



Antragsteller	Art der Antragsteller	Standort
RWTH Aachen University	Hochschule	Aachen, NRW
Forschungszentrum Jülich	Forschungseinrichtung	Jülich, NRW
AMO GmbH	Forschungseinrichtung	Aachen, NRW
AiXscale Photonics UG	Start-Up	Aachen, NRW
Black Semiconductor GmbH	Start-Up	Aachen, NRW
Clinomic GmbH	Start-Up	Aachen, NRW
Gremse- IT GmbH	Start-Up	Aachen, NRW
AixACCT Systems GmbH	KMU	Aachen, NRW
AppTek GmbH	KMU	Aachen, NRW
RWTH Innovation GmbH	KMU	Aachen, NRW
STAR Healthcare Management	KMU	Köln, NRW
AIXTRON SE	Unternehmen	Herzogenrath, NRW
ELMOS Semiconductor SE <sup>1</sup>	Unternehmen	Dortmund, NRW
IHK Aachen <sup>1</sup>	KdöR	Aachen, NRW

Beirat			
Firma/Institution	Vertreten durch	Firma/Institution	Vertreten durch
BMW	Dr. Peter Lehnert	Infineon	Dr. Cyprian Grassmann
Bosch	Prof. Dirk Elias	Siemens	Prof. Dieter Wegener
ELMOS	Dr. Roland Krumm	SiPearl	Dr. Michael Speth
Ford	Dr. Karl Siebertz	Utimaco	Dr. Malte Pollmann
HEAD acoustics	Dr. Wilhelm Gierlich	Umlaut	Dr. Peter Seidenberg
IHK Aachen	Thomas Wendland	KI.NRW	Dr. Christian Temath
Wirtschaftsförderung Stadt Aachen	Michael Schmitz	Zukunftsagentur Rheinisches Revier	Ralph Sterck
NamLab GmbH TU Dresden	Prof. Thomas Mikolajick	TU München Uni Tübingen	Prof. Klaus Mainzer

<sup>1</sup> Assoziierter Partner

## Inhalt

1	Zusammenfassung .....	2
2	Ausgangslage.....	4
3	Die Vision .....	6
3.1	Ziele des Clusters .....	6
3.2	Umsetzungskonzept des Clusters NeuroSys .....	8
4	Konzept für die erste Umsetzungsphase .....	13
4.1	Projekte der ersten Umsetzungsphase .....	14
4.2	Erwartete Auswirkungen .....	18
4.3	Mehrwert der Zukunftscluster-Initiative .....	21
4.4	Beitrag zur Hightech-Strategie 2025 und zur Zukunftscluster-Initiative .....	21
5	Innovations- und Forschungsexzellenz.....	22
5.1	Exzellenz des Konsortiums .....	22
5.2	Cluster-relevante Vorarbeiten, Forschungs- und Innovationsaktivitäten.....	23
5.3	Positionierung des NeuroSys-Clusters.....	24
6	Umsetzung .....	24
6.1	Organisationsstruktur.....	24
6.2	Qualitätssicherung .....	26
6.3	Maßnahmen zur Maximierung der Wirkung .....	27
6.4	Budgetübersicht.....	30
	Anhang A Verbundprojekte.....	31
	Anhang B Projektpartner des NeuroSys-Clusters .....	51
	Anhang C Liste der Abkürzungen.....	159
	Anhang D Zusagen der Beiratsmitglieder .....	161

# 1 Zusammenfassung

**Titel: Neuromorphe Hardware für autonome Systeme der künstlichen Intelligenz (NeuroSys)**

**Schlagworte:** Neuromorphe Hardware, Künstliche Intelligenz (KI), Memristor, Personalisierte Medizin, Mustererkennung, Spracherkennung, Maschinelle Übersetzung, Internet der Dinge, Edge Computing, Technologische Unabhängigkeit, Technologiesouveränität, Sichere IT, Maschinelles Lernen

**Cluster-Koordinator:** Prof. Dr. Max C. Lemme, RWTH Aachen

**Region:** Großraum Aachen/Jülich

**Kurzfassung:** NeuroSys hat zum Ziel, die Region Aachen als weltweit führenden Standort für Forschung, Entwicklung und Innovation in neuromorpher Hardware für Künstliche Intelligenz (KI) zu etablieren. Dafür werden in der Region alle Kompetenzen gebündelt und zu einem Innovationsökosystem aufgebaut, das für die Entwicklung zukünftiger europäischer KI-Hardware benötigt wird. Die langfristige Vision ist die Entfaltung eines genuin europäischen Weges durch technologische Unabhängigkeit in diesem ethisch und wirtschaftlich sensiblen Bereich.

KI dominiert als Software bereits Bereiche wie Computer-Vision und Sprachverarbeitung. Allerdings werden innovative neue Hardware-Konzepte gebraucht, um Anwendungen wie autonomes Fahren, personalisierte Gesundheitsversorgung, intelligente Städte, das Internet der Dinge und Wirtschaft 4.0 nachhaltig realisieren zu können, denn herkömmliche Computerhardware stößt bei KI-Anwendungen zunehmend an inhärente Grenzen der Energieeffizienz. NeuroSys überwindet diese Grenzen durch die Entwicklung von neuro-inspirierter Hardware, die KI Systeme bezüglich Energieeffizienz und Performanz revolutionieren kann.

NeuroSys umfasst ein breites Spektrum von Fachwissen, das durch interdisziplinäre Verzahnung einen integrierten und nachhaltigen Forschungs- und Transformationsprozess in Gang zu setzen vermag: PhysikerInnen, Material- und NeurowissenschaftlerInnen, IngenieurInnen und InformatikerInnen arbeiten gemeinsam mit WirtschaftswissenschaftlerInnen, EthikerInnen und SoziologInnen an Innovationen, die nicht nur technologisch avanciert, sondern zugleich ökonomisch wertschöpfend sowie gesellschaftlich nützlich und wünschenswert sind. Die RWTH Aachen als Keimzelle arbeitet dabei mit dem Helmholtz-Institut FZ-Jülich und dem NRW Landesinstitut AMO eng zusammen. Start-Ups und regionale Unternehmen sind integraler Bestandteil im Cluster, während bundesweit agierende Konzerne und international ausgewiesene WissenschaftlerInnen den Beirat besetzen.

Innovationen in allen relevanten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bereichen (Städte, Fahrzeugbau, Industrieproduktion, Gesundheit) werden in Zukunft durch die Mikroelektronik getrieben. Deutschland braucht im härter werdenden globalen Wettbewerb eine eigene, von europäischen Werten geprägte und vertrauenswürdige KI-Elektronik. Hierfür liefert NeuroSys einen entscheidenden Beitrag, ganz im Sinne des Abschlussberichts der Enquete-Kommission „Künstliche Intelligenz“<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Kurzfassung des Abschlussberichts der Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz, 28.10.2020.

## 2 Ausgangslage

Deutschland und Europa verfügen heute kaum über eine nennenswerte Zahl globaler Konzerne der Computer Hard- und Softwareindustrie, der Grundlage für Anwendungen der künstlichen Intelligenz (KI). Teilweise ist dies sicher auch mit strategischen Entscheidungen der Vergangenheit verbunden, anders als dies in den USA und Asien, und zuletzt sehr deutlich in China zu beobachten ist. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Protektionismus in weiten Teilen der Welt und der damit einhergehenden Einschränkung des Freihandels kommt der Entfaltung europäischer Souveränität und Sicherheit in diesen Bereichen eine entscheidende strategische Bedeutung zu.<sup>3</sup> Den europäischen Weg sich wechselseitig stärkender Wirtschafts- und Demokratieentwicklung weiter verfolgen zu können, ist eng verbunden mit der technologischen Unabhängigkeit in diesem Feld. Das Ausmaß dieser strategischen Bedeutung bemisst sich daran, dass KI der Zentralbaustein für die nächste große wirtschaftsstimulierende Entwicklungsstufe sein wird, zeitlich sicher noch deutlich vor Quantentechnologien. Denn KI ist die Schlüsseltechnologie für die schnelle und effiziente Verarbeitung extrem großer Datenmengen und damit für die Gewinnung datenbasierter Erkenntnisse und Erschließung entsprechender Anwendungen. Die Anwendungsmöglichkeiten der KI erstrecken sich auf alle Wirtschaftsbereiche. Von dieser Schlüsseltechnologie hängt nicht nur in ganz erheblichem Maß das zukünftige weltweite Wirtschaftswachstum ab, sondern ebenso das Bewältigen der großen gesellschaftlichen Herausforderungen wie Klimawandel, Gesundheit, Arbeit oder Mobilität.

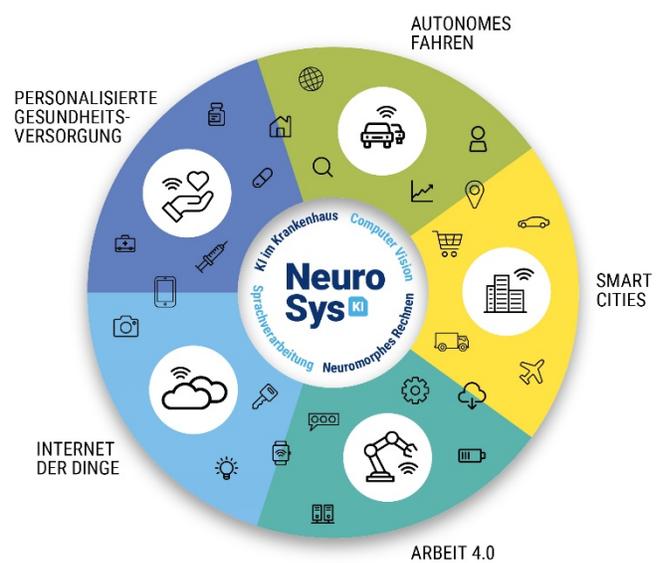


Abbildung 1: KI wird in Zukunft alle Bereiche des täglichen Lebens beeinflussen. NeuroSys wird die Technologie-Basis für zukünftige europäische KI-Hardware entwickeln, um die technologische Souveränität Europas in diesem ethisch und wirtschaftlich sensiblen Bereich zu sichern.

KI bringt aber nicht nur Lösungen, sondern auch neue Herausforderungen mit sich: so verursacht das Trainieren großer neuronaler Netze auf Basis moderner Graphikprozessoren (GPUs) mit Deep Learning Methoden große CO<sub>2</sub>-Emissionen, die die Klimaproblematik weiter verschärfen<sup>4</sup>. Neuronale Netze auf GPU Basis stellen daher mit Blick auf den Energieverbrauch einen ökologisch nicht-nachhaltigen Weg dar. Die Entwicklung ressourcenschonender und vertrauenswürdiger neuromorpher Hardware, die

<sup>3</sup> J.-P. Kleinhans, N. Baisakova, *The global semiconductor value chain*, Stiftung Neue Verantwortung, Oktober 2020.

<sup>4</sup> E. Strubell, A. Ganesh, A. McCallum, *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*, arXiv:1906.02243 (2019).

insbesondere den Prozess des Trainings neuronaler Netze radikal effizienter gestaltet und Datensicherheit als Designkomponente vorsieht, wird somit zum Schlüssel für den breiten Einsatz von KI, vor allem für den wachsenden Einsatzbereich der mobilen Anwendungen in Mobiltelefonen, autonomen Fahrzeugen, der Medizintechnik und Sensornetzwerken. Sie zahlt damit nicht nur auf den „European Green Deal“ ein, sondern ist gleichzeitig wirtschaftlich sinnvoll, da ressourcenschonende neuromorphe Hardware bei deutlich geringeren Kosten enorme Leistungssteigerungen bei KI-Anwendungen ermöglicht.

Neuromorphe IT-Systeme, die den zwei Grundbausteinen des menschlichen Gehirns – Neuronen und Synapsen – nachempfunden sind, können durch die Integration neuer Materialien mit bestimmten Eigenschaften, die unter dem Stichwort „memristiv“<sup>5</sup> zusammengefasst werden, im Gegensatz zu GPU/Software-basierten Systemen der konventionellen Siliziumtechnologie eine ressourcenschonende Vor-Ort-Verarbeitung von Daten (Edge-Computing) ideal leisten. Die exzellent und integriert interdisziplinär ausgerichtete RWTH Aachen und das angrenzende Rheinische Revier sind aufgrund der hier versammelten Expertise und Wertschöpfungskraft der ideale Entwicklungsort für die genannte Vision. Denn Aachener und Jülicher Forscher sind exzellent aufgestellt und konnten bereits die Funktionalität von neuromorphen Bauelementen aus memristiven Materialien nachweisen, Arbeiten, welche im BMBF Strukturwandelprojekt NEUROTEC auf Material und Bauelementebene weiterlaufen (Details: Projekt A und Partnerbeschreibung RWTH/FZ Jülich/AMO). Allerdings gibt es gegenwärtig weltweit keine Pilotlinien und erst recht keine Produktionskapazitäten zur massenhaften Herstellung oder Integration von neuromorphen Chips im industriellen Maßstab. Ebenso muss das gesamte Ökosystem aus Hardware, Design, Algorithmen und anwendungsgetriebener Software zusammenwirken, um die großen Vorteile neuromorpher Hardware nutzen zu können. Dazu muss ein interdisziplinärer Paradigmenwechsel herbeigeführt werden, der die für Deutschland einmalige Chance eröffnet, in dieser radikal neuen Technologie eine Spitzenposition einzunehmen. Das NeuroSys-Cluster schafft den passgenauen Entwicklungsraum, um dieser Chance die entscheidenden Voraussetzungen zu erarbeiten. Aufbauend auf der exzellenten Aachener Grundlagenforschung wird ein regionales Innovationsökosystem mit internationaler Ausstrahlung zur Herstellung neuromorpher Hardware für KI geschaffen, welches zugleich zur nationalen und europäischen Technologiesouveränität beiträgt. Die langfristige Vision ist der Aufbau einer Fabrik zur Co-Integration neuromorpher Funktionen durch neue Materialien in konventionelle Siliziumtechnologie in der Region Aachen.

Der globale Wettbewerb um die technologische Basis zukünftiger KI ist derzeit noch offen. Es ist jedoch offensichtlich, dass nahezu jeder große Wirtschaftszweig durch die Nutzung von KI zukünftig Wettbewerbsvorteile erlangen wird. Mit der Produktion und Verfügbarkeit von neuromorpher Hardware

---

<sup>5</sup> Nach „Memristor“, ein Kofferwort aus dem Englischen *memory* (Speicher) und *resistor* (elektrischer Widerstand)

am Standort Deutschland könnte nun in diesem technologisch entscheidenden Bereich ein eigenständiger deutscher und europäischer Weg zur digitalen Souveränität gefunden werden. NeuroSys als breit angelegtes Cluster soll hier den Weg ebnen. Dieser Weg ist schon allein deshalb sinnvoll, weil die in hohem Maße exportorientierte deutsche Volkswirtschaft von weltweit funktionierenden Wertschöpfungsketten abhängig ist - und damit sehr anfällig im Fall von Störungen. Die zunehmende Entkopplung der internationalen Liefer- und Wertschöpfungsketten und komplex arbeitsteilig organisierten Weltwirtschaft könnte Unternehmen in Deutschland hart treffen und damit Arbeitsplätze gefährden. Der Aufbau eines Ökosystems für neuromorphe Hardware für KI ist vor dem Hintergrund der zunehmend eskalierenden Wirtschafts- und Technologierivalität zwischen den USA und China für Deutschland bzw. Europa wirtschaftsstrategisch daher schlicht notwendig. Gleichzeitig ist der europäische Weg auch ein Weg hoher normativer und gesellschaftspolitischer Standards. Die moralischen Herausforderungen, zum Beispiel zu konfligierenden Werten in der Technikentwicklung oder bei neuen Fragen zu Verantwortung im Umgang mit KI, sind integraler Teil der Technologieentwicklung. Nicht zufällig ist die Akzeptanz von KI-Technologien durchaus offen, denn Aspekte wie Sicherheit, Datenschutz, Datensouveränität, soziale und ökologische Verantwortung, Transparenz und Diskriminierungsfreiheit spielen in der politisch öffentlichen Diskussion eine zentrale Rolle. Umso mehr hat Deutschland und Europa die vordringliche und anspruchsvolle Aufgabe, eine KI nach diesen europäischen Wertemaßstäben zu entwickeln und auszubauen. Der europäische Ansatz für KI kann also nur darauf abzielen, die Innovationsfähigkeit Europas im Bereich der KI zu fördern und gleichzeitig die Entwicklung und Einführung vertrauenswürdiger KI in der gesamten EU-Wirtschaft zu unterstützen. Dieser Weg stellt sicher, dass KI im Dienste der Menschen steht und eine effektive wie legitime Kraft gesellschaftlicher Entwicklung sein kann. Diesen Grundsätzen, die kürzlich von der Europäischen Kommission im "Weißbuch Künstliche Intelligenz" zur Diskussion vorgestellt wurden, fühlt sich das NeuroSys-Konsortium ausdrücklich verbunden und wird mit Nachdruck die notwendigen Methoden erforschen, entwickeln und deren Umsetzung vorantreiben.

## 3 Die Vision

---

### 3.1 Ziele des Clusters

Die langfristige Vision des Clusters NeuroSys ist die zukünftige technologische Unabhängigkeit Deutschlands und Europas auf dem Gebiet der Hardware für Anwendungen der Künstlichen Intelligenz. Unser Ziel ist es, die wissenschaftlichen, technologischen und sozio-ökonomischen Grundlagen zu legen, um große Investitionen anzuziehen, die für den Aufbau einer Produktionslinie für KI-Hardware in der Region Aachen erforderlich sind. Um die Vision einer der Europäischen Wertegemeinschaft verpflichteten Technologieentwicklung zu verwirklichen, haben wir die folgenden konkreten Ziele für die nächsten neun Jahre festgelegt.

**Ziel 1: Aufbau eines wettbewerbsfähigen Ökosystems für neuromorphe Technologie.** Wir werden ein Cluster von Weltrang für exploratorische und angewandte Forschung und Entwicklung im Bereich neuromorpher Technologien aufbauen. Wir erreichen dies durch Exzellenz in der gesamten Wertschöpfungskette, die technische, ethische, ökonomische und generell gesellschaftliche Aspekte umfasst. Ein Hardware-Algorithmus Co-Design reicht von Materialwissenschaften, Bauelementen und Hardwaresystemen über Rechnerarchitekturen, Algorithmen und Anwendungen bis zu Handlungsempfehlungen zu einer verantwortlichen „Europäischen KI“. Die Sichtbarkeit des Clusters wird internationale SpitzenforscherInnen und Unternehmen in die Region ziehen.

**Ziel 2: Entwicklung und Etablierung vertrauenswürdiger neuromorpher Hardware für KI.** Wir entwickeln elektronische und optoelektronische Hardware-Komponenten, die für entscheidende Rechenoperationen synaptische oder neuronale Funktionalitäten in Form von memristiven Materialien enthalten: zum Beispiel durch resistiv schaltende Materialien oder Phasenwechselmaterialien. Im Vergleich zur konventionellen Siliziumbasis (GPUs, FPGAs und ASICs) erwarten wir eine bessere Energie-Effizienz und damit einen 100-mal kleineren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, auch gegenüber weiter skalierten Siliziumtechnologie. Sicherheitsaspekte werden bereits von Anfang an in die Hardware integriert, um eine vertrauenswürdige Technologiebasis zu erlangen, gemäß der „*Security by Design*“ Prinzipien des EU *Cybersecurity Acts*.

**Ziel 3: Entwicklung maßgeschneiderter algorithmischer Paradigmen auf Basis neuromorpher Hardware.** Das Cluster ist im Kern auf ein Co-Design von passgenauen Software-Algorithmen mit neuromorpher Hardware ausgerichtet. Wir werden dazu neue Lernmodelle und Algorithmen entwickeln, die auf die spezifischen Fähigkeiten und Einschränkungen neuromorpher Hardware zugeschnitten sind, und die notwendigen Architekturelemente von State-of-the-Art Deep Learning Modellen in die Hardware-Entwicklung einbringen. Ein Fokus liegt auf Anwendungen, bei denen Energieeffizienz, Datensicherheit und die Möglichkeit lokaler, Cloud-unabhängiger KI-basierter Datenverarbeitung entscheidend sind.

**Ziel 4: Technologietransfer zu regionalen und nationalen Unternehmen.** Wir werden die Kooperation in der Verbundforschung mit regionalen und nationalen Technologieunternehmen nutzen, um Forschungsergebnisse schnell in die Verwertung zu bringen. Junge High-Tech Ausgründungen partizipieren von Beginn an aktiv am Cluster und inspirieren zukünftige GründerInnen in der Region. Der Beirat sorgt für eine überregionale Ausstrahlung des Clusters. So gelingt die gezielte Herstellung der Wettbewerbsfähigkeit der hervorgebrachten Innovationen mit den beteiligten Wertschöpfungspartnern.

**Ziel 5: Aus- und Weiterbildung von Fachkräften.** In den Clusterprojekten wird eine große Anzahl an WissenschaftlerInnen ausgebildet und zur Promotion qualifiziert. Aktuelle Forschungsergebnisse finden den Weg in die universitäre Lehre in der Informatik, Elektrotechnik, Physik, Neurowissenschaften,

Betriebswirtschaft und Geisteswissenschaften, insbesondere auch in neu entstehende Studiengänge. Weiterbildung wird über die RWTH International Academy sowie die Learning Factory im Rahmen des Strukturwandels Rheinisches Revier realisiert. Bedarfsanalysen und Kommunikation in Unternehmen gelingen dem Cluster mit den Partnern IHK Aachen und KI.NRW, sowohl regional als auch überregional.

**Ziel 6: Identifizierung der sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen und Strategien für den Aufbau einer deutschen KI-Hardware-Industrie.** Die Wettbewerbsfähigkeit einer deutschen KI-Hardware-Industrie und die dazugehörigen Geschäftsmodelle in ihren dynamischen Kontexten werden systematisch analysiert. Die wirtschaftlichen Gestaltungsoptionen und sozialen wie ethischen Implikationen von KI-Hardware "Made in Germany" werden konzeptuell, qualitativ und quantitativ untersucht. Auf dieser Basis werden wirtschaftlich tragfähige Akteurs-Konstellationen identifiziert, aus Umsetzungsszenarien zentrale Strategieoptionen abgeleitet sowie politische Handlungsempfehlungen gegeben.

**Ziel 7: KI in der Öffentlichkeit.** Neuro-inspiriertes Rechnen und KI haben das Potenzial, die Interaktion mit der Informations- und Kommunikationstechnologie zu revolutionieren und damit die Lebens- und Arbeitswelt zu transformieren. Der Dialog mit der Öffentlichkeit über die möglichen sozio-ökonomischen und normativen Auswirkungen neuromorpher Technologien ist daher Teil der Clusterstrategie. Dazu werden insbesondere die bestehende Transformationsplattform der RWTH Aachen zum Strukturwandel im Rheinischen Revier (REVIERa) und das Human Technology Center (HumTec) genutzt, welche jeweils einen engen Dialog mit Politik und Gesellschaft praktizieren.

### 3.2 Umsetzungskonzept des Clusters NeuroSys

Das Gesamtkonzept beschreibt die langfristige Strategie des Clusters und die Methoden, mit denen die NeuroSys-Vision umgesetzt wird. Dies betrifft die unmittelbar in der Region geplanten Aktivitäten, aber auch weiterführende Ziele, die nur durch gemeinsames Handeln von WissenschaftlerInnen und Unternehmen sowie durch strategische Entscheidungen auf politischer Ebene erreicht werden können.

**Schaffung eines regionalen Innovationsökosystems.** In der Konzeptionsphase von NeuroSys wurde die Keimzelle für ein regionales Innovationsnetzwerk definiert, welche das strategisch wohl alternativlose Vorhaben der Entwicklung einer europäischen neuromorphen Hardware für KI entscheidend prägen kann. Dieses techno-sozio-ökonomische Cluster wird aus interdisziplinär aufgestellten Akteuren aus der RWTH Aachen, dem FZ-Jülich, dem NRW Landesinstitut AMO und regionalen Technologieunternehmen gebildet. Das NeuroSys-Cluster stellt keine abgeschlossene Einheit dar, sondern ist bewusst als offene Struktur mit verschiedenen Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft definiert, welches über seine Laufzeit sich kontinuierlich adaptieren und durch neue Akteure ergänzt wird. Eine entscheidende Quelle für ein natürliches Anwachsen des Innovationsclusters ist der breit aufgestellte Beirat aus regionalen, nationalen und europäischen Mitgliedern. Die Akteure des Ökosystems werden

ein dynamisches Netzwerk bilden, welches die direkt im Cluster verankerten Forschungs-, Entwicklungs- und Transformationsaktivitäten mit weiteren Innovationsvorhaben verknüpfen wird. Dazu bringen die beteiligten ForscherInnen und Unternehmen bereits zum Clusterstart ihre eigenen Netzwerke und Aktivitäten ein, die das Thema neuromorphe Hardware für KI adressieren, von der Aachener Region bis zu europäischen Projekten in Horizon 2020 (und später Horizon Europe). Damit wird NeuroSys zu einem Nukleus, dessen Wirkung über diesen enormen Hebel deutlich verstärkt wird.

**Enge Verzahnung von Grundlagenforschung und praxisorientierten Anwendungen.** Die Forschungsarbeiten in den Projekten des NeuroSys-Clusters sind in der Konzeption bereits aus zwei Richtungen gedacht. Während exzellente Ergebnisse aus der Grundlagenforschung im Bereich neuer Materialien als „*technology push*“ zu verstehen sind, definieren spezifische Anwendungsfelder als „*application pull*“ klare Anforderungen an neuromorphe Hardware. Gemeinsam wurden daraus die Forschungsziele der Clusterprojekte entlang der Wertschöpfungskette bereits für die erste Umsetzungsphase erarbeitet. Dabei ist es gelungen, an allen Gliedern der Kette Unternehmen anzuknüpfen, die ein direktes Verwertungsinteresse mitbringen. Der Transfer der technischen Entwicklungen in marktfähige Innovationen wird also durch die direkte Beteiligung von verschiedenen Endanwendern auf der jeweiligen Wertschöpfungsstufe realisiert. Im Bereich der Materialien ist dies Aixtron, bei Bauelementen & Integration sind dies AixACCT, Elmos und die Start-Ups Black Semiconductor und AiXscale Photonics und auf der Schaltungs- und Architekturebene ebenfalls Elmos. Algorithmen stehen im Bereich der Automatischen Spracherkennungs- und Übersetzungssysteme der AppTek im Mittelpunkt und Anwendungen aus der Medizintechnik sind über die STAR Healthcare Management und die Start-Ups Clinomic und Gremse-IT aktiv in die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von NeuroSys integriert. Damit deckt NeuroSys frühzeitig typische Anwendungsfelder der KI ab, die zu einem späteren Zeitpunkt auf weitere spezifische Anwendungsfälle skaliert werden, und so mittel- und langfristig das volle Potential der neuromorphen Hardware erschließen.

**Kontinuierliche Einbindung regionaler Unternehmen und Strukturen.** Die enge Anbindung regionaler Unternehmen an das Cluster ist eine Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Transfer von wissenschaftlichen Ergebnissen in tragfähige Geschäftsmodelle. In der Konzeptionshase wurden bereits vielversprechende Verbindungen geknüpft und regionale Unternehmen für eine aktive Teilnahme am Cluster gewonnen. Das NeuroSys Team strebt jedoch an, die unternehmerische Komponente im Cluster laufend und nachhaltig auszubauen, wozu effiziente Kooperations- und Kommunikationskanäle benötigt werden. Dazu wurden mehrere Möglichkeiten identifiziert und in das Cluster eingebaut. Zum einen wird REVIERa, die Transformationsplattform der RWTH Aachen zum Wandel im Rheinischen Revier, hier über zwei beteiligte Lehrstühle eine wesentliche Rolle spielen (Böschchen, Letmathe). Das Pendant zu REVIERa auf Seiten der Politik ist die Zukunftsagentur Rheinisches Revier (ZRR). Die ZRR ist über den Geschäftsführer Ralph Sterck im NeuroSys-Beirat

vertreten und entwickelt Leitbilder, Innovationsstrategien und Handlungskonzepte und unterstützt den Strukturwandel durch Initiierung und Durchführung von Projekten. Ein weiterer Weg zur nachhaltigen Einbindung der regionalen Wirtschaft ist die Industrie- und Handelskammer Aachen (IHK). Sie ist ebenfalls im NeuroSys-Beirat vertreten und im Projekt E (Innovationsprozesse und Geschäftsmodellentwicklung) aktiv in die Forschung eingebunden. Die IHK setzt derzeit das Programm „Moving Mittelstand“ zur Digitalisierung des Mittelstandes ein und bekommt über NeuroSys einen hervorragenden Zugang zu den aktuellsten Aspekten der KI.

**Überregionale Ausstrahlung.** Das NeuroSys-Cluster soll die Region Aachen zur Keimzelle für die Ausbreitung neuromorpher Technologien für KI in Deutschland und Europa machen. Der Aufbau des lokalen Innovations-Ökosystems in der Region Aachen aus der exzellenten Spitzenforschung heraus ist dazu ein erster Schritt, der das Cluster als international sichtbaren Leuchtturm etabliert. Die Erfüllung der langfristigen Vision von NeuroSys, digitale Souveränität in der KI, erfordert allerdings eine gesamteuropäische Anstrengung. Dazu soll NeuroSys zu einem breiten Netzwerk von nationalen und europäischen Akteuren ausgebaut werden. In der Konzeptionsphase wurden als Basis für eine weitere Entwicklung bereits wichtige überregionale Unternehmen und führende WissenschaftlerInnen als Beiratsmitglieder gewonnen. Zum einen sollen insbesondere diese Unternehmen in der weiteren Clusterentwicklung zunehmend auch als Investitionspartner eingebunden werden, und zum anderen soll der Beirat strategisch um weitere nationale Konzerne erweitert werden. Letztlich kann nur eine Allianz von öffentlichen und privaten Unterstützern die großen strategischen Investitionen realisieren, die für den nachhaltigen Aufbau einer Produktionslinie für KI-Hardware in der Region Aachen erforderlich sind. Das Entfaltungspotenzial des NeuroSys-Clusters ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2 Ausstrahlungs- und Entfaltungspotenzial des NeuroSys-Clusters von exzellenter Grundlagenforschung bis zu einem wettbewerbsfähigen, wirtschaftlichen und technologischen Ökosystem

**Gründerkultur.** Die Region Aachen ist bereits heute eine Quelle für erfolgreiche Unternehmensgründungen im Technologiebereich. Nach einer Studie der IHK Aachen entstammen 55 Prozent der technologieorientierten Unternehmen der Region Aachen einer der regionalen

Hochschulen. Die Studie wird alle fünf Jahre durchgeführt und stellte für 2015 fest, dass 1.631 solcher Betriebe im Kammerbezirk ansässig sind. Dadurch sind in der Region etwa 35.000 Arbeitsplätze entstanden (Studie „Wirtschaftsfaktor Wissenschaft“, IHK Aachen, April 2020). In der Konzeptionsphase konnten mehrere Start-Ups aus der Region (und der RWTH) als aktive Partner für die erste Umsetzungsphase eingebunden werden, weitere etablierte Unternehmen sind beteiligt, die als RWTH Ausgründung begonnen haben. Wir erwarten durch die Einrichtung des Clusters eine Sogwirkung, die weitere Neugründungen zur Thematik zur Folge haben werden. Von Anfang an sollen GründerInnen bei ihren Vorhaben professionell beraten werden. Dies ist über den NeuroSys-Partner RWTH Innovation GmbH gewährleistet, die ForscherInnen, ErfinderInnen und GründerInnen individuell bei allen Fragen um Gründung, Schutzrechte oder Fördermöglichkeiten im Exzellenz Start-Up Center Nordrhein-Westfalen unterstützt. Als Infrastruktur stehen der Digital Hub Aachen e.V. und im Bereich der Hardware der in Gründung befindliche Digital Hardware Hub Aachen der AMO GmbH zur Verfügung, um Deep-Tech GründerInnen die notwendige Infrastruktur zu bieten.

**Fachkräfte.** Die Region Aachen und insbesondere die RWTH Aachen ist für die exzellente universitäre Ausbildung von Ingenieuren und Ingenieurinnen sowie Naturwissenschaftlern und Naturwissenschaftlerinnen weltweit bekannt. Dabei müssen Curricula immer wieder angepasst oder ergänzt werden, um der Volkswirtschaft Fach- und Führungskräfte in Zukunftsthemen zeitig und in notwendiger Anzahl zur Verfügung zu stellen. Das NeuroSys-Cluster ist eine ideale Plattform, in den beteiligten Fachbereichen neue Studienrichtungen und Studiengänge zu entwickeln und dieses Ziel zu realisieren. In der Konzeptionsphase wurden dazu bereits intensive Gespräche in den RWTH Fakultäten geführt, die im Laufe des Clusters als neue Angebote umgesetzt werden sollen. Über klassische universitäre Bildungsangebote und die wissenschaftliche Ausbildung in der Promotion bietet das RWTH Center for Young Academics eine ganzheitliche fächerübergreifende Talentförderung und vermittelt Kompetenzen und Fähigkeiten in den Themenbereichen verantwortungsvolle Forschung und Innovation, wissenschaftliche Integrität, wissenschaftliches Datenmanagement, Schutzrechte, Interdisziplinarität und Lehre. Die erfolgreiche Gestaltung des digitalen Wandels durch KI ist ein wichtiger Erfolgsfaktor für mittelständische Unternehmen. Neben universitären Vollstudiengängen benötigt die Transformation effiziente Möglichkeiten der berufsbegleitenden Weiterbildung. Hierfür wurde bereits in der Konzeptionsphase in Gesprächen mit der IHK Aachen und VertreterInnen der regionalen Wirtschaftsförderung in REVIERa ein enormer Bedarf festgestellt. Durch die Teilnahme der IHK Aachen an NeuroSys und die Beiratsfunktion der ZRR und KI.NRW werden die Beratungs- und Weiterbildungsoptionen im Bereich KI gerade auch mit Blick auf mittelständische Unternehmen in der Region Aachen klar definiert und deutlich erweitert. Die Umsetzung wird ideal ergänzt durch die RWTH International Academy gGmbH, die als offizielle Weiterbildungsakademie der RWTH Aachen praxisorientierte Weiterbildungsangebote konzipiert und organisiert und die von Beginn an eng mit dem NeuroSys-Cluster kooperieren wird. Die Beteiligung von KI.NRW, der zentralen Plattform für KI in NRW,

im NeuroSys-Beirat sichert ein koordiniertes, synergetisches Vorgehen im Zusammenspiel mit überregionalen Initiativen.

**Sozio-ökonomische Rahmenbedingungen und Strategien.** Die zu entwickelnden disruptiven Innovationen benötigen spezifische und transparente Rahmenbedingungen, damit der langfristige wirtschaftliche Erfolg bei gleichzeitiger gesellschaftlicher Nutzenstiftung sichergestellt werden kann. Das anspruchsvolle Ziel, diesen Innovationsprozess als einen Weg technologischer Unabhängigkeit Europas auf der Basis europäischer Wertvorstellungen zu realisieren, soll durch eine doppelte Strategie avisiert werden: Zum einen wird ausgehend von der Region ein Innovationsökosystem aufgebaut, das sich als Innovationscluster durch starke und verzweigte Kooperationen auszeichnet, die nicht nur dynamisch Neuerungen hervorbringen, sondern die zugleich Vertrauen und Wissensschutz ermöglichen. Zum anderen werden die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen sowie deren Governance systematisch in den Blick genommen. Denn die Entwicklungslage dieser neuen Technologien und Innovationen ist komplex und von Wertungsunterschieden geprägt. Deshalb kann es keinen Masterplan geben. Vielmehr muss das Ziel darin bestehen, Konfliktslagen ernst zu nehmen und Akteure durch einen Entscheidungskompass zu befähigen, Zielkonflikte zu erkennen und Handlungsstrategien abzuleiten. Klug gesetzte Rahmenbedingungen sind deshalb von essenzieller Bedeutung. Dazu werden kontinuierlich einerseits die Bedarfe erhoben und andererseits entsprechende Handlungsempfehlungen erarbeitet und angepasst. Aspekte, die das neue europäische Paradigma von *Open Innovations* in einer *Open Society* betreffen, werden dabei ebenso eingebunden wie messbare Beiträge zu den sechs priorisierten Zielen der Europäischen Kommission (*European Green Deal*, Europa -fit für das digitale Zeitalter, Wirtschaft im Dienste des Menschen, starkes Europa in der Welt, Förderung unserer europäischen Lebensweise, Stärkung der Demokratie). Auf diese Weise realisiert sich in dem Vorhaben der europäische Weg des Innovierens und schafft eine wertbasierte Ermöglichungskultur, bei der die freigesetzte Kreativität neue Formen des Wirtschaftens ermöglicht.

**KI in der Öffentlichkeit.** Das von der Europäischen Kommission formulierte Leitbild der Open Innovation steht in einem Dreiklang von Open Innovation, Open Science und Open to the World. Dabei wird den Bürgerinnen und Bürgern eine zentrale und transversale Rolle bei der Realisierung dieses Weges zugeschrieben. Sie definieren den Nutzen und die Legitimität von Innovationen mit, sie müssen in den zumeist experimentellen Innovationsprozessen ein Mitsprache- und Mitwirkungsrecht haben. Ein Blick allein auf Akzeptanz würde die BürgerInnen als Externe in diesem Innovationsprozess definieren. Konträr zu einer solchen Auffassung soll das Innovationsökosystem von NeuroSys als offenes Innovationssystem aufgebaut werden. Denn Bildung wie auch aktive Mitwirkung von Bürgerinnen und Bürgern bilden notwendige Voraussetzungen für eine auf Verlässlichkeit und Vertrauen basierende breite gesellschaftliche Einbettung von KI. Die wissenschaftliche Grundlage für die Entfaltung von Verlässlichkeit und Vertrauen kann nur in enger Kooperation von naturwissenschaftlich-technischer und

geistes-sozialwissenschaftlicher Forschung und Wissensvermittlung geschaffen werden. Das RWTH HumTec Zentrum für interdisziplinäre Wissenschafts- und Technikforschung (vertreten im Konsortium durch den Sprecher Böschchen sowie die Leiterin des Aktivitätsfeldes Ethik und Verantwortung Nagel) arbeitet an dieser Schnittstelle und wird die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in NeuroSys hin zu einer vertrauenswürdigen KI begleiten. Das Ziel der Technologieunabhängigkeit im Rahmen der europäischen Wertegemeinschaft erfordert eine Abwägung teils konfligierender Werte und Ansprüche. Mit integrierter Forschung zu den ethischen Herausforderungen potentiell disruptiver Technologien wird NeuroSys über die gesamte Projektdauer eine nuancierte Wertereфлекtion leisten. Die konkreten dialogischen Prozesse zwischen BürgerInnen einerseits und WissenschaftlerInnen wie Stakeholdern andererseits werden durch die ZRR wie über REVIERa gestaltet.

## 4 Konzept für die erste Umsetzungsphase

Als bahnbrechende Initiative zur Erforschung und Entwicklung zukünftiger neuromorpher Rechnerarchitekturen für Anwendungen der künstlichen Intelligenz ist NeuroSys ein zunächst stark wissenschaftlich getriebenes Forschungs- und Innovationsprojekt. Um die ehrgeizige Vision zu realisieren, wurden klare und präzise Ziele definiert, die auf der exzellenten Forschung der beteiligten WissenschaftlerInnen entlang der gesamten Wertschöpfungskette basieren. Die erste Umsetzungsphase hat zum Ziel, die ForscherInnengruppen und ihre Forschungsergebnisse in thematisch eng gefassten Projekten zu einer jeweils kritischen Masse zu bündeln (Abbildung 3). Durch eine effiziente vertikale Kooperation zwischen den Projekten wird in den ersten Jahren das integriert interdisziplinäre Ökosystem aufgespannt, welches für die Realisierung der äußerst komplexen und ambitionierten Gesamt-

vision benötigt wird. Dazu sind von Beginn an lokale Unternehmen an den Projekten beteiligt, die bereits in der Konzeptionsphase konkrete Verwertungspotentiale in den jeweiligen Gliedern der Wertschöpfungskette identifiziert haben. Weiterhin wurden

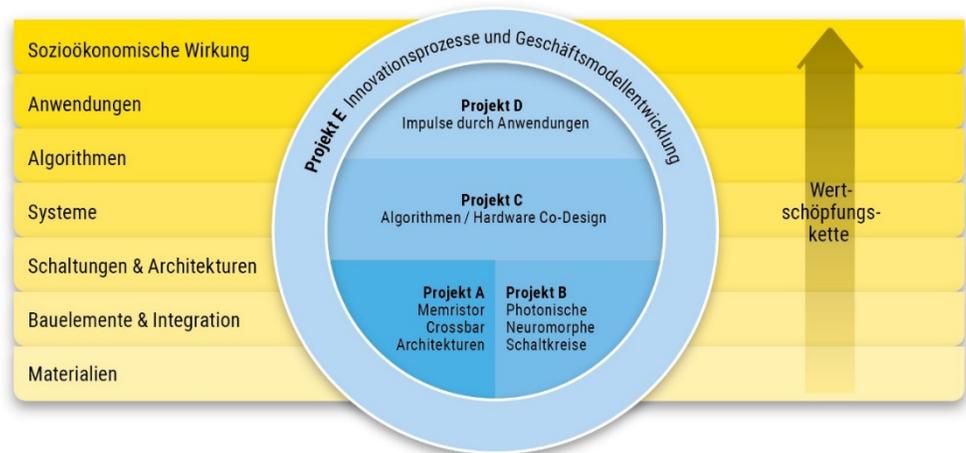


Abbildung 3 Das NeuroSys-Cluster deckt die gesamte Wertschöpfungskette einer neuen KI Technologie ab - von den Materialien bis zur Untersuchung der sozioökonomischen Auswirkungen

regionale Institutionen integriert, die zur vollen Entfaltung des Transformationspotenzials und zur lokalen Verankerung des Clusters beitragen werden. Dieser ganzheitliche Ansatz ist notwendig, weil ein Paradigmenwechsel in der KI nur über ein langfristiges Miteinander aus „*technology push*“ und

„*application pull*“ möglich ist. Hierfür wird in der ersten Umsetzungsphase die gemeinsame Sprache entwickelt und die Basis gelegt. Konkret sind fünf interagierende Projekte geplant, die im Folgenden im Detail beschrieben sind.

## 4.1 Projekte der ersten Umsetzungsphase

**Projekt A: Memristor Crossbar Architekturen.** Elektronische Bauelemente, deren Widerstand sich durch elektrische Reize wie Spannung oder Strom verändert, werden als memristive Schaltelemente oder "Memristoren" bezeichnet. Es sind verschiedene Varianten von memristiven Schaltelementen bekannt, die auf unterschiedlichen physikalischen Mechanismen basieren. Diese sind: Defekt-basierende resistive Speicher (ReRAM), Phasenwechsel (PCM) und magnetische sowie ferroelektrische Tunnelübergänge. Die Entwicklung dieser Bauelemente konzentrierte sich zunächst auf ihre Anwendung als nichtflüchtige Speicher (NVM) aufgrund ihrer Skalierbarkeit, Siliziumkompatibilität und Leistungsvorteile im Vergleich zu Standard-NVM-Bauelementen. In jüngerer Zeit wurde erkannt, dass Memristor-Bauelemente auch grundlegende synaptische Funktionalitäten emulieren können, für die stark abweichende Spezifikation gelten: In künstlichen neuronalen Netzen (ANN) ahmen Memristoren die Gewichte zwischen Neuronen nach. Die vollständige Konnektivität zwischen 2 Neuronenebenen kann daher in ein 2D-Array mit Memristoren an den Koppelpunkten abgebildet werden, so genannte Memristor-Crossbar-Arrays. Diese Arrays ermöglichen eine extrem energieeffiziente, vollständig parallele, analoge In-Memory-Berechnung von Vektor-Matrix-Produkten und umgehen damit den Berechnungsengpass während des Trainings und der Inferenzoperation von ANNs mit Standard-Hardware (CPU oder GPU). Aus diesem Grund gelten memristive Crossbar-Arrays als vielversprechende neue Hardwaretechnologie für tief lernende, faltende neuronale Netze (CNN). Weiter können memristive Bauelemente auch hirnhähnliche Synapsen-Plastizitätsprozesse wie *Spike-Time-Dependent Plasticity* (STDP) emulieren, eine der Hauptarten lokaler Lernregeln für die Selbstlernfähigkeit in hirnsinspirierten neuromorphen Systemen. Daher besteht starkes Interesse an Memristor-Crossbar-Arrays für die Implementierung von gepulsten neuronalen Netzen (SNN). Die Effizienz dieser radikal neuen Hardware kann aber nur durch maßgeschneiderte Schnittstellen zwischen dem analogen In-Memory-Computing und der digitalen Welt sowie maßgeschneiderten anwendungsspezifischen Algorithmen für neuromorphe Systeme nutzbar gemacht werden. Dieser noch intensiv zu erforschende Bereich stellt den Kern der Arbeiten in Projekt A dar: memristive Crossbar Arrays zu entwickeln, die bestimmte KI-Anwendungen bezüglich ihrer Energieeffizienz revolutionieren können. Dazu gehören die Optimierung verschiedener Arten von memristiven Materialien und Bauelementen (Oxide und 2D Materialien) und deren hybride Integration in das CMOS-BEOL<sup>6</sup> der ELMOS Siliziumtechnologie. Auf Basis von gefertigten Test-Arrays werden Bibliotheken mit vollständig

---

<sup>6</sup>Engl. Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Back-end-of-Line (CMOS-BEOL)

verifizierten Bauelementmodellen und Designregeln erstellt, die als Technologie-Demonstratoren für die Definition der Forschungsprojekte in den weiteren Umsetzungsphasen dienen.

**Projekt B: Photonische neuromorphe Schaltkreise.** Optische Übertragungssysteme ermöglichen extrem hohe Datenraten und eine substantielle Verkürzung von Latenzzeiten während der Signalübertragung. In NeuroSys werden wir eben diese Eigenschaft nutzen, um neuromorphe Hardware weit über die Performanz reiner Elektronik zu beschleunigen. Komplexe Systeme erfordern eine hinreichende Skalierbarkeit der Anzahl von Neuronen und Synapsen. Hier wird daher eine hybride Lösung verfolgt, bei der die Signalverarbeitung teils optisch und teils elektronisch umgesetzt wird. Die nichtlineare Transferfunktion der Neuronen und die Signalregeneration werden elektronisch realisiert, während die Signalübertragung zwischen den Neuronen und die lineare Signalverarbeitung wie Gewichtung und Aufsummierung der Signale optisch umgesetzt wird. So können die Latenzzeiten von KI Prozessen um den Faktor 4 reduziert werden. Es wird ein Netzwerkkonzept entwickelt mit bis zu 10 Schichten, 1000 Neuronen pro Schicht und 100 Verbindungen pro Neuron. Die geplanten photonischen neuronalen Schaltkreise verzichten komplett auf übliche resonante Photonik-Bauelemente, die präzise temperaturstabilisiert werden müssen und sich daher nicht für die Skalierung eignen. Stattdessen soll die neuromorphe Konfigurierbarkeit der Optik energieeffizient umgesetzt werden durch optische Bauelemente mit remanenter Konfiguration aus Phasenwechsel- und 2D Materialien. Demonstriert wird das System in einem Siliziumphotonik-Chiplet, der durch Flip-Chip Integration mit Höchstfrequenzelektronik kombiniert wird. Siliziumnitrid-Wellenleiter ermöglichen eine hohe Skalierbarkeit des optischen Netzwerks, da sie optische Leistungsdichten bis zum hundertfachen von herkömmlichen Silizium-Wellenleitern erlauben. Das optische Netzwerk auf dem Photonik-Chiplet muss durch ein Kontrollsystem angesteuert und in der Trainingsphase dynamisch konfiguriert werden. Dieses benötigt Ströme und Spannungen im Bereich bis zu 10 V und wird durch eine monolithische Integration der Photonik im BEOL einer 350 nm Technologie von ELMOS realisiert.

Das Systemkonzept soll bereits in der ersten Umsetzungsphase validiert werden. Dazu werden ein Photonik- und ein Höchstfrequenz-Chiplet entworfen und von Foundries in konventioneller Silizium-Technologie hergestellt. Dieser „*proof-of-concept*“ Demonstrator eines neuronalen Netzes ist für die langfristigen Ziele extrem wichtig, seine Skalierbarkeit jedoch stark begrenzt, da er ohne integrierte Kontrollelektronik und ohne neuartige optische Materialien realisiert wird. Daher wird parallel die Integration der Photonik im BEOL der ELMOS Kontrollelektronik und die Entwicklung der remanenten optischen Steuerungselemente entwickelt, um diese später mit dem demonstrierten Systemkonzept zu kombinieren. Eine systemspezifische Aufbau- und Verbindungstechnik wird zeitgleich entwickelt, um die hohe erforderliche Anzahl von optischen I/Os mit hoher Leistung zu ermöglichen.

**Project C: Algorithm-Hardware Co-Design.** Im Cluster werden neuromorphe Prinzipien bei der Entwicklung neuartiger Algorithmen und neuartiger Bauelementeigenschaften angewandt. Die

Verbindung dieser beiden Ansätze über die Entwurfsebene hat das Potential, die Erfolgsgeschichte der Halbleiterindustrie auf einem anderen Level fortzuschreiben. Hierzu sind zwei wesentliche Komponenten erforderlich. Einerseits das tiefgreifende Verständnis über die deutlich effizientere Funktionsweise des Gehirns und deren Übersetzung in technische reproduzierbare Rechenvorschriften. Andererseits die methodische Überwindung der Spaltung in Algorithmenentwicklung auf einer Softwarearchitektur und Bauelemententwicklung für eine Hardware-Architektur. Hierzu führt das Projekt C Expertise aus den drei Schnittstellen zusammen: den Neurowissenschaften, dem automatisierten Systementwurf und der hardwarenahe Schaltungsentwicklung. Projekt C zielt auf die Exploration innovativer Schaltungsarchitekturen ab, welche auf neuartigen Bauelementeigenschaften von elektrischer Verarbeitung hin zur Photonik basieren. Mittels Charakterisierung und Modellierung wird die Komplexität der Hardware auf Aspekte reduziert, die für eine Exploration auf algorithmischer Ebene relevant sind. In umgekehrter Richtung führt dies zur Formulierung von Anforderungsprofilen an die Bauelementeigenschaften. Nicht zuletzt wird Projekt C Impulse in beide Richtungen aussenden, welche sich aus neuen Erkenntnissen in den Neurowissenschaften ergeben oder intrinsisch aus der systemischen Betrachtungsweise. Dabei werden Sicherheitsaspekte direkt berücksichtigt im Sinne eines „security by design“ Konzeptes, da die naive Umsetzung solch disruptiver Ansätze ein Einfallstor für Attacken bieten kann.

Als Kristallisationspunkt in Projekt C dienen Demonstratoren, die zunächst die technische Machbarkeit darlegen und so der Industrie das Potential aufzeigen. Dazu dienen nicht nur physikalische Realisierungen aus Projekt A und B, sondern im Sinne einer schnelleren und breiteren Verwertung auch eine virtueller Entwurfsraum. Idealerweise werden dabei direkt weitergehende Innovationen bei den Partnerunternehmen angestoßen. In den nachfolgenden Umsetzungsphasen werden vielversprechende Ansätze zu Blaupausen weiterentwickelt, die ihren kommerziellen Einsatz als IP-Blöcke finden. Die Förderung der lokalen Industrie erfolgt hierbei sowohl durch die Ausbildung zukünftiger IngenieurInnen im Bereich neuromorphen Rechnens als auch durch die Fortentwicklung und Vermittlung notwendiger Methoden für den effizienten Entwurf solch hochintegrierter KI-Systeme.

**Projekt D Impulse durch Anwendungen.** Das Ziel von Projekt D ist die Erforschung der Vorteile neuromorpher Hardware (*technology push*), sowie deren optimale Nutzung aus der Anwenderperspektive (*application pull*). Hierzu sollen vier repräsentative Anwendungsbeispiele neuromorpher Hardware für unterschiedliche Anforderungen erforscht werden: D.1 *Kamerabasierte Diagnostik*: Entwicklung eines mobilen kamerabasierten Messgerätes auf Basis neuronaler Netze zum medizinischen Einsatz in Krankenhäusern sowie stationären und ambulanten Pflegeeinrichtungen. Im Projekt werden exemplarisch Anwendungen zur Diagnose chronischer Wunden und zur kontaktfreien Überwachung von Neonaten entwickelt. D.2 *Sprachübersetzung*: Entwicklung eines mobilen Spracherkennungs- und Übersetzungssystems zur Wahrung der Datensouveränität im Gegensatz zu

heute üblichen Cloud-basierten Lösungen. Automatische Sprachverarbeitung auf Basis maschinellen Lernens stellt hohe Anforderungen und dient daher als prototypischer Benchmark für die zu entwickelnde neuromorphe Hardware. D.3 *Videobjektsegmentierung*: Entwicklung effizienter Methoden semantischer Videoverarbeitung zur zeitlich konsistenten Videosequenzsegmentierung ausgewählter Objekte, z.B. zum Video Editing auf Smartphones, zur Organsegmentierung in der medizinischen Bildverarbeitung, oder auch zum pixelgenauen Tracking anderer Verkehrsteilnehmer in einem intelligenten Fahrzeug. D.4 *Individualisierte medizinische Controller*: Entwicklung eines invasiven, stromsparenden und schnellen On-Chip-Reinforcement-Learning Controllers für optimierte medizinische Behandlungen wie z.B. die künstliche Bauchspeicheldrüse, den Herzschrittmacher oder Epilepsie- und Anfallssteuergeräte.

Die hohe Komplexität heutiger Verfahren der Anwendungsbeispiele aus Sprach-, Bild- und Videoverarbeitung auf Basis maschinellen Lernens stellt hohe Anforderungen an die zugrundeliegende Hardware. Allen Anwendungsbeispielen ist ihre Eignung für den Einsatz in mobilen und handgeführten Geräten gemein, dabei kommen die Vorteile neuromorpher Hardwarekomponenten, die leistungsstarke Rechenressourcen bei relativ geringem Energieverbrauch ermöglichen, besonders zum Tragen. Dies ermöglicht neuartige Anwendungen, die z.B. die medizinische Qualität der Patientenversorgung erheblich verbessern können oder die Verarbeitung sensitiver oder zeitkritischer Daten am Einsatzort ermöglichen. Objektiv messbare Performanzmaße erlauben die qualitative und quantitative Evaluierung der Vorteile der zu entwickelnden neuromorphen Hardware. Hauptziel von Projekt D ist, auf maschinellem Lernen basierende Anwendungen aus den vier Anwendungsbereichen für den mobilen Einsatz auf neuromorpher Hardware vorzubereiten und zu optimieren. Die dafür notwendigen Forschungsarbeiten ergänzen ideal aktuelle Bestrebungen in der internationalen *Community*, Architekturen für die automatische Sprach-, Bild- und Videoverarbeitung komplett neuronal zu definieren, die aktuell sehr leistungsfähige Hardware bei entsprechend hohem Energieeinsatz erfordern.

**Projekt E Innovationsprozess und Geschäftsmodellentwicklung.** Die Entwicklung der technischen Architekturen, Schaltkreise und Anwendungen wird in Projekt E systematisch um ökonomische, gesellschaftliche und ethische Analysen erweitert. Diese Betrachtungen sind essenziell, um für die aus den Projekten A-D hervorgegangenen Innovationen einen ökonomisch tragfähigen, ethisch wünsch- und gesellschaftlich gangbaren Entwicklungsprozess zu gewährleisten. Aus ökonomischer Perspektive sollen die entwickelten Innovationen letztlich als konkurrenzfähige Produkte am Markt bestehen, um ein langfristig wettbewerbsfähiges Ökosystem zu schaffen. Konkurrenzfähige Produkte werden Hardware-Komponenten (Projekt A, B, C) und konkrete Anwendungssysteme (Projekt D) sein. Die wirtschaftliche Tragfähigkeit einzelner Geschäftsmodelle und ganzer Wertschöpfungsketten wird analysiert, wobei gleichzeitig eine systematische Suche und Einbindung von geeigneten KMU der Region und darüber

hinaus außerhalb des bestehenden Clusters unter Nutzung bestehender Programme des assoziierten Partners IHK wie „Moving Mittelstand“ erfolgt. Durch ein Ableiten notwendiger ökonomische Anreize wird ein fruchtbares Marktumfeld für neuromorphe Hardware-Innovationen und deren Anwendungen geschaffen. UnternehmensgründerInnen werden durch die RWTH Innovation GmbH unterstützt.

Die gesellschaftliche Perspektive richtet sich spezifisch auf die soziale Ordnung, welche die Entfaltung des Innovationsökosystems neuromorpher Hardware ermöglicht und stärkt. Dabei geht es einerseits um die innere Struktur und Dynamik des Innovationsökosystems, andererseits um die Gestaltung passender politischer Rahmenbedingungen. Da es sich hierbei um einen dynamischen Prozess handelt, wird das Innovationsökosystem als ein Feld von Akteuren und Techniken analysiert, um so die Mechanismen der Stabilisierung wie auch die Optionen für die strategische Erweiterung des Innovationsökosystems herauszuarbeiten. Konkret wird nicht nur eine Landkarte von Innovationsakteuren für NeuroSys erstellt, sondern ebenso die relevanten sozio-kulturellen Bedingungen herausgearbeitet, um Innovationspfade im Innovationsfeld zu etablieren, und schließlich Faktoren für die Gestaltung des Innovationsökosystems identifiziert. Auf diese Weise kann die Frage beantwortet werden, wie die sozio-technische Architektur des Innovationsökosystems beschaffen sein muss, um technologische Unabhängigkeit als gesellschaftliches Projekt realisieren zu können. Eine ganzheitliche Betrachtung moralischer Herausforderungen ist zentrale Aufgabe, um die Vision einer der wettbewerbsfähigen Europäischen Wertegemeinschaft verpflichteten Technologieentwicklung zu realisieren. Ziel der Ethik in NeuroSys ist es, fundierte normative Orientierung für einen verantwortungsbewussten Einsatz von disruptiven Technologien und eine nuancierte Diskussion in den verschiedenen Anwendungsszenarien zu geben. Grundlegend dafür ist die Identifikation und systematische Analyse moralischer Herausforderungen und potentieller Kontroversen neuer KI-Hardware, um vorausschauend normative und gesellschaftliche Implikationen zu berücksichtigen. Angesichts des Ziels, ein Cluster von Weltrang für exploratorische und angewandte Forschung und Entwicklung aufzubauen, wird zudem eine Reflektion technologischen Fortschritts grundlegend sein, die Werte wie Wirtschaftlichkeit, digitale Souveränität, Sicherheit und Vertrauen in den Blick nimmt, um so Wettbewerbsfähigkeit und moralische Fragestellungen gezielt aufeinander zu beziehen und mögliche Konflikte rechtzeitig zu erkennen.

## 4.2 Erwartete Auswirkungen

### 4.2.1 Wissenschaftlich-Technische Auswirkungen

Im Rahmen der verschiedenen Projekte zielt NeuroSys auf einen direkten Technologietransfer und Stimulation der angegliederten Wirtschaftsunternehmen. Als übergreifende Zielsetzung wird die Entwicklung eines Demonstrators definiert, der die Innovationen auf den verschiedenen Ebenen integriert. Ausgangsbasis sind hierzu Anwendungen im Bereich des maschinellen Lernens, welche komplexe menschliche Fähigkeiten ergänzen und erweitern oder deren Zuverlässigkeit erreichen und

übertreffen. Neue Konzepte auf algorithmischer Ebene sollen deren Qualität erhalten und dabei eine autonome Bearbeitung auf mobilen Endgeräten ermöglichen. Hierzu ist u.a. eine disruptive Verbesserung der Effizienz notwendig. Mit klassischen Methoden erlauben dedizierte integrierte Schaltungen (ASICs) eine mehr als 1000-fache Reduktion der Energie je Operation, so dass heute bspw. Google (Coral AI) eine Beschleunigerkarte mit 2 TOPS/W ( $2 \cdot 10^{12}$  Rechenoperationen je Joule) kommerziell anbietet. NeuroSys wird zukünftig Lösungen mit POPS/W ermöglichen, d.h. mit mehr als  $10^{15}$  Rechenoperation je Joule. Technisch wird dies möglich durch die anvisierte Ko-Optimierung auf den drei Ebenen Technologie, HW/SW-Architektur und Algorithmus auf Basis der neuartigen innovativen Bauelemente.

### 4.2.2 Gesellschaftliche Auswirkungen

Der Anspruch technologischer Unabhängigkeit ist bewusst als ambitioniertes Ziel gesetzt. Unabhängigkeit als genuin europäischen Weg zu gestalten bedeutet, beim Realisieren dieses Zieles von vornherein die Grundlagen der europäischen Wertegemeinschaft zur Geltung zu bringen. Diese Wertegemeinschaft versteht es als ihre Verantwortung, technologische Entwicklungen als eingebettet in soziale Praktiken, Werte und Institutionen nicht isoliert davon voranzutreiben, sondern diese Werte, Praktiken und Institutionen im technologischen Entwicklungsprozess zum Ausdruck zu bringen und fortzuentwickeln. Die Entwicklung effizienter und ressourcenschonender Methoden, die in einer Vielzahl von Anwendungsgebieten einsetzbar sind, verspricht Fortschritt, der der Verantwortung auch für zukünftige Generationen gerecht werden kann. Technologische Unabhängigkeit kann auf diesem Fundament nur durch die Stärkung digitaler Souveränität, als individuellem und gesellschaftlichem Wert, realisiert werden. Digitale Souveränität der Bürgerinnen und Bürger und Technologiesouveränität der Wertegemeinschaft sind als eine aufs engste miteinander verschränkte Innovationsaufgabe zu verstehen. Die Entfaltung dieses Clusters stellt deshalb eine sozio-technische Transformation dar, bei der ethisch reflektierte Technikentwicklung, kollaborative Innovationspraxis und eine maßgeschneiderte Governance ineinandergreifen. Vor diesem Hintergrund steht dieses Cluster für ein zentrales Experiment europäischer Entwicklung, bei der technologische und soziale Innovationen untrennbar werden. Eine so gestaltete integrierte Forschung und Transformation bringt zugleich die sozialen und normativen Bedingungen der Verlässlichkeit und Akzeptanz dieser neuen Technologie mit hervor – weil sie die verschiedenen Entwicklungsstränge von vornherein parallelisiert und konfiguriert. Akzeptanz muss nicht im Nachhinein eingefordert werden, sondern entsteht inmitten eines konsultativen Prozesses. Zum Beispiel ist der Einsatz von KI in der medizinischen Entscheidungsfindung nur dann dem Wohlergehen der Menschen – ÄrztInnen, PatientInnen, Angehörigen – zuträglich, wenn diese auf ihre je eigene Weise das System als verlässlich und akzeptabel annehmen. Ebenso ist die Verankerung des Clusters in der Region sowie die daraus sich eröffnende Chance einer überregionalen Bedeutung abhängig von der kollaborativen Bündelung von Kompetenzen in der Region sowie deren spezifischen

Ergänzung und Weiterentwicklung. In beiden Fällen kommen die besonderen normativ-sozialen Bedingungen zum Tragen. So entsteht in der Region ein einzigartiges Innovationsökosystem, das nicht nur für den hier im Mittelpunkt stehenden Innovationsprozess eine normative und soziale Basis darstellt, sondern modellhaft für weitere Regionen und Technologien stehen kann.

### 4.2.3 Wirtschaftliche Auswirkungen

Das NeuroSys Cluster tritt an, exzellente Grundlagenforschung in disruptive marktfähige Produkte zu transformieren. Als direkter Pfad dienen dazu die regionalen Industriepartner des Konsortiums, die bereits in der ersten Umsetzungsphase an den F&E Aktivitäten beteiligt sind. Weiterhin sind bereits junge Ausgründungen direkt beteiligt. Zusätzlich hat das Cluster einen Beirat, der sowohl nationale Industrie als auch regionale Transformationsakteure einbindet, die frühzeitig als Multiplikatoren für die Verwertung von Ergebnissen auftreten. Weiterhin ist mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten, dass während der gesamten Laufzeit weitere Ausgründungen aus dem Cluster und seinem Umfeld entstehen. Über die RWTH Innovation GmbH wird ein professioneller Umgang mit IP sichergestellt, so dass die Forschungseinrichtungen und (regionalen) Industriepartner des Clusters nachhaltig von den Forschungsergebnissen profitieren. Die übergeordneten Ziele des NeuroSys Clusters, einen nachhaltigen Beitrag zur europäischen Technologiesouveränität zu leisten, bauen auf das disruptive Potenzial des Vorhabens. Disruptive Technologien sind in der Initialphase mit hohen Wertschöpfungsverlusten verbunden, die über entsprechende Lernprozesse abgebaut werden müssen. Daher ist nicht nur der Prozess des Anlaufflernens ein systematischer Bestandteil von NeuroSys, sondern es werden aus Unternehmenssicht Geschäftsmodelle und ganze Wertschöpfungsketten analysiert und auf ihre wirtschaftliche Tragfähigkeit hin untersucht. Hierfür werden bestehende Kostenstrukturen und darin vorhandene Wertschöpfungsverluste identifiziert und analysiert. In Kombination mit der Berücksichtigung von technologischem Prozesslernen und von Skaleneffekten werden Szenarien für dynamische Kostenwirkungen ermittelt, die einen erfolgreichen Markteintritt ermöglichen. Auf Grund der strategischen und branchenübergreifenden Bedeutung von KI müssen neben den pagatorischen Kosten auch externe Kosten und Kosten aufgrund von Versorgungsunsicherheiten einbezogen werden. Daraus können politische Handlungsempfehlungen für regulatorische Anforderungen und ökonomische Anreize abgeleitet werden, die notwendig sind, um nachhaltig gewünschte Entwicklungen zu fördern. Wenn es gelingt, technologisches und gesellschaftspolitisches Handeln zu kombinieren und so die Ziele des Clusters zu erreichen, kann das Cluster auf die wettbewerbliche Entwicklung der gesamten nationalen High-Tech Branche ausstrahlen.

### 4.3 Mehrwert der Zukunftscluster-Initiative

Die einzelnen Akteure des NeuroSys Clusters sind für sich genommen bereits äußerst aktiv im Themenfeld KI in ihrer jeweiligen wissenschaftlichen Fachdisziplin und als Unternehmen. Dies ist belegt durch die große Zahl an wissenschaftlichen Preisen und Projekten, eingeworben in extrem kompetitiven

Ausschreibungen, hochrangige Publikationen, die prominente Einbindung in relevante regionale, nationale und internationale Netzwerke und erfolgreiches Agieren am Markt oder als Start-Up. Die Einrichtung eines Zukunftsclusters bietet nun die einmalige Möglichkeit, diese exzellenten, aber verstreuten Aktivitäten gezielt zu bündeln und als Cluster gemeinsam auf ein großes Ziel hin zu arbeiten. Damit würde die Aachener Spitzenforschung zu einem international sichtbaren Leuchtturm und das enorme Innovationspotenzial der Region im Bereich des neuromorphen Rechnens und KI weit über die Summe der Einzelaktivitäten erschließbar. Die in der Region bestehenden Infrastrukturen bieten hierfür beste Voraussetzungen. Wir rechnen damit, dass die Einrichtung eines Zukunftsclusters weitere international ausgewiesene (Nachwuchs-)WissenschaftlerInnen, Unternehmen und Start-Ups in die Region locken wird.

Das Ziel der NeuroSys-Initiative, eine weltweit führende Position in Forschung, Entwicklung und Verwertung neuromorpher Hardware einzunehmen, ist extrem ambitioniert. Es zu erreichen braucht neben der tiefen fachlichen und der interdisziplinären Expertise auch Mut, Optimismus und eine offene Innovationskultur. All dies bringen die Akteure mit und sehen vor allem die Chance, ein einzigartiges Innovations-Ökosystem aufzubauen und somit zu einer europäischen Unabhängigkeit im Weltmarkt beizutragen.

### 4.4 Beitrag zur Hightech-Strategie 2025 und zur Zukunftscluster-Initiative

NeuroSys adressiert die Vision der Hightech-Strategie 2025 in idealer Weise. Alle im Handlungsfeld der Strategie genannten gesellschaftlichen Herausforderungen werden massiv durch die Entwicklung der Mikroelektronik und insbesondere und stark zunehmend durch Verwendung von KI geprägt. Dieses wird nachhaltig und zum Wohle der Gesellschaft aber nur gelingen, wenn eine energieeffiziente dedizierte Hardware vorhanden ist, die nach ethisch klar definierten Regeln funktioniert und den BürgerInnen höchste (Daten-)Sicherheit bietet, sei es als PatientIn, ArbeitnehmerIn, VerkehrsteilnehmerIn etc. Die sich derzeit entwickelnde KI-Revolution muss dabei als Chance verstanden werden, sich auf diesem neuen Feld nicht auf extrakontinentale Konzerne und Regierungen zu verlassen, sondern Wissen, geistiges Eigentum und Produktion in Europa zu etablieren. Zu diesem langfristigen Ziel der technologischen Souveränität soll NeuroSys entscheidende Impulse geben und damit zu Handlungsfeld II beitragen. Die Region Aachen steht auf Grund der Energiewende gerade vor der enormen Herausforderung des Strukturwandels, sodass NeuroSys auch hier eine große Wirkung entfalten kann.

## 5 Innovations- und Forschungsexzellenz

---

### 5.1 Exzellenz des Konsortiums

NeuroSys baut auf drei technologischen Säulen auf. Erstens zählt die exzellente Grundlagenforschung an der RWTH Aachen, am Forschungszentrum Jülich und der AMO zu Materialien und elektronischen Bauelementen für neuromorphes Rechnen auf NeuroSys ein. Die drei Partnerinstitutionen haben eine hohe internationale Sichtbarkeit dank der bahnbrechenden Ergebnisse auf den Gebieten der

Phasenwechselmaterialien und resistiven Speicher (DFG SFB 917) und den Bereich „Graphen und 2D-Materialien“. Zweitens wird die Expertise der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der RWTH Aachen und am FZ Jülich im Schaltungs- und Systementwurf sowie *Computational Neuroscience* eingebracht. Damit deckt NeuroSys Digital-, Analog- und photonisches Design und Algorithmenentwicklung ab, insbesondere für Methoden des Hardware-Algorithmus Co-Designs – entscheidendes Know-how, um die das volle Potenzial der neuen neuromorphen Hardware zu entfalten. Drittens sind exzellente ForscherInnen aus den Bereichen Computer Vision, Verarbeitung natürlicher Sprache und medizinische Informationstechnologie involviert, einschließlich der Entwicklung und Anwendung der KI für die persönliche Gesundheitsversorgung. Für ihre Arbeiten erhielten die ForscherInnen des Clusters eine Reihe von ERC Grants und weiteren renommierten Auszeichnungen. Das Cluster baut weiterhin auf einer großen Anzahl von international renommierten F&E Aktivitäten auf und hat Zugriff auf eine umfassende regionale Infrastruktur für alle Aspekte der Innovation, die international ihresgleichen sucht. Die beteiligten ForscherInnengruppen, Unternehmen und Innovationstreiber sind im Folgenden tabellarisch zusammengefasst.

Projektpartner (ausführliche Beschreibung der Expertise und Rolle im Cluster im Anhang)		
Beteiligte Personen	Institut	
Prof. Max C. Lemme (Cluster-Koordinator)	Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (RWTH), AMO GmbH, Black Semiconductor GmbH	Neuromorphe Materialien und Bauelemente
Prof. Andrei Vescan	Institut für Technologie der Verbindungshalbleiter (RWTH)	
Prof. Rainer Waser (Koordinator Projekt A)	Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik II (RWTH), Peter Grünberg Institut für Elektronische Materialien (PGI-7 , FZ Jülich) & JARA-Institute Green-IT (PGI-10, FZ Jülich)	
Prof. Jeremy Witzens (Koordinator Projekt B)	Institut für Integrierte Photonik (RWTH)	
Prof. Matthias Wuttig	Physikalisches Institut IA (RWTH) JARA-Institute Green-IT (PGI-10, FZ Jülich)	
Dr. Stephan Tiedke	AixACCT Systems GmbH	
Dr. Florian Merget	AixScale Photonics UG	
Prof. Michael Heuken	AIXTRON SE	
Dr. Daniel Schall	Black Semiconductor GmbH	
Dr. Roland Krumm	ELMOS Semiconductor SE	
Prof. Tobias Gemmeke (Koordinator Projekt C)	Lehrstuhl für Integrierte digitale Systeme und Schaltungsentwurf (RWTH)	Schaltungs- und Systementwurf
Prof. Markus Diesmann	Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-6, FZ Jülich), JARA-BRAIN Institute Brain Structure-Function Relationships (INM-10, FZ-Jülich), Institute for Advanced Simulation (IAS-6, FZ-Jülich)	

Prof. Stefan Heinen	Lehrstuhl für Integrierte Anlogschaltungen, Institut für Halbleitertechnik (RWTH)	
Prof. Rainer Leupers	Lehrstuhl für Software für Systeme auf Silizium (RWTH), Silexica GmbH/Inc.	
Prof. Renato Negra	Lehrstuhl für Höchsfrequenzelektronik (RWTH)	
N.N., DirektorIn	Institut für „Neuromorphic Compute Nodes“ (FZ-Jülich)	
N.N., DirektorIn	Institut für „Neuromorphic Software Ecosystem“ (FZ-Jülich)	
Prof. Bastian Leibe (Koordinator Projekt D)	Informatik 13 – Computer Vision (RWTH)	Maschine Learning und Neuronale Netze
Prof. Steffen Leonhardt	Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik (RWTH), Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik	
Prof. Hermann Ney, PD Dr. Ralf Schlüter	Informatik 6 – Sprachverarbeitung und Mustererkennung (RWTH), AppTek GmbH	
Prof. Anke Schmeink	Lehr- und Forschungsgebiet für Informationstheorie und Systematischer Entwurf von Kommunikationssystemen (RWTH), Clinomic GmbH	
Dr. Felix Gremse	Gremse IT GmbH	
Michael Klennert	STAR Healthcare Management GmbH	
PD Dr. med. Lukas Martin	Clinomic GmbH	
Dr. Volker Steinbiß	Applications Technology – Apptek GmbH	
Prof. Stefan Böschen	Lehrstuhl für Technik und Gesellschaft (RWTH), Human Technology Center (RWTH)	Gesellschafts- wissenschaften
Prof. Peter Letmathe (Koordinator Projekt E)	Lehrstuhl für Controlling (RWTH)	
Prof. Saskia K. Nagel	Lehr- und Forschungsgebiet für Angewandte Ethik (RWTH), Human Technology Center (RWTH)	
Bram Wijlands, M.A.	RWTH Innovation GmbH	
Raphael Jonas	Industrie- und Handelskammer (IHK) Aachen	

## 5.2 Cluster-relevante Vorarbeiten, Forschungs- und Innovationsaktivitäten

Die Akteure des Clusters sind an zahlreichen (inter-)nationalen F&E Projekten im Themenbereich KI beteiligt. In der Partnerbeschreibung RWTH, FZ Jülich und AMO sind die relevantesten davon beschrieben. Weiterhin profitiert das Cluster von einer enormen Dichte von Infrastrukturen und Initiativen in der Region, und ist an zahlreichen (inter-)nationalen Initiativen im Themenbereich KI beteiligt. In der zusammenfassenden „Partnerbeschreibung RWTH, FZ Jülich und AMO“ sind diese Vorarbeiten, Projekte, Infrastrukturen und Initiativen gesammelt. Das NeuroSys Cluster verbindet all dieses zu einem übergeordneten Ganzen mit massiver internationaler Ausstrahlung.

## 5.3 Positionierung des NeuroSys-Clusters

Die Region Aachen mit der RWTH Aachen University und dem Forschungszentrum Jülich ist einer der wenigen Orte weltweit, wo wissenschaftliche Exzellenz in allen für ein erfolgreiches Vorhaben erforderlichen Disziplinen verfügbar ist. Die am Cluster beteiligten ForscherInnen nehmen führende Positionen in ihren jeweiligen Fachgebieten ein und sind ausgewiesen durch bahnbrechende Forschungsergebnisse, Publikationen und Auszeichnungen. Gleichzeitig gibt es innerhalb der ForscherInnengruppe einen starken Impuls zu Ausgründungen und Unternehmenskooperationen. In den Materialwissenschaften sind die Gruppen an der RWTH und am FZ Jülich Schlüsselakteure in ihrer Disziplin. Dies wird ergänzt durch Infrastrukturen von Weltklasse für die Herstellung und Charakterisierung von Halbleiterbauelementen und -schaltungen sowie das entsprechende technische Know-how. Die Informatik steht an vorderster Front der Forschung in den Bereichen Computer Vision, Verarbeitung natürlicher Sprache und Medizintechnik. Die Entwicklung eines Ökosystems für neuromorphe Hardware für zukünftige Anwendungen der KI ist ein äußerst ambitioniertes Unterfangen. Alle im Projekt beteiligten Akteure haben internationale Netzwerke zu und Kooperationen mit führenden Universitäten, Forschungseinrichtungen und Unternehmen im NeuroSys Themenbereich. Wir sehen uns als Gesamtheit daher bereits heute als Konkurrenten auf Augenhöhe im internationalen Maßstab. Die Einrichtung des Clusters wäre der entscheidende Impuls zur Errichtung eines internationalen Leuchtturms. Um dabei erfolgreich zu sein ist die Konvergenz von Material-, Ingenieur-, Computer-, Neuro-, Wirtschafts-, und Gesellschaftswissenschaften unerlässlich. Weiterhin braucht es Unternehmen, die mutig in Richtung dieser neuen Technologie voranschreiten. Wir haben im NeuroSys-Cluster sowohl die Kompetenzen als auch den strategischen Willen, uns dieser Aufgabe zu stellen.

# 6 Umsetzung

---

## 6.1 Organisationsstruktur

Die Managementstruktur des NeuroSys-Clusters ist auf eine effiziente Steuerung der Aktivitäten ausgelegt (Abbildung 4). Das Executive Board trifft übergreifende Entscheidungen und kontrolliert den Fortgang der Arbeiten, während die NeuroSys Koordinationsstelle das Tagesgeschäft organisiert. Das Executive Board sorgt weiterhin für eine effektive Kommunikation an den Beirat und die Umsetzung der Empfehlungen und Adressierung der Kommentare desselben. Der Cluster-Koordinator als Leiter des Executive Board ist ständiger wissenschaftlicher Ansprechpartner für den Projektträger und das BMBF. Das **Executive Board** (EB) setzt sich aus dem Cluster-Koordinator (Max Lemme), den fünf Koordinatoren der Einzelprojekte und drei gewählten Vertretern der am Cluster beteiligten Unternehmen zusammen und wird ergänzt durch den/die wissenschaftliche(n) KoordinatorIn ohne Stimmrecht (s.u.) Das EB wird die Cluster-Aktivitäten steuern und überwachen. Das EB wird mindestens alle zwei Monate und bei Bedarf öfter tagen und die Ergebnisse der monatlichen Projekttreffen begutachten. Wann immer

sinnvoll werden relevante ExpertInnen hinzugezogen und zu den Sitzungen eingeladen. Entscheidungen werden mit einfacher Mehrheit getroffen, bei Gleichstand entscheidet der Cluster-Koordinator.

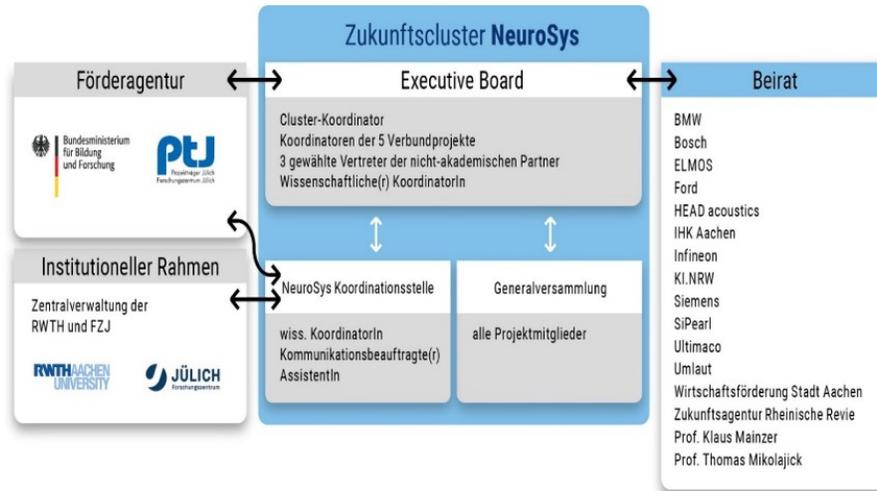


Abbildung 4: Organisationsstruktur des NeuroSys-Clusters.

Das EB stellt sicher, dass die in diesem Antrag definierte Vision und die Hauptziele erreicht werden. Zu den konkreten Aufgaben des EB gehören die langfristige strategische Planung der Aktivitäten, die Festlegung von Prioritäten, die Überwachung des wissenschaftlich-technischen Gesamtfortschritts und die Zuweisung (und möglicherweise Neuzuweisung) von Ressourcen. Eine weitere zentrale Aufgabe ist die Koordination der Aktivitäten zwischen den Verbundprojekten, was durch die Teilnahme der ProjektkoordinatorInnen sichergestellt ist. Weiterhin hält das EB den Kontakt zum Beirat und entwickelt Strategien für die Zusammenarbeit mit anderen nationalen und internationalen KI-Initiativen.

Der **Beirat** setzt sich zusammen aus nationalen IndustrievertreterInnen der für die NeuroSys-Strategie relevanten Branchen, Schlüsselakteuren der Innovationslandschaft in der Region Aachen sowie im Thema ausgewiesenen WissenschaftlerInnen (siehe Titelseite). Mit allen Beiratsmitgliedern werden im Vorfeld Geheimhaltungserklärungen (NDAs) abgeschlossen. Der Beirat wird zweimal im Jahr im Rahmen der Generalversammlung tagen und dabei die Fortschritte des Clusters evaluieren. Dazu werden dem Beirat vorab aktuelle Forschungsergebnisse soweit im NDA abgedeckt zur Verfügung gestellt und präsentiert sowie Möglichkeiten zu Rückmeldungen und Empfehlungen sowohl an den EB als auch an einzelne PIs gegeben. NeuroSys strebt an, dass die Empfehlungen des Beirats Teil einer internen Roadmap werden, und somit für die Gestaltung der weiteren Umsetzungsphasen genutzt werden. Im Rahmen der Weiterentwicklung des Technologiereifegrades wird erwartet, dass zumindest ein Teil der Unternehmen im Beirat zu Partnern, Kunden oder Anwendern der NeuroSys-Technologie werden. Weiterhin ist der Beirat offen angelegt, d.h. die NeuroSys-Partner werden kontinuierlich über strategisch sinnvolle Erweiterungen des Beirats diskutieren und diese gegebenenfalls herbeiführen.

Die wissenschaftlich-technische Entwicklung des NeuroSys-Clusters und die interne wissenschaftliche Zusammenarbeit wird in der **NeuroSys Koordinationsstelle** von einer/m wissenschaftlichen KoordinatorIn gesteuert, die/der eng mit dem Cluster-Koordinator, dem EB und den Cluster-Partnern zusammenarbeitet. Die/der **wissenschaftliche KoordinatorIn** ist für das Monitoring des Projektfortschritts und ein rechtzeitiges und qualitativ hochwertiges Berichtswesen gegenüber dem Projektträger und BMBF verantwortlich. Darüber hinaus wird die NeuroSys Koordinationsstelle aus einer/m **Kommunikationsbeauftragten** und aus einer/m **Assistentin/en** bestehen. Die NeuroSys-Koordinationsstelle organisiert die Zusammenarbeit im Cluster, die Kommunikation, die Innovationsmassnahmen, eine NeuroSys Research School und das Forschungsdatenmanagement. IT-Unterstützung erfolgt als Eigenleistung bei jedem der beteiligten Partner. Für einen effizienten Informationsaustausch innerhalb des Clusters und als Dokumentarchiv wird eine gesicherte webbasierte Plattform für den Daten- und Informationsaustausch eingerichtet. Es werden klare vertikale Kommunikationskanäle für die Berichterstattung definiert, die von allen beteiligten ForscherInnen über die KoordinatorInnen der Verbundprojekte bis zum EB und Cluster-Koordinator führen.

Die **Generalversammlung** besteht aus allen NeuroSys-Mitgliedern (PIs, assoziierte ForscherInnen, MitarbeiterInnen). Sie wählt die wählbaren Mitglieder des EB, wobei je ein Mitglied pro Partner stimmberechtigt ist. Sie trifft sich zweimal im Jahr, um den Gesamtfortschritt und wichtige neue Erkenntnisse, Richtungen und Ideen zu diskutieren.

## 6.2 Qualitätssicherung

Die regelmäßige Überprüfung des Projektfortschritts und der Qualität der Arbeiten sind von zentraler Bedeutung, um die ehrgeizigen Ziele von NeuroSys zu erreichen. Für die quantitative Überprüfung sind in den einzelnen Projekten klare Meilensteine definiert. Die Qualität der wissenschaftlichen Arbeiten wird über Publikationstätigkeiten sichergestellt, da das internationale Wissenschaftssystem und das Prinzip des *peer review* sicherlich das höchste Maß wissenschaftlicher Begutachtung darstellen. Die Innovationskraft wiederum wird über die Anwendungsrelevanz der Ergebnisse gemessen. Dies wird durch die Industriepartner und die industriellen Beiratsmitglieder erfolgen. Die Qualität der Ausbildung wird sowohl durch wissenschaftlichen *peer review* als auch durch Unternehmen bewertet, wobei RWTH AbsolventInnen von IndustrievertreterInnen seit vielen Jahren als besonders „einstellbar“ eingestuft werden. Die Verantwortung für die Qualitätssicherung liegt letztlich beim EB, welches den Fortschritt des Clusters sorgfältig überwachen wird. Hierzu dienen halbjährliche interne Fortschritts-Workshops über die wissenschaftlichen Leistungen aller Verbundprojekte. Weiterhin treffen sich die PIs mindestens monatlich mit dem Koordinator ihres jeweiligen Verbundprojekts, um den Fortschritt zu bewerten und zu protokollieren. Diese Treffen ermöglichen es dem EB, einen regelmäßigen Soll-Ist Abgleich durchzuführen und im Falle starker negativer Abweichungen zusammen mit den Projektpartnern eine Strategie zur Erreichung der Ziele zu entwickeln. Die Cluster-Fortschritte werden zweimal jährlich mit

dem Beirat diskutiert. Die NeuroSys Koordinationsstelle wird jährliche Berichte auf der Grundlage messbarer Leistungskriterien erstellen, zum Beispiel Auszeichnungen, Patente, externe zusätzliche Finanzierung, neue Projekte mit weiteren Partnern, Veröffentlichungen oder eingeladene Vorträge. Diese Berichte ermöglichen dem Projektträger und dem BMBF einen Vergleich des Status quo mit den definierten Zielen und Meilensteinen. Die Berichte sind die Grundlage für strategische und operative Entscheidungen des Clusters. Am Ende des zweiten Jahres jeder Umsetzungsphase wird gemeinsam mit dem Beirat eine umfassende Evaluierung aller Kernprojekte durchgeführt, die als Grundlage für den Antrag für die nächste Umsetzungsphase dient. Die Evaluierung kann größere Umverteilungen von Ressourcen bis hin zur Streichung ganzer Forschungslinien zur Folge haben.

## 6.3 Maßnahmen zur Maximierung der Wirkung

### 6.3.1 Innovationsmanagement und Verwertungsstrategie

**Sicherung von geistigem Eigentum (IP).** In einem großen und fachlich heterogenen Konsortium wie NeuroSys ist aktives Innovationsmanagement entscheidend. Spezifische Ergebnisse der Forschung können im Interesse des Schutzes und der Verwertung von geistigem Eigentum vertraulich bleiben. Alle Partner werden sich auf eindeutige Regeln für den Umgang mit IP einigen, einschließlich (a) Schutz der Rechte an geistigem Eigentum, (b) Regelung der Eigentumsrechte an geistigem Eigentum, (c) Gewährung von offenen Zugangsrechten zu den Projektergebnissen an alle beteiligten Partner für den Zweck der Forschung, (d) Transfer oder Lizenzierung von IP von den Partnern an Unternehmen zu marktüblichen Konditionen. MitarbeiterInnen, insbesondere Promovierende, die im Umgang mit IP ungeübt sind werden im Projekt durch die RWTH Innovation durch IP-Schulungen und -Workshops sensibilisiert, unterstützt durch Erfinder- und Softwareberatungen. Ziel ist, nicht alle, jedoch die relevanten urheberrechtlichen (Software) und/oder erfinderischen Ergebnisse vor der Publikation zu schützen und zu patentieren und so ein attraktives und gut verwertbares IP-Portfolio mit möglichst großer Schutzbreite zu kreieren. Die RWTH Innovation als Transfergesellschaft der RWTH besitzt die nötige Erfahrung und Expertise für diese Aufgaben und ist über die Aachen-Jülich Innovation Alliance (AJIA) mit der Abteilung Innovation & Strategie des Forschungszentrums Jülich eng vernetzt.

**Technologietransfer.** Know-how, Software und geschützte Patentportfolios werden individuell und auf verschiedenen Wegen den Zugang zum Markt finden. Erste Ansprechpartner sind die unternehmerischen Konsortialpartner mit ihren unterschiedlichsten Geschäftsmodellen. Die Cluster-Arbeiten werden Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Unternehmen und Forschungseinrichtungen etablieren und ausbauen. Gegenseitige Besuche und Seminare werden den Informationsaustausch entlang der Wertschöpfungskette vorantreiben und innovative Ideen in die Industrie transferieren. RWTH Innovation, die IHK und die Wirtschaftsförderung Stadt Aachen haben große Unternehmensnetzwerke, mit denen auf dem Gebiet des Transfers zusammengearbeitet wird.

**Ausgründungen.** Eine realistische Option für Innovation sind Spin-offs aus dem Konsortium. Die Projektpartner Aixtron, AixACCT, Clinomic, Black Semiconductor, Gremse IT und AixScale sind hervorragende Beispiele, wie Forschung an der RWTH/AMO/FZ Jülich zu Unternehmensgründungen führen kann. Seit 2019 wird mit dem „RWTH Exzellenz Start-up Center“ der größten Technikinkubator Europas aufgebaut, um jungen Teams mit wissenschaftlichen Ergebnissen aus der Zukunftsforschung das nötige Rüstzeug und die bestmögliche Unterstützung zu geben, um diese kostenintensiven und risikoreichen Geschäftsmodelle an den Markt zu bringen. Dabei können den Teams im Anschluss an ihre Promotion Büros, Labore oder Werkstätten kostenfrei zur Verfügung gestellt werden oder MentorInnen aus der Wissenschaft und Business Angel an die Hand gegeben werden. Im immer größer werdenden Gründer-Ökosystem in der Region Aachen aus MitgründerInnen, Investoren und an Innovationen interessierten Unternehmen wird die Chance für Start-ups maximiert, neue Technologien erfolgreich zu etablieren. Das Exzellenz Start-up Center wird maßgeblich von RWTH Innovation geführt, so dass NeuroSys für Gründungsvorhaben eine ideale Anbindung genießt.

**Ausbildung von Fachkräften.** Die Durchführung vieler Promotionen und Abschlussarbeiten (MSc, BSc) auf höchstem wissenschaftlichem Niveau innerhalb von NeuroSys führt zu bestausgebildeten Fachkräften. Auf Grund der strategischen Bedeutung des Forschungsthemas wird der deutsche Arbeitsmarkt einen wachsenden Bedarf junger Menschen mit entsprechender Ausbildung benötigen. Die Einbindung der Forschungsergebnisse aus NeuroSys in die universitäre Lehre bis hin zur Einrichtung neuer Studiengänge ist unverzichtbar für den strategisch bedeutenden Bereich KI. Beispiele aus der angewandten Forschung und das über NeuroSys demonstrierte unternehmerische Interesse am Thema ist ein bedeutender langfristiger Faktor, um die nächste Generation von WissenschaftlerInnen in Deutschland für Forschung und Innovation zu begeistern. Über die RWTH International Academy wird sich das Cluster auch in die berufsbegleitende Weiterbildung einbringen, denn das Thema KI ist gerade auch für den Mittelstand von größter strategischer Bedeutung.

**Internationale Exzellenz.** Die Ergebnisse werden zu wissenschaftlichen Veröffentlichungen führen, die hochrangig publiziert werden sollen. Dies ist im internationalen Wettbewerb um die besten Köpfe eine entscheidende Währung und sorgt langfristig für eine exzellente Qualität der wissenschaftlichen MitarbeiterInnen und DoktorandInnen. Dies kommt letztlich dem Standort Deutschland zu Gute.

**Wissenschaftlich-technische Anschlussfähigkeit.** Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Projektes werden in der Fachwelt und in der Industrie verbreitet. Es ist zu erwarten, dass daraus Folgeprojekte oder „spin-out“ Projekte zu neuen Fragestellungen gemeinsam mit Cluster-Partnern oder weiteren Partnern in nationalen oder europäischen Förderprogrammen entstehen, z.B. innerhalb der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland.

### 6.3.2 NeuroSys Research School

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist für die Nachhaltigkeit der NeuroSys Thematik von entscheidender Bedeutung. In jeder Umsetzungsphase werden etwa vierzig DoktorandInnen an den definierten Themen arbeiten, zuzüglich der Fachkräfte in den Unternehmen. Eine vergleichbare Anzahl von Bachelor- und MasterstudentInnen werden jährlich in den beteiligten ForscherInnengruppen ausgebildet. Das NeuroSys-Cluster wird NachwuchsforscherInnen auf verschiedenen Ebenen koordiniert fördern und für diesen Zweck eine Research School einrichten. Es wird ein interdisziplinäres Vorlesungsprogramm erarbeitet, welches von Neurowissenschaften, tiefes maschinelles Lernen und neuromorphe Netze bis hin zu Materialien, Halbleiterbauelementen, Schaltungsentwurf, Algorithmen bis zu Anwendungen des maschinellen Lernens reicht. Dazu werden Kolloquien von ausgewiesenen externen WissenschaftlerInnen und IndustrievertreterInnen, sowie pro Förderperiode eine internationale NeuroSys-Sommerschule organisiert. Während des Semesters wird es gemeinsame DoktorandInnenseminare auf Cluster-Ebene geben, sowie jährlich eine NeuroSys-interne Studierendenkonferenz, bei der die PIs eine untergeordnete Rolle spielen, um die Kommunikations- und Diskussionsfähigkeiten der Studierenden zu fördern und eine gemeinsame Identität innerhalb des Clusters zu schaffen. Master-Studierende werden über neue Vorlesungen und Studiengänge an NeuroSys herangeführt. Die Cluster-DoktorandInnen werden von zwei PIs betreut, vorzugsweise aus zwei verschiedenen Disziplinen. Während einer der BetreuerInnen ein NeuroSys-PI sein muss, kann der zweite auch ein(e) renommierte(r) externer ForscherIn sein. Die NeuroSys Research School wird von zwei PIs geleitet. Gemeinsam werden sie das NeuroSys-spezifische Curriculum entwickeln und dabei das RWTH Center for Young Academics einbinden. Internationaler wissenschaftlicher Nachwuchs wird durch das Welcome Center und das International Office der RWTH unterstützt. Ein PI wird als Ombudsperson für vertrauliche Beratung und Konfliktvermittlung fungieren.

### 6.3.3 Kommunikationsstrategie

Die Ausstrahlung des NeuroSys-Clusters wird maximiert durch effektive, zielgerichtete Kommunikation an InteressenvertreterInnen aus Wissenschaft und Wirtschaft (Partner, Beirat, Investoren), politische EntscheiderInnen und die breite Öffentlichkeit. Diese zentrale Aufgabe wird von einer/m dedizierten Kommunikationsbeauftragten geleitet und folgt einem klaren Plan: (i) messbare Ziele definieren, (ii) Zielgruppen identifizieren und die Kernbotschaft entwickeln, (iii) Kommunikationskanäle auswählen und einen Zeitplan aufstellen, (iv) Bewertung der Kampagne anhand geeigneter Indikatoren. Eine dedizierte Cluster-Webseite kommuniziert alle relevanten Informationen über das Cluster und seine Akteure und Aktivitäten (z.B. [www.graphene.ac](http://www.graphene.ac), AMO, RWTH) und unterstützt die Zukunftscluster-Seiten des BMBF. Dediziertes illustratives (Video-) Material spricht die allgemeine Öffentlichkeit an (z.B. [www.tetramax.eu](http://www.tetramax.eu), Leupers). Es wird eine starke Präsenz in sozialen Medien wie LinkedIn (z.B. [www.linkedin.com/company/aachen-graphene-2d-materials-center](http://www.linkedin.com/company/aachen-graphene-2d-materials-center), AMO, RWTH), Twitter oder YouTube aufgebaut, mit

Ankündigungen, Nachrichten, Newslettern oder Porträts. Faltblätter und Broschüren werden für öffentliche- und Fachmessen erstellt. Pressemitteilungen erfolgen lokal und national über Pressebüros der Cluster-Partner und Fachverbände wie VDI/VDE, GMM, IVAM oder MNWP. Wissenschaftliche Veröffentlichungen erfolgen in renommierten Fachzeitschriften und auf führenden internationalen Konferenzen. Alle Veröffentlichungen werden gemäß der Berliner Erklärung über offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen zugänglich gemacht und zusätzlich in Repositorien gespeichert, die von OpenAIRE ([www.openaire.eu](http://www.openaire.eu)) empfohlen sind. Alle Cluster-Partner beteiligen sich an Veranstaltungen wie "Forschungsbörse", "Girls'/Boys' Day", "Open Lab Days", "Wissenschaftsnacht" oder "Kinder-Uni". Auf regionaler Ebene nehmen NeuroSys Partner an einer Reihe öffentlicher Vorträge teil, die von REVIERa, ZRR und IHK (3-5 pro Jahr) organisiert werden. Der Ausbau der Vernetzung mit nationalen und internationalen KI-Initiativen wie KI.NRW, KI Bundesverband, Plattform Lernende Systeme, Nationale Strategie für KI, European AI Alliance, CLAIRE oder ELLIS ist ebenso Teil der Strategie.

### 6.3.4 Research Data Management

Das NeuroSys-Cluster richtet sich nach den Leitlinien zum Forschungsdatenmanagement der RWTH Aachen und des FZ Jülich. Es verfolgt eine *Open-Source*-Philosophie und wird Forschungsergebnisse FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) und über geeignete Datenrepositorien zugänglich zu machen und *Open-Access* veröffentlichen, einschließlich Metadaten und Informationen über Werkzeuge und Instrumente zur Validierung der Ergebnisse. Drittparteien können auf Daten zuzugreifen, sie nutzen, reproduzieren und verbreiten. In Umsetzungsphase 1 wird ein Datenmanagementplan mit klaren Richtlinien erstellt: Aufzeichnung, Speicherung und Verarbeitung persönlicher Daten erfolgt gemäß Bundesrecht und der Allgemeinen Datenschutzrichtlinie (EU 2016/679). (Medizinische) Daten werden in Rücksprache mit lokalen Datenschutzbehörden und nach persönlicher Aufklärung erhoben. Alle generierten Daten werden im Cluster pseudonymisiert weitergegeben und ausschließlich anonym veröffentlicht. Gebrauchsfertige Software-Bibliotheken für die Durchführung von Deep-Learning auf der neuen Hardware werden öffentlich zugänglich gemacht. Gegebenenfalls werden auch Simulationen und Datensätze veröffentlicht, um weitere Forschungsarbeiten aus der Gemeinschaft anzuregen.

## 6.4 Budgetübersicht

Projektbudget des NeuroSys-Clusters in der ersten Umsetzungsphase (pro Jahr)										
	Personal (P)	Sach (S)	Reise (R)	Budget (B=P+S+R)	Eigenanteil (EA)	Förder-summe (FS=B-EA)	Programm-pauschale (PP, individuell)	Fördersumme inkl. Programm-pauschale	Gesamt-budget (GB)	Förder-quote (FS/B)
Projekt A	1.147.563 €	178.625 €	14.750 €	1.340.938 €	302.000 €	1.038.938 €	94.038 €	1.132.975 €	1.434.975 €	
Projekt B	611.063 €	237.175 €	10.250 €	858.488 €	201.800 €	656.688 €	82.127 €	738.815 €	940.615 €	
Projekt C	673.817 €	87.500 €	9.000 €	770.317 €	0 €	770.317 €	113.133 €	883.450 €	883.450 €	
Projekt D	1.181.417 €	90.250 €	12.000 €	1.283.667 €	359.000 €	924.667 €	113.133 €	1.037.800 €	1.396.800 €	
Projekt E	483.510 €	107.500 €	6.200 €	597.210 €	132.500 €	464.710 €	81.442 €	546.152 €	678.652 €	
<b>Gesamt</b>	<b>4.097.369 €</b>	<b>701.050 €</b>	<b>52.200 €</b>	<b>4.850.619 €</b>	<b>995.300 €</b>	<b>3.855.319 €</b>	<b>483.873 €</b>	<b>4.339.192 €</b>	<b>5.334.492 €</b>	<b>79,5%</b>