Schlussbericht

gaia-x 4 PLC-AAD

Infineon Technologies AG
19S21006B

Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Dokumenteigenschaften

Titel	Infineon Technologies AG Schlussbericht
Betreff	Schlussbericht
Vorhabenbezeichnung	Use Case "Sensor PLC"
Laufzeit des Vorhabens	01.01.22 - 31.03.25
Berichtszeitraum	01.01.22 - 31.03.25
Firma / Institut	Infineon Technologies AG
Erstellt von	Hans Ehm
Beteiligte	Philipp Ulrich
Geprüft von	Hans Ehm
Freigabe von	Hans Ehm
Datum	23.9.2025
Version	1.0
Dateipfad	Schlussbericht-GAIAX-4-PLC-AAD-IFX

Inhalt

1. Kurze Darstellung 4
1.1. Aufgabenstellung 4
1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 4
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens 4
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde....5
1.4.1 GAIA-X Infrastruktur 5
1.4.2 Ontologien und Semantic web 5
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen....6
1.5.1 AP 3.1 Anforderungen an Entwicklungsmethoden, -prozesse und -standards....6
1.5.2 AP 3.2 Ökosystemprozesse und Rollen 6
1.5.3 AP 3.3 Information Model & Meta-Data Standard....6
1.5.4 AP 3.7 & AP 3.8 Entwicklung Digitaler Zwilling und Betrieb und Pflege von Digitalen Zwillingen 7
1.5.6 TP 4 Automatisierte Fahrfunktion PLC & AP5.1 Modelle und Daten für die Sensorentwicklung (inkl. Simulation) und Ontologie zur semantischen Datenintegration 7
1.5.7 AP 5.2....7
1.5.8 AP 5.3....7
1.5.9. AP6.1 Wissenschaftliche Leitung und Projektmanagement....7
2. Eingehende Darstellung 8
2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses 8
2.1.1 Datenerhebung....8
2.1.2 Semantifizierung....9
2.1.3 Analyse 10
2.1.4 Dashboards.... 16
2.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.... 18
2.3 Voraussichtlichen Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.... 18
2.3.1 Entwicklung eines digitalen Zwillings für Halbleiter 18
2.3.2 Mitigierung des Bullwhip-Effekts.... 18
2.3.3 Wirtschaftlich-Technische Anschlussfähigkeit in Folgeprojekten.... 18
2.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.... 19
2.5 der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.... 19

1. Kurze Darstellung

Es folgt eine kurze Darstellung des Beitrags der Infineon Technologies AG zum Projekterfolg.

1.1. Aufgabenstellung

Der Use-Case zur Minderung des Bullwhip-Effekts konzentriert sich auf die Zusammenarbeit und den Austausch von Nachfrageinformationen entlang von Lieferketten in der Elektronik- und Halbleiterindustrie, wobei Umfragen eingesetzt werden. Der Bullwhip-Effekt, eine Verstärkung der Nachfrage entlang von Lieferketten, verstärkt Nachfrageänderungen drastisch, insbesondere in Zeiten von Lieferkettenunterbrechungen. Lieferketten im Automotive-Bereich basieren aus Sicht der OEMs auf Just-in-Time und werden in der Regel nach Reichweite gesteuert, was als weiterer Beschleuniger des Bullwhip-Effekts wirkt. Mehr Transparenz bei der Nachfrage und eine bessere Zusammenarbeit sind Mittel, um den Bullwhip-Effekt nachhaltig zu mindern, werden jedoch durch eine Zurückhaltung bei der Weitergabe sensibler Informationen an andere Ebenen der Lieferkette und durch das Fehlen eines vertrauenswürdigen Ökosystems behindert. Eine Lösung besteht darin, anonyme Umfragen auf der Grundlage von Multi-Party Computation einzusetzen, um den Anreiz, überhöhte, taktische Nachfragen zu kommunizieren, zu beseitigen und sensible Informationen innerhalb einer vertrauenswürdigen GAIA-X-Plattform zu schützen.

Die Implementierung verwendet auf technischer Ebene Multi-Party-Computation, um die Vertraulichkeit sensibler Informationen innerhalb der Lieferkette sicherzustellen. Web-Technologien bieten einen einfachen Zugang für alle Beteiligten der Lieferkette. Semantische Web-Technologien wie Ontologien, z. B. die Digitale Referenz, und Wissensgraphen sind erforderlich, um eine gemeinsame Terminologie für alle Lieferkettenbeteiligten zu vereinbaren und die Daten der Umfrage semantisch zu strukturieren. Semantische Technologien ermöglichen auch die Nutzung des strukturierten Wissens aus den Umfragen und ermöglichen weitere Dienste innerhalb des GAIA-X Ökosystems. Die Ergebnisse der Umfrage werden anschließend sicher aggregiert und gemittelt, wodurch alle Umfragebeteiligten aus den Ebenen OEM, Tier 1, Tier 2 und anderen eine bessere Übersicht über den Zustand der Nachfrage und des Inventars innerhalb der Lieferkette erhalten und die Lieferkettenoperation auf der Grundlage genauerer Informationen verbessern können.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Der Use Case 5.2 adressierte mit seiner Zielstellung und seinen Teilzielen die Ziele des Projekts GAIA-X 4PLC-AAD insbesondere bzgl. der geforderten Konzepte für die Entwicklung eines Digitalen Zwillings von Lieferketten und der Erarbeitung eines Lösungsansatzes zur Mitigierung des Bullwhip-Effekts in halbleiterabhängigen Lieferketten, insbesondere zur Sicherstellung eines zuverlässigen Halbleiterangebots im Kontext von Fahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion. Halbleiter stellen integrale Bestandteile von autonomen Fahrsystemen sowie zukunftsfähigen Mobilitätslösungen im Kontext von Smart Cities, Connected Autonomous Driving sowie bei der Dekarbonisierung und Elektrifizierung dar. Der Use Case unterstützt die Absicherung von Halbleiterlieferketten für die Automotive und Mobilitätsindustrie.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Infineon erarbeitete im Rahmen des Projekts eine ganzheitliche Pipeline von der Erhebung realistischer Nachfragedaten aus unterschiedlichen Lieferketten-Tiers bis hin zu deren Bereitstellung in verwertbarer und anschaulicher Form. Die Planung erfolgte gemeinschaftlich mit den Partnern innerhalb des Gesamt- und Teilvorhabens unter Federführung der Infineon Technologies AG. Infineon leitete die Erarbeitung von AP 5.2. und koordinierte die Zusammenarbeit mit den technischen Partnern aus den Arbeitspaketen 1,2 und 3 um eine Integration des Use Cases in die GAIA-X Infrastruktur sicherzustellen. Innerhalb des AP 5.2, ebenso bezeichnet als Use Case 2, wurden hierzu inkrementell die ausdefinierten technischen Arbeitsschritte durchgeführt und dokumentiert. Diese wurden über die Zwischenberichte regelmäßig und

fristgemäß dem Projektträger mitgeteilt. Die Abstimmung hinsichtlich der übergeordneten Projektziele und mit den anderen Arbeitspaketen wurde durch stetigen Austausch mit den Planungs- und Koordinationsorganen innerhalb des Vorhabens sichergestellt. Während des Projektverlaufs wurden Demonstratoren erstellt, welche projektintern wie extern (bspw. auf der Hannover Messe) präsentiert wurden. Die Ziele des Teilprojekts konnten über den Projektzeitraum ohne Änderungen erreicht werden.

