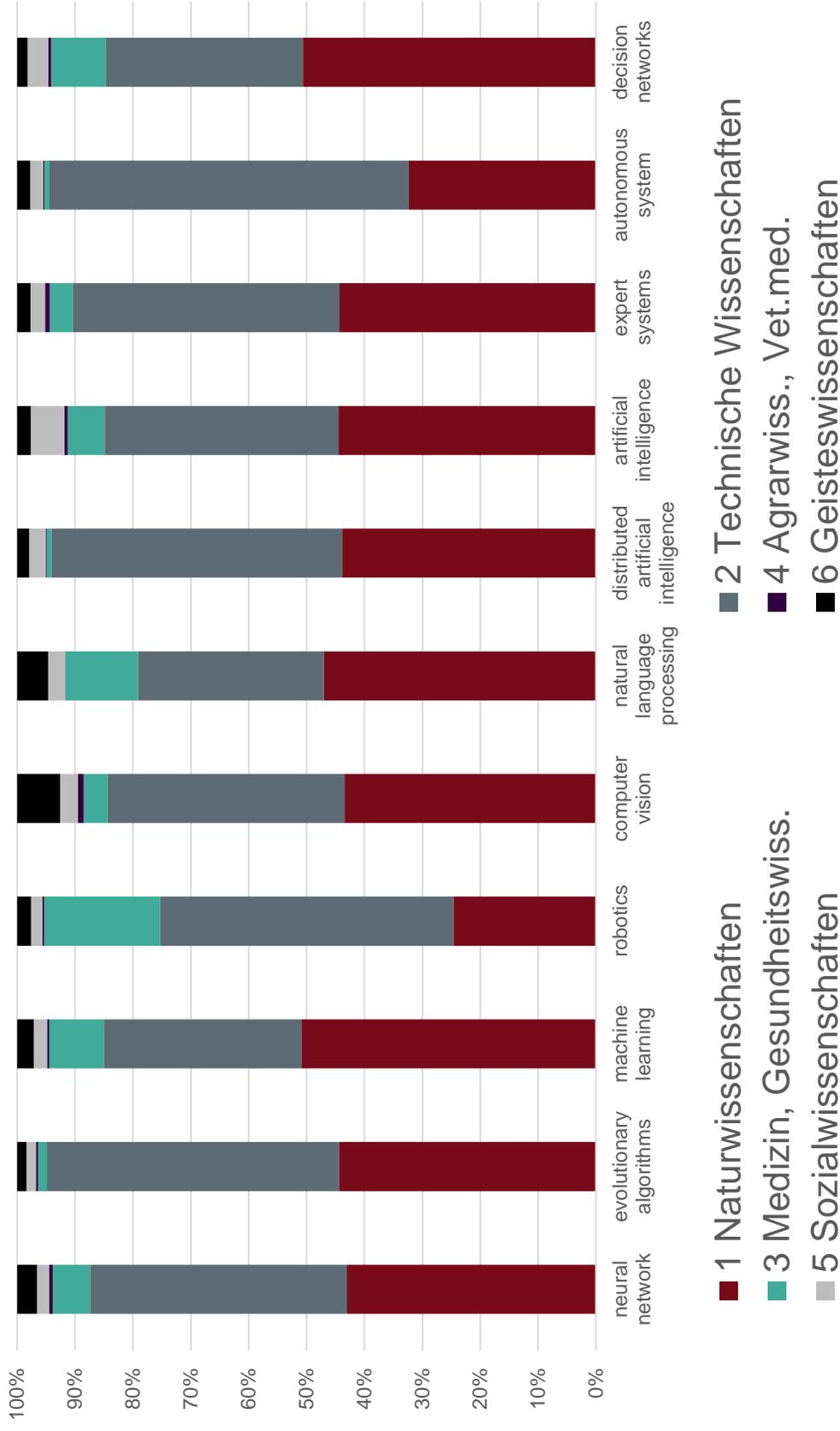
- Androsch H. et al. (Hg., 2018) *Technologie im Gespräch - Künstliche Intelligenz*. Jahrbuch zu den Alpbacher Technologiegesprächen 2018. Holzhausen. 2018
- Corea, F. (2019). AI Knowledge Map: How to Classify AI Technologies. In F. Corea (Ed.), *An Introduction to Data. Everything You Need to Know About AI, Big Data and Data Science* (pp. 25-29). Cham: Springer.
- Craglia M. (Ed.), Annoni A., Benczur P., Bertoldi P., Delipetrev P., De Prato G., Feijoo C., Fernandez Macias E., Gomez E., Iglesias M., Junklewitz H, López Cobo M., Martens B., Nascimento S., Nativi S., Polvora A., Sanchez I., Tolan S., Tuomi I., Vesnic Alujevic L. (2018): *Artificial Intelligence - A European Perspective*, EUR 29425 EN, Publications Office, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97217-1, doi:10.2760/11251, JRC113826.
- De Prato, G., Lopez Cobo, M. et al. 2018. *The AI Techno-Economic Segment Analysis. Selected Indicators*. European Commission, Joint Research Centre, Seville, Spain.
- Elsevier. (2018). *Artificial Intelligence: How knowledge is created, transferred, and used*. Amsterdam: Elsevier.
- Le Bas, C. L., & Sierra, C. (2001). *Location versus home country advantages in R&D activities: Some further results on multinationals' locational strategies*. *Research Policy*, 31(4), 589-609.
- Leitner, K-H., Dachs, B., Degelsegger, A. et al. (2015). *Stärkefelder im Innovationssystem: Wissenschaftliche Profilbildung und wirtschaftliche Synergien*, Auftragsprojekt für das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien.
- Österreichischer Rat für Robotik und Künstliche Intelligenz (2019): *Die Zukunft Österreichs mit Robotik und Künstlicher Intelligenz positiv gestalten*, White Paper des Österreichischen Rats für Robotik und Künstliche Intelligenz, Wien, November.
- Patel, P., Pavitt, K. (1987). *Is Western Europe losing the technological race?* *Research Policy*, 16(2), 59-85.
- Patel, P., Vega, M. (1999). *Patterns of internationalisation of corporate technology: Location vs. home country advantages*. *Research Policy*, 28(2), 145-155.
- Prem, E., & Ruhland, S. (2019). *Artificial Intelligence Potenzial. Österreich: Zahlen, Daten, Fakten. Eine Annäherung auf Basis wirtschaftsstatistischer Analysen*, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Mai 2019.
- Schaper-Rinkel, P., Dachs, B., Wasserbacher, D. (2019): *Künstliche Intelligenz: Potentiale und Herausforderungen in Bezug auf Förderinitiativen*, Inputpapier & Ergebnisse des Workshops (06.12.2018) im Rahmen der Smart & Digital Services Initiative und im Auftrag des Bundesministeriums für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (BMDW), AIT, Jänner 2019.
- Soete, L. (1987). *The impact of technological innovation on international trade patterns: The evidence reconsidered*. *Research Policy*, 16(2), 101-130.
- The European Commission's High Level Expert Group on Artificial Intelligence (2019): *A Definition of AI: Main Capabilities and Disciplines, Definition developed for the purpose of the AI HLEG's deliverables European Commission*, April 2019.
- Voss P. (2017): *From Narrow to General AI and from External to Internal Intelligence*. <https://medium.com/intuitionmachine/from-narrow-to-general-ai-e21b568155b9>
- Wiesmüller M., Hegny, I., Triska, M. et al. (2018). *Artificial Intelligence Mission Austria 2030 - Die Zukunft der Künstlichen Intelligenz in Österreich gestalten*, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, Wien.

