

Foresight-Report | Zyklus I

Innovativ Thüringen & Institut für Innovation und Technik
(iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Inhaltsverzeichnis

1. Warum Foresight?	1
2. Foresight-Prozess in Thüringen	1
3. Foresight-Vorgehen und Methoden: Zyklus I	2
3.1 Scoping Zyklus I	2
3.2 Scanning Zyklus I	3
3.2.1 Quantitative Datenanalyse	3
3.2.2 Qualitative Ausarbeitung	3
3.2.3 Details zum Trendworkshop	4
3.3 Antizipation Zyklus IW	5
4. Foresight-Ergebnisse: Fokustrends Zyklus I	7
4.1 Übersicht Trendthemen	7
4.2 KI-gestützte, robotische und immersive Technologien für personalisierte Gesundheit – für eine Medizin, die individueller, zugänglicher und wirksamer wird	8
4.2.1 Ergebnisse des Futures Wheels	9
4.2.2 Ergebnisse der Visual Roadmap	10
4.2.3 Wege in die Zukunft: KI-basierte Gesundheitsrobotik für mehr Innovationen	12
4.3 eHealth-Systeme auf KI-Basis – mit dem Potenzial, medizinische Versorgung durch vorausschauende Analyse, präzise Diagnostik und individualisierte Prävention grundlegend zu verändern	13
4.3.1 Ergebnisse des Futures Wheels	14
4.3.2 Ergebnisse der Visual Roadmap	15
4.3.3 Wege in die Zukunft: Gesundheitsversorgung neu denken	18
4.4 Kontext-sensitive Sensorik – als Schlüssel für adaptive Systeme in Industrie, Mobilität und Alltag, die Umweltinformationen intelligent erfassen und nutzen	20
4.4.1 Ergebnisse des Futures Wheels	20
4.4.2 Ergebnisse der Visual Roadmap	21
4.4.3 Wege in die Zukunft: Kontextsensitive Sensorik als Schlüsseltechnologie	24
4.5 Intelligente Bildverarbeitung – als Grundlage für autonome, reaktive und lernfähige Systeme in dynamischen Umgebungen	26
4.5.1 Ergebnisse des Futures Wheels	26
4.5.2 Ergebnisse der Visual Roadmap	27
4.5.3 Wege in die Zukunft: Vom Innovationsraum zum Komplettanbieter adaptiver Technologien	30
4.6 Quantenbasierte und neuromorphe Technologien – als radikal neue Ansätze für Rechenleistung und Sensordesign, mit disruptivem Potenzial für eine Vielzahl von Anwendungsfeldern	31
4.6.1 Ergebnisse des Futures Wheels	32
4.6.2 Ergebnisse Visual Roadmap	33
4.6.3 Wege in die Zukunft: Quanten-Sensorik als industrieller Hebel	36
5. Foresight Ergebnisse: Weitere Zukunftsthemen Zyklus I	37
5.1 Weitere Trends für Foresight-Prozess	37
5.1.1 Kommerzialisierung und Technologisierung der Weltraumforschung	37
5.1.2 Neue Ansätze zur Bewältigung von Umwelt- und Gesundheitsherausforderungen	38
5.1.3 Ganzheitliche Ansätze zum integrierten Energiemanagement	39
5.1.4 Fortschrittliche Materialien und Technologien für Energie- und Informationssysteme	39
5.1.5 Intelligente Städte mit Fortschritten in Infrastruktur, KI und Cybersicherheit	40
5.1.6 Fortschrittliche Autonomie- und Sicherheitsstrategien für unbemannte Flugsysteme	40
5.2 Impulse für unmittelbare Handlungsansätze	41
5.2.1 Synergistische Digital Twins und IoT-Systeme	41
5.2.2 KI-, IoT- und Modellierungstechnologien für Landwirtschaft, Umweltmonitoring und Ressourcenmanagement	42
5.2.3 Nachhaltige und energiesparende integrierte Wärme-/Kältesysteme	42
6. Vom Trendbild zur Umsetzung: Weiterführung der Foresight-Ergebnisse	43

1. Warum Foresight?

Thüringen steht vor der Herausforderung, seine Innovationskraft in einem von technologischen, gesellschaftlichen und geopolitischen Umbrüchen geprägten Umfeld zukunftsfähig zu gestalten und die zur Verfügung stehenden Mittel und Potenziale so effektiv wie möglich zu nutzen. Die Frage, wie Zukunft aktiv gestaltet werden kann, ist für Verantwortungsträger in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft von zentraler Bedeutung, da eine Prioritätensetzung erfolgen muss. In einer Zeit tiefgreifender technologischer und gesellschaftlicher Transformationen dient strategische Vorausschau der Generierung von Orientierungswissen über mögliche künftige Entwicklungen. *Innovativ Thüringen* hat im Jahr 2024 einen Foresight-Prozess gestartet, der systematisch, datenbasiert und partizipativ zentrale Zukunftsthemen für die thüringische Innovationspolitik identifiziert und Folgewirkungen antizipiert. Dieser Prozess soll jährlich wiederholt werden. Foresight (Strategische Vorausschau) bezeichnet einen systematischen, wissensbasierten Prozess zur Antizipation möglicher Zukunftsentwicklungen, um frühzeitig Orientierungswissen für strategische Entscheidungen zu generieren und gestaltbare Handlungsoptionen aufzuzeigen. Ziel des Prozesses in Thüringen ist, relevante Trends zu identifizieren, um langfristige Weichenstellungen auf einer belastbaren Wissensgrundlage vorzunehmen und zukünftige Entwicklungspfade für die thüringische Innovationslandschaft zu öffnen.

Im Rahmen der Regionale Innovationsstrategie für intelligente Spezialisierung und wirtschaftlichen Wandel in Thüringen (RIS Thüringen) bildet Foresight ein zentrales Element der Governance und Weiterentwicklung. Die strategische Vorausschau ermöglicht es, technologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Zukunftstrends systematisch zu identifizieren und in strukturierte Innovationspfade zu überführen. Durch den Einsatz von Foresight-Instrumenten werden frühzeitig Handlungsfelder sichtbar gemacht, in denen Thüringen vorhandene Stärken mit aufkommenden Chancen koppeln kann. Damit trägt Foresight innerhalb der RIS dazu bei, Innovationspotenziale nicht nur reaktiv zu adressieren, sondern proaktiv zu erschließen und resiliente Strategien für Forschung, Entwicklung und Wertschöpfung zu gestalten.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über den Foresight-Prozess und die Ergebnisse des ersten Foresight-Zyklus, der von Juni 2024 bis Juni 2025 von *Innovativ Thüringen* als Schulterblick mit dem *Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH* durchgeführt wurde und nunmehr kontinuierlich fortgeführt wird.

2. Foresight-Prozess in Thüringen

Zentrales Element der Foresight-Aktivitäten sind fortlaufende Trendanalysen und -monitoring, die vom Foresight-Team von *Innovativ Thüringen* in der *Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbh (LEG Thüringen)* durchgeführt werden. Im wiederkehrenden Foresight-Prozess werden quantitative Analysen mit qualitativen Bewertungen kombiniert und dazu gezielt Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung einbezogen. Kern des Prozesses ist die Identifikation von Trends, die nicht nur technologisch relevant sind, sondern auch strategische Gestaltungsräume für Thüringen eröffnen. Der Foresight-Zyklus sieht vor, dass Zukünfte antizipiert, Geschäftsmodellmuster abgeleitet, Transferpotenziale identifiziert und Projektvorschläge gemeinsam mit relevanten Stakeholdern entwickelt werden.

Hierbei bringt Thüringen exzellente Voraussetzungen mit, um zukünftige Entwicklungen aktiv zu gestalten. Die Innovationslandschaft ist geprägt durch kurze Wege, ein leistungsfähiges Cluster-Ökosystem und einen hohen Grad der Spezialisierung der Unternehmen sowie eine starke Forschungsinfrastruktur. Ebenso hat Thüringen bereits heute eine Reihe relevanter Netzwerke und Innovationsformate, mit denen Wertschöpfung gestärkt wird. Bestehende Kompetenzen in Bereichen wie Sensorik, Bildverarbeitung, Energie und Medizintechnik ermöglichen es, spezifische Nischen systematisch zu besetzen und neue Wertschöpfungspfade zu erschließen.

Der Foresight-Prozess für Thüringen wurde in enger Zusammenarbeit mit den Foresight-Experten des *Instituts für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH* erarbeitet. In einem mehrstufigen Verfahren werden für Thüringen relevante Trends identifiziert, Pfade möglicher zukünftiger Entwicklungen antizipiert und Handlungsräume für die thüringische Innovationslandschaft erkannt. Dabei wird besonderer Wert auf eine datenbasierte und wissenschaftlich valide Herangehensweise gelegt. Der Prozess folgt einem mehrstufigen Vorgehen (siehe Abbildung).

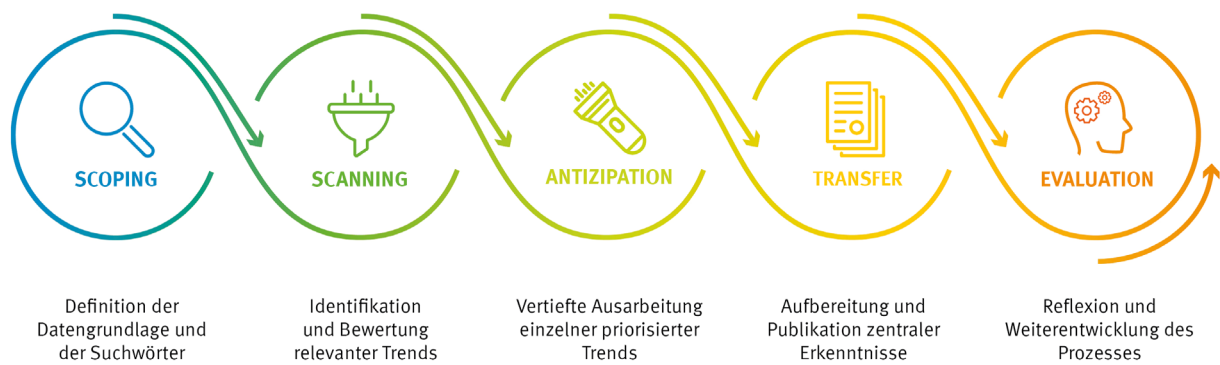


Abbildung 1: Foresight-Prozesses von Innovativ Thüringen

Im *Scoping* werden Suchraum und Suchstrategie festgelegt, also die Systematik, mit der nach relevanten Technologietrends für den Innovationsstandort Thüringen gesucht wird. Im *Scanning* werden anschließend entsprechend der festgelegten Suchstrategie Trenddaten analysiert und in einer Kombination aus Datenanalyse und Expertenbewertung zu Trends mit einer besonders hohen Relevanz für Thüringen verdichtet. Die identifizierten Trends werden anschließend in der *Antizipation* mithilfe qualitativer Foresight-Methoden vertieft analysiert, um zu untersuchen, wie sich diese Trends in den kommenden Jahren entwickeln und welche Potenziale sie für den Standort Thüringen haben könnten. Die Ergebnisse des jeweiligen Zyklus werden im *Transfer* mithilfe von Reports, Impulsvorträgen und Workshops kommuniziert und in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft Thüringens transferiert. Dieser Ablauf wird einmal pro Jahr durchlaufen (Foresight-Zyklus). Vor Eintritt in den nächsten Foresight-Zyklus erfolgt jeweils eine *Evaluation* des Vorgehens und eine Anpassung des Untersuchungsdesigns.

3. Foresight-Vorgehen und Methoden: Zyklus I

3.1 Scoping Zyklus I

Zu Beginn der Scoping-Phase im ersten Zyklus 2024 wurde der *Suchraum* festgelegt, in dem nach Trendthemen gesucht werden soll. Dieser wurde zunächst thematisch eingegrenzt. Die Grundlage für die thematische Eingrenzung bilden die in der RIS Thüringen bereits etablierten fünf *Spezialisierungsfelder*. Hierzu gehören: (1) [Industrielle Produktion und Systeme](#), (2) [Nachhaltige und intelligente Mobilität und Logistik](#), (3) [Gesundes Leben und Gesundheitswirtschaft](#), (4) [Nachhaltige Energie und Ressourcenverwendung](#) sowie (5) [IKT, innovative und produktionsnahe Dienstleistungen](#). In enger Zusammenarbeit zwischen den Foresight-Experten des iit sowie dem Foresight-Team und den Spezialisierungsfeldmanagern von *Innovativ Thüringen* wurden die zu erhebenden Datenquellen und die zur Analyse der Daten erforderlichen Suchstrategien je Spezialisierungsfeld festgelegt.

Die **Datenauswahl** erfolgte entsprechend dem zugrunde liegenden Erkenntnisinteresse. *Innovativ Thüringen* verfolgt im Zusammenhang mit der [RIS Thüringen](#) eine dreifache Zielstellung: (1) Stärkung des Transfers neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse von der Forschung in marktfähige Produkte und Dienstleistungen, (2) Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Standortes Thüringen z. B. durch branchen- und technologiefeldübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke sowie (3) höhere Sichtbarkeit des Wirtschafts- und Innovationsstandortes und Stärkung überregionaler Vernetzung.