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

1.4.1 GAIA-X Infrastruktur

Gaia-X verspricht heterogene, im Detail auch sehr spezialisierte Infrastrukturkomponenten orchestriert nutzbar zu machen und damit Laufzeitumgebungen für generische Services, Daten und Funktionen zu schaffen, die Stand heute kaum abbildbar sind. Edge-Lösungen und embedded Zielumgebungen (z.B. Fahrzeuge/Steuergeräte) müssen sich zukünftig ganz im Sinne der Daten-Souveränität für Compute-to-Data Szenarien nutzen lassen und werden damit zu kritischen Infrastrukturkomponenten. Inwieweit hier die Connectoransätze der IDSA bzw. gehärtete Trusted Execution Environments/Enclaves nutzbar werden ist zu untersuchen.
Weiter stellt die Entwicklung von datenbasierten Services (z.B. nicht-trivial/komplexe Analysefunktionen) hohe Vertrauensanforderungen an Datengeber und Entwicklungsteams, die heute oft nur über bilaterale Vereinbarungen lösbar sind. Aktive Forschungsfelder wie Secure Multiparty Computation, adressieren diese Fragestellungen und zeigen die Komplexität für zu untersuchende Prozesse, Infrastrukturkomponenten, Serviceentwicklung und Nutzung im Projektvorhaben.[1] Der technische Stand im Bereich Multi-Party Computation und GAIA-X Ökosysteme verspricht modulare Domänenübergreifende Ökosysteme entwickeln zu können und im Bereich Halbleiter Lieferketten verbesserten Informationsaustausch zu ermöglichen.

1.4.2 Ontologien und Semantic web

Das Konzept des Semantic Web entstand Ende der 1990er Jahre als Ansatz, Informationen so darzustellen, dass sie sowohl für Menschen als auch für Maschinen verständlich sind. Seither hat sich deren Fokus von der semantifizierung des Internets vor allem auf industrielle Anwendungsfälle verlagert. Der Kern des Prinzips liegt darin, Daten nicht nur als binäre Beziehungen darzustellen, sondern auch deren Beziehungen durch einen Netzwerkansatz zu erfassen. Dadurch werden tieferliegende Bedeutungsebenen maschinenlesbar erfasst, was besonders bei komplexen und stark verflochtenen Informationen vielseitige Anwendungen ermöglicht. Solch stark verflochtene und komplexe Daten sind in Halbleiterlieferketten die Regel. Es existieren komplexe, globale Lieferkettenstrukturen und eine Orchestrierung der Lieferkette in einer globalen virtuellen Fabrik mit komplexen Produktionsprozessen.
Ontologien strukturieren und kontextualisieren semantische Daten. Sie dienen als semantisch strukturierte Frameworks, in denen Entitäten, Eigenschaften und Beziehungen erfasst werden. Allgemein ergibt sich eine Graph Struktur mit Entitäten als Knoten und Beziehungen als Edges.[2] Die Darstellungsform ist über Standards wie RDF (Resource Description Framework) definiert, welches 1999 vom W3C (World Wide Web Consortium) definiert wurde[3].

[1] Siehe GVB.
[2] Grimm, S., Abecker, A., Völker, J., Studer, R. (2011). Ontologies and the Semantic Web. In: Domingue, J., Fensel, D., Hendler, J.A. (eds) Handbook of Semantic Web Technologies. Springer, Berlin, Heidelberg. S.507-579. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92913-0_13
[3] W3C. https://www.w3.org/

Durch die Integration existierender Standardontologien kann der Anwendungsfall vorangetrieben werden, ohne dass Vokabuläre und Ontologien von Grund auf neu erstellt werden müssen. Angeknüpft wurde hier insbesondere an die Digital Reference (DR)[4] angeknüpft [siehe 2.1], sowie die Time Ontology des W3C[5] und XMLNS FOAF[6] herangezogen.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Durch Mitwirkung in verschiedenen weiteren Arbeitspaketen (APs) wurde die Koordination und Organisation des Gesamtprojekts mit Beteiligung der Infineon Technologies AG vorangetrieben.

1.5.1 AP 3.1 Anforderungen an Entwicklungsmethoden, -prozesse und -standards

Die Definition und Erfüllung von Anforderungen an Prozesse und Standards aus Sicht des TP5 mit insb. Berücksichtigung der Halbleiter-Perspektive wurde durch regelmäßige Abstimmung sichergestellt. Die Ergebnisse flossen u.A. unmittelbar in die Demonstratoren aus AP 5.2 mit ein. Hierbei wurden Anforderungen an zu benutzende Standards aus der Sicht der Halbleiterindustrie festgelegt. Semantische Technologien, sowie Ontologien wurden als Kerntechnologie ausgewählt um die Daten semantisch zu beschreiben. Das Folgen von W3C Standards und der Digital Reference Ontologie sorgt für eine Erweiterbarkeit sowie standardisierte Schnittstellen zu weiteren Datenräumen und anderen Akteuren in Halbleiterlieferketten.

1.5.2 AP 3.2 Ökosystemprozesse und Rollen

Durch regelmäßige Beteiligung wurde an der Zuweisung und Weiterentwicklung von Rollen, Prozessen und Beziehungen sowie Abhängigkeiten zwischen Projektteilnehmern mitgewirkt. Hier wurden insbesondere die Rollen Data Provider und Data Consumer zugewiesen und auf die Use-Case spezifischen Parteien angwendet (so z.B. Lieferketten-Teilnehmer, Dritte Partei als Moderator für das Ökosystem und den Datenraum, etc.) Die Teilnahme erfolgte Maßgeblich in Form von Mitarbeit in zweiwöchentlichen Meetings in virtueller Form. Die Ergebnisse des APs wurden in andere Teile des Projekts übernommen und konnten so zum Projekterfolg beitragen.

1.5.3 AP 3.3 Information Model & Meta-Data Standard

Die Analyse und Evaluierung der Metadaten-Modelle aus Sicht des TP5 und insb. Use Case 5.2 erfolgte durch regelmäßige Beteiligung und Abgleich sowie Einbeziehung in den Use Case. GAIA-X Klassen aus dem Core Informationsmodell wurden spezifisch für den Use Case über Unterklassen erweitert. Es wurden u.A. Teilnehmerspezifische Surveys modelliert (jeweils für OEM, Tier 1 und Halbleiter). Hierzu wurden die Teilnehmergruppen im Kernbereich „Semiconductor Supply Chain“ Erfasst, welcher mit dem Bereich „True Demand Ecosystem“ Verknüpft ist. Dieser enthält die Anonymisierungsebene mit der MPC-Komponente, die Survey selbst sowie die semantische Abstraktionsebene und schließlich die Bereitstellung über den „Marketplace“ und „Semantic Services“. Die Unterklassen wurden mit Attributen und Verknüpfungen versehen, die einen Metadatenstandard für Halbleiter und Sensor Surveys beschreiben. Das entwickelte Metadatenmodell wurde in die TP5.2 Demonstratoren integriert. Weitere Modelle wurden Evaluiert und wurden insb. im Zuge der Verknüpfung mit der Digital Reference (siehe 2.5.4) herangezogen.

[4] Ramzy, Nour; Ehm, Hans; Wiens, Vitalis; Kohnen, Laura (2022): The Digital Reference: Semantically Connecting Semiconductor Supply Chains to Customers -The Open Online Sales and Marketing Vision. https://www.W3id.org/ecsel-dr

[5] W3C 2017. https://www.w3.org/news/2017/time-ontology-in-owl-is-a-w3c-recommendation/

[6] XMLNS 2014. http://xmlns.com/foaf/spec/

1.5.4 AP 3.7 & AP 3.8 Entwicklung Digitaler Zwilling und Betrieb und Pflege von Digitalen Zwillingen

Die Digital Reference fungiert als eine Halbleiterspezifische Gesamtontologie und als Digitaler Zwilling für Halbleiterlieferketten und Lieferketten die Halbleiter enthalten. Im Rahmen von GAIA-X wurde diese mit weiteren Ontologien aus den Projektspezifischen Informationsmodellen ergänzt, um eine Verknüpfung mit dem Projektinhalt zu gewährleisten. Das Resultat in seiner Gesamtheit kann als Digitaler Zwilling der Halbleiterindustrie inklusive Lieferketten, Maschinen in der Fertigung etc. abgebildet werden und sorgt als Grundlage für die Implementierung des Use Cases. Durch die vernetzende Form der Digital Reference als Digitaler Zwilling werden ebenso weitere Use Cases im Bereich Halbleiter Lieferketten möglich.