# Anhang

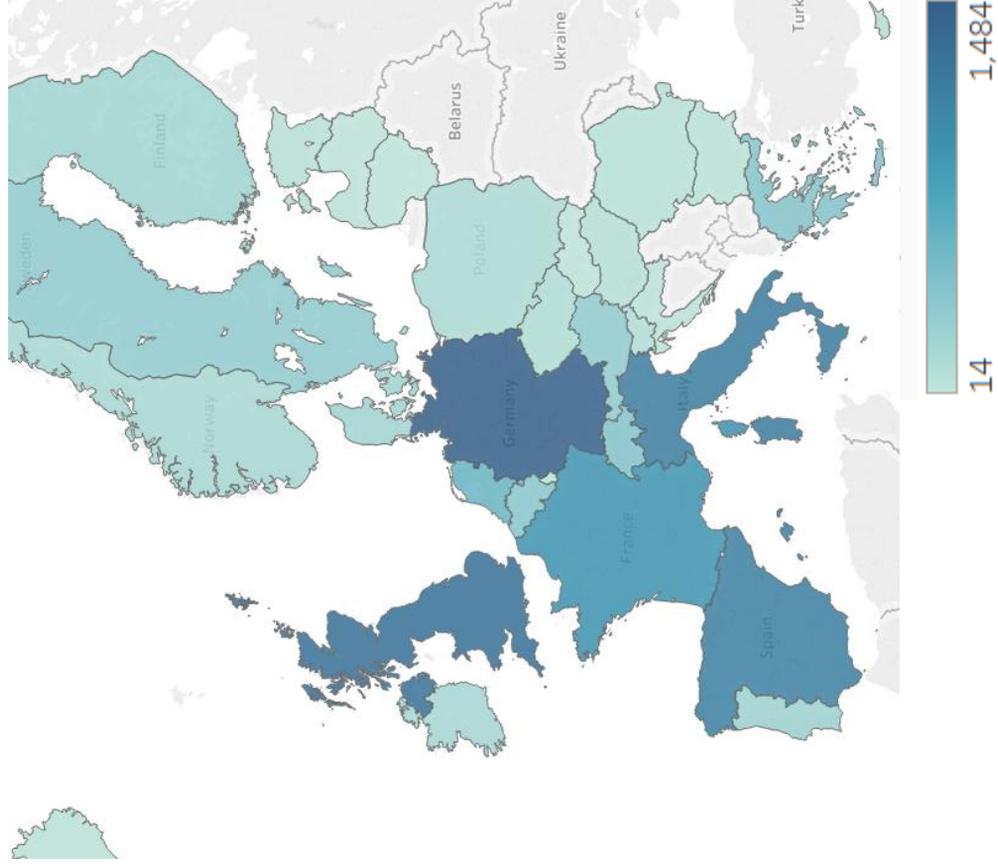
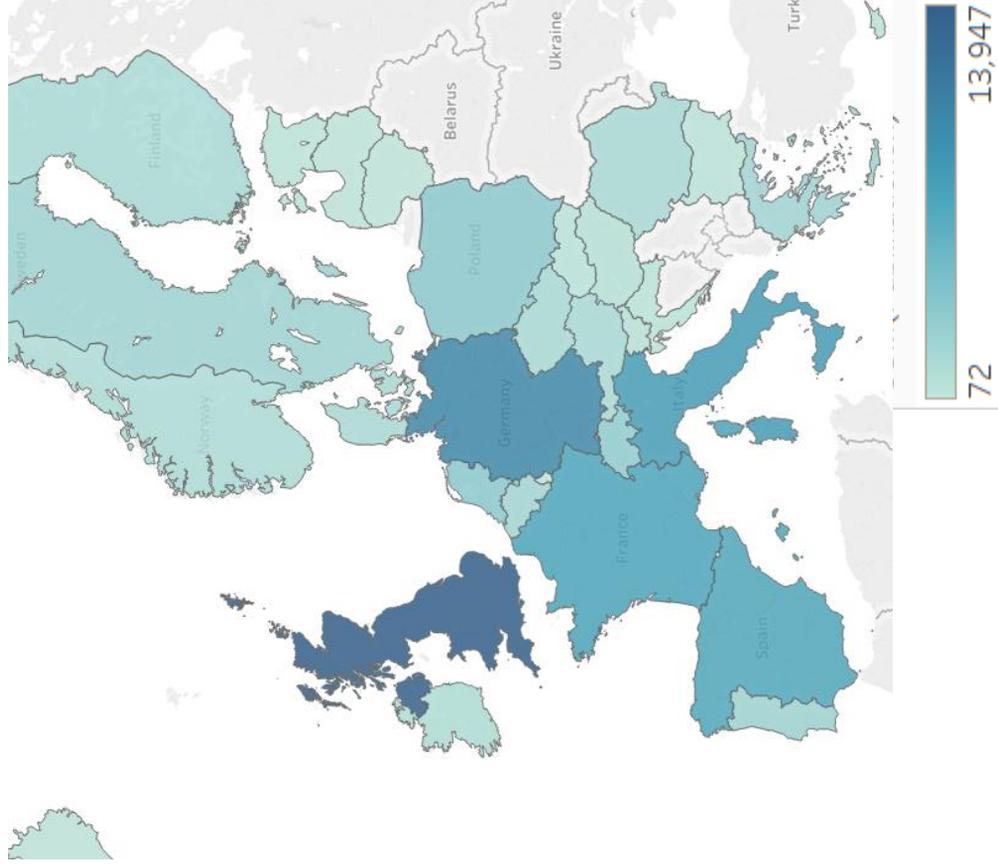
# INTERNATIONALE BETRACHTUNG



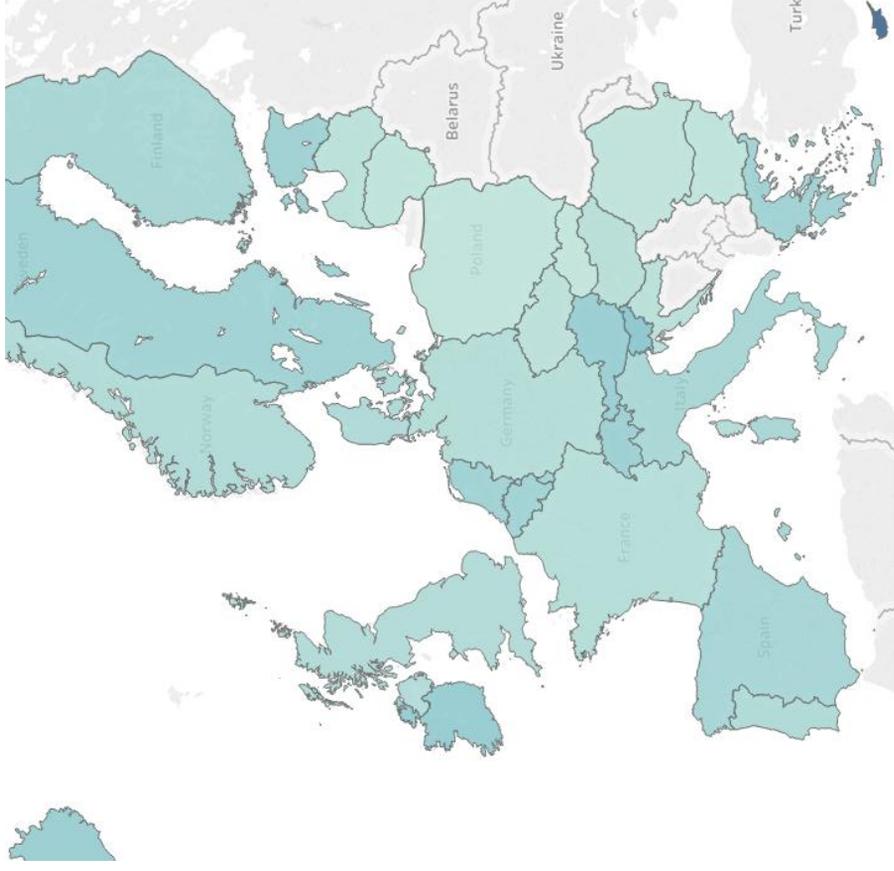
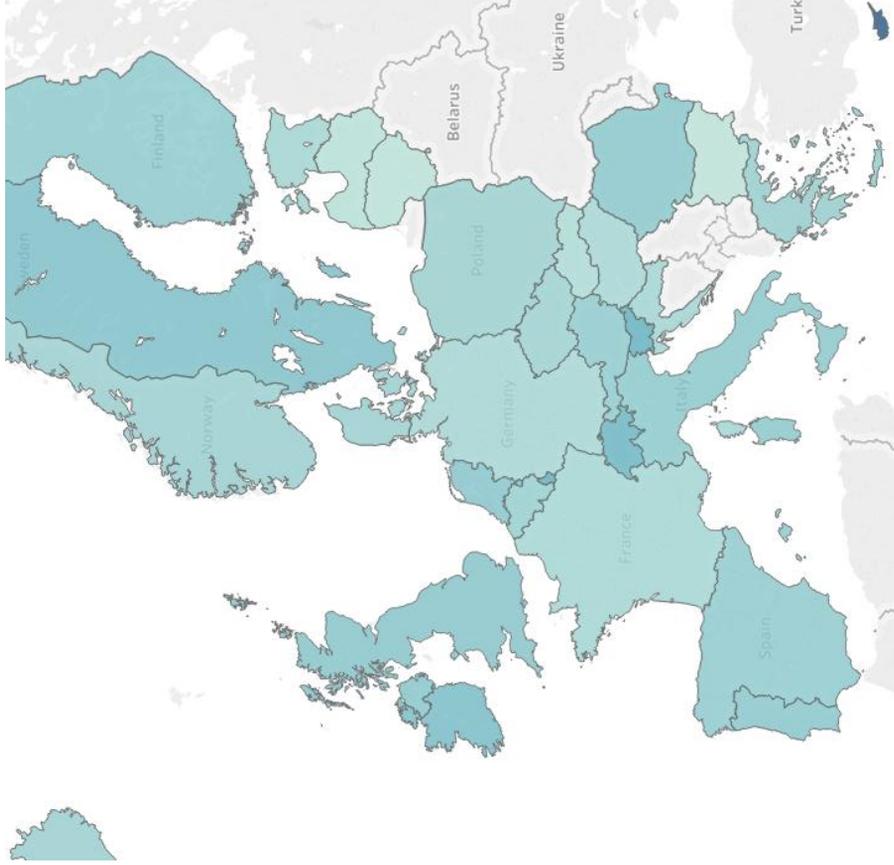
# FIELDS OF SCIENCE (FOS) IN DEN KI THEMEN



# AKTIVITÄTEN EUROP. LÄNDER IM BEREICH KI PUBLIKATIONEN (2016-18) & EU-PROJEKTE (2007-2018)

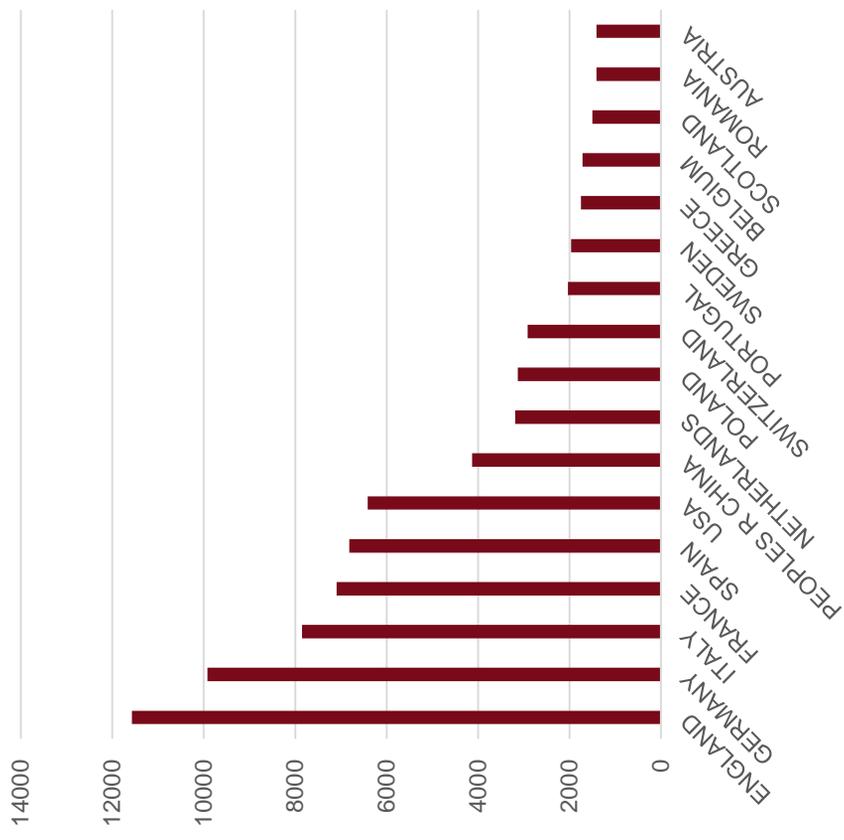


# PUBLIKATIONEN & EU-PROJEKTE GEWICHTET NACH FORSCHUNGSPERSONAL



# COUNTRY RANKING WOS PUBLIKATIONEN (2016-2018)

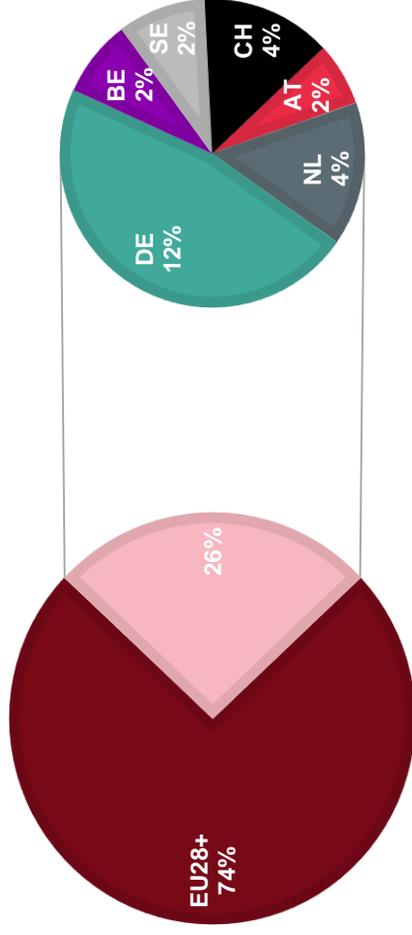
Countries	records	%
<b>UNITED KINGDOM</b>	<b>13947</b>	<b>23.249</b>
<b>GERMANY</b>	<b>9922</b>	<b>16.539</b>
ITALY	7852	13.089
FRANCE	7094	11.825
SPAIN	6815	11.360
USA	6414	10.692
PEOPLES R CHINA	4129	6.883
NETHERLANDS	3189	5.316
POLAND	3129	5.216
SWITZERLAND	2918	4.864
PORTUGAL	2034	3.391
SWEDEN	1968	3.281
GREECE	1748	2.914
BELGIUM	1716	2.860
ROMANIA	1409	2.349
<b>#16 AUSTRIA</b>	<b>1407</b>	<b>2.345</b>



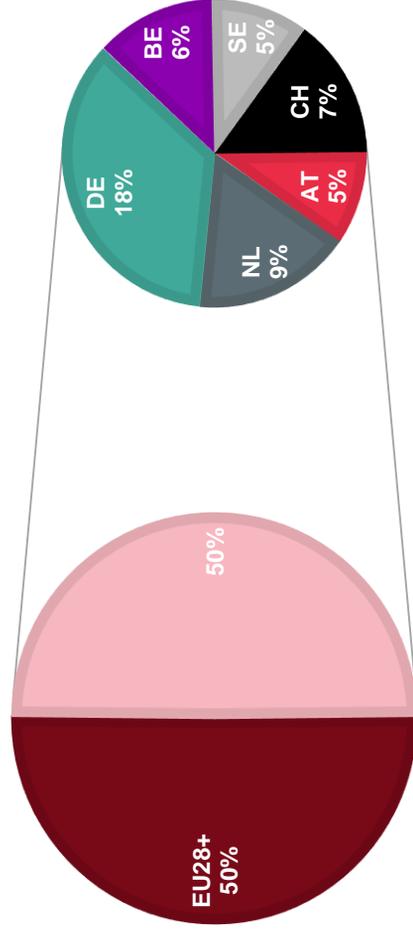
- Österreich hat in den letzten Jahren im Länderranking aufgeholt.

# ANTEIL VERGLEICHSLÄNDER AN EUROPÄISCHEN WoS PUBLIKATIONEN UND EU-PROJEKTEN (2016-2018)

## WoS PUBLIKATIONEN



- Anteil Österreichs an WoS Publikationen zu KI: 2%
- Anteil an allen europäischen WoS Publikationen im selben Zeitraum: 3%

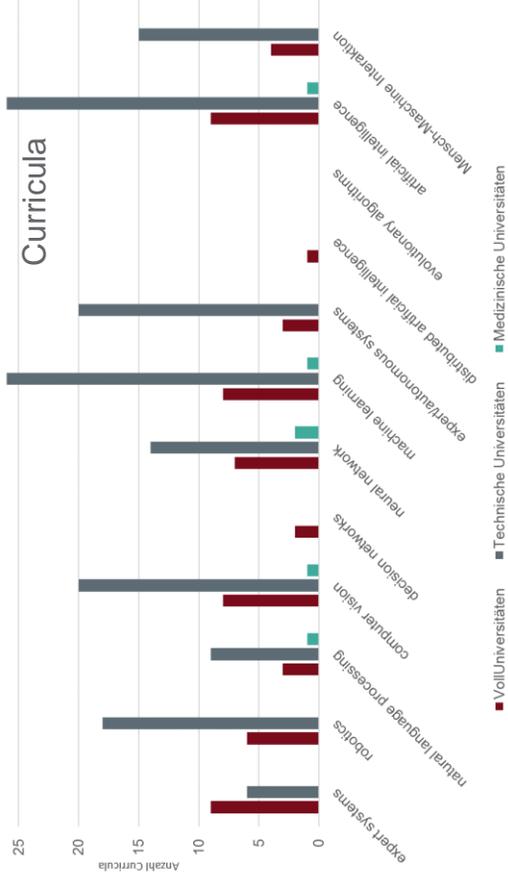
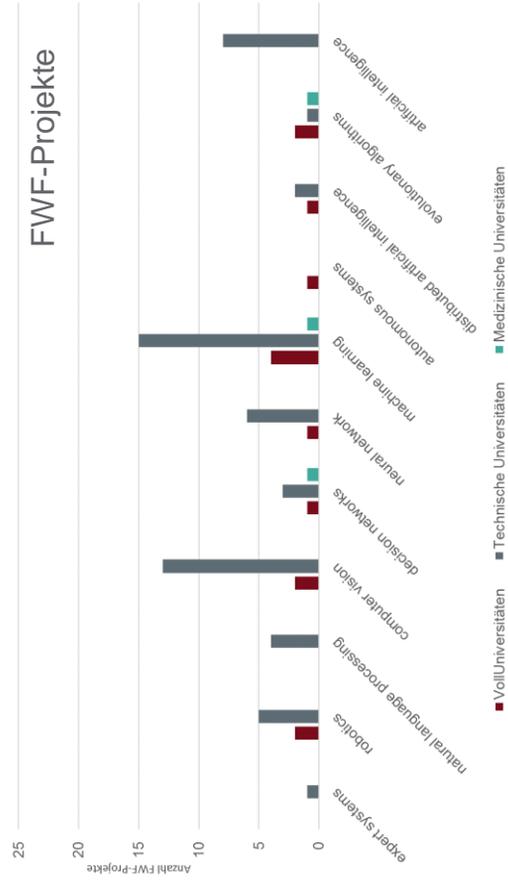
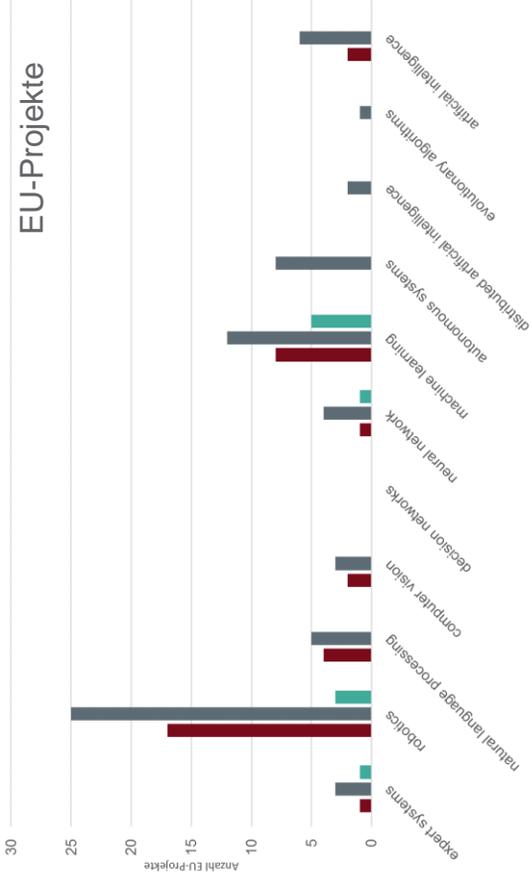
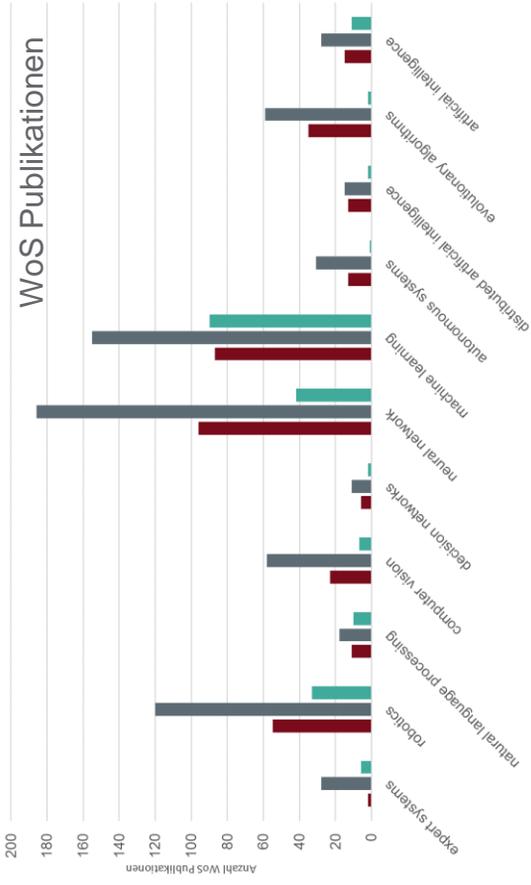


- Anteil Österreichs an EU-Projekten zu KI: 5%
- Anteil an allen EU-Projekten im selben Zeitraum: 9%
- Anteil an allen EU-Projektteilnahmen im selben Zeitraum: 3%

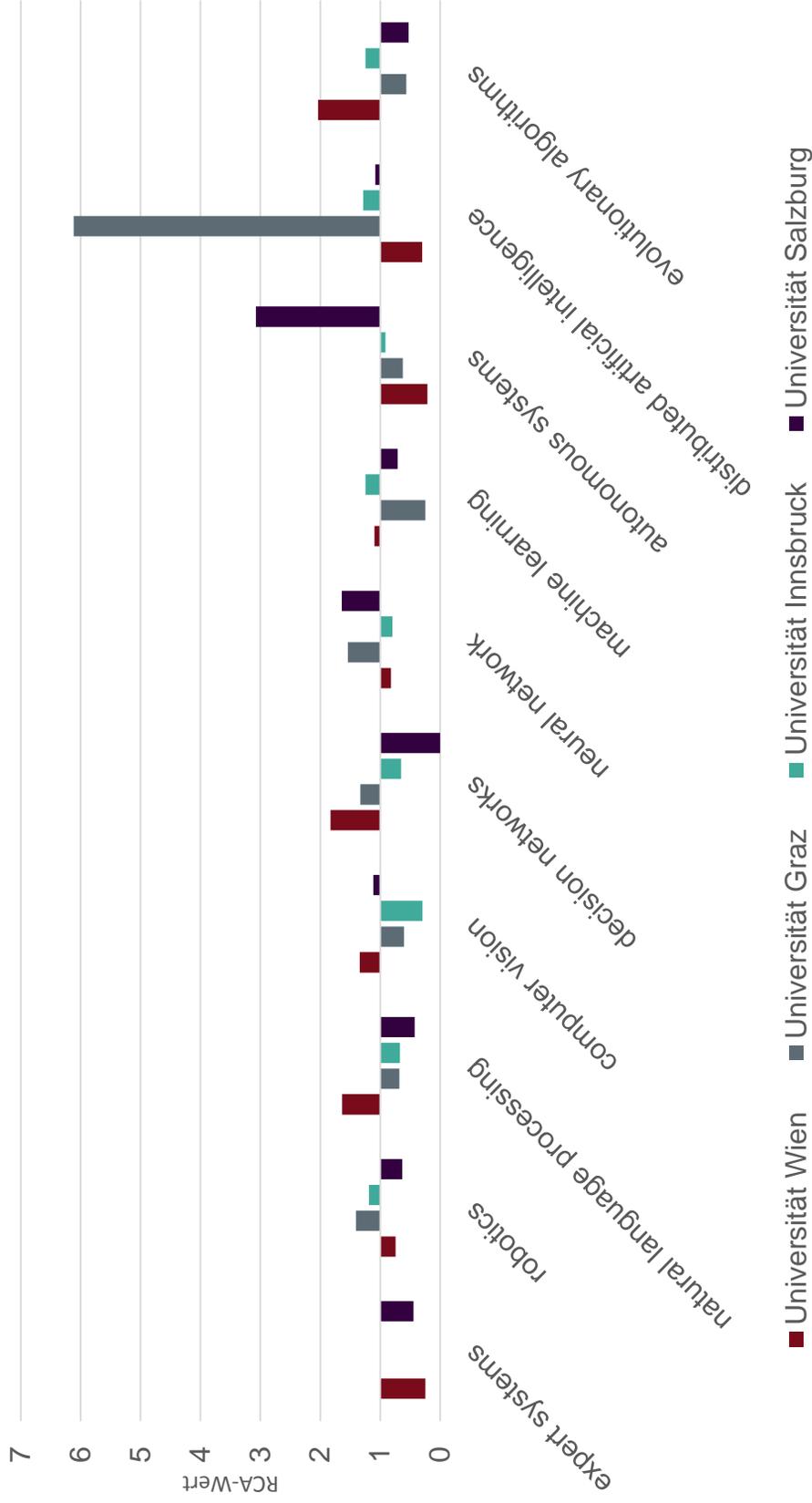
# PROFILE ÖSTERREICHISCHER UNIVERSITÄTEN



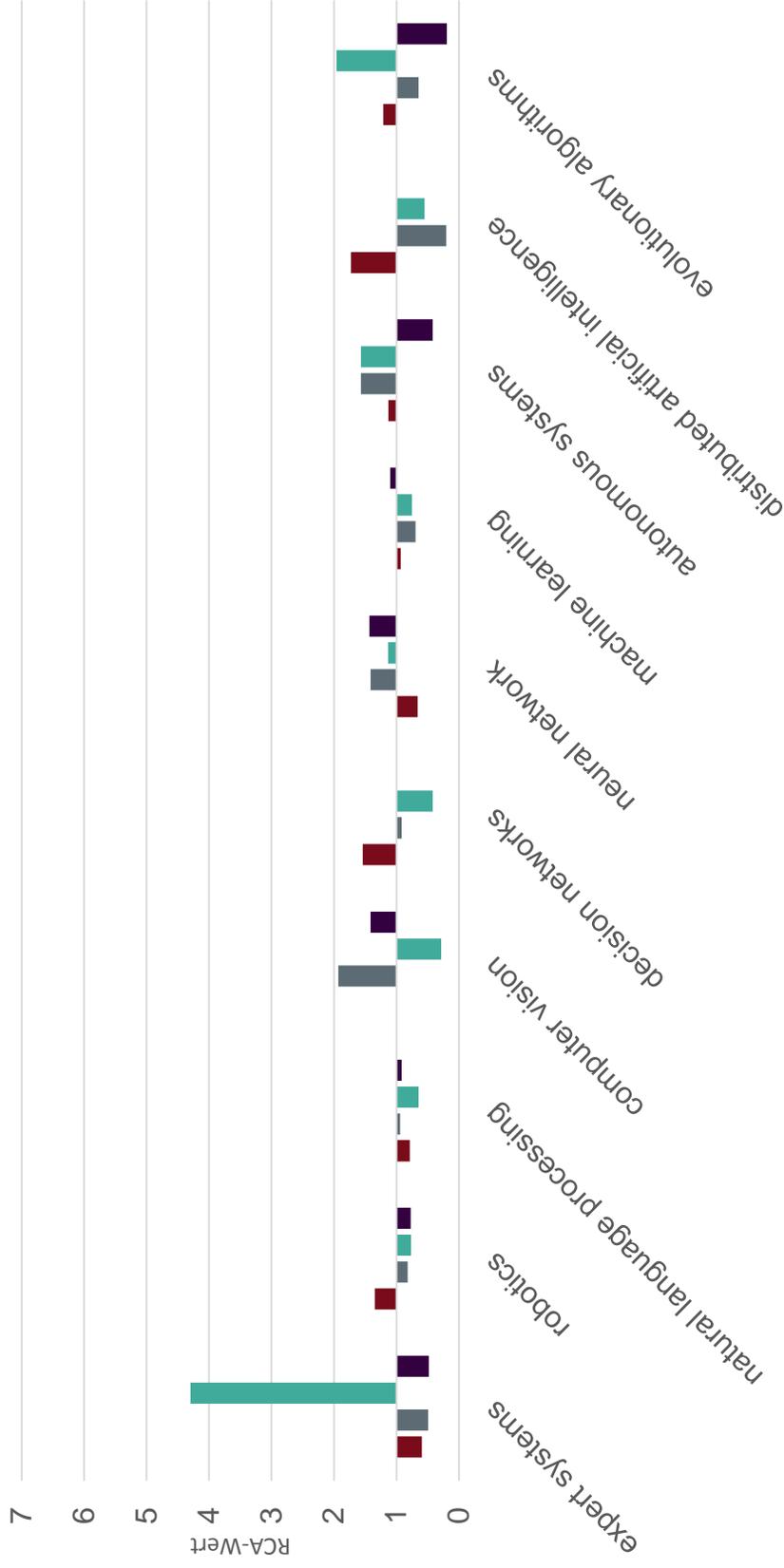
# FORSCHUNG UND LEHRE ÖSTERREICHISCHER UNIVERSITÄTEN IM THEMA KI



# SPEZIALISIERUNG VOLL-UNIVERSITÄTEN



# SPEZIALISIERUNG TECHNISCHE UNIVERSITÄTEN



■ Technische Universität Wien ■ Technische Universität Graz ■ Universität Linz ■ Universität Klagenfurt

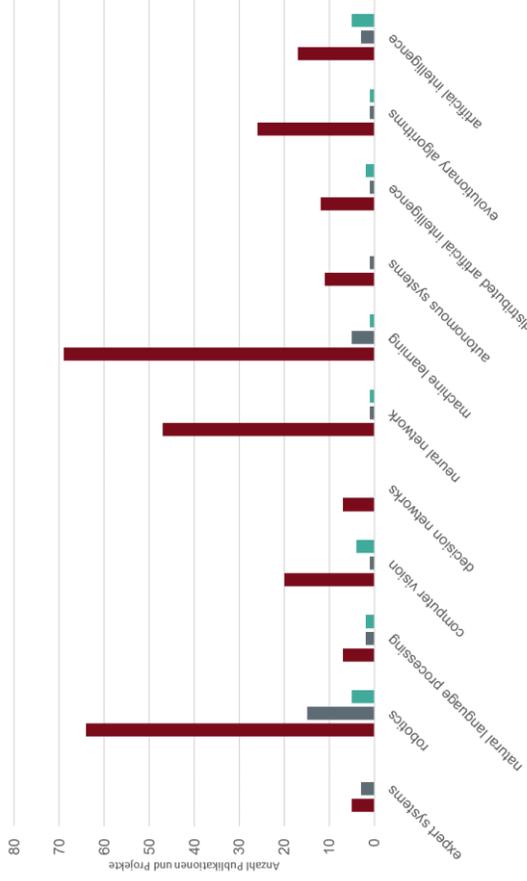
# SPEZIALISIERUNG MEDIZINISCHE UNIVERSITÄTEN



■ Medizinische Universität Wien ■ Medizinische Universität Graz ■ Medizinische Universität Innsbruck

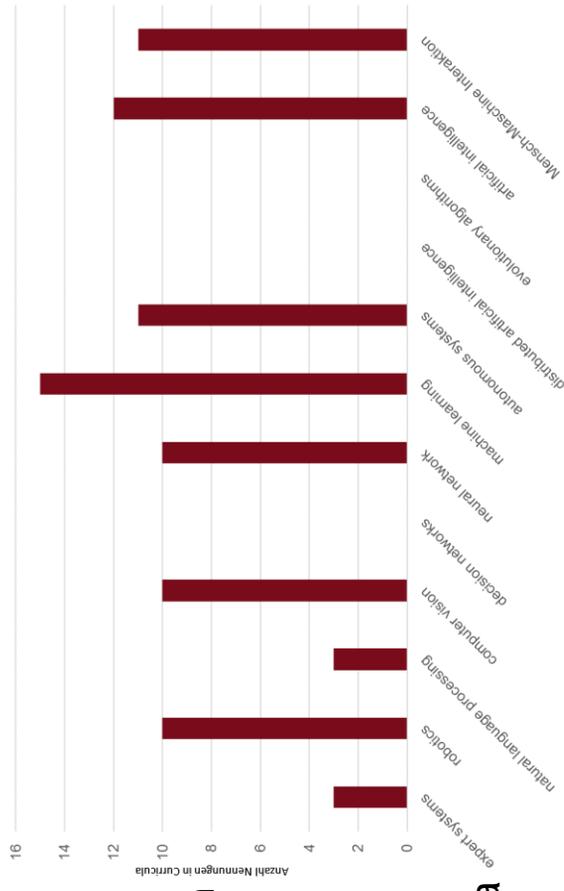
# BEISPIEL: FORSCHUNG UND LEHRE AN DER TU WIEN IM THEMA KI

## WoS Publikationen, EU- & FWF-Projekte



- Höchste Anzahl an Publikationen und EU-Projekten; hinter TU Graz bei FWF-Proj.
- Top Themen: machine learning, neural networks, robotics (EU, FWF)
- Spezialisierung: distributed AI (1,7); decision networks (1,5); robotics (1,4)

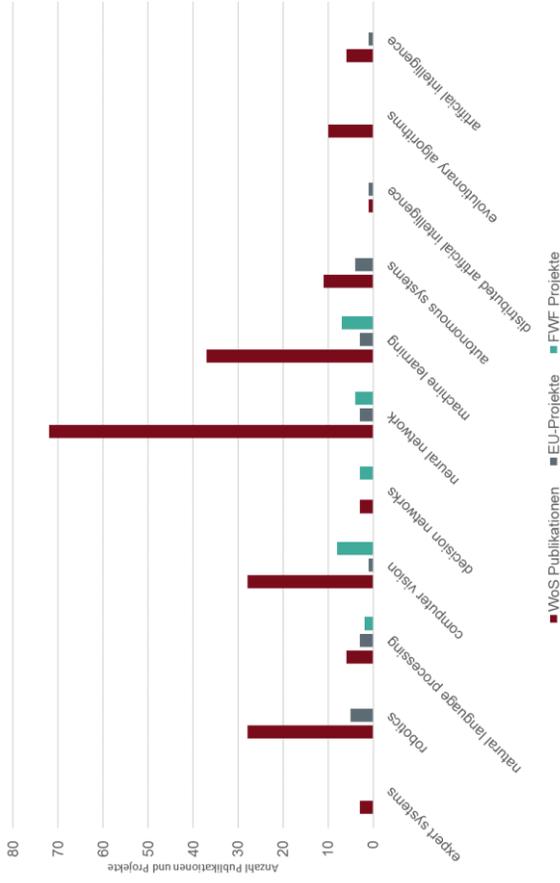
## Curricula



- Breites Spektrum an LV in insges. 26 Studien
- LV zu machine learning in den 2 BA-Studien, 12 MA-Studien und 1 PhD-Studium
- Weitere Top Themen: Mensch-Maschine Interaktion, autonomous systems
- Spezialisierung spiegelt sich nicht in Curricula

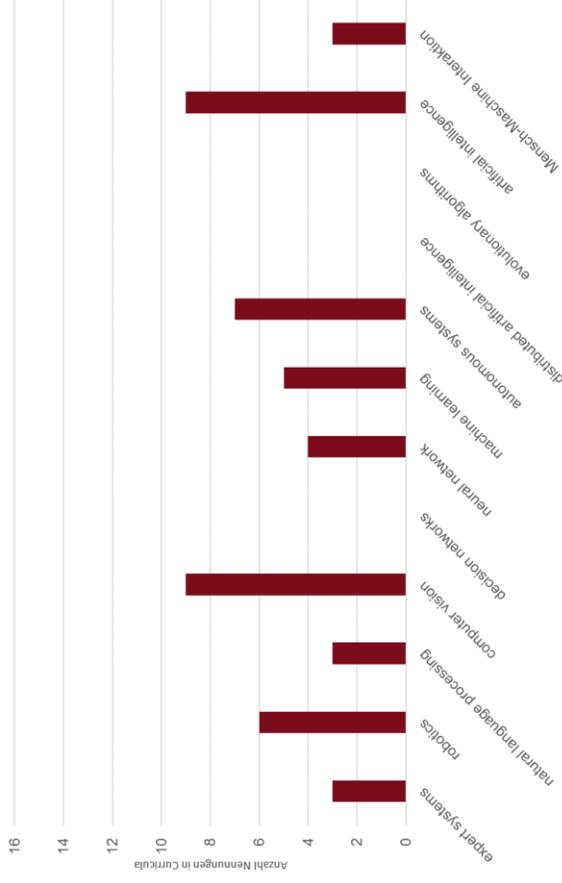
# BEISPIEL: FORSCHUNG UND LEHRE AN DER TU GRAZ IM THEMA KI

## WoS Publikationen, EU- & FWF-Projekte



- Nach TU Wien die meisten Publikationen und Projekte zum Thema
- Top Thema: neural networks (EU, FWF)
- Spezialisierung: computer vision (1,9, FWF!); autonomous systems (1,6); neural networks (1,4)

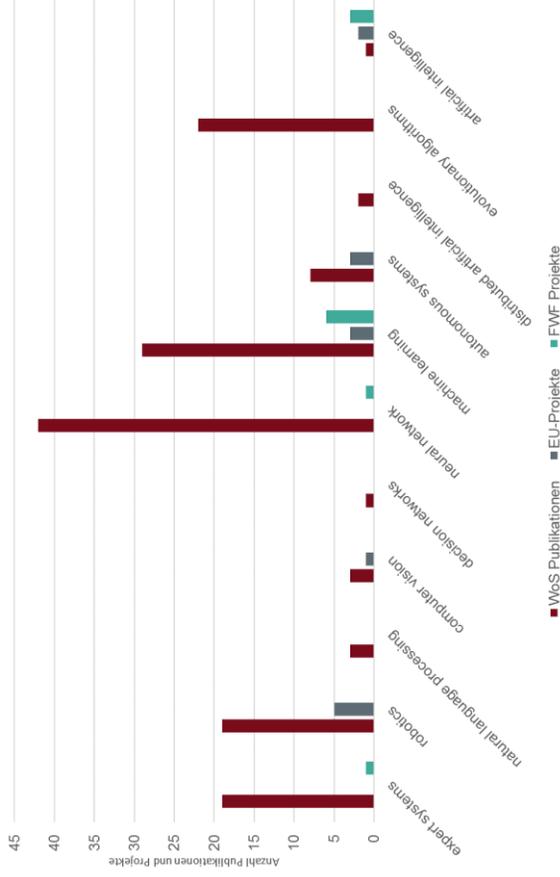
## Curricula



- Ebenfalls breites Spektrum an LV in 14 Studien
- Zentral: computer vision und autonomous systems (Spezialisierungen)
- Forschungsaktivitäten zu neural networks spiegelt sich nicht in LV Angebot

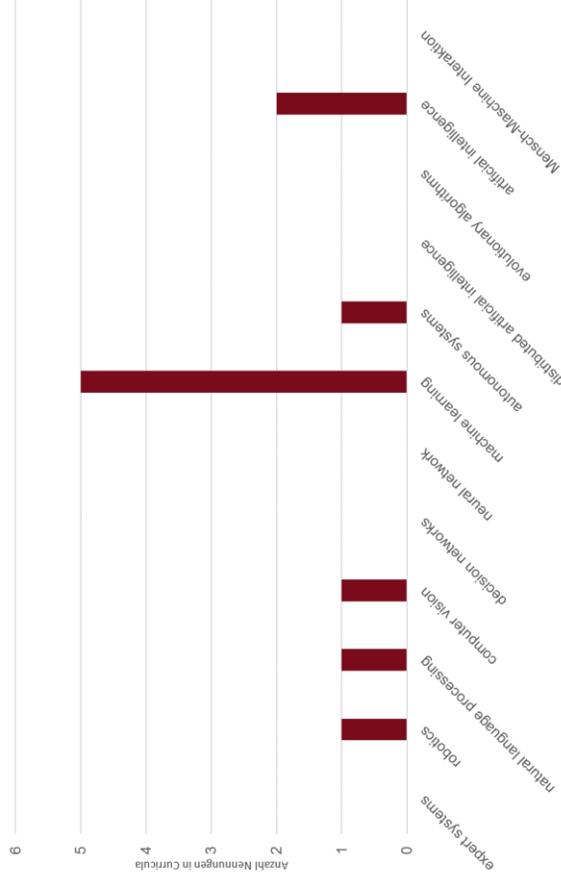
# BEISPIEL: FORSCHUNG UND LEHRE AN DER UNI LINZ IM THEMA KI

## WoS Publikationen, EU- & FWF-Projekte



- Etwa halb so viele Publ. & Proj. wie TU Wien
- Top Themen: neural networks, machine learning (EU, FWF!), evolutionary algorithms
- Spezialisierung: expert systems (4,3); evol. algorithms (2,0); autonomous systems (1,6)

## Curricula

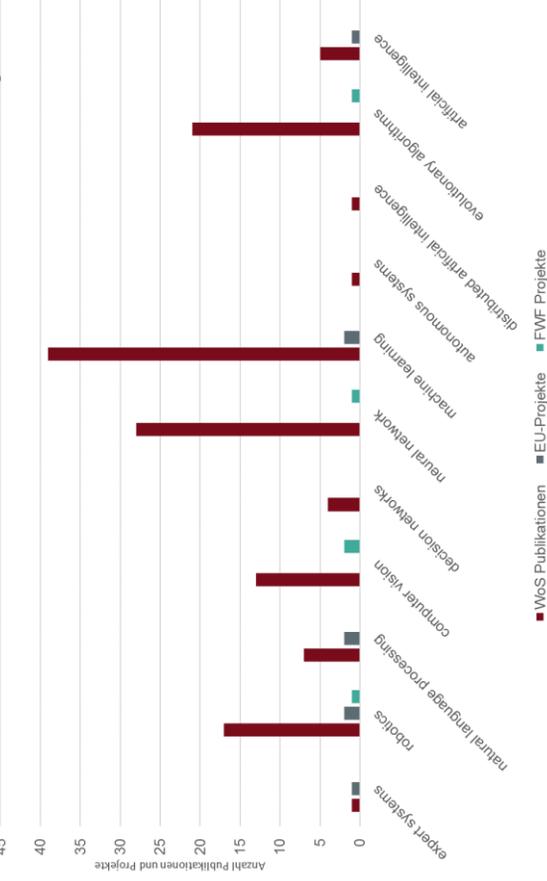


- Kleineres Spektrum an LV zum Thema KI in 8 Studien

- Zentral auch hier: machine learning
- Keine explizite Nennung der Spezialisierungsthemen
- Trotz zahlreicher Aktivitäten in Forschung und Lehre keine Spezialisierung in machine learning

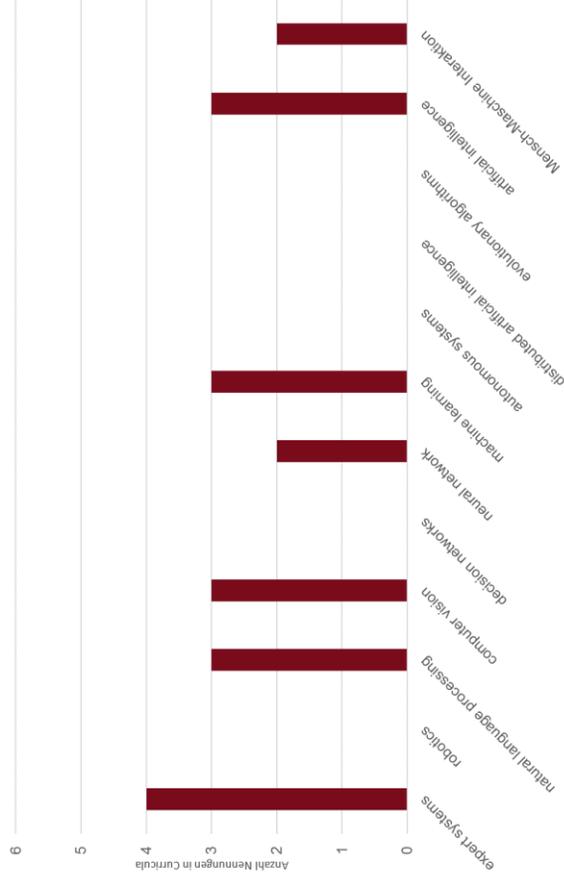
# BEISPIEL: FORSCHUNG UND LEHRE AN DER UNI WIEN IM THEMA KI

WoS Publikationen, EU- & FWF-Projekte



- Forschungsaktivitäten im Thema KI vergleichbar mit Uni Linz
- Top Themen: machine learning, neural networks
- Spezialisierung: evolut. algorithms (2,0); dec. networks (1,8); nat. lang. proc (1,6)

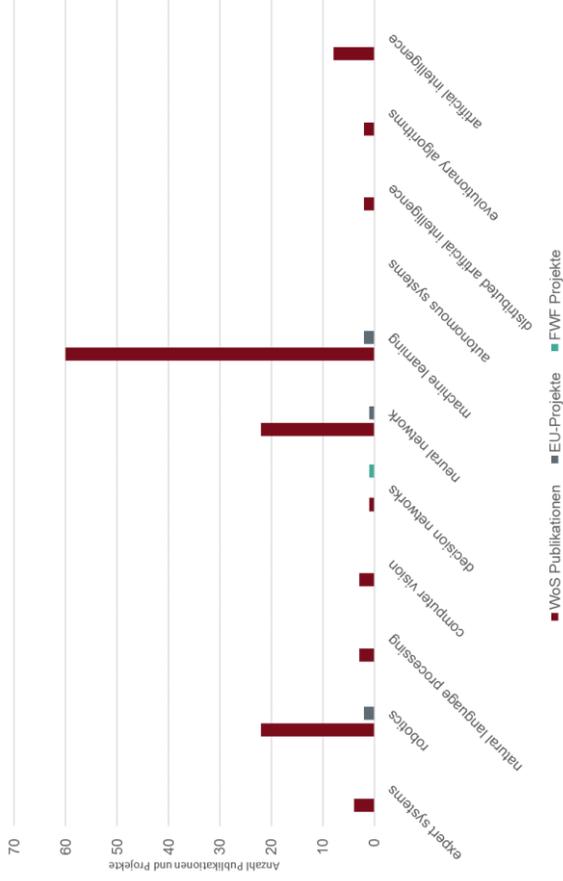
Curricula



- Im Vergleich zu Uni Linz breiteres LV Angebot in 11 Studien
- Darunter auch LV in Spezialisierung natural language processing

# BEISPIEL: FORSCHUNG UND LEHRE AN DER MEDUNI WIEN IM THEMA KI

## WoS Publikationen, EU- & FWF-Projekte

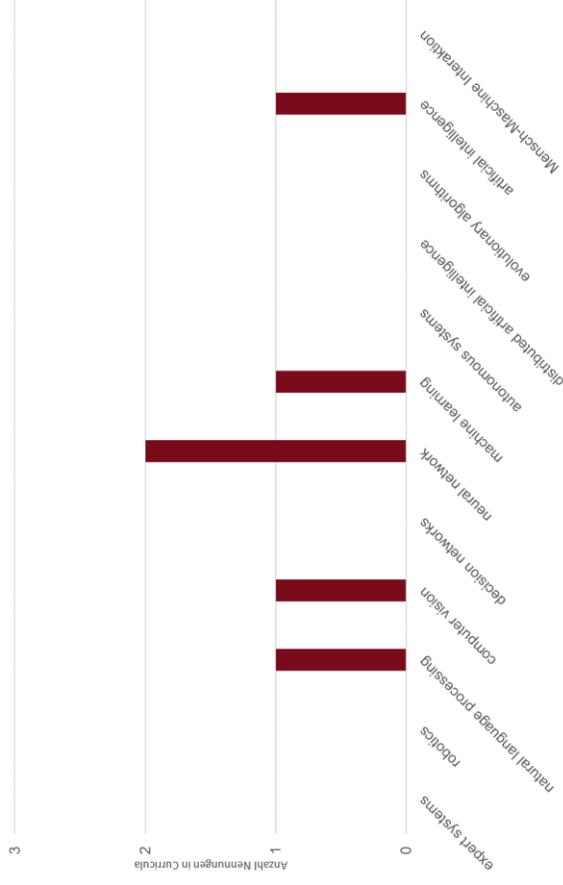


- Publikationsaktivität vergleichbar mit Uni Linz und Uni Wien, wenig Projekte

- Fokussiert:

- Top Thema: machine learning
- Spezialisierung: machine learning (1,8)

## Curricula



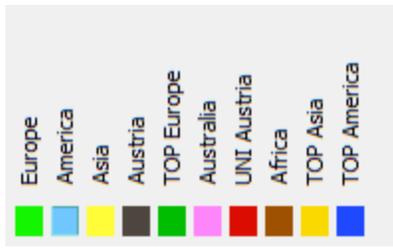
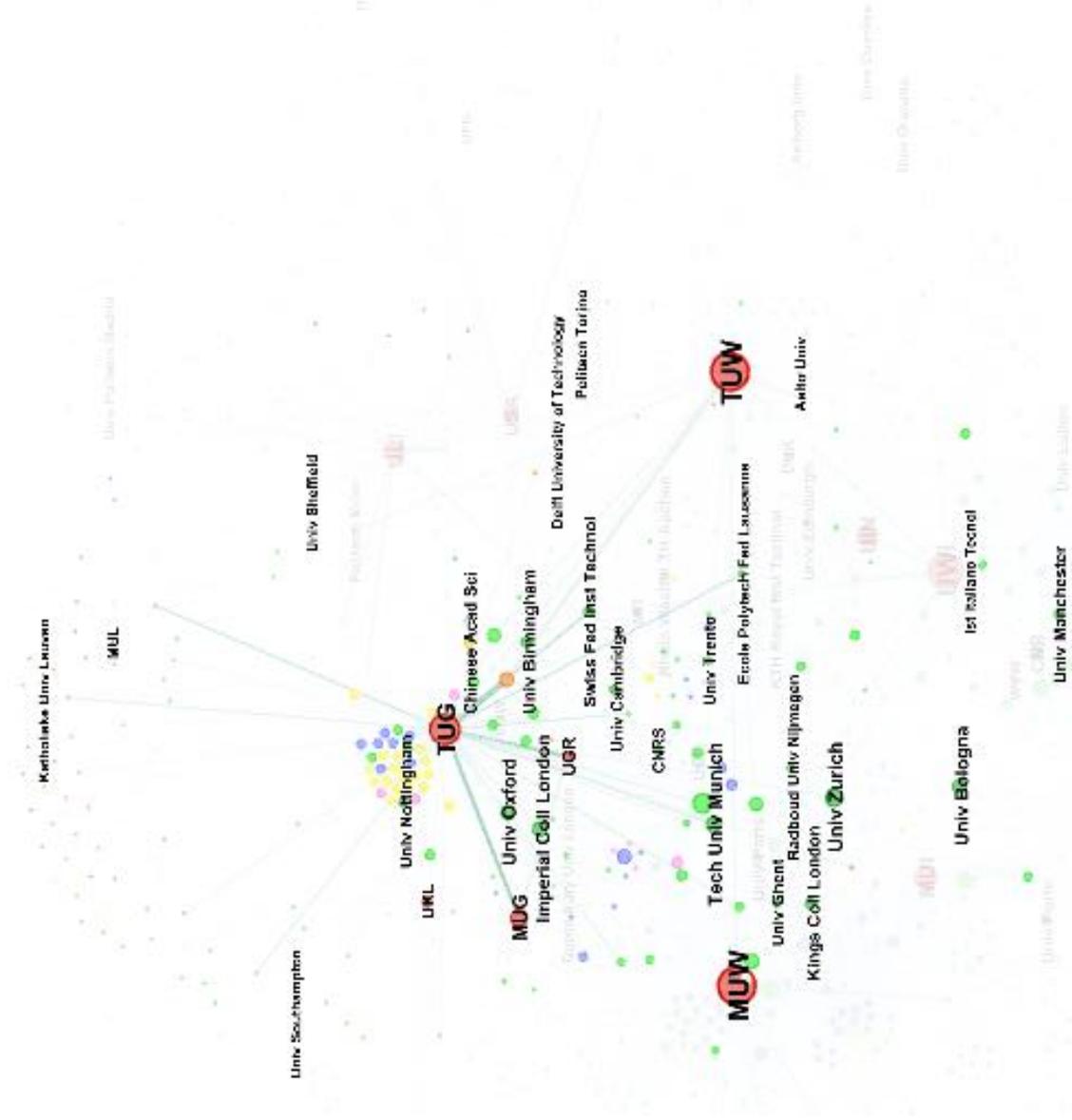
- Begrenztes Angebot an LV zum Thema KI

# KOOPERATIONSNETZWERKE





# TU GRAZ EGO-NETZWERK AUF GRUND VON WOS-PUBLIKATIONEN







# RELEVANTESTE AKTEURE PUBLIKATIONEN UND EU-PROJEKTE

Top Organisationen	Artikel	Partner österreich. Unis	Top Organisationen	Proj. österreich. Unis	Partner österreich. Unis
UNIVERSITY COLLEGE LONDON	870	x	CNRS	111	x
IMPERIAL COLL LONDON	823	x	Fraunhofer-Ges.	106	x
TECH UNIV MUNICH	782	x	ETH Zürich	80	x
UNIV OXFORD	746	x	CNR	64	x
SWISS FED INST TECHNOL	692	x	INRIA	61	x
UNIV CAMBRIDGE	677	x	University of Edinburgh	59	x
DELFT UNIV TECHNOL	595	x	University College London	59	x
ECOLE POLYTECH FED LAUSANNE	527	x	Katholieke Universiteit Leuven	59	x
POLITECN MILAN	527	x	Istituto Italiano di Tecnologia	57	x
UNIV EDINBURGH	475	x	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne	56	x
UNIV MANCHESTER	473	x	Technical University of Munich	55	x
CNRS	466	x	Max-Planck-Ges.	54	x
UNIV LISBON	452	x	Imperial College London	52	x
KINGS COLL LONDON	435	x	German Aerospace Center	51	x
UNIV SHEFFIELD	425	x			
UNIV PORTO	410	x			
KATHOLIEKE UNIV LEUVEN	407	x			
RHEIN WESTFAL TH AACHEN	404	x			
CNR	401	x			

8 der ersten 15 TOP Europe  
Akteure befinden sich in UK!

# WICHTIGE UNTERNEHMENSPARTNER

Unternehmen	Publik.	Region	Unternehmen	Projekte	Region
MIT	16	US	Siemens AG	8	Europe
Siemens AG	11	Europe	FIAT Gruppo	5	Europe
AVL - List GmbH	7	Austria	AVL - List GmbH	4	Europe
Labdia Labordiagnost GmbH	4	Austria	NXP Semiconductors	4	Europe
STRATEC Consumables GmbH	4	Austria	Philips NV	3	Europe
Kitware	3	US	Robert Bosch GmbH	3	Europe
Bayer AG	3	Europe	CYBERTRONICA UG	3	Europe
Inst Super Tecn	3	Europe	TTTech Computertechnik	3	AT
Infineon Technol Austria AG	3	Austria	IBM Corporation	3	Europe
Assoc Robots Architecture	3	Austria	AstraZeneca International	3	Europe
IBM	3	US	Airbus SAS	3	Europe
US Geol Survey	3	US	KUKA Schweißanlagen und Roboter GmbH	3	Europe
Infovisible	2	US	CISC Semiconductor Design + Consulting GmbH & Co Kg	2	AT
Synlab Holding Deutschland GmbH	2	Europe			

## **Kontakt**

**AIT Austrian Institute of Technology GmbH**

Giefinggasse 4  
1210 Vienna, AUSTRIA

[www.ait.ac.at](http://www.ait.ac.at)

### **Karl-Heinz Leitner**

Senior Scientist  
Center for Innovation Systems & Policy  
+43 50550-4567  
[karl-heinz.leitner@ait.ac.at](mailto:karl-heinz.leitner@ait.ac.at)

### **Beatrice Fröhlich-Rath**

Marketing & Communications  
Center for Innovation Systems & Policy  
+43 50550-4508  
[beatrice.froehlich-rath@ait.ac.at](mailto:beatrice.froehlich-rath@ait.ac.at)