Damit ergeben sich folgende Anforderungen an die Auswahl der Datenbasis:

- Neueste wissenschaftliche Forschungserkenntnisse möglichst frühzeitig erkennen.
- Schnittstellenthemen verschiedener Branchen identifizieren (Daten zu vorwettbewerblichen und bereits in Anwendung bewegenden Trends einzubeziehen)
- Treibende Akteure hinter Trends identifizieren für (i) Abgrenzungspotenziale (*Wo befinden sich thüringische Akteure im Wettbewerb?*) und (ii) Kooperations- und Vernetzungspotenziale (*Wo können Akteure aus Thüringen mit überregionalen Akteuren in einem bestimmten Feld kooperieren?*)

Für die Analyse wurden im ersten Zyklus wissenschaftliche Konferenzbeiträge der Scopus®-Literaturdatenbank, geförderte Projekte auf europäischer Ebene in der CORDIS-Datenbank und RSS-Feeds von Nachrichtenblogs herangezogen (siehe Abbildung). Insgesamt wurden dabei 151.433 Konferenzbeiträge, 5.909 geförderte Teilvorhaben europäischer Forschungskonsortien sowie 97.882 Newsbeiträge ausgewertet.



3.2 Scanning Zyklus I

Im Rahmen der Scanning-Phase wurden relevante Datenquellen systematisch durchsucht, inhaltlich aufbereitet und thematisch verdichtet, um erste Entwicklungslinien und Schwerpunkte zu identifizieren. Die daraus hervorgehenden Themencluster wurden schrittweise konsolidiert, qualitativ analysiert und entlang definierter Relevanzkriterien von Experten bewertet. Auf Basis dieser Bewertung wurden zentrale Schlüsselrends abgeleitet, die im anschließenden Trendworkshop vertiefend diskutiert und im Hinblick auf ihre strategische Bedeutung für Thüringen eingeordnet wurden.

3.2.1 Quantitative Datenanalyse

- Mithilfe der erarbeiteten Searchstrings wurden die oben beschriebenen Datenquellen durchsucht und entsprechende Datensätze (Samples) für die jeweiligen Spezialisierungsfelder generiert. Diese Samples potenziell relevanter Datensätze wurden mit Text-Mining-Prozeduren aufbereitet, um eine weitere Auswertung zu ermöglichen. Zur Analyse dieser Beziehungen kam eine Word-Embedding-Methode (Word2Vec) aus dem Bereich des Natural Language Processing (NLP) zum Einsatz. Die daraus resultierenden Wortvektoren bilden einen hochdimensionalen semantischen Raum, in dem kontextuell verwandte Begriffe nahe beieinanderliegen. Dies ermöglicht eine aggregierte Betrachtung der enthaltenen Themenkomplexe.
- Zur Exploration des entstehenden Vektorraums wurde ein k-Means-Clustering-Verfahren eingesetzt. K-Means-Clustering ist ein Verfahren der unüberwachten Mustererkennung, bei dem Datenelemente anhand ihrer Ähnlichkeit in Cluster (k) gruppiert werden. Ziel ist es, innerhalb der Cluster eine möglichst hohe Ähnlichkeit und zwischen den Clustern eine möglichst große Unterschiedlichkeit zu erreichen. Auf diese Weise konnten semantisch ähnliche Begriffe zu Clustern gruppiert und in Form von Themenkarten visualisiert werden. Diese erlauben eine aggregierte Darstellung übergeordneter Themenfelder.
- Abschließend wurden die thematischen Cluster durch die Principal Component Analysis (PCA) für eine räumliche Darstellung transformiert. Die PCA ist ein Verfahren zur Dimensionsreduktion, das hochdimensionale Daten durch lineare Transformation auf wenige Hauptkomponenten abbildet. Dies ermöglichte eine zwei- bzw. dreidimensionale Abbildung des semantischen Raums sowie eine räumliche Darstellung der Cluster, wodurch inhaltliche Überschneidungen zwischen den Clustern sowie thematische Beziehungen sichtbar gemacht wurden.

3.2.2 Qualitative Ausarbeitung

- Die auf diesem Weg erarbeiteten Themencluster wurden anschließend qualitativ vertiefend analysiert, indem die zugehörigen Datensätze inhaltlich von den Experten des *ifl* ausgewertet wurden. Mithilfe einer generativen KI wurden die Cluster benannt, sodass die in den Clustern enthaltenen Trends zusammenfassende Titel erhielten. Im nächsten Schritt ermöglichte das expertenbasierte Sense-Making sowie die Konsolidierung der unterschiedlichen Quellenergebnisse, die gefundenen Cluster inhaltlich zu interpretieren, ihre Bedeutung einzuordnen und eine konkrete Themenliste mit relevanten Trends und Entwicklungen abzuleiten. Im Ergebnis wurden

aus den Clustern abgrenzbare und beschreibbare Themen mit Zukunftsbezug entwickelt. Die so entstandene Themenliste wurde als Themen-Longlist mit 45 Einzelthemen aus den fünf Spezialisierungsfeldern in den weiteren Prozess genommen. Sie bildete ein breites Spektrum an potenziell relevanten Fragestellungen ab.

- Im nächsten Schritt erfolgte eine online durchgeführte Expertenbefragung. In dieser Online-Befragung wurden die 45 Einzelthemen von Mitgliedern der Strategiebeiräte der [RIS Thüringen](#) sowie weitere Fachexperten aus Thüringen qualitativ nach den folgenden Relevanzkriterien bewertet: (i) *Neuigkeitswert*, (ii) *Disruptionspotenzial*, (iii) *Chancenpotenzial für Thüringen*, (iv) *Risikopotenzial für Thüringen*, (v) *Handlungsrelevanz*. Trends, die überdurchschnittliche Bewertungen in einem oder mehreren Kriterien erhalten hatten, wurden für die weiterführenden Analysen ausgewählt. Dabei wurde berücksichtigt, dass aus jedem Spezialisierungsfeld Trends ausgewählt wurden. Im Ergebnis bildeten die 20 relevantesten Trends die Themen-Shortlist, die als Grundlage für den Trendworkshop diente, in dem vertiefende thematische Einordnungen vorgenommen wurden. Für diese 20 Trends wurden Trend-Steckbriefe erarbeitet.
- Der ganztägige Trendworkshop fand im November 2024 in Präsenz in Erfurt statt. Darin wurden die im Rahmen des Foresight-Prozesses identifizierten 20 Trends gemeinsam mit zentralen Akteuren priorisiert und vertiefend diskutiert. Teilgenommen haben Mitglieder des Foresight-Kernteam, Spezialisierungsfeldmanager von *Innovativ Thüringen* sowie externe Experten der jeweiligen Themenfelder. Nach einer Einführung in Methodik und Zielsetzung sowie einer interaktiven Vorstellungsrunde erfolgte die Priorisierung der Trends in zwei Kleingruppen entlang der nachfolgend beschriebenen Priorisierungsmatrix (siehe Abbildung). Aus den 20 Trends wurden im Trendworkshop schlussendlich fünf Themen für die weitere Foresight-Bearbeitung ausgewählt.

3.2.3 Details zum Trendworkshop

Die Bewertung der identifizierten Trends erfolgte entlang zweier Dimensionen: Zum einen wurde eingeschätzt, welchen Einfluss ein Trend auf Innovation und Wertschöpfung in Thüringen entfalten kann. Zum anderen wurde diskutiert, wie hoch die Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des jeweiligen Trends einzuschätzen ist.

Wichtig ist der methodische Hinweis, dass alle im Trendworkshop zur Diskussion stehenden Trends bereits im Vorfeld als potenziell relevant für Thüringen identifiziert worden waren. Eine vergleichsweise niedrigere Bewertung innerhalb des Workshops impliziert daher nicht zwangsläufig eine generelle Irrelevanz, sondern aus Sicht der beteiligten Experten eine geringere Bedeutung im direkten Vergleich zu anderen Trends.

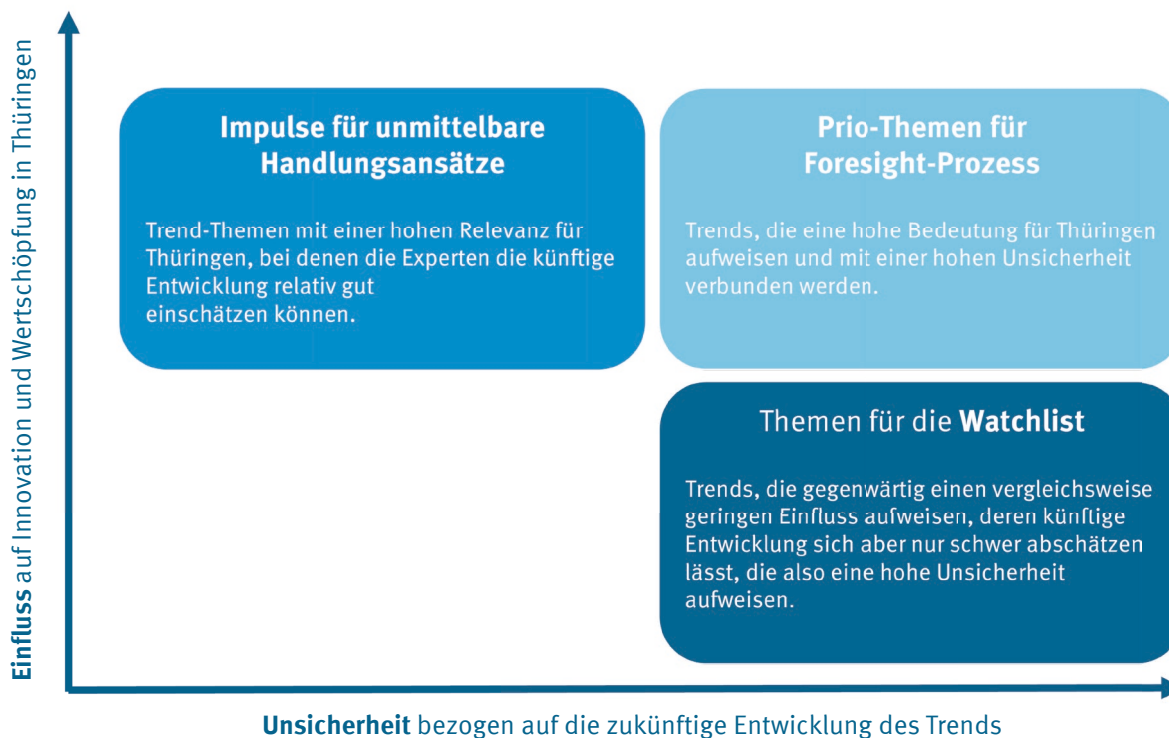


Abbildung 3: Allgemeine Darstellung der Priorisierungsmatrix

Der Kategorie Prio-Themen ordneten die Experten zehn Trends zu. Im nächsten Schritt wurden diese Prio-Themen anhand der Methode Future Canvas entlang der folgenden Kategorien in einer fachlichen Diskussion weiterqualifiziert:

- › **Chancen:** Welche positiven Möglichkeiten eröffnet dieser Trend Thüringen? Welche Innovationspotenziale? Welche Wettbewerbsvorteile?
- › **Risiken:** Welche potenziell negativen Auswirkungen/Unsicherheiten sind mit dem Trend verbunden? Welche Gefahren könnten für bestimmte Branchen etc. entstehen?
- › **Betroffene Stakeholder:** Welche Akteure sind direkt oder indirekt von diesem Trend betroffen? Welche Interessen, Bedürfnisse, Ängste etc. müssen berücksichtigt werden?
- › **Handlungsansätze:** Wie können Akteure in Thüringen durch ihr Handeln Einfluss darauf nehmen, ob eventuelle Chancen genutzt und Risiken vermieden werden? Welche strategischen Initiativen sind notwendig, um auf den Trend angemessen zu reagieren?

Die auf diese Weise entstandenen zehn Future Canvas wurden an Metaplanwänden dokumentiert und im Plenum präsentiert. Abschließend wurden durch Bepunktung **fünf der Prio-Themen** ausgewählt, die im Rahmen der Antizipations-Workshops in der nächsten Phase des Foresight-Zyklus weiter analysiert wurden.

3.3 Antizipation Zyklus I

Die *fünf* im Trendworkshop identifizierten Fokustrends wurden zur vertieften Analyse und Diskussion im Rahmen der Antizipationsphase in zwei halbtägigen Workshops ausgearbeitet. Ziel war es, potenzielle mittel- bis langfristige Auswirkungen relevanter Veränderungen zu strukturieren und daraus erste Implikationen für den Innovations- und Wertschöpfungsstandort Thüringen abzuleiten. Eingeladen waren einschlägige Expertinnen und Experten des Thüringer Innovationssystems sowie die Spezialisierungsfeldmanager von *Innovativ Thüringen*, um ein breites fachliches Spektrum und praxisnahes Wissen sicherzustellen.

Der erste Antizipations-Workshop im Januar 2025 widmete sich der Analyse von Zukunftstrends im Bereich *Gesundheitstechnologien und Gesundheitswirtschaft*. Die Arbeit erfolgte in zwei Gruppen: (1) KI-gestützte, robotische und immersive Technologien für personalisierte Gesundheit mit dem Potenzial, durch kollaborative Robotik und immersive Anwendungen eine individualisierte und wirksame medizinische Versorgung zu ermöglichen, sowie (2) eHealth: KI zur Vorhersage, Diagnose, Behandlung & Prävention von Krankheiten mit dem Ziel, die Gesundheitsversorgung durch vorausschauende Analyse, präzise Diagnostik und maßgeschneiderte Präventionsstrategien zu transformieren.

Der zweite Antizipations-Workshop im Februar 2025 und konzentrierte sich auf *Schlüsseltechnologien der industriellen Wertschöpfung*. In drei Gruppen wurden bearbeitet: (1) Kontext-sensitive Sensorik für adaptive Systeme in Produktion, Verkehr, Robotik und Energieversorgung, (2) Intelligente Bildverarbeitung für adaptive Systeme als Grundlage für autonome, reaktive und lernfähige Systeme sowie (3) Quantenbasierte & neuromorphe Technologien für Computing und Sensorik mit disruptivem Potenzial für vielfältige Anwendungsfelder.

Für die Workshops wurden gezielt zwei komplementäre Foresight-Methoden ausgewählt: (1) *Futures Wheel* und (2) die *Visual Roadmap*. Die Kombination beider Ansätze verbindet exploratives Denken unter Unsicherheit mit einer strukturierten Ableitung konkreter Entwicklungspfade.

- (1) Das **Futures Wheel** ist ein etabliertes, von [Glenn und Gordon](#) entwickeltes Instrument der Zukunftsanalyse, das besonders für komplexe und unsichere Themenfelder geeignet ist. Es ermöglicht, die direkten, indirekten und weiter entfernten Auswirkungen eines Trends oder Ereignisses systematisch zu erfassen, ohne sich von linearen Denkmustern einschränken zu lassen. Um die Ideengenerierung zu unterstützen und das Denken abseits linearer Denkmuster anzustoßen, werden Annahmen ins Zentrum des Futures Wheels gestellt. In mehreren Runden werden denkbare Konsequenzen der Annahme antizipiert. Zunächst werden unmittelbare Folgen (1. Ordnung) identifiziert, daraus Folgewirkungen (2. Ordnung) abgeleitet und schließlich systemische Reaktionen (3. Ordnung) betrachtet. Diese Vorgehensweise eröffnet einen breiten Blick auf alternative Wirkungsketten, ohne die Eintrittswahrscheinlichkeit einzelner Szenarien vorab zu bewerten. Die Methode wurde gewählt, um für jedes Trendthema eine Vielzahl an Entwicklungsmöglichkeiten sichtbar zu machen und damit ein robustes Fundament für weiterführende Analysen zu schaffen.

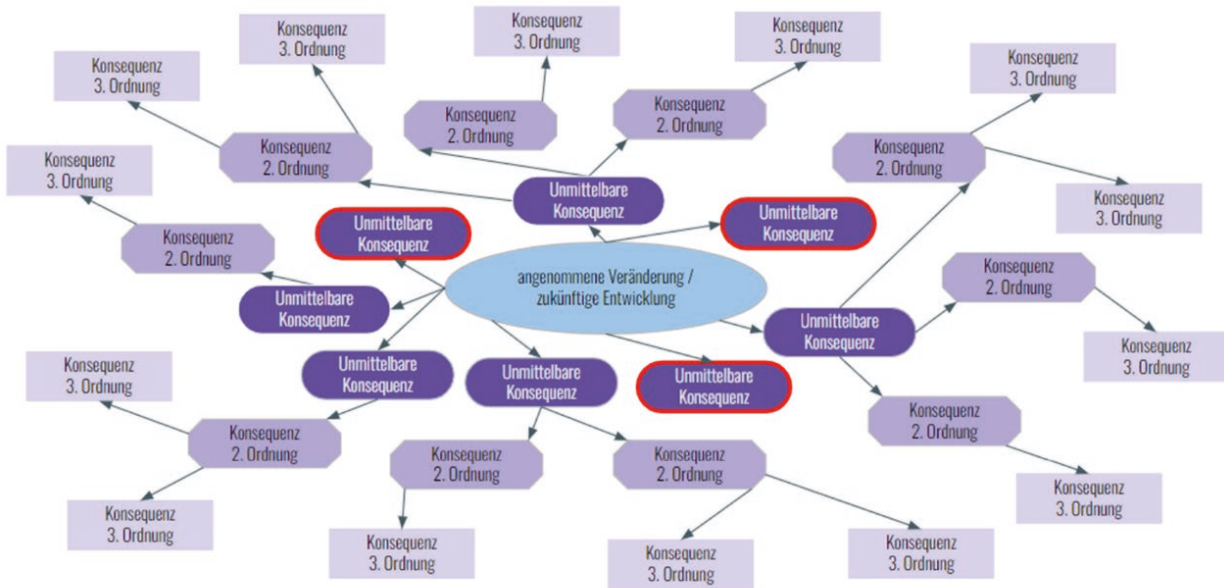


Abbildung 4: Schematische Darstellung Futures Wheel

- (2) Die **Visual Roadmap** wurde vom *iit* entwickelt. Sie ist ein strategisches Planungsinstrument, das zukünftige Entwicklungen zeitlich und thematisch strukturiert darstellt. Sie erlaubt es, ausgehend von einem definierten Zielbild (z. B. ein Geschäftsmodell im Jahr 2035) rückwärts zu analysieren, welche Anwendungen, Technologien, Rahmenbedingungen und Maßnahmen erforderlich sind, um dieses Ziel zu erreichen. Die Methode folgt dabei einem klaren Vier-Ebenen-Ansatz: (1) Geschäftsmodelle und angestrebte Wirkungen, (2) notwendige Produkte und Services, (3) technologische Voraussetzungen sowie (4) sozioökonomische Rahmenbedingungen und konkrete Maßnahmen. Durch diese vertikale und horizontale Struktur werden kritische Meilensteine, Abhängigkeiten und Handlungsfelder klar sichtbar. Ihre Auswahl begründet sich darin, dass sie eine Brücke zwischen visionären Zielszenarien und konkreten Handlungsoptionen schlägt und somit die im Futures Wheel identifizierten Möglichkeiten in eine umsetzungsorientierte Logik überführt.

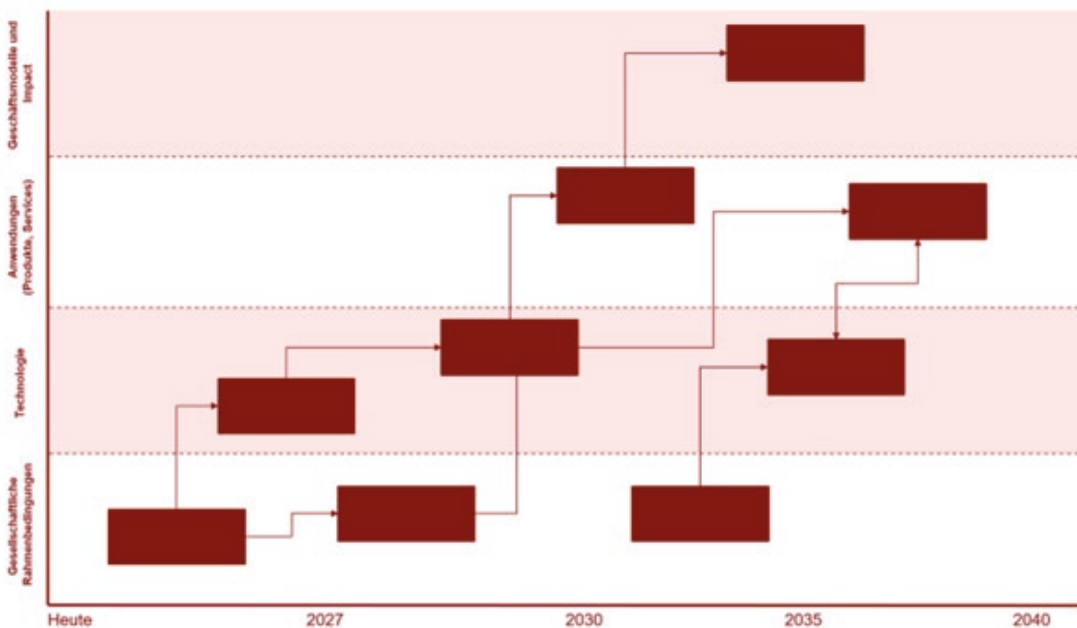


Abbildung 5: Schematische Darstellung Visual Roadmap

Gerade für den Thüringer Foresight-Prozess und die hier ausgewählten *fünf Fokustrends* erwies sich die Kombination dieser beiden Methoden als besonders geeignet. Zum einen erlaubte das Futures Wheel, unter den Bedingungen hoher technologischer Dynamik und strategischer Unsicherheit einen breit angelegten Möglichkeitsraum zu erschließen und dabei auch überraschende oder gegenläufige Entwicklungspfade sichtbar zu machen. Zum anderen stellte die Visual Roadmap sicher, dass diese explorativ identifizierten Pfade in eine kohärente Zukunftsarchitektur überführt werden konnten – mit klaren Zeithorizonten, kritischen Meilensteinen und benannten Handlungsfeldern. Die Methoden ergänzten sich somit ideal: Die Stärken des Futures Wheels in der kreativen, divergenten Ideengenerierung und der Identifikation systemischer Wechselwirkungen wurden mit den Stärken der Visual Roadmap in der konvergenten Strukturierung, Priorisierung und Operationalisierung verbunden. Dadurch konnte nicht nur die Komplexität der Fokustrends angemessen abgebildet, sondern auch eine direkte Anschlussfähigkeit an strategische Entscheidungs- und Umsetzungsprozesse in Thüringen geschaffen werden.

In beiden Workshops diente das Futures Wheel am Vormittag zur Erkundung möglicher Wirkungsketten. Am Nachmittag wurde mit der Visual Roadmap auf Basis einer wünschenswerten Zielvorstellung im Sinne eines Backcasting-Ansatzes erarbeitet, welche Technologien, Produkte und Services sowie welche politischen, gesellschaftlichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen bis 2035 geschaffen werden müssten, um diese Pfade zu realisieren.

4. Foresight-Ergebnisse: Fokustrends Zyklus I

4.1. Übersicht Trendthemen

Die Ergebnisse des ersten Foresight-Zyklus von *Innovativ Thüringen* und dem *Instituts für Innovation und Technik (iit)* in der *VDI/VDE Innovation + Technik GmbH* werden folgend aufgeführt und im Details dargestellt. Kapitel 4 gibt eine Übersicht zu den Fokusthemen, die den gesamten Foresight-Prozess, inklusive Antizipationsworkshop, durchlaufen haben. In Kapitel 5 werden weitere relevante Zukunftsthemen adressiert.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über alle Trendthemen aus Zyklus I: 20 Themen wurden im Trendworkshop 2024 bearbeitet. Davon wurden fünf für die Antizipationsworkshops ausgewählt.

Tabelle 1: Übersicht Trendthemen Foresight: Zyklus I

Thema	Foresight-Prozess
KI-gestützte, robotische und immersive Technologien für personalisierte Gesundheit	Trend- und Antizipation-Workshop
eHealth-Systeme auf KI-Basis	Trend- und Antizipation-Workshop
Kontext-sensitive Sensorik	Trend- und Antizipation-Workshop
Intelligente Bildverarbeitung für adaptive Systeme	Trend- und Antizipation-Workshop
Quantenbasierte und neuromorphe Technologien	Trend- und Antizipation-Workshop
Kommerzialisierung und Technologisierung der Weltraumforschung	Trendworkshop
Neue Ansätze zur Bewältigung von Umwelt- und Gesundheitsherausforderungen	Trendworkshop
Ganzheitliche Ansätze zum integrierten Energiemanagement	Trendworkshop
Fortschrittliche Materialien und Technologien für Energie- und Informationssysteme	Trendworkshop

Intelligente Städte mit Fortschritten in Infrastruktur, KI und Cybersicherheit	Trendworkshop
Fortschrittliche Autonomie- und Sicherheitsstrategien für unbemannte Flugsysteme	Trendworkshop
Nachhaltige und energiesparende integrierte Wärme-/Kältesysteme	Trendworkshop
KI-, IoT- und Modellierungstechnologien für Landwirtschaft, Umweltmonitoring und Ressourcenmanagement	Trendworkshop
Synergistische Digital Twins und IoT-Systeme	Trendworkshop
Personalisierte Medizin: Diagnostik, Therapien & Gesundheitsstrategien	Trendworkshop
Multimodale KI-Anwendungen und Sprachverarbeitung der neuen Generation	Trendworkshop
Innovative Therapieplattformen & Biomimetik für personalisierte Medizin	Trendworkshop
Biotechnologische Innovationen und Genomik zur Verbesserung der Lebensqualität	Trendworkshop
Internet of Vehicles (ioV), intelligente Verkehrssysteme und Cybersicherheit	Trendworkshop
Multimodale Interaktionen und Embodiment in Hybridumgebungen	Trendworkshop

4.2 KI-gestützte, robotische und immersive Technologien für personalisierte Gesundheit – für eine Medizin, die individueller, zugänglicher und wirksamer wird



Die personalisierte Gesundheitsversorgung steht an der Schwelle zu einer fundamentalen Transformation. Neue Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI), Robotik sowie immersive Technologien wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) eröffnen vielversprechende Perspektiven, um medizinische Rehabilitation und Versorgung individueller, effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Im Zentrum dieses Trends steht die Verknüpfung von datengestützten Entscheidungsgrundlagen mit Präzisionstechnologien und immersiven Therapieformen. Thüringen kann in diesem Kontext eine Vorreiterrolle übernehmen, indem es seine technologischen und wissenschaftlichen Stärken mit einer patientenzentrierten Innovationskultur verknüpft.

Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologien sind vielfältig: KI ermöglicht eine automatisierte Analyse von Gesundheitsdaten, wodurch personalisierte Therapiepläne und Ernährungs- und Lebensstilberatungen erstellt werden können. Robotik unterstützt insbesondere in der Rehabilitation, bspw. durch robotergestützte Physiotherapie oder feinmotorische Übungen bei neurologischen Krankheitsbildern. Immersive Technologien wie VR-basierte Exergames steigern nicht nur die Motivation von Patienten, sondern verbessern auch gezielt das Gleichgewicht, die Fitness und das Schmerzmanagement der Nutzer. Zudem eröffnen Tele-Rehabilitation und Telepräsenzrobotik neue Möglichkeiten für eine ortsunabhängige Versorgung und gleichsam eine intensivere Patientenbegleitung.

Neben diesen technischen Chancen gilt es jedoch auch, zentrale Herausforderungen zu adressieren. Die Entwicklung und Implementierung KI-gestützter, robotischer und immersiver Technologien erfordert ein hohes Maß an Zuverlässigkeit, Präzision und fortlaufender Kalibrierung, um Vertrauen in die Technologie und damit einhergehend ein hohes Akzeptanzniveau bei den Zielgruppen (Ärzte und Patienten) zu erreichen. Zentrale Voraussetzung dafür sind umfassende Datenschutz- und Datensicherheitsmaßnahmen, da in diesem Anwendungsfeld sensible Gesundheitsdaten verarbeitet werden.

Für den Trend **KI-gestützte, robotische und immersive Technologien für personalisierte Gesundheit** lautete in der qualitativen Analyse die Annahme, dass ein privates Technologieunternehmen im Jahr 2026 in Weimar ein Reallabor für KI-basierte Robotik im Gesundheitswesen eröffnet, mit Schwerpunkt auf kollaborativen Robotern zur Unterstützung medizinischen Personals bei Operationen und Pflegeaufgaben. Ein **Reallabor** ist ein testräumlicher Ansatz, in dem technologische Innovationen unter realen Bedingungen gemeinsam mit Praxisakteuren erprobt und weiterentwickelt werden.

4.2.1 Ergebnisse des Futures Wheels

Im Rahmen des Futures Wheels wurde mit der Annahme eines Reallabor in Weimar gearbeitet (s. o). Ziel war es, auf Basis dieser Annahme den Möglichkeitsraum zukünftiger Entwicklungen systematisch zu erschließen. Dabei wurden drei zentrale Entwicklungspfade identifiziert, die unterschiedliche Potenziale und Herausforderungen für den Standort Thüringen aufzeigen.

Entwicklungspfade, die im Rahmen des Futures Wheels identifiziert wurden:

1. Erstens könnte das Reallabor als **Innovationsmotor** wirken, indem es Zulieferbetriebe in Thüringen einbindet und neue Geschäftsmodelle sowie Ansiedlungsimpulse für technologieorientierte Unternehmen schafft. In diesem Kontext eröffnet sich für Thüringer Zulieferunternehmen die Chance, aktiv an der Ausstattung des Reallabors mitzuwirken. Voraussetzung dafür ist eine gezielte Vernetzung zwischen dem Reallabor und potenziellen regionalen Zulieferern. Eine solche Vernetzung könnte bspw. durch eine von der Politik initiierte Fachmesse gefördert werden. Alternativ wären auch spezialisierte Fachveranstaltungen zur Kooperationsanbahnung denkbar. Als Folgewirkung dieser Entwicklung ist es vorstellbar, dass bestehende Unternehmen ihre Geschäftsmodelle weiterentwickeln oder neue Geschäftsfelder erschließen. Zudem könnte das Reallabor als wirtschaftlicher Impulsgeber fungieren und neue Unternehmen nach Thüringen ziehen – insbesondere solche, die bislang lokal nicht verfügbare Systemkomponenten künftig in regionaler Nähe fertigen möchten.
2. Zweitens birgt die technologische Pionierleistung des Reallabors das Potenzial, **Bildungssysteme und Forschungsaktivitäten** nachhaltig zu verändern, etwa durch neue Ausbildungsberufe und die Etablierung interdisziplinärer Forschung im Bereich Mensch-Roboter-Interaktion. Es ist denkbar, dass die Industrie- und Handelskammern den entstehenden Technologie- und Wissensschub aufgreifen, um neue, zukunftsgerichtete Ausbildungsberufe im Bereich KI-gestützter Robotik und digitaler Gesundheitsanwendungen zu zertifizieren. Dadurch würde der Bildungsbereich frühzeitig auf den sich wandelnden Qualifikationsbedarf reagieren und neue Qualifikationsprofile gezielt in den Ausbildungsmarkt integrieren. Parallel dazu könnten auch Forschungs- und Wissenschaftseinrichtungen das Reallabor als strategischen Impulsgeber begreifen. Sie könnten neue Programme initiieren und bislang wenig erschlossene Forschungsfelder – etwa im Bereich Mensch-Roboter-Interaktion im medizinischen Umfeld – gezielt weiterentwickeln. In der Folge könnten sich nicht nur neue interdisziplinäre Arbeitsformen etablieren, sondern auch die berufliche Aus- und Weiterbildung selbst strukturelle und inhaltliche Veränderungen erfahren. Dies würde langfristig zur Stärkung der Innovations- und Anpassungsfähigkeit des regionalen Bildungssystems beitragen.
3. Drittens könnte der Impuls aus dem Reallabor zu einer **strategischen Neuausrichtung technologieorientierter Unternehmen** (Know-how zum Health-Tech) führen, die ihre Kompetenzen in bzw. auf den Gesundheitsbereich ausweiten, sich neu vernetzen und neue Marktsegmente erschließen. Alle drei Entwicklungspfade verdeutlichen die Notwendigkeit gezielter politischer, struktureller und infrastruktureller Rahmenbedingungen, um Thüringen als Standort für digitale Gesundheitsinnovationen langfristig zu stärken. Angestoßen durch das Reallabor könnten Unternehmen aus den Bereichen Robotik, KI, Sensorik oder Optik, die bereits im Gesundheitssektor aktiv sind oder jene, die dies bislang noch nicht sind, neue Geschäftsfelder erschließen. Der technologische Bedarf des Reallabors sowie die erhöhte Sichtbarkeit entsprechender Anwendungen im medizini-

(ii) Rahmenbedingungen: Für die erfolgreiche Entwicklung und Markteinführung dieser Geschäftsmodelle und dazu erforderlicher Technologien, Produkte und Dienstleistungen sind grundlegende strukturelle und systemische Voraussetzungen erforderlich. **Politisch-strategische Steuerung und Koordination:** Eine zielgerichtete Entwicklung erfordert klare politische Steuerung und institutionelle Koordination. Landesministerien, die LEG als Wirtschaftsförderung des Landes und fachspezifische Interessensverbände müssen gemeinsam eine strategische Vision verfolgen. Durch eine abgestimmte Schwerpunktsetzung können so Ressourcen gebündelt und zielgerichtete Investitionen sowie Fördermaßnahmen etabliert werden. Hochschulen sind dabei zentrale Partner in Forschung, Ausbildung und Technologietransfer. **Bildung, Fachkräfte & Qualifizierung:** Der Aufbau eines zukunftsfähigen Ökosystems für Robotik und KI erfordert gut ausgebildete Fachkräfte. Dazu müssen Curricula an Berufsschulen, Hochschulen und in der beruflichen Weiterbildung modernisiert werden. Besonders wichtig sind interdisziplinäre Kompetenzen in den Bereichen Robotik, Softwareentwicklung, Pflege und Medizintechnik. Forschungseinrichtungen sollten thematisch und infrastrukturell auf robotische und KI-Anwendungen ausgerichtet werden. **Rechtliche & regulatorische Grundlagen:** Für die Marktfähigkeit und Sicherheit robotischer Systeme sind verlässliche rechtliche Rahmenwerke unerlässlich. Dazu zählen europaweit abgestimmte Haftungsregeln, regulatorische Standards für den Einsatz sensibler Technologien sowie einheitliche Zertifizierungsprozesse. Diese Vorgaben schaffen Vertrauen bei Nutzern, Entwicklern und Investoren – und ermöglichen grenzüberschreitende Skalierung. **Ökosystem und Netzwerkbildung:** Ein leistungsfähiges Innovationsökosystem lebt von funktionierenden Netzwerken. Bestehende Kompetenzzentren, wie im Bereich KI und Medizintechnik, müssen vernetzt, Synergien gezielt gefördert und technologische Offenheit institutionell verankert werden. Cluster- und Netzwerkorganisationen, wie OptoNet e.V. oder medways e.V. spielen hier eine zentrale Rolle als Brückenbauer zwischen Forschung, Industrie und Anwendung.

(iii) Technologien

Technologische Voraussetzung	Herausforderungen	Begleitend notwendig
<p>Sensorik und Körpersignalverarbeitung Ziel ist die hochpräzise Erfassung physiologischer Zustände des menschlichen Körpers im Alltag, in der Pflege oder im OP. Zum Einsatz kommen verschiedenartige Sensoren (z. B. optisch, bioelektrisch, mechanisch), die Körpersignale und Vitalparameter in Echtzeit erfassen.</p>	<p>Zuverlässigkeit unter realen Bedingungen (z. B. Feuchtigkeit, Bewegung), Miniaturisierung, energieeffiziente Datenübertragung, hohe Datenrate bei begrenzter Bandbreite.</p>	<p>Edge-Analytics zur Vorverarbeitung direkt am Sensor; semantische Datenfusion für robustes Gesamtsystemverhalten.</p>
<p>Motoriksysteme und Aktorik für Medizinrobotik Mechanische Präzision, adaptive Bewegungsführung und biomechanische Kompatibilität stehen im Zentrum dieser Schlüsseltechnologie. Sie ermöglicht OP-Assistenzsysteme, Exoskelette oder robotergestützte Pflegehilfen.</p>	<p>Dynamikanpassung an menschliche Bewegungsmuster, Materialermüdung, Zertifizierung von sicherheitskritischen Antriebssystemen.</p>	<p>Kombination mit Sensordaten zur Echtzeitsteuerung; Closed-Loop-Steuerungen mit KI-Unterstützung.</p>
<p>Rechenleistung & Embedded Hardware für Edge-KI Für KI-gestützte medizinische Systeme braucht es leistungsfähige, miniaturisierte Hardware (z. B. spezialisierte Chips für Bildverarbeitung, Sensorfusion, ML-Algorithmen). Diese leistungsfähige Hardware bildet das Rückgrat für Echtzeitfähigkeit medizinischer Assistenzsysteme. Dabei sind spezialisierte Chips (z. B. ASICs, RISC-V) entscheidend</p>	<p>Thermische Effizienz, Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb, Sicherheitsanforderungen bei körpernahen Systemen.</p>	<p>Standardisierung von Hardwareplattformen, Integration von Secure Elements für Datenschutz und -sicherheit</p>

Methodik & Softwareentwicklung für medizinische Geräte

Medizinsoftware erfordert hohe Standards in Bezug auf Zuverlässigkeit, Nachvollziehbarkeit und Regulierung. Neben Applikationsentwicklung sind generische Methoden entscheidend, bspw. algorithmische Validierung, Explainable AI, semantische Datenannotation. Ziel ist insofern die Entwicklung insbesondere KI-basierter Software mit hoher Verlässlichkeit, parameter in Echtzeit erfassen.

Zulassungsverfahren nach MDR/IVDR, Modellrobustheit unter Bias-Bedingungen, Black-Box-Verhalten bei Deep Learning.

Werkzeuge für Softwarevalidierung, standardisierte Entwicklungstools.

KI-basierte Robotersysteme für medizinische Operationen

Hier verbinden sich KI, Sensorik, Motorik, Bildverarbeitung und Steuerungstechnik zu autonomen oder teilautonomen robotischen Systemen. KI-Algorithmen analysieren Bild- und Sensordaten in Echtzeit und unterstützen die Entscheidungsfindung.

Sicherheitszertifizierung, Haftungsfragen, Grenzbereich zwischen Assistenz und Autonomie sowie Zulassungsfragestellungen für hochautomatisierte Systeme, ethische und rechtliche Abgrenzung von Assistenz und Autonomie.

Simulationsumgebungen für Training und Validierung, Hybridmodelle aus Regel- und Lernsystemen.

AR/VR/XR für Schulung und Interaktion

XR-Technologien erweitern die Interaktion mit medizinischen Systemen. Sie kommen in der Schulung von Klinikpersonal, der Patientenaufklärung sowie der Fernassistenz zum Einsatz, z. B. durch virtuelle Schulungen, interaktive Assistenz oder Fernberatung. Im Fokus steht dabei auch die Weiterentwicklung immersiver, intuitiv nutzbarer Schnittstellen.

Ergonomie, Akzeptanz und Usability in medizinischen Kontexten, Echtzeitfähigkeit bei hoher Datenkomplexität, Integration mit klinischen Routinen.

Plattformübergreifende Entwicklungstools, nutzerzentrierte Evaluationsmethoden für medizinisches Fachpersonal.

Lizenzierung & Patentierung im MedTech-Bereich

Um wirtschaftliche Verwertung sicherzustellen, sind Schutzrechte und rechtssichere Lizenzmodelle erforderlich. Besonders wichtig ist dies für KI-Methoden, da hier häufig keine materielle Komponente vorliegt.

Schnelligkeit und Internationalität von Patentverfahren, Schutz nicht materieller Innovationen (Software, Algorithmen).

Technologietransferstellen mit Spezialisierung auf digitale Medizintechnik, Tools zur Identifikation patentwürdiger KI-Verfahren.

4.2.3 Wege in die Zukunft: KI-basierte Gesundheitsrobotik für mehr Innovationen

Ausgehend von diesem Möglichkeitsraum könnte Thüringen im Jahr 2035 entweder durch ein modulares Baukastensystem für Robotik- und KI-Produkte oder durch ein international ausgerichtetes Schulungszentrum im Bereich KI-gestützter Robotik wirtschaftliche Wertschöpfung generieren. Um dieses Ziel zu erreichen, ist Folgendes von zentraler Bedeutung: aus den Fehlern der Vergangenheit lernen und die bestehenden Unternehmen im Sinne einer aktiven Industriepolitik bedarfsorientiert unterstützen, Datenräume und Schnittstelleninfrastruktur schaffen sowie den Instituten und Unternehmen die erforderlichen Rahmenbedingungen zur Verfügung stellen.

Die Visual Roadmap zur Zukunft von KI-gestützten, robotischen und immersiven Technologien für personalisierte Gesundheit skizziert den Weg **Thüringens hin zu einem hochvernetzten Versorgungs- und Technologiestandort**. Zentrale Rolle spielen dabei robotische Systeme für die medizinische Versorgung, die Pflege und Logistik sowie immersive

Technologien wie AR, VR oder XR, die neue Möglichkeiten für Schulung, Fernunterstützung und Entscheidungsassistenz eröffnen. Die Weiterentwicklung von Sensorschnittstellen, Softwareintegration, Navigationstechnologien und aktiven Systemen bildet die Grundlage für zukunftsfähige Anwendungen in Echtzeitumgebungen.

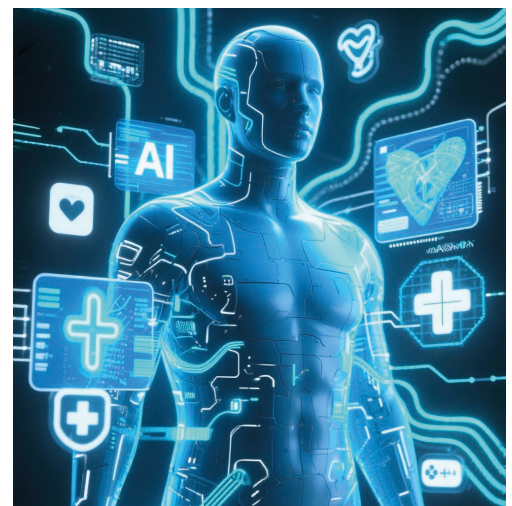
Die Anwendungsmöglichkeiten reichen von robotischer Assistenz im OP-Saal und der Pflege über simulationsgestützte Trainingsformate bis hin zu neuartigen Dienstleistungsangeboten im Gesundheitsbereich. KI-basierte Dienstleistungen, **modulare Baukastensysteme für medizinische Robotik und neue Geschäftsmodelle zur Kombination von Technologie und personalisierter Versorgung** gewinnen zunehmend an Bedeutung. Dabei eröffnen sich auch neue Rollen für potenzielle Versicherungsanbieter, die KI-gestützte Risiken absichern könnten.

Die Roadmap macht deutlich, dass für eine nachhaltige Einführung dieser Technologien geeignete **regulatorische, technologische und organisatorische Rahmenbedingungen** erforderlich sind. Standards müssen weiterentwickelt, **Weiterbildungssysteme angepasst und digitale Infrastrukturen ausgebaut** werden. Es ist daher sinnvoll, durch eine gezielte Abfrage im Netzwerk von *Innovativ Thüringen* zu prüfen, welche Akteure aus Wissenschaft und Industrie sich bereits in relevanten Standardisierungsgremien auf nationaler und europäischer Ebene einbringen. Es ist aus anderen Bundesländern bekannt, dass Unternehmen und Forschungseinrichtungen häufig nicht über die erforderlichen Ressourcen verfügen, um sich mit ihrem Know-how und zum Wohle der heimischen Innovationslandschaft stark in Normungs- und Standardisierungsprozessen einzubringen. Daher könnte es sinnvoll sein, gezielt relevante thüringische Stakeholder zu identifizieren, die vonseiten der Landesregierung eine Förderung erhalten, um hier Personalressourcen bereitzustellen. Um eine hohe Kohärenz der Aktivitäten thüringischer Akteure zu erzielen und Partikularinteressen auszugleichen, kann es darüber hinaus sinnvoll sein, einen ständigen Fachdialog zum Thema „Standards made in Thüringen“ zu etablieren, in dem sich die in Standardisierungsgremien mitwirkenden Akteure aus dem Freistaat gemeinsam mit der Landesregierung kontinuierlich austauschen und gemeinsame Zielstellungen diskutieren. Die Zusammenarbeit zwischen Ministerien, Universitäten, Wirtschaftsförderern wie LEG sowie Forschungsplattformen wie OptoNet e.V. oder medways e.V. wird als zentraler Hebel gesehen, um gemeinsame Ziele umzusetzen. Gleichzeitig braucht es transparente Prozesse für Bürgerbeteiligung und gesellschaftliche Akzeptanz.

Fachkräfte sind ein kritischer Erfolgsfaktor. Es bedarf **neuer Qualifikationsprofile, insbesondere an den Schnittstellen zwischen Technik, Pflege, Softwareentwicklung und Medizin**. Schulungszentren, Reallabore und Plattformen zur Aus- und Weiterbildung müssen daher systematisch mitgedacht und institutionell verankert werden. Auch die Frage nach lokalem Training von Robotern, digitaler Unterstützung im Alltag und Inklusion verschiedener Nutzergruppen wird immer relevanter. Bezogen auf eine vorausschauende Veränderung von Jobprofilen könnte es sinnvoll sein, mittels vorausschauender Analyse künftiger Kompetenzanforderungen an der oben beschriebenen Schnittstelle gezielt abzuschätzen, welche Berufsbilder sich in den kommenden fünf bis zehn Jahren entwickeln könnten. Dies würde es der Landesregierung und der Weiterbildungslandschaft im Freistaat erleichtern, frühzeitig erforderliche curriculare, didaktische und kapazitive Veränderungen voranzutreiben.

4.3 eHealth-Systeme auf KI-Basis – mit dem Potenzial, medizinische Versorgung durch vorausschauende Analyse, präzise Diagnostik und individualisierte Prävention grundlegend zu verändern

Der Einsatz von KI in eHealth-Systemen markiert einen tiefgreifenden Wandel im Gesundheitswesen. Durch die intelligente Auswertung von Patientendaten können Krankheiten früher erkannt, Diagnosen unterstützt und individuelle Therapiepläne entwickelt werden. Präventive Maßnahmen lassen sich gezielter anstoßen, während der Zugang zu medizinischer Versorgung verbessert und medizinisches Personal durch automatisierte Routinetätigkeiten entlastet wird. Diese Technologien schaffen nicht nur Effizienzgewinne, sondern eröffnen neue Perspektiven für eine personalisierte, präzisere und umfassendere Versorgung. Konkrete Beispiele für KI-basierte eHealth-Systeme reichen von KI-gestützter Analyse medizinischer Bilddaten (bspw. Röntgenaufnahmen oder MRT-Scans) über digitale Gesundheitsanwendungen (DiGA), die Patienten in der Bewältigung chronischer Erkrankungen unterstützen, bis hin zur Ausweitung telemedizinischer Beratungen. Auch elektronische Patien-



Multimodale Bildgebung und interpretierbare KI

Für eine präzise und zuverlässige medizinische Diagnostik ist die multimodale Bildgebung zentral – also die Kombination verschiedener Bildgebungsverfahren (z. B. MRT, CT, Ultraschall) und diagnostischer Datenquellen. Zur klinischen Akzeptanz solcher Systeme sind Erklärbarkeitslösungen unerlässlich, die Entscheidungsfindungen nachvollziehbar machen – insbesondere bei KI-gestützten Analysen. Sie bilden die Grundlage für Vertrauen und ärztliche Rückversicherung.

Daten-Alignment unterschiedlicher Quellen, Echtzeitverarbeitung großer Datenmengen, Integration in klinische Workflows.

Visualisierungstools für medizinisches Personal, interaktive Feedbacksysteme, klinisch validierte Entscheidungspfade.

Biotechnologische Therapien und Testsysteme

Mit dem Fortschritt in regenerativer Medizin rücken stammzellbasierte Therapien in den Fokus – sowohl in der personalisierten Onkologie als auch in der Gewebe- und Organregeneration. Parallel dazu steigt der Bedarf an humanrepräsentativen Tests, die die physiologische Realität besser abbilden als klassische Tiermodelle. Solche Systeme nutzen z. B. Organ-on-a-Chip-Technologie oder KI-gestützte Zellkulturanalysen.

Standardisierung biologischer Materialien, ethische Zulassung, Langzeitverläufe.

Biobanking-Infrastrukturen, Validierungsprotokolle, regulatorischer Rahmen für klinische Testreihen.

Technologieakzeptanz durch nutzerzentriertes Design

Um technologische Systeme nachhaltig in der Versorgung zu verankern, ist deren Bedienbarkeit und Alltagstauglichkeit entscheidend. Usability und UX-Design stellen sicher, dass medizinisches Personal wie auch Patienten neue digitale Anwendungen effektiv und ohne Barrieren nutzen können. Sie sind damit mehr als „Oberfläche“, – sondern integraler Bestandteil medizinischer Qualität.

Interdisziplinäre Entwicklungsprozesse, Variabilität medizinischer Nutzungsszenarien, Akzeptanz heterogener Nutzergruppen.

Feldtests mit realen Nutzern, Anpassbarkeit von Interfaces, Schulungs- und Feedbackformate.

4.3.3 Wege in die Zukunft: Gesundheitsversorgung neu denken

Basierend auf diesem Möglichkeitsraum könnte Thüringen im Jahr 2035 zum Leitanbieter für personalisierte Medizin werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es von zentraler Bedeutung, dass geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden. Dazu zählen zuverlässige Datensicherungssysteme, Dateninfrastrukturstandardisierungen, Zertifizierungen sowie Awareness und Akzeptanzprogramme für die Bevölkerung.

Die Visual Roadmap zu eHealth in Thüringen beschreibt ein ambitioniertes Zukunftsbild einer digital gestützten, personalisierten und vernetzten Gesundheitsversorgung. Zentrale Rolle spielt dabei der intelligente Einsatz von KI-Technologien, etwa für Bildauswertung, Therapieempfehlungssysteme oder multimodale Diagnostiklösungen. Technologische

Grundlagen wie Datenmanagementsysteme, Softwareentwicklung für die klinische Anwendung, Testplattformen oder die Integration verschiedener Biomarker bilden das Fundament einer zunehmend datenbasierten Versorgung.

Ein zentrales Ziel ist der **Aufbau neuer Anbieterstrukturen**, die Genomik, KI und Medizintechnik vereinen und **durch vertrauenswürdige Dateninfrastrukturen** gestützt werden. Damit entstehen auch neue Rollen im System, bspw. für Datentreuhänder, kuratierende Institutionen oder Unternehmen, die klinische Daten analysieren und validieren. Diese Akteure agieren in enger Abstimmung mit Ärzten, kassenärztlichen Vereinigungen und Kliniken und Patienten. Zukünftig werden Testentwicklung, Zertifizierung und Anwendung über Plattformen organisiert, die sowohl medizinische Expertise als auch digitale Systemkompetenz bündeln. Angesichts der Komplexität und hohen Ambition der beschriebenen, möglichen zukünftigen Entwicklung sollte geprüft werden, ob die Landesregierung oder *Innovativ Thüringen* gezielt einen crosssektoralen Dialogprozess initiiert, der die zuvor beschriebenen Stakeholder inkludiert und in dem gemeinsam über erforderliche Maßnahmen diskutiert wird, wie diese Entwicklung angereizt werden kann. Dabei kann es nicht nur darum gehen, was Politik tun kann, sondern darum zu identifizieren, welche Beiträge jeder Stakeholder zu dieser Gesamtvision beitragen kann und wird. Der Dialogprozess könnte durch eine vorgeschaltete Machbarkeitsstudie für den Aufbau einer entsprechenden Anbieterstruktur und vertrauenswürdiger Dateninfrastruktur im Freistaat unterstützt werden.

Im Mittelpunkt steht dabei der Mensch, sowohl als Nutzer neuer Systeme als auch als Teil eines integrativen Versorgungsmodells. Aspekte wie erklärbare KI, Datenschutz, geschlechtersensible Probenahme und benutzerfreundliches Design fließen zunehmend in die Entwicklung ein. Gleichzeitig entstehen neue Anforderungen an Aus- und Weiterbildung. Künftige **Fachkräfte müssen sowohl technologische als auch medizinische Kompetenzen vereinen können**. Entsprechende Ausbildungsformate und **gezielte Weiterbildungsangebote** zu maschinellem Lernen und Gesundheitstechnologien werden notwendig.

Politisch und strukturell braucht es ein koordiniertes Vorgehen, von **ressortübergreifenden Förderstrategien über spezielle Programme** zur Translation bis hin zur frühzeitigen Einbindung der Krankenkassen in Genehmigungs- und Markteintrittsfragen. Der Aufbau digitaler Versorgungsstrukturen im ländlichen Raum, die **Entwicklung vertrauenswürdiger Datenplattformen** und die Positionierung **Thüringens als Modellregion für eine datengestützte, personalisierte Medizin** bilden zentrale Eckpfeiler dieses Zukunftsbildes. Es sollte geprüft werden, ob der Aufbau eines Trusted Data Centers die entscheidende Basis für den Aufbau einer Modellregion sein kann. Das Trusted Data Center könnte ausgehend von seiner Funktion für den Gesundheitssektor auch branchenübergreifend und als skalierbare Lösung gedacht werden. Das Zentrum sollte nicht nur als reine Infrastruktur zur Bereitstellung von Rechenleistung und Speicherkapazitäten dienen, sondern als institutionelle Plattform, die spezielles Know-how zur Zusammenführung und Nutzung sensibler Gesundheitsdaten bereithält. Wesentlich ist die Implementierung fortschrittlicher Anonymisierungstechnologien, um den sicheren und datenschutzkonformen Umgang mit personenbezogenen Informationen zu gewährleisten. Dieses Zentrum könnte nicht nur als zentrale Ressource für die sichere Datenverarbeitung fungieren, sondern auch als koordinierende Instanz für eine föderale KI-Architektur im Gesundheitswesen auftreten. Indem es die Interoperabilität von Datensystemen fördert und als Plattform für den Austausch und die Analyse von Gesundheitsdaten dient, könnte es eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung einer datengestützten, personalisierten Medizin spielen und zugleich Thüringen als Vorreiterregion für vertrauenswürdige Gesundheitsdateninfrastrukturen etablieren.

eHealth ist kein Randthema, sondern ein strategisches Handlungsfeld für medizinische Qualität, wirtschaftliche Entwicklung und gesellschaftliche Teilhabe. Thüringen kann hier eine Vorreiterrolle einnehmen, wenn es gelingt, Technologie, Vertrauen, Kompetenzentwicklung und Finanzierung zusammenzuführen.

Die Visual Roadmap zur kontextsensitiven Sensorik beschreibt, wie Thüringen durch gezielte **Technologie- und Infrastrukturentwicklung** seine Rolle als Kompetenzstandort für adaptive, skalierbare Sensorlösungen bis 2035 systematisch ausbauen kann. Ausgangspunkt ist die **Weiterentwicklung und Kombination hochspezialisierter Sensoren**, etwa Akustik, Radar oder optische Sensorik, die in multisensorische Systeme integriert werden. Ergänzt werden diese durch KI-basierte Softwarelösungen, die komplexe Umweltdaten, Bewegungsmuster oder Systemzustände in Echtzeit analysieren. Einen besonderen Stellenwert nimmt dabei das Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) ein. Hierbei geht es um die Erfassung und Bewertung von Parametern wie Geschwindigkeit, Realitätsnähe und Kosten, um die Leistungsfähigkeit intelligenter Sensorsysteme praxistauglich zu validieren. Die Landesregierung sollte zur Unterstützung dieser Entwicklung prüfen, inwiefern in Thüringen Reallabore für autonome Mobilität eingerichtet werden können, die als Testumgebungen für kontext-sensitive Sensorik im Verkehr, in der Logistik und der Robotik dienen. Diese Labore sollten nicht nur als technologische Erprobungsräume fungieren, sondern auch als Plattformen für die Entwicklung und Implementierung von Standards und regulatorischen Rahmenbedingungen. Zudem könnte Thüringen als internationaler Partner für autonome Mobilität positioniert werden, indem es eine strategische Partnerschaft mit globalen Akteuren im Bereich der Mobilität und Technologie anstrebt.

Diese Systeme entfalten ihr Potenzial in einer Vielzahl von Anwendungsfeldern. Dazu gehören Echtzeitprognosen in Verkehr und Landwirtschaft, das Monitoring kritischer Infrastrukturen sowie Assistenzsysteme, die schrittweise bis zur Vollautomation führen. Auch im Bereich AVT entwickeln sich neue Lösungen für skalierbare Multisensorikplattformen, die anwendungsübergreifend eingesetzt werden können. Sensorik wird so zur zentralen Grundlage für nachhaltige und adaptive Systeme, etwa im Verkehrsmanagement, der digitalen Forstwirtschaft oder in umweltbezogenen Analysen. Dabei gewinnen auch ökologisch orientierte Sensorlösungen an Bedeutung, wie biologisch abbaubare Partikelsensoren oder selbstskalierende Überwachungssysteme.

Ein solches **Innovationssystem benötigt eine leistungsfähige Daten- und Cloudinfrastruktur**. Diese muss sowohl datensouverän als auch zugänglich sein. Die Roadmap verweist auf Vorhaben wie die Thüringen Cloud, die eine sichere, DSGVO-konforme Verarbeitung großer Datenmengen ermöglichen soll. Damit verbunden ist auch die Notwendigkeit offener Schnittstellenstandards, die eine flexible Anbindung verschiedener Sensorprinzipien erlauben. Neben der technischen Realisierung müssen auch **gesellschaftliche Voraussetzungen geschaffen werden**, insbesondere in Fragen der Datenhoheit, Transparenz automatisierter Entscheidungen und der Etablierung vertrauenswürdiger Systeme.

Zugleich ist ein **systematischer Aufbau von Fach- und Ausbildungskompetenz** erforderlich. Studiengänge wie Sensor Engineering, berufsbegleitende Weiterbildungsformate und gezielte Talentförderung sollen dazu beitragen, sowohl Fachkräfte als auch interdisziplinäre Projektteams langfristig zu sichern. Gleichzeitig ist eine stärkere Sichtbarkeit sensorbezogener Berufsbilder notwendig, ergänzt durch moderne Kommunikationsformate, um auch die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber kontextsensitiver Sensorik zu fördern.

Langfristig strebt Thüringen ein integriertes Sensorik-Ökosystem an, das ökologische Nachhaltigkeit, wirtschaftliche Skalierbarkeit und gesellschaftliche Akzeptanz in Einklang bringt. AVT spielt dabei eine Schlüsselrolle als Brücke zwischen technologischem Fortschritt und realweltlicher Anwendung. Die Roadmap macht deutlich, dass kontextsensitive Sensorik weit über eine einzelne Technologie hinausgeht. Sie bildet die Grundlage für neue Geschäftsmodelle, datenbasierte Services und zukunftsorientierte Standortentwicklungen.

Lithiumniobat-Technologie für Autonomieanwendungen

Lithiumniobat zählt zu den Schlüsselmaterialien für modulare Quantenbauelemente und optische Signalverarbeitung. Durch hohe Modulationseffizienz eignet sich das Material für Anwendungen in autonomen Systemen.

kontrollierte Dotierung, Integration mit photonischen Plattformen, industrielle Skalierbarkeit.

modulare Design-Kits, Herstellung in mittelständischer Fertigungstiefe.

Integrierte diffraktive Chipsysteme

Durch diffraktive Elemente lassen sich komplexe Lichtmanipulationen auf kompaktem Raum realisieren. Integrierte Chipsysteme mit solchen Funktionalitäten sind essenziell für Quantenkomponenten in Kommunikation und Sensorik.

Präzisionsfertigung, thermische Stabilität, Alignment komplexer optischer Pfade.

Designsoftware für diffraktive Optiken, Standardisierung von Schnittstellen.

Neuromorphe Materialien und Technologien

Für zukünftige KI-basierte und sensorisch dichte Systeme sind neuromorphe Materialien von zentraler Bedeutung. Sie erlauben die Nachbildung neuronaler Informationsverarbeitung auf Materialebene und eröffnen neue Wege in der Hardware-nahen KI-Entwicklung.

Materialzuverlässigkeit unter Dauerbelastung, Interoperabilität mit klassischer Elektronik, limitierte Produktionsverfahren.

Integration in bestehende Toolchains, Validierung in realen Nutzungsszenarien, gezielte Förderung von Deep-Tech-Ansätzen.

4.6.3 Wege in die Zukunft: Quanten-Sensorik als industrieller Hebel

Die Roadmap zeigt, wie Thüringen bis in die 2030er Jahre hinein seine Rolle als Zentrum der Quanten-Sensorik ausbauen und zur Entwicklung der nächsten Computergeneration beitragen kann. Im Zentrum stehen zwei komplementäre Innovationsstränge: Einerseits der **Aufbau leistungsfähiger Hardware** auf Basis von QPiC, neuromorphen Chips und Supraleitungstechnologien, andererseits die **Entwicklung entsprechender Quanten-Software inklusive algorithmischer Steuerung, Systemarchitekturen und ethischer Rahmensetzungen**. Die Verbindung beider Stränge eröffnet neue Potenziale in der Mensch-Technik-Interaktion, der medizinischen Diagnostik und industriellen Automatisierung. Vor diesem Hintergrund bietet sich die Entwicklung einer gezielten Exportförderstrategie für Quanten-Technologien an, die Unternehmen nicht nur bei der Internationalisierung unterstützt, sondern auch ihre Vernetzung mit globalen Märkten und Partnern stärkt. Dies könnte durch den Aufbau internationaler Partnerschaften und die Teilnahme an globalen Quanteninitiativen sowie durch die Bereitstellung spezialisierter Exportzentren für Quantenprodukte erfolgen. Parallel dazu sollte der Ausbau von Infrastruktur, insbesondere im Bereich Fachkräfteentwicklung und Digitalisierung von Verwaltungsprozessen, vorangetrieben werden, um die schnelle Skalierung von Quanten-Technologien zu unterstützen und ein langfristiges nachhaltiges Wachstum sicherzustellen.

Die technologische Wertschöpfung beginnt bei grundlegenden Schlüsseltechnologien wie photonischen Materialien, Halbleiterfertigung, 2D-Materialien, supraleitenden Werkstoffen und integrierten Chipsystemen. Darauf aufbauend entstehen neue Anwendungssysteme – insbesondere im Bereich kontextsensitiver Quanten-Sensorik für Umweltmonitoring, Instandhaltung, Sicherheit und Medizin. Plattformbasierte Systemintegration und der Aufbau einer robusten Zulieferlandschaft bilden die Grundlage für industrielle Skalierung. Neue Geschäftsmodelle entstehen unter anderem rund um Analyse-as-a-Service, modulare Systemlösungen sowie OEM-nahe Fertigung.

Um diese Potenziale zu realisieren, sind **erhebliche infrastrukturelle Voraussetzungen** zu schaffen. Notwendig sind unter anderem zusätzliche **Reinräume, spezialisierte Messinfrastrukturen, Applikationszentren und Technologietestfelder**. Gleichzeitig müssen systematische Transferpfade zwischen Wissenschaft und Wirtschaft gestärkt werden. Denk-

Feld grundlegend. Zentrale Entwicklungen umfassen die Wiederverwendbarkeit von Trägersystemen, autonome Explorationsrobotik, innovative Raumanzüge, VR-gestützte Trainingsumgebungen und weltraumbasierte Kommunikationsinfrastrukturen. Gleichzeitig gewinnen strategische Themen wie interplanetare Nachhaltigkeit, die Nutzung extraterrestrischer Ressourcen und internationale Kooperationen zunehmend an Bedeutung.

Neben technologischen Innovationsschüben ergeben sich auch neue Fragen, etwa zur Regulierung und Sicherheit, zur gerechten Verteilung von Ressourcen oder zur Rolle staatlicher Raumfahrtagenturen im Zusammenspiel mit privaten Akteuren. Zudem nimmt der strategische Wettbewerb zwischen geopolitischen Akteuren, insbesondere den USA, China und Indien, weiter zu, was zu Machtverschiebungen führen könnte. Zugleich bietet der Trend erhebliche Impulse für angrenzende Technologiefelder wie Sensorik, Materialentwicklung, KI oder Quantenkommunikation.

Implikationen für Thüringen

Für Thüringen könnte dieser Trend insbesondere dort, wo sich bestehende technologische Kompetenzen mit neuen Anforderungen der Raumfahrtindustrie verschränken lassen, langfristig mit weitreichenden Chancen verbunden sein. Relevante Akteure wie Jenoptik AG, Jena-Optronik GmbH, SpaceOptix GmbH, das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, die Friedrich-Schiller-Universität Jena, die Landessternwarte Thüringen oder Luft- und Raumfahrtinitiativen wie der LRT e. V. verfügen in den Bereichen Optik, Sensorik, Kommunikation und Systemintegration bereits heute über Anschlussfähigkeit an zentrale Zukunftsfelder der Weltraumtechnologie.

Weil die Entwicklung dieses Trends von hoher Unsicherheit geprägt ist, könnte es sinnvoll sein, diesen Bereich nicht nur zu beobachten, sondern gezielt vertiefend mit Foresight-Methoden zu analysieren. Hierbei wäre zu prüfen: Welche Zukunftsbilder sind mit der Technologisierung und Kommerzialisierung der Raumfahrt verbunden? Welche strategischen Optionen könnten sich daraus für Thüringen ergeben? Wie können bestehende Stärken im Land dafür aktiviert werden? Denkbar wäre etwa, bestehende Netzwerke über Thüringen hinaus zu erweitern, bspw. durch eine engere Anbindung an ESA-Aktivitäten oder überregionale Kooperationen mit anderen Bundesländern wie Sachsen. Auch die strategische Antizipation konkreter Anwendungsfälle und ihrer Folgewirkungen, z. B. im Bereich Quantenkommunikation oder Erdbeobachtung, könnte helfen, das Potenzial greifbar zu machen.

Insgesamt erscheint es lohnend, den Trend nicht nur technologisch, sondern auch strategisch einzuordnen, zumal die Aufnahme der Raumfahrt in den Titel des Bundesforschungsministeriums mitsamt der Stellung in der Hightech-Agenda die wachsende Bedeutung unterstreicht. Hier könnte sich ein Möglichkeitsraum für neue Wertschöpfungsketten, internationale Partnerschaften und zukunftsgerichtete Narrative öffnen, die auch über die Raumfahrt hinaus Impulse für Thüringens Innovationslandschaft setzen könnten.

5.1.2 Neue Ansätze zur Bewältigung von Umwelt- und Gesundheits Herausforderungen

Aufgrund ihres hohen potenziellen Einflusses bei gleichzeitig hoher Unsicherheit gilt die datenbasierte Erfassung und Analyse von Umwelt- und Gesundheitsdaten als prioritäres Thema im Foresight-Prozess. Technologische Fortschritte ermöglichen es zunehmend, Umwelt- und Gesundheitsdaten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu erfassen und systematisch auszuwerten. Durch den Einsatz von KI, maschinellem Lernen, IoT-Sensoren und Satellitentechnologien können komplexe Umweltsysteme besser verstanden, Risiken frühzeitig erkannt und präventive Maßnahmen gezielter entwickelt werden. Anwendungen reichen von der Echtzeitüberwachung der Luftqualität über die Erkennung illegaler Umweltaktivitäten bis hin zu großflächigen Modellen wie im EU-Projekt Destination Earth¹, das die Wechselwirkungen zwischen natürlichen Prozessen und menschlichem Handeln abbildet.

Diese datengetriebenen Technologien eröffnen neue Möglichkeiten im Bevölkerungsschutz, im Ressourcenmanagement (z. B. Wasser, Abfall, Landnutzung), im Wald- und Artenschutz sowie für resiliente Infrastrukturen. Zugleich rückt der sektorübergreifende Einsatz solcher Systeme, etwa für Anwendungen in der Stadtplanung, der Landwirtschaft und im Gesundheitsbereich, in den Fokus.

Implikationen für Thüringen

Für Thüringen ergeben sich aus diesem Trend verschiedene Chancen. Datenbasierte Umwelttechnologien könnten dabei unterstützen, Risiken wie Hochwasser oder Trockenperioden präziser vorherzusagen und Ressourcen (z. B. Wasser oder landwirtschaftliche Flächen) effizienter zu nutzen. Auch im Kontext von Luftreinhaltung, Waldmonitoring oder der Nachverfolgung von Mikroplastik bieten sich Einsatzmöglichkeiten, die sowohl ökologische als auch wirtschaftli-

che Vorteile mit sich bringen könnten. Sinnvoll wäre es, auf bestehende Initiativen zur digitalen Umweltüberwachung aufzubauen und diese gezielt mit KI-basierten Vorhersagemodellen zu erweitern. Modellvorhaben in Hochwasser- risikogebieten oder urbanen Wärmeinseln könnten eine konkrete Grundlage für Anwendung und Skalierung bieten. Ebenso könnten Konsortien aus Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft gebildet werden, um in relevanten Feldern wie Landwirtschaft, Kreislaufwirtschaft oder Gesundheit neue datenbasierte Geschäftsmodelle zu erproben.

Insgesamt könnten solche Technologien dabei unterstützen, die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel zu erhöhen, ökologische Belastungen zu verringern und zugleich Innovationen im Bereich Umwelttechnologie zu fördern. Deswegen sollte dieses Thema weiterhin aufmerksam verfolgt werden.

5.1.3 Ganzheitliche Ansätze zum integrierten Energiemanagement

Der Trend zu ganzheitlichen Energiemanagementsystemen wird im Foresight-Prozess als prioritäres Thema mit hohem potenziellem Einfluss und gleichzeitig hoher Unsicherheit bewertet. Er beruht auf der zunehmenden Integration dezentraler Erzeugungs-, Speicher- und Verbrauchseinheiten. Im Zentrum steht, die Energieeffizienz zu erhöhen, CO₂-Emissionen zu senken und mehr Unabhängigkeit von zentralen Versorgungsstrukturen zu erreichen. Dies geschieht unter anderem durch die Kombination fortschrittlicher Speichertechnologien (z. B. Druckluft- und Batteriesysteme), die Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowie durch die flexible Umwandlung von Energieformen. Eine zentrale Rolle spielen dabei auch digitale Werkzeuge, etwa zur Analyse und Visualisierung von Energieflüssen und Emissionen in Echtzeit. Diese ermöglichen eine fundierte Entscheidungsfindung, sowohl für kommunale Planungsprozesse als auch für privatwirtschaftliche Anwendungen. Die Realisierung klimaneutraler Quartiere oder der Einsatz von Abwärmee-nutzung in lokalen Wärmenetzen sind Beispiele für die zunehmende Verschmelzung von technischer Innovation und nachhaltiger Planung.

Implikationen für Thüringen

Für Thüringen könnte es sinnvoll sein, die Entwicklung solcher integrierter Energiesysteme als strategisches Zukunftsthema zu behandeln. Allen voran sollte dies im Zusammenspiel mit den Zielen der kommunalen Wärmeplanung, dem Ausbau erneuerbarer Energien sowie regionaler Wertschöpfung erfolgen.

Modellprojekte in kleinen und mittleren Städten oder in industriellen Clustern könnten dabei helfen, praxistaugliche Anwendungen zu erproben und sichtbare Erfolge zu erzielen. Auch die Nutzung bestehender Infrastrukturen, etwa zur Abwasserwärmerückgewinnung oder zur Einbindung von Solarthermie und Wärmepumpen in lokale Netze, erscheint vielversprechend. Um die technische und soziale Akzeptanz zu erhöhen, könnten Informationskampagnen, Beteiligungsformate und transparente Kosten-Nutzen-Analysen hilfreich sein. Auch die Zusammenarbeit mit Innovationsakteuren wie Institutsteil für angewandte Systemtechnik AST des Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, dem EDIH European Digital Innovation Hub Thuringia oder spezialisierten Unternehmen, wie z.B. die revincus GmbH, könnte ausgebaut werden, um gemeinsam skalierbare Lösungen zu entwickeln.

5.1.4 Fortschrittliche Materialien und Technologien für Energie- und Informationssysteme

Die Entwicklung und Anwendung fortschrittlicher Materialien werden im Foresight-Prozess als prioritäres Thema mit hohem potenziellem Einfluss und gleichzeitig hoher Unsicherheit eingeschätzt. Sie eröffnet neue Potenziale in der Energieumwandlung, Energiespeicherung und Informationsverarbeitung. Technologien wie Perowskit-Solarzellen, thermische Batterien oder photonische Systeme versprechen eine deutlich höhere Energieeffizienz und bieten neue Möglichkeiten zur Miniaturisierung, Flexibilisierung und Ressourcenschonung in vielfältigen Bereichen. Ein besonderer Mehrwert des Themas liegt in der Kombination der Technologien mit intelligenter Materialforschung: Selbstheilende Materialien, biokompatible Systeme und neue Formen der Datenspeicherung können zukunftsweisende Anwendungen ermöglichen, z. B. in der Medizintechnik, der nachhaltigen Elektronik oder für die Resilienz kritischer Infrastrukturen.

Implikationen für Thüringen

Für Thüringen könnte es vielversprechend sein, die vorhandene exzellente Forschung im Bereich Materialwissenschaften (Friedrich-Schiller-Universität Jena, Technische Universität Ilmenau, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS) gezielt mit Industriepartnern zu vernetzen, um Anwendungsprojekte für konkrete

Herausforderungen im Bereich Energie und Digitalisierung voranzubringen. Auch Kooperationen mit IT-Netzwerken wie ITnet Thüringen oder Akteuren der Digitalwirtschaft könnten helfen, Transferpotenziale zu heben. Gleichsam wäre es sinnvoll, bestehende Kompetenzen in der Batterie- und Speicherforschung, z. B. bei CEEC Jena oder IBU-tec advanced materials AG, mit Themen der Kreislaufwirtschaft zu verzahnen, etwa über Konsortien für das Batterie-Recycling. Angesichts der Komplexität dieser Themen wäre es empfehlenswert, auch neue methodische Formate wie Foresight-Workshops oder Reallabore einzusetzen, um mögliche Zukunftspfade auszuloten und technologieoffene Entwicklungsperspektiven zu fördern.

5.1.5 Intelligente Städte mit Fortschritten in Infrastruktur, KI und Cybersicherheit

Intelligente Städte gelten im Foresight-Prozess als prioritäres Thema, da sie ein hohes Wirkungspotenzial auf zentrale Zukunftsbereiche entfalten und zugleich mit erheblicher Unsicherheit hinsichtlich technologischer, gesellschaftlicher und regulatorischer Rahmenbedingungen verbunden sind. Sie stehen für die gezielte Integration digitaler Technologien in die städtische Infrastruktur und zielen darauf ab, Effizienz, Sicherheit, Lebensqualität und Nachhaltigkeit zu steigern. Mithilfe von KI, Sensorik, IoT, 5G sowie AR und VR entstehen neue Möglichkeiten in der Verkehrssteuerung, Notfallhilfe, Infrastrukturüberwachung und Energieversorgung. Datenschutz und Cybersicherheit werden dabei zu integralen Bestandteilen einer resilienten Stadtentwicklung, insbesondere durch datensparsame Technologien wie Privacy Preserving Technologies und durch den Einsatz von Edge Computing.

Implikationen für Thüringen

Für Thüringen könnte es sinnvoll sein, Smart-City-Initiativen nicht nur als Infrastrukturprojekte zu begreifen, sondern stärker als Innovations- und Transformationsprojekte der Städte selbst. Die gezielte Kombination von F&E-Förderung, partizipativen Ansätzen und neuen technologischen Anwendungen kann dazu beitragen, urbanen und ländlichen Raum intelligenter zu vernetzen und Innovationspotenziale gezielt auszuschöpfen.

Ein Austausch mit anderen Regionen könnte helfen, Ressourcen effizient einzusetzen und Synergieeffekte zu nutzen. Es wäre lohnend, die Erfahrungen aus Modellprojekten weiterzutragen und etwa drohnenbasierte Lösungen oder digitale Zwillinge für urbane Kulturgüter stärker in die Anwendung zu bringen. Hier bietet sich insbesondere die Verbindung zwischen öffentlichen Verkehrsbetrieben, Forschungseinrichtungen und regionalen Tech-Unternehmen an, bspw. im Rahmen von Konsortien oder Testfeldern für adaptive Verkehrssteuerung, urbanes Notfallmanagement oder intelligente Logistiklösungen.

5.1.6 Fortschrittliche Autonomie- und Sicherheitsstrategien für unbemannte Flugsysteme

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) werden im Foresight-Prozess als Thema für die Watchlist eingeordnet, da sie derzeit mit geringem Einfluss und geringer Unsicherheit verbunden sind. Durch den Einsatz von KI und maschinellem Lernen entwickeln sie sich zunehmend zu hochautonomen Systemen, die komplexe Navigations- und Steuerungsaufgaben in Echtzeit bewältigen können. Besonders relevant ist dies für neue Drohnentypen wie elektrisch betriebene, senkrecht startende eVTOL-Systeme, die perspektivisch eine Rolle in der urbanen Luftmobilität spielen könnten. Zugleich eröffnen UAS innovative Einsatzmöglichkeiten in anspruchsvollen Bereichen wie der Infrastrukturinspektion, Katastrophenhilfe oder Präzisionslandwirtschaft. Die zunehmende Verbesserung der Fehlertoleranz, Energieeffizienz und Systemrobustheit tragen dazu bei, dass UAS zunehmend in sensiblen Einsatzumgebungen denkbar werden. Gleichzeitig stellen diese Systeme hohe Anforderungen an Datensicherheit, regulatorische Einbindung und verlässliche Kommunikationstechnik.

Implikationen für Thüringen

Auch wenn derzeit kein breiter industrieller Einsatz oder ein starker Forschungsschwerpunkt in Thüringen zu beobachten ist, könnten sich langfristig im Zusammenhang mit spezialisierter Sensorik, der Einbindung in kritische Infrastrukturen oder im Bereich automatisierter Logistiklösungen im ländlichen Raum Chancen für die thüringische Innovationslandschaft ergeben

Daher wäre es sinnvoll, diesen Trend zunächst auf einer Watchlist zu führen. Vorstellbar ist, regelmäßig zu prüfen, ob sich relevante Entwicklungen in angrenzenden Technologiefeldern ergeben, z. B. in der Photonik, Optik, Mikrosystemtechnik oder bei verkehrsbezogenen Digitalanwendungen, die künftig Anschlussfähigkeit an das Thema UAS und

eVTOL bieten könnten. Auch eine Beobachtung regulatorischer und technologischer Entwicklungen, z. B. im Kontext von Zulassungsverfahren oder Luftraumstrukturierungen, könnten Hinweise liefern, ob und wie Thüringen von den Entwicklungen in diesem Themenfeld profitieren und eine gestaltende Rolle einnehmen kann.

In einem nächsten Foresight-Zyklus wäre es insofern denkbar, gezielt nach potenziellen Nischenanwendungen für Thüringen zu suchen. Dazu würden Entwicklungen von Testumgebungen, die Erprobung sicherheitskritischer Systeme oder auch die Entwicklung von Begleittechnologien wie Kommunikationsstandards, Energielösungen, und Notfallmanagement zählen.

Insgesamt erscheint es sinnvoll, das Thema mit wachem Blick weiter zu verfolgen und technologische Durchbrüche sowie sich wandelnde Marktbedingungen, die neue Impulse für die regionale Verwertung schaffen könnten, aufzuspüren.

5.2 Impulse für unmittelbare Handlungsansätze

Die Kategorie der unmittelbar handlungsrelevanten Trends, die durch hohen Einfluss bei geringer Unsicherheit geprägt ist, umfasst die Entwicklung und Anwendung synergistischer Digital Twins und IoT-Systeme, den Einsatz von *KI-, IoT- und Modellierungstechnologien in Landwirtschaft, Umweltmonitoring und Ressourcenmanagement, nachhaltige und energiesparende integrierte Wärme-/Kältesysteme sowie die personalisierte Medizin: Diagnostik, Therapien und Gesundheitsstrategien*.

Diese Impulse fließen unmittelbar in die operative Arbeit von *Innovativ Thüringen* ein. Sie dienen zum Abgleich von Schwerpunkten aktueller FuE-Projekte, zur kurzfristigen Initiierung von FuE-Konsortien sowie als Impulse für die Ausgestaltung von Workshops und Technologieveranstaltungen.

5.2.1 Synergistische Digital Twins und IoT-Systeme

Digitale Zwillinge zählen im Foresight-Prozess zu den Themen mit hohem Einfluss und vergleichsweise geringer Unsicherheit und gelten daher als zentrale Impulsgeber für unmittelbare Handlungsansätze. Sie bezeichnen virtuelle Repräsentationen physischer Objekte oder Systeme, die in Echtzeit Daten aus der realen Welt empfangen, analysieren und zurückspiegeln. In Kombination mit dem Internet der Dinge (IoT) entsteht ein umfassend vernetztes System, das eine kontinuierliche Überwachung, Analyse und Optimierung technischer Prozesse ermöglicht. Diese synergetische Verbindung erlaubt unter anderem eine präzisere Zustandsüberwachung, vorausschauende Wartung, verbesserte Ressourcennutzung sowie datenbasierte Entscheidungsprozesse in Echtzeit.

Einsatzfelder sind vielfältig: von der intelligenten Fabrik über das Energiemanagement in Gebäuden bis hin zur Inspektion technischer Infrastrukturen. Der Trend zeichnet sich durch eine zunehmende Reife aus, steht jedoch weiterhin vor Herausforderungen wie der fehlenden Interoperabilität zwischen Systemen, der Integration in bestehende Infrastrukturen, hohen Anforderungen an Datensicherheit sowie dem Fehlen standardisierter Schnittstellen.

Implikationen für Thüringen

Vor dem Hintergrund der industriellen Struktur Thüringens, die einen starken Fokus auf Maschinenbau, Automatisierung und Energieeffizienz aufweist, könnte der Trend zu Digital Twins und IoT-Systemen eine besondere strategische Relevanz entfalten. Viele Unternehmen im Freistaat bewegen sich in Bereichen, die von einer engeren Verknüpfung physischer und digitaler Systeme profitieren würden.

Sinnvoll wäre es, auf Ebene des *Innovativ Thüringen* und weiterer Akteure der Innovationslandschaft zu prüfen, inwieweit entsprechende Aktivitäten in Thüringen bereits bestehen und ob es strategische Lücken oder besondere Stärkfelder gibt. Denkbar wäre etwa ein systematisches Mapping relevanter Industrie- und Forschungspartner im Land, um bereits bestehende Ansätze sichtbar zu machen und gezielte Kooperationen zu fördern. Niedrigschwellige Formate zur Unterstützung von KMU, bspw. Demonstrationsumgebungen, Vernetzungsangebote oder Workshops zur Identifikation konkreter Anwendungsfälle, könnten die Weiterentwicklung standortbasiert in Thüringen begünstigen. Darüber hinaus könnte eine engere Verzahnung mit wissenschaftlichen Einrichtungen, etwa in Ilmenau oder Jena, einen wichtigen Beitrag zur Technologievermittlung und Weiterentwicklung leisten.

5.2.2 KI-, IoT- und Modellierungstechnologien für Landwirtschaft, Umweltmonitoring und Ressourcenmanagement

KI-, IoT- und Modellierungstechnologien gelten im Foresight-Prozess als Themen mit hohem Einfluss und vergleichsweise geringer Unsicherheit – und liefern damit konkrete Impulse für unmittelbare Handlungsansätze. Sie eröffnen vielfältige neue Möglichkeiten für eine datenbasierte, ressourceneffiziente und resiliente Gestaltung von Landwirtschaft, Umweltüberwachung und Ressourcenmanagement. Durch die Kombination von Echtzeitdaten aus Sensoren, maschinellem Lernen und prädiktiver Modellierung lassen sich Umweltveränderungen besser antizipieren, Naturgefahren früher erkennen und natürliche Ressourcen zielgerichteter nutzen. So könnten landwirtschaftliche Prozesse, das Wassermanagement sowie die Umweltbeobachtung deutlich effizienter und nachhaltiger gestaltet werden.

Implikationen für Thüringen

Für Thüringen erscheint es sinnvoll, bestehende Stärken im Bereich Umwelt- und Agrartechnologien durch gezielte Förderung digitaler Anwendungen weiter auszubauen. Pilotprojekte zur Integration von KI und IoT in der Landwirtschaft könnten dabei helfen, sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile zu realisieren. Dies könnte etwa durch intelligente Bewässerungssteuerung, automatisierte Drohnennutzung oder Frühwarnsysteme für Extremwetterlagen erfolgen.

Zudem wäre es denkbar, verstärkt in die digitale Infrastruktur im ländlichen Raum zu investieren, um eine breitere Anwendung solcher Technologien zu ermöglichen. Der Aufbau praxisnaher Schulungsangebote in Zusammenarbeit mit Hochschulen, Technologietransfereinrichtungen und der Agrarwirtschaft könnte dazu beitragen, das Wissen um diese Technologien nachhaltig zu verankern.

Auch der Erfahrungsaustausch mit anderen Regionen oder Initiativen könnte hilfreich sein, um konkrete Anwendungsfälle und bewährte Lösungsansätze zu identifizieren. Modellprojekte, die z. B. Sensorik, Fernerkundung und prädiktive Analysen miteinander verbinden, könnten als Blaupause für die regionale Skalierung solcher Ansätze dienen. Nicht zuletzt wäre es sinnvoll, Anknüpfungspunkte zur Umwelt- und Klimapolitik auf Landesebene zu prüfen; zentrale Anknüpfungspunkte wären Klimafolgenanpassung, die Biodiversitätsstrategie oder auch die Wasserrahmenrichtlinie. Hier könnte der Einsatz datenbasierter Technologien auch zur Erreichung übergeordneter Nachhaltigkeitsziele beitragen.

5.2.3 Nachhaltige und energiesparende integrierte Wärme-/Kältesysteme

Integrierte Wärme-/Kältesysteme gelten im Foresight-Prozess als Impulsgeber für unmittelbare Handlungsansätze, da sie mit hohem Einfluss und vergleichsweise geringer Unsicherheit verbunden sind. Die zunehmenden Anforderungen an Energieeffizienz, Dekarbonisierung und Klimaanpassung rücken integrierte Wärme-/Kältesysteme in den Fokus technologischer und politischer Strategien. Dabei geht es um Systemlösungen, die Wärme- und Kältebedarfe sektorübergreifend erfassen, steuern und durch den Einsatz erneuerbarer Energien sowie intelligenter Speichertechnologien nachhaltig decken. Insbesondere in Kombination mit Wärmepumpen, Solarthermie, Abwärmenutzung und digitalen Steuerungslösungen bieten sich neue Möglichkeiten zur Optimierung von Energieflüssen und zur Reduktion fossiler Abhängigkeiten. Durch adaptive Regelung, Lastmanagement und sektorübergreifende Kopplung können Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz miteinander verbunden werden.

Implikationen für Thüringen

Für Thüringen ergeben sich aus dem Trend vielfältige Ansatzpunkte, um technologische Entwicklung, Energieeffizienz und Standortattraktivität strategisch zu verzahnen. Bestehende industrielle Infrastrukturen, kommunale Wärmenetze und energetische Sanierungsprogramme könnten durch gezielte Integration innovativer Wärme-/Kälteverbundsysteme deutlich optimiert werden. Besonders vielversprechend erscheint die Förderung intelligenter Systemlösungen in Gewerbegebieten, Industrieclustern oder energetisch zu transformierenden Quartieren. Pilotvorhaben zur sektorübergreifenden Kopplung, wie etwa die Verbindung von industrieller Abwärmenutzung mit wohnungswirtschaftlicher Wärmeherzeugung oder die Integration saisonaler Speicher, könnten sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Wirkungen entfalten. Eine engere Zusammenarbeit mit regionalen Energieagenturen, Stadtwerken und Forschungseinrichtungen würde zusätzlich dazu beitragen, innovative Technologien praxisnah zu erproben und schrittweise in den Markt zu überführen.

Zudem erscheint es sinnvoll, bestehende Förderinstrumente und Planungsgrundlagen gezielt auf die Unterstützung solcher integrierter Systeme auszurichten. Der Aufbau von Demonstrationsanlagen sowie begleitender Aus- und Wei-

sollte anhand transparenter Kriterien erfolgen, etwa dem erwartbaren Innovationspotenzial für Thüringen, vorhandenen Entwicklungspfaden oder regionalen Kompetenzprofilen.

Ziel ist es, vielversprechende Zukunftsthemen zu schärfen und basierend auf den Ergebnissen der Deep Dives gezielt in Richtung konkreter Innovationsvorhaben zu entwickeln.

Verfasser

Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH
(LEG Thüringen)
Innovativ Thüringen
Mainzerhofstraße 12
99084 Erfurt

Ansprechpartner

Michel Reichardt
Projektleiter Foresight
Tel.: 0361 5603-466
Mail: michel.reichardt@leg-thueringen.de

Titelfoto: © Daria Frolova / adobe stock

Die Vervielfältigung oder Verbreitung der Inhalte für gewerbliche und nicht-gewerbliche Zwecke ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers möglich. Die Veröffentlichung von Ergebnissen mit Quellenangabe ist erlaubt.

Christoph Grollmann
Projektleiter Foresight
Tel.: 0361 5603-395
Mail: christoph.grollmann@leg-thueringen.de