1.5.6 TP 4 Automatisierte Fahrfunktion PLC & AP5.1 Modelle und Daten für die Sensorentwicklung (inkl. Simulation) und Ontologie zur semantischen Datenintegration

Durch regelmäßige Teilnahme und Beteiligung an den zweiwöchentlichen virtuellen Meetings des APs wurde die Koordination und Organisation des Gesamtprojekts unterstützt. Des weiteren wurden über den Austausch der Arbeitspaket-Leitungen Synergien untersucht, bspw im Rahmen der GAIA-X Komponenten und semantischen Modelle. Hierbei gab es regelmäßigen Austausch zur Integration der GAIA-X Technologien in die Use Cases. Die Aktivitäten zur Sensorentwicklung und ALKS fanden gebündelt in TP4 statt.

1.5.7 AP 5.2

AP 5.2. behandelt den Use-Case zur Bullwhip-Mitigierung. Die Ergebnisse werden im Detail in Kapitel 2 (Eingehende Darstellung) beschrieben.

1.5.8 AP 5.3

Es erfolgte Beteiligung in den regelmäßigen Meetings sowie Kommunikation zwischen den AP-Leads zur Koordination und Abstimmung der Use-Cases sowie eine Zusammenarbeit bei der Integration der technischen GAIA-X Komponenten. Weiterhin wurden Best Practices sowie Implementierungen von semantischen Modellen ausgetauscht um eine abgestimmte Umsetzung der Use Cases sicherzustellen.

1.5.9. AP6.1 Wissenschaftliche Leitung und Projektmanagement

Infineon war für die die Leitung des Arbeitspakets 5 verantwortlich. Aus Sicht des Projektmanagements fand hierzu regelmäßiger Austausch mit den Leitern der anderen Arbeitspakete sowie mit den Arbeitspaketleitern aus 5.1, 5.2 und 5.3. Die Arbeit von Arbeitspaket 5 wurde im Rahmen der Projektarbeit mit Arbeitspaket 4 kombiniert, da hier große Überschneidungen und Synergieeffekte vorlagen. AP 5.1 und AP5.3 wurden mit Arbeitspaketen aus 4 zusammen gelegt. Weiterhin wurden Aktivitäten innerhalb von Arbeitspaket 5 koordiniert und Meetings zur Abstimmung und Erarbeitung der Use Cases angesetzt. Zu Beginn des Projekts wurde dies in übergreifenden Arbeitspaket 5 Workshops sichergestellt. Nachdem die Use Cases detailliert wurden ist die Arbeit in Use Case spezifischen Gruppen weitergeführt worden und eine Abstimmung über die Leitung der Arbeitspakete sichergestellt worden. Die Beteiligung innerhalb des APs erfolgte durch Teilnahme an Meetings in einem wöchentlichen, später zwei-wöchentlichen Zyklus.

2. Eingehende Darstellung

Es folgt eine detaillierte Darstellung der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse.

2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

Mit dem Use-Case 5.2 im Rahmen des TP5 wurde eine Möglichkeit geschaffen, die Vorhersagegenauigkeit in halbleiterabhängigen Lieferketten durch genauere Nachfrage- und Inventardaten zu verbessern. Dies zielt insbesondere darauf ab, ein Kernproblem in solchen Lieferketten zu adressieren, bei dem die tatsächliche Nachfrage durch mehrere Stufen exponentiell verzerrt wird, dem so genannten *Bullwhip-Effekt*. (Abb.1)
Die Bereitstellung kritischer Komponenten wie Sensoren für Automobilhersteller (OEMs) kann durch die Einbeziehung in anonymen Umfragen erhobener Nachfragedaten in die Bedarfsvorhersage deutlich zuverlässiger gestaltet werden. Hierzu wurde eine technische Lösung auf basis der GAIA-X Infrastruktur erarbeitet, welche solche Umfragen semantisch integrieren kann. Die erreichten Ergebnisse umfassen eine vollständige Pipieline von der Erhebung der benötigten Daten durch anonyme Umfragen, semantischen Vernetzung der Ergebnisse und Analysen sowie Aufbereitung mittels Dashboards. Durch diesen Prozess können die Nachfragedaten präzise erfragt und in einen aussagekräftigen Knowledge Graph umgewandelt werden, der es ermöglicht, die Supply Chain besser zu verstehen und zu optimieren. Die Outputs bestehen aus einem anonymisierten Datensatz, einem Knowledge-Graphen sowie zugehörigen Ontologien, welche die komplexen Beziehungen zwischen den Daten erfassen, und aufbereiteten Einblicken in Form von Query-Resultaten und Visualisierungen. Hiermit können Endanwender in Halbleiterlieferketten Ergebnisse aus den Umfragen bedarfsgerecht abfragen und visualisieren.

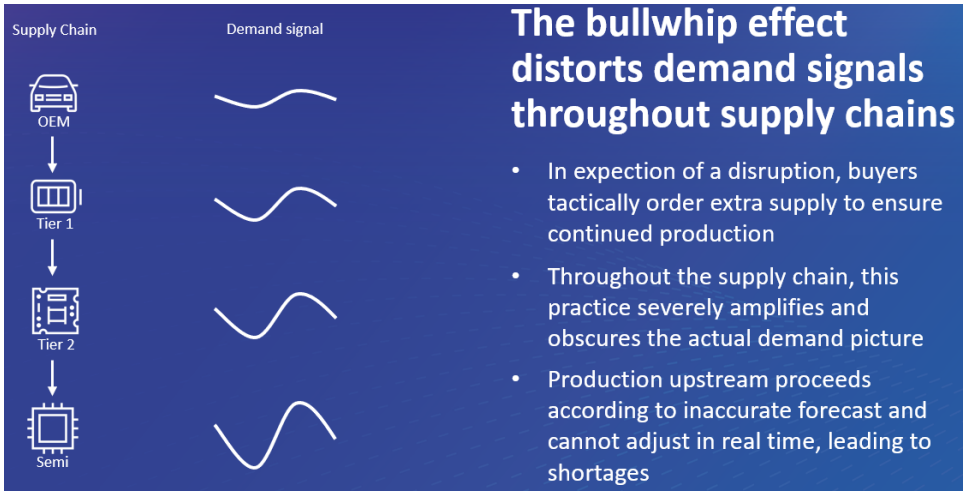


Abbildung 1: Darstellung des Bullwhip-Effekts anhand einer simplifizierten Lieferkette.

2.1.1 Datenerhebung

Zunächst werden die benötigten Daten durch Befragungen mittels anonymisierten Surveys erfasst. Die Datenerhebung erfolgt aus drei unterschiedlichen Survey-Typen, die nach Supply Chain-Rollen unterteilt sind: Semiconductor Tier, Tier 1 und OEM.
Jeder Survey-Typ ist angepasst, um bestimmte Informationen für die jeweilige Teilnehmergruppe zu erfassen. Die Teilnehmer füllen die Umfrage monatlich aus, wobei die Werte auf einer jährlichen Basis berechnet werden. Die Umfrage erfasst verschiedene Informationen, wie zum Beispiel die Nachfrage-Änderung in Prozent, sowohl aktuell als auch prognostiziert, sowie die Inventar-Änderung und die Stornierungs-Änderung, jeweils mit Angaben zur Kritikalität und zum Zielindikator.

Der Prozess beginnt mit einer Einladung zur Umfrage, bei der die Teilnehmer einen Link erhalten, um an der Umfrage teilzunehmen. Daten werden dann in Felder in einem benutzerfreundlichen Online-Interface eingegeben. Nach der Erfassung der Daten werden diese mittels Multi-Party-Computation (MPC) anonymisiert, wodurch garantiert werden kann, dass kein anderer außer der ausfüllende Partner diese einsehen kann. Anschließend werden die anonymisierten Daten aggregiert nach Supply Chain Tier als JSON-Datei ausgegeben.
Um die Beziehungen zwischen den Survey-Daten für die semantische Weiterverwertung zu definieren, werden die aggregierten JSON-Daten mithilfe eines Ontologie-Mapping-Files zugeordnet. Dieses Ontologie-Mapping ermöglicht es, die komplexen Beziehungen zwischen den Daten im Kontext der Fragestellungen präzise zu erfassen und einen Knowledge Graph zu generieren.
Abb. 2 zeigt die Architektur des erarbeiteten Ökosystems in vereinfachter Form.

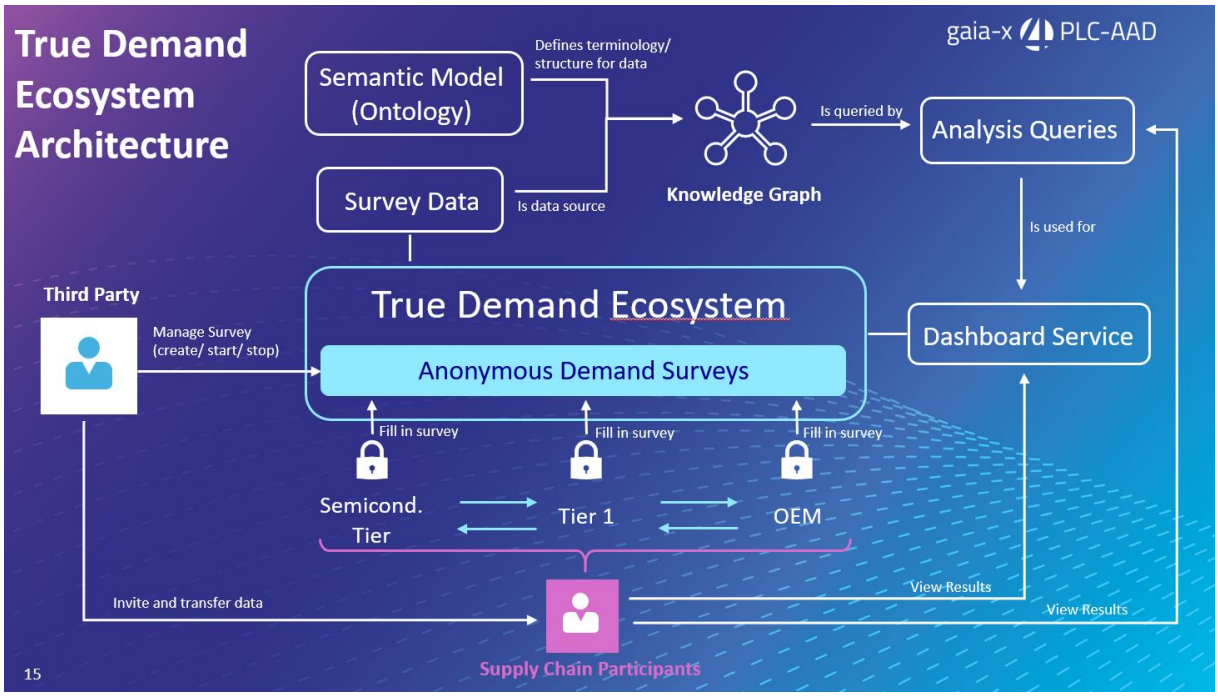


Abbildung 2: Architekturbild des True Demand-Ökosystems. Teilnehmer der Lieferkette stellen Nachfragedaten über anonyme Surveys für das True-Demand-Ökosystem bereit, welche von einer dritten Partei verwaltet wird. Diese hat keinen Einblick in die Eingaben der Teilnehmer, welche zu jeder Zeit verschlüsselt bleiben. Survey-Daten werden dann in eine durch eine Ontologie definierte semantische Struktur verarbeitet und zu einem Knowledge-Graphen hinzugefügt. Die Daten können dann mittels Abfragen oder über vorgefertigte Dashboards durch die Teilnehmer eingesehen werden.

2.1.2 Semantifizierung

Die Ontologie definiert die Struktur, Beziehungen und Bedeutungen der Daten, indem ein gemeinsames Vokabular beschrieben wird. Dies ermöglicht es, mit Abfragen gezielt und semantisch fundiert auf den Knowledge Graphen zuzugreifen, um Analysen durchzuführen.
Im linken unteren Teil der Ontologie (siehe Abbildung 3) werden die Teilnehmer der Survey, deren Rolle, sowie die Survey selbst definiert. Außerdem wird die „Technology Node Category“ eingeführt, welche die Survey gruppiert. Im rechten unteren Teil wird mithilfe des Konversionsfaktors sowohl die Schnittstelle zu den Segmenten der Industrie als auch zu den Produkten geschaffen. Im rechten oberen Teil beschreibt die Ontologie eines der drei Bestandteile der Umfrage: Die Nachfrage wird als „currentDemand“ und „Forecast“ abgefragt, beruht auf der prozentualen Änderung auf Grundlage einer jährlichen Baseline und wird nur für „recievedDemand“ betrachtet. Im linken oberen Teil wird die Anzahl der Orderstornierungen

(Cancellation)und Inventar (Inventory) definiert, welche mithilfe von „Criticality“ und „Target Indicator“ beschrieben werden.
Die GAIA-X Survey-Ontologie ist mit der DR (Digital Reference) verbunden und ermöglicht so tiefe und aussagekräftige Einblicke in wichtige Interessenbereiche der Lieferkette. Die DR ist eine Ontologie, welche als die Lingua Franca für Halbleiter und Lieferketten, die Halbleiter enthalten, verstanden werden kann. Diese wurde von den EU-ECSEL-Projekten Productive 4.0 und SC3 entwickelt.

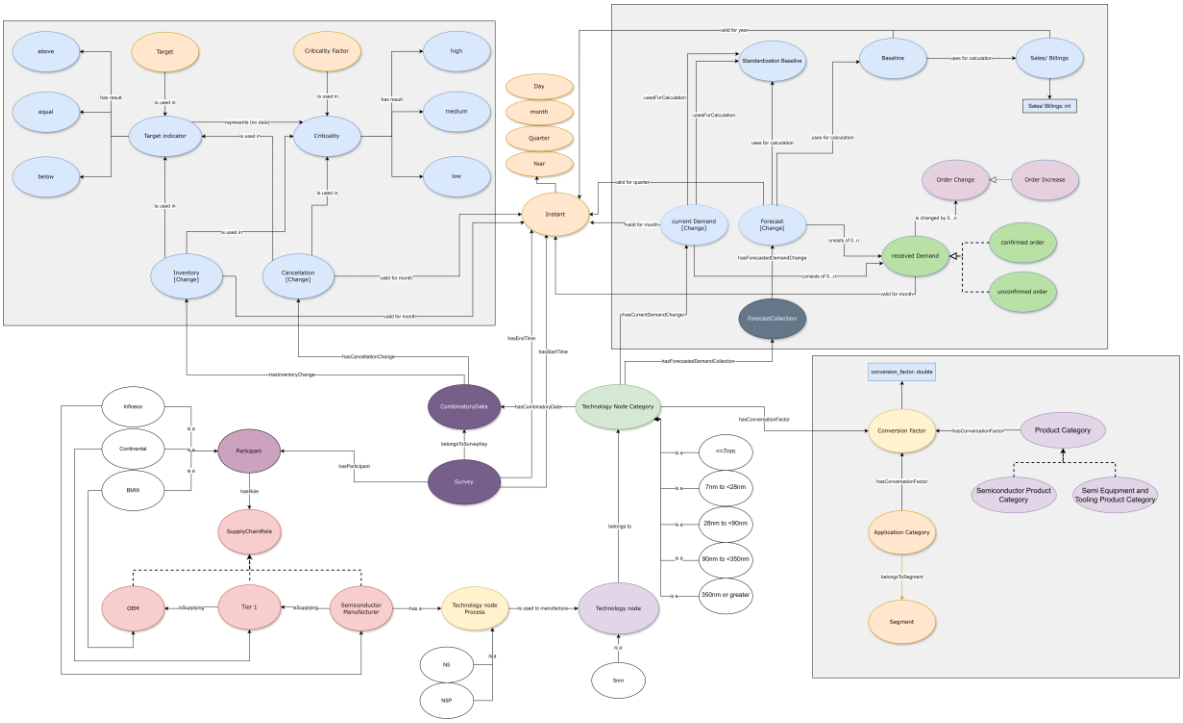


Abbildung 3: Ontologiebild der Gaia-X Umfrage.

2.1.3 Analyse

Die Lieferketten-Teilnehmer können nach Ablauf der Umfrage die Ergebnisse entweder direkt abfragen oder nutzen dazu den Dashboard-Service, welcher den Zugang zu den Resultaten für Nutzer ohne tiefergehende technische Kenntnisse ermöglicht. Außerdem werden Ergebnisse graphisch anschaulicher und verständlicher präsentiert. Derzeit werden synthetische Daten verwendet.
Für die Verwaltung des Knowledge Graphen wird die Graph Datenbank Neo4j genutzt. Dort werden Knoten (Nodes) und Beziehungen (Edges) direkt als solche gespeichert, anstatt die Daten über eine relationale Datenbank zu abstrahieren. Außerdem bietet Neo4j bereits eine benutzerfreundliche Oberfläche. Somit kann das Programm sowohl für die Implementierung der Abfragen als auch im Sinne einer Analyseplattform für Experten genutzt werden.
Um Daten aus dem Knowledge Graphen zu extrahieren und um weitere Berechnungen für Analysen zu berechnen, wird die Abfragesprache Cypher genutzt. Es handelt sich um eine deklarative Sprache (wie auch SQL eine ist) und wurde ebenfalls speziell für den Einsatz von Graph Datenbanken entwickelt. Die entwickelten Abfragen werden im Dashboard-Service übernommen.

Die folgende Tabelle beschreibt einen Auszug der implementierten Cypher-Abfragen:

	Fragestellung	Bereich
1	Was ist die durchschnittliche Änderung der Nachfrage für alle oder eine spezifische „Technology Node Category“ innerhalb eines bestimmten Zeitraums?	Demand (Current, Forecast)
2	Wann bzw. wie oft übersteigt die durchschnittliche Änderung der Nachfrage innerhalb eines bestimmten Zeitraums einen zuvor definierten Wert?	Demand (Current, Forecast)
3	Ausgabe der Änderung der Nachfrage als Grundlage zur Visualisierung von Entwicklungen in einem Diagramm.	Demand (Current, Forecast)
4	Wie unterscheidet sich die prognostizierte Nachfrage in den verschiedenen „Technology Node Categories“ für eine bestimme Rolle in der Lieferkette? (Berechnung des Durchschnitts und der Standardabweichung)	Demand (Forecast)
5	Wie hoch war die Änderung der Nachfrage zu einem bestimmten Zeitpunkt für eine spezifische Technology Node Category?	Demand (Current, Forecast)
6	Ausgabe der Kritikalität und des Trends als Grundlage zur Visualisierung von Entwicklungen in einem Diagramm.	Inventory
7	Liegt der durchschnittliche Lagerbestand, gemessen an der Kritikalität, in der gesamten Lieferkette innerhalb eines bestimmten Zeitraums für alle oder spezifische „Technology Node Categories“ über, unter oder genau auf dem Zielwert?	Inventory (Criticallity)
8	In welchem der definierten Bereiche liegt der durchschnittliche Lagerbestand, gemessen am Trend, in der gesamten Lieferkette innerhalb eines bestimmten Zeitraums für alle oder spezifische „Technology Node Categories“?	Inventory (Trend)
9	Wie stark unterscheiden sich die „Technology Node Categories“ in Bezug auf die die Kritikalität des Inventars innerhalb eines bestimmten Zeitraums? (Berechnung der Standardabweichung)	Inventory (Criticallity)
10	Wie stark unterscheiden sich die „Technology Node Categories“ in Bezug auf die Änderung des Inventars (gemessen am Trend) innerhalb eines bestimmten Zeitraums? (Berechnung der Standardabweichung)	Inventory (Trend)
11	Ausgabe der durchschnittlichen Vorhersagen für die einzelnen Lieferketten-Rollen.	Across Supply Chain (z.B. Demand)

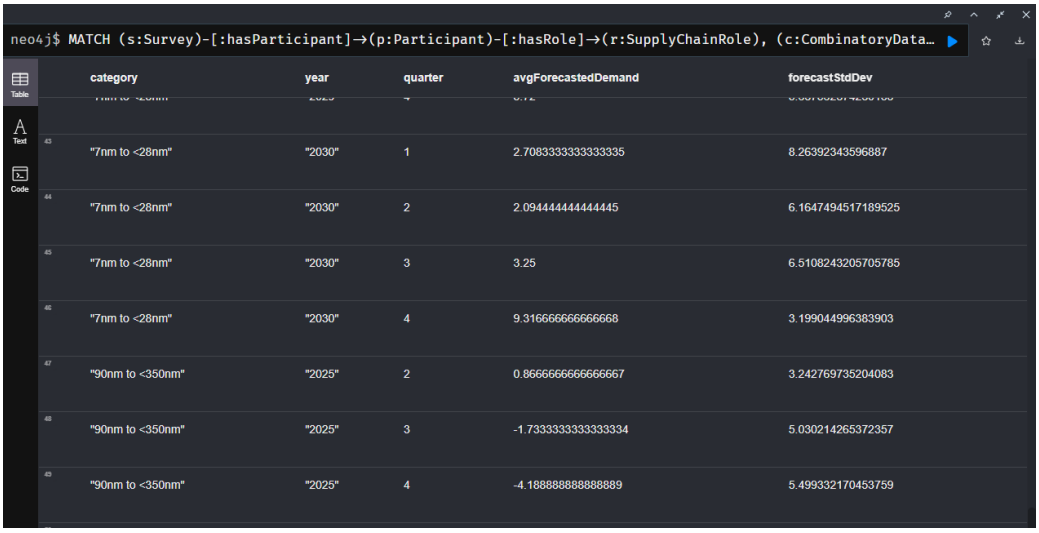
12	Wie gestaltet sich der Unterschied zwischen dem durchschnittlichen Wert (z.B. Nachfrage) einer einzelnen Lieferketten-Rolle und dem gesamten Durchschnitt aller Lieferketten-Rollen innerhalb eines bestimmten Zeitraums?	Across Supply Chain (z.B. Demand)
13	Sind saisonale Schwankungen erkennbar? Wie zuverlässig sind diese Schwankungen vorherzusagen?	Saisonale Effekte (z.B. Demand)

Im Folgenden werden einige Kompetenzfragen und deren Implementierung genauer betrachtet:

Wie unterscheidet sich die prognostizierte Nachfrage in den verschiedenen Technology Node Categories für eine bestimme Rolle in der Lieferkette?

Die Cypher-Abfrage analysiert, wie sich die prognostizierte Nachfrage in den verschiedenen „Technology Node Categories“ für eine bestimmte Lieferketten-Rolle unterscheidet. Sie berechnet den Durchschnitt (avgForecastedDemand) und die Standardabweichung der Nachfrageprognosen.
Abbildung zeigt einen Screenshot der Neo4j Oberfläche und die tabellarischen Ergebnisse der beschriebenen Abfrage. In Abbildung wird die zeitliche Entwicklung des durchschnittlichen Bedarfs für jede „Technology Node Category“ dargestellt. Die lineare Trendlinie zeigt für eine Kategorie beispielhaft einen linearen Anstieg der Nachfrage.
Diese Analyse liefert wichtige Einblicke in Trends und Unsicherheiten der Nachfrageprognosen, was essenziell für strategische Entscheidungen in der Halbleiterindustrie ist. Unternehmen können damit künftige Produktionskapazitäten und Lieferketten genauer planen, um auf geänderte Anforderungen vorbereitet zu sein.

```
1     MATCH (s:Survey)-[:hasParticipant]->(p:Participant)
2                     -[:hasRole]->(r:SupplyChainRole),
3             (c:CombinatoryData)-[:belongsToSurveyKey]->(s),
4             (c)-[:hasForecastedDemandCollection]->(fc:ForecastCollection),
5             (fc)-[:hasForecastedDemandChange]->(f:Forecast)
6                     -[:hasYear]->(y:Instant),
7             (f)-[:hasQuarter]->(q:Instant)
8     WHERE r.hasRole = "Semiconductor"
9     WITH f.hasCategory AS category,
10         y.inXSDDate AS year,
11         q.inXSDDate AS quarter,
12         avg(toFloat(f.hasForecastedDemand)) AS avgForecastedDemand,
13         collect(toFloat(f.hasForecastedDemand)) AS forcastedDemands
14    RETURN category, year, quarter, avgForecastedDemand,
18            CASE WHEN size(forcastedDemands) > 1 THEN sqrt(reduce(
19                    s=0.0, x IN forcastedDemands |
20                    s+(x-avgForecastedDemand)^2)/size(forcastedDemands))
21                    ELSE 0 END AS forecastStdDev
22    ORDER BY category, year, quarter
```



	category	year	quarter	avgForecastedDemand	forecastStdDev
43	"7nm to <28nm"	"2030"	1	2.7083333333333335	8.26392343596887
44	"7nm to <28nm"	"2030"	2	2.094444444444445	6.1647494517189525
45	"7nm to <28nm"	"2030"	3	3.25	6.5108243205705785
46	"7nm to <28nm"	"2030"	4	9.316666666666668	3.19904499638390 3
47	"90nm to <350nm"	"2025"	2	0.8666666666666667	3.242769735204083
48	"90nm to <350nm"	"2025"	3	-1.7333333333333334	5.030214265372357
49	"90nm to <350nm"	"2025"	4	-4.188888888888889	5.499332170453759

Abbildung 4: Screenshot der Neo4j GUI mit Resultaten einer Cypher Abfrage

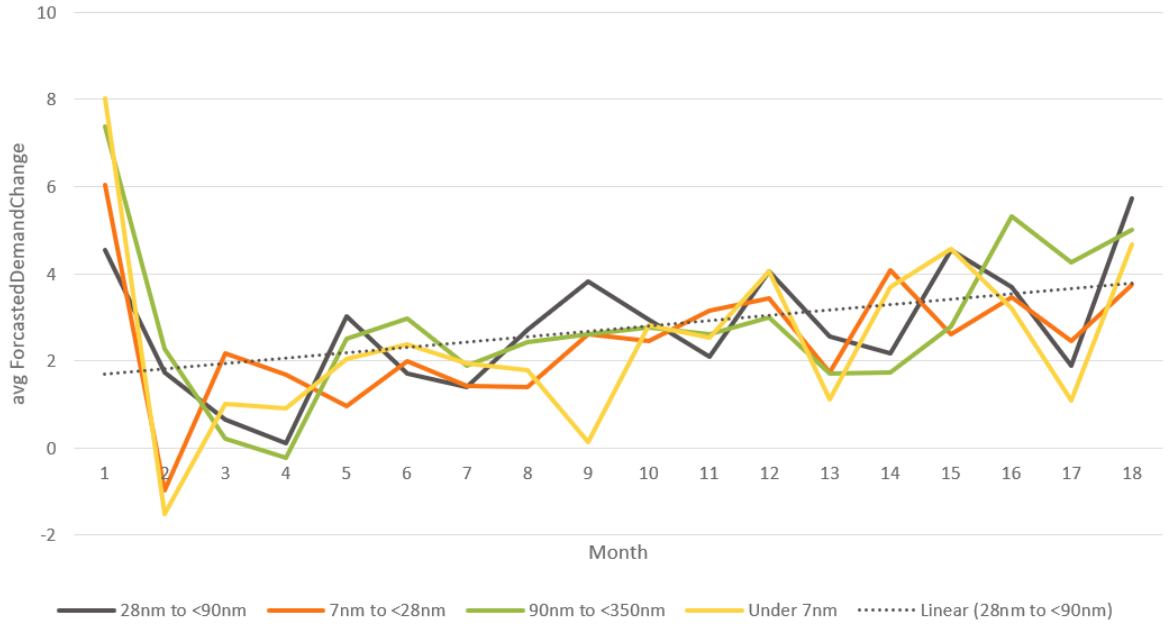


Abbildung 5: Zeitliche Entwicklung der Nachfrage für jede Technology Node Category

Liegt der durchschnittliche Lagerbestand in der gesamten Lieferkette innerhalb eines bestimmten Zeitraums für alle oder spezifische Technology Node Categories über, unter oder genau auf dem Zielwert?

Diese Abfrage analysiert die Kritikalität der unterschiedlichen „Technology Node Categories“, indem zunächst wieder Daten gleicher Kategorien zusammengefasst werden. Es wird ein neues Attribut (numericalCriticallity) eingeführt, welches die nummerische Repräsentation der Kritikalität darstellt. Mithilfe der nummerischen Repräsentation wird der Durchschnitt berechnet und danach wieder auf den am besten passenden String-Wert zurückgeführt (bestFittingCriticallity).

```
MATCH (i:Inventory)-[:hasYear]->(y:Instant),
      (i)-[:hasMonth]->(m:Instant)
WHERE [beliebiger Zeitraum]
WITH i, i.hasCategory AS category,
     CASE i.hasCriticality
       WHEN "Below" THEN 0
       WHEN "At" THEN 0.5
       WHEN "Above" THEN 1
     END AS numericalCriticality
RETURN category,
       avg(numericalCriticality) AS avgCriticalityScore,
       count(i) AS inventoryCount,
       CASE
         WHEN avg(numericalCriticality) < 0.25 THEN "Below"
         WHEN avg(numericalCriticality) >= 0.25 AND avg(numericalCriticality) <= 0.75 THEN "At"
         ELSE "Above"
       END AS bestFittingCriticality
ORDER BY category
```

Sind saisonale Schwankungen erkennbar? Wie zuverlässig sind diese Schwankungen vorherzusagen?

Die Nachfrage nach Halbleitern unterliegt starken Schwankungen, welche nicht nur langfristige Trends aufweisen, sondern auch saisonale Muster zeigen können: Wiederkehrende und vorhersagbare Schwankungen der Nachfrage. Das Erkennen dieser Muster ist entscheidend für die Kapazitätsplanung, das Bestandsmanagement und die Optimierung der Lieferkette. Diese Muster sollen bei dieser Analyse mithilfe eines Python Skripts analysiert werden.

Die Auswertung in Abbildung zeigt einen allgemeinen Anstieg des Trends, jedoch eine geringe Nachfrage am Jahresende und eine erhöhte zu Jahresbeginn. Eine detaillierte Analyse (Abbildung) zeigt zusätzlich den Interquartilsbereich (größere Kästchen entsprechen stärkeren Schwankungen), den Median (dezentrale Positionen entsprechen einer asymmetrischen Verteilung), die Streuung ohne Ausreißer (lange vertikale Linien entsprechen hoher Variabilität) und Ausreißer (viele Ausreißer sind ein Zeichen für zunehmende Unvorhersehbarkeit).

Konkret ist eine stabile Nachfrage für das zweite Quartal auf einem hohen Niveau mit geringen Schwankungen zu erkennen, wodurch der Bedarf als gut vorhersagbar eingeordnet werden kann. Zum Jahresende dagegen stellt er sich als gering und unbeständig dar. Bei der genaueren Betrachtung konkreter Monate kann der Effekt noch besser erkannt werden. Der Februar hat eine hohe Variabilität: Der Interquantilsbereich ist groß und die Ausreißer erstecken sich weit. Das lässt sich durch eine starke Schwankung der Nachfrage zwischen den Jahren erklären, wodurch eine Vorhersage erschwert wird. Der April weißt im Vergleich dazu eine stabile Nachfrage auf, da der Interquantilsbereich klein ist, die Nachfrage also weniger stark schwankt.

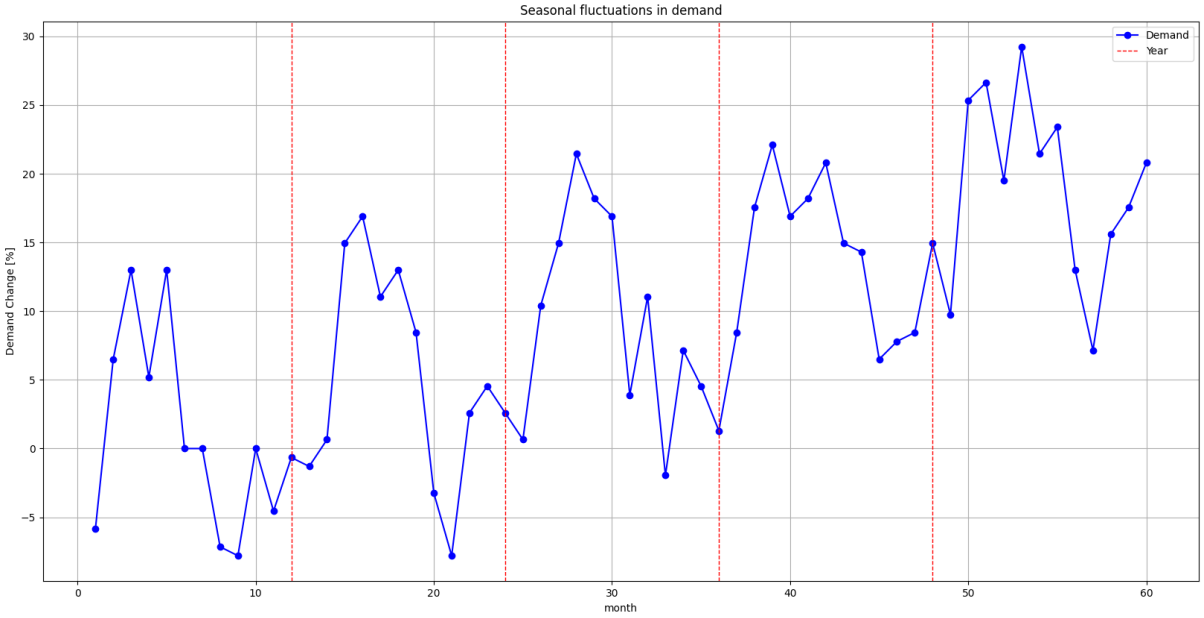


Abbildung 6: Darstellung der Ursprungsdaten für die Analyse der saisonalen Daten (Demand)

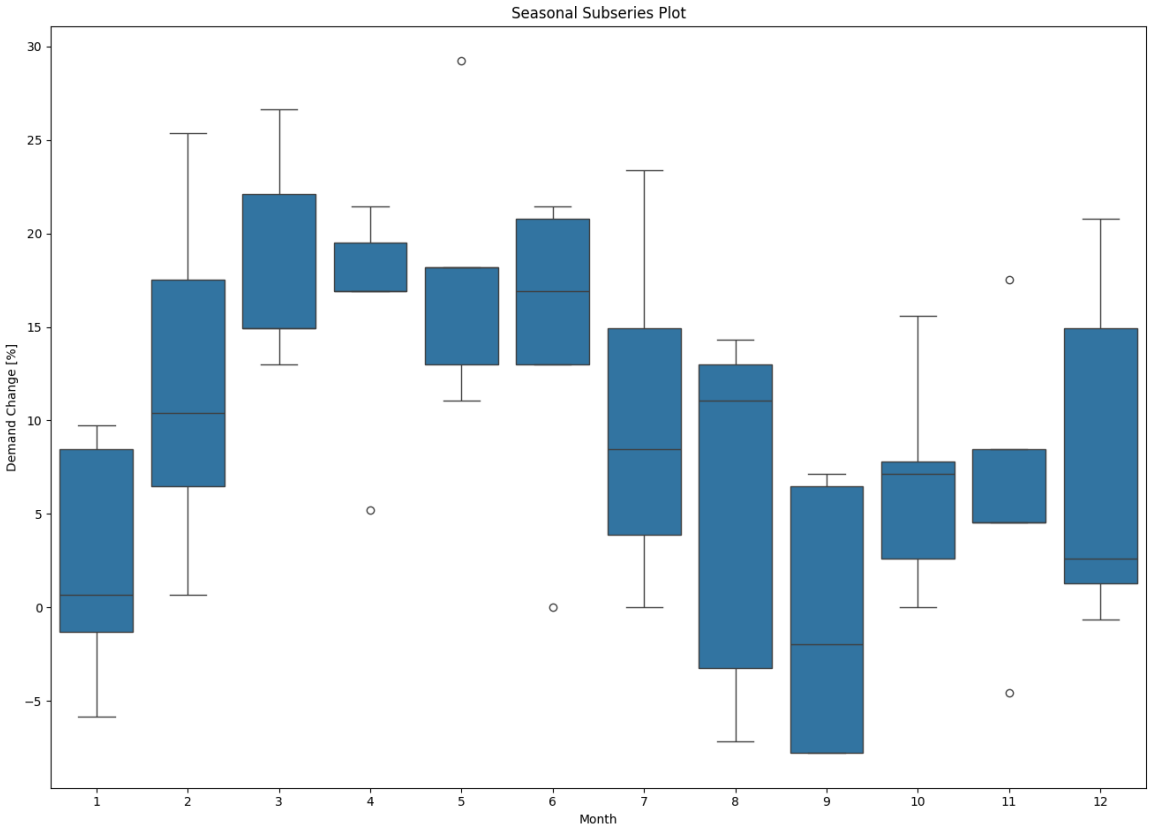


Abbildung 7: Seasonal Subseries Plot: Verteilung, Variabilität und Ausreißer pro Monat (Fünf Jahre)

2.1.4 Dashboards

Zusätzlich zur manuellen Analyse werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Umfragen mit Dashboards visualisiert. Die Umfrageergebnisse werden so in einem leicht verständlichen und übersichtlichen Format mit reichhaltigen visuellen Hilfsmitteln präsentiert, ohne dass Benutzeranfragen erforderlich sind. Die Visualisierungen basieren direkt auf den zuvor erzeugten semantischen Daten und beruhen auf vordefinierten Abfragen des Knowledge Graphs, die mit NeoDash ähnlich zu den o.g. manuellen Analysen in Cypher-Queries realisiert sind. Die Visualisierungen aktualisieren automatisch mit jedem Update des zugrundeliegenden Knowledge-Graphen. Die Benutzererfahrung ist damit unkompliziert und intuitiv.
Eine Vielzahl von Diagrammen und Visualisierungen steht zur Verfügung, um Einblicke in Trends sowohl über mehrere Umfragerunden hinweg als auch in momentane Zustände zu bieten. Auf diese Weise werden vorgefertigte, anschauliche Analysen des Gesamtbildes sowie Tier-spezifischer Ergebnisse bereitgestellt. Das Dashboard enthält Ansichten zu aktuellen Nachfragedaten, Vorhersagen sowie Inventar.

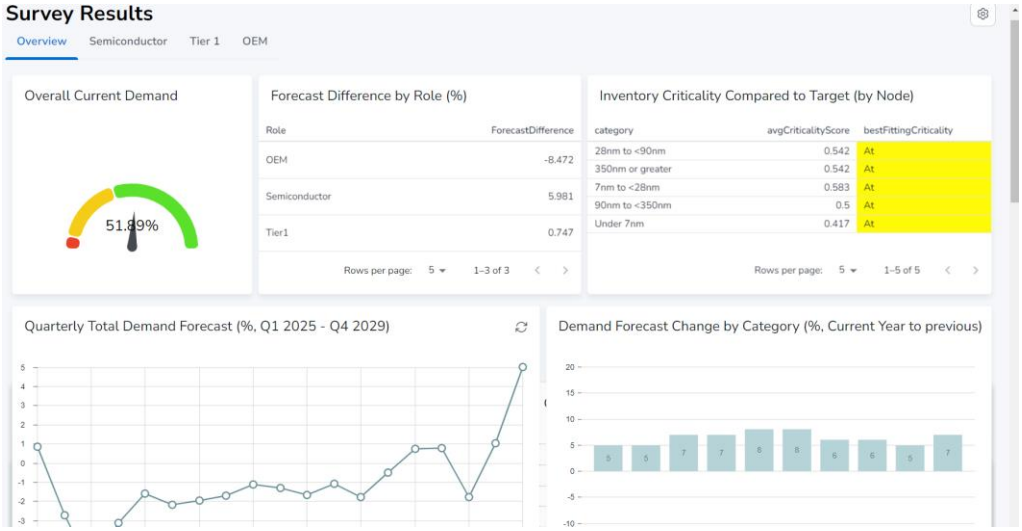


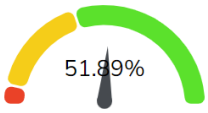
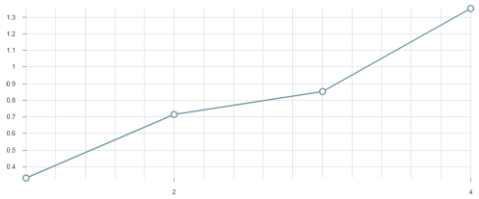
Abbildung 8: Übersichtsseite des Dashboards in NeoDash. Zu sehen sind mehrere Ansichten verschiedener Ergebnisse aus dem True-Demand Ökosystem basierend auf der oben beschriebenen Erhebung.

Die Technische Umsetzung erfolgt in den folgenden Schritten:

- Die Ergebnisse werden zu einem Knowledge-Graphen gemapped und in eine Database in neo4j importiert (siehe 5.2.1)
- Ein neoDash-Dashboard wird erstellt und per Port mit dem korrekten Database-Management-System verknüpft. neoDash kann auf diese Weise auf die im DMBS gespeicherten Datenbanken direkt zugreifen.
- In neo4j werden die gewünschten Darstellungsformen ausgewählt und erzeugt. Die richtige Database wird hierzu für jede Visualisierung in einem Simplen Drop-Down Menü ausgewählt und mittels Cypher-Query auf die gewünschte Fragestellung hin abgefragt. Mehrere Visualisierungen lassen sich dann per drag & drop im modularen Interface unkompliziert anordnen und skalieren. Für die meisten Darstellungen sind verschiedene Einstellungen und Anpassungsmöglichkeiten vorhanden, welche sich durch Plugins noch weiter ergänzen lassen.

Allgemeine und Tier-Übergreifende Darstellungen sind auf einer Übersichtsseite zusammengefasst. Hier findet sich zudem eine Ansicht des Knowledge Graphen. Über die Auswahl von Tabs am oberen Rand der Benutzeroberfläche gelangt der Nutzer zu den Tier-spezifische Ansichten, die explizitere Darstellungen der Ergebnisse jeweils für Semiconductor, Tier 1 und OEM enthalten.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der implementierten Darstellungen im Dashboard.

Demand Gauge 	○ Current demands across all tiers ○ Filtered by point in time (current survey round) ○ Single value calculated from simple average of all current demand answers (all tiers, all categories)
Forecast Difference Chart Role / ForecastDifference OEM 1.083 Semiconductor -0.188 Tier1 -1.249	○ Extent to which each tier's forecast deviates from the average ○ Filtered by point in time (current survey round) ○ Single value per tier, calculated from the simple average of each individual tier's demand forecast answers (all categories) – s.a. of total forecast (all categories)
Forecast Line Chart 	○ Demand Forecast change over time ○ Filtered by point in time (year, quarter), SC tier (optional) ○ simple average of all demand fc answers (all categories) for each quarter
Forecast Change Bar Chart 	○ Demand Forecast change per category ○ Filtered by point in time (current survey), category ○ Standard deviation of Intermediate results (avg FC, count of FC Demands) for each category, with a condition to avoid division by 0 if count of demands is 0
Criticality Table category / avgCriticalityScore / bestFittingCriticality 28nm to <90nm 0.5 At 350nm or greater 0.6 At 7nm to <28nm 0.4 At 90nm to <350nm 0.7 At Under 7nm 0.4 At	○ Inventory Criticality per Category ○ Filtered by point in time (current survey round), Tier, Category ○ Strings (Answers) are converted to a new numerical attribute (crit. Score). Avg. per category is calculated and converted to a new string (bestFittingCriticality) according to predetermined margins ('above' >0.75, 'below' <0.25, 'at' if within margin)
Demand Bar Charts 	○ Demand Forecast or Current Demand at a given point in time ○ Filtered Tier, Category, Year ○ simple average of all resp. demand answers (all quarters) for each category

2.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die in Use Case 5.2 erbrachte Arbeitsleistung orientierte sich stets an den vorab gesetzten Zielen und trug zu deren Erreichung bei. Mit der Entwicklung des True Demand Ökosystems wurde eine Lösung erarbeitet, welche den zuvor definierten Aufgaben gerecht wird. Es sind keine unnötigen oder redundanten Arbeiten zu berichten. Mit der Organisation von On-Site Workshops, der aktiven Teilnahme an anderen Arbeitspaketen wie unter Kapitel 1.5 dargestellt sowie der Koordination mit anderen Projektpartnern wurde die Zielerreichung unter Einhaltung der in der GVB definierten Personenmonate vorangetrieben.

2.3 Voraussichtlichen Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Mit der Arbeit im Laufe des Projekts wurden die Ziele aus dem Verwertungsplan auf die folgenden Arten umgesetzt:

2.3.1 Entwicklung eines digitalen Zwillings für Halbleiter

Das Ziel eines Digitalen Zwillings wurde durch die Einbindung und Erweiterung der Digital Reference (w3id.org/ecsel-dr) in AP 5.2 erfolgreich umgesetzt. Diese ist eine umfassende Gesamtontologie der Halbleiterindustrie und beinhaltet u.A. Produkte, Fertigungsprozesse, Anwendungen und vielfältige weitere Elemente gemeinsam mit deren Beziehungen, welche ein umfassendes Abbild des Halbleitersegments darstellt. Die Klassen sind thematisch in sog. Lobes geclustert und wurden im Rahmen des Projekts um relevante Anknüpfungspunkte erweitert. Als Maschinenlesbares Referenzmodell der Gesamten Halbleiterlieferkette- und Industrie fungiert die DR im Rahmen des Projekts als Digital Twin.

2.3.2 Mitigierung des Bullwhip-Effekts

Als zentrales Problem des Use-Cases 5.2 wurde die Mitigierung des Bullwhip-Effekts auf Basis des GAIA-X-Infrastruktur-Ökosystems durch die Entwicklung einer umfassenden Pipeline behandelt. Diese beinhaltet eine Möglichkeit zur anonymen Datenerhebung von präzisen Inventar- und Nachfragedaten über mehrere Supply Chain-Tiers, semantisch gestützte Analyse und visuelle Aufbereitung mittels Dashboards sowie Bereitstellung der Ergebnisse über den geteilten „Market Place“. Genauere Einblicke in die Bedarfe verschiedener Supply Chain-Teilnehmer werden somit ermöglicht, was unmittelbar zur Mitigierung des Bullwhip Effekts, Verbesserung der Fabrikauslastung ermöglicht. Die Eignung der Pipieline zur Zielerreichung wurde mittels mehrerer Demonstratoren und in der Diskussion mit Domänenexperten erfolgreich bestätigt und mehrfach öffentlich demonstriert. Für eine genaue Erläuterung der Ergebnisse siehe Kapitel 2.1.

2.3.3 Wirtschaftlich-Technische Anschlussfähigkeit in Folgeprojekten

Die Kerninhalte des Use Cases werden auch nach Abschluss des Projekts in Folgeprojekten unmittelbar weiterverwertet.

Insbesondere wird wird dies im EU-Förderprojekt SC4EU (https://sc4.eu/) weiter vorangetrieben. SC4EU ist eine gemeinsame Initiative, an der große Industrieunternehmen (darunter ASML und NXP), sowie KMUs und Universitäten aus dem EU-Raum beteiligt sind. Ziel ist es, eine True Demand-Plattform für widerstandsfähigere Halbleiter-Lieferketten zu etablieren. Ergebnisse aus dem Use Case sind zentral für das Projekt und werden unter anderem um ein dediziertes Vokabular erweitert. Infineon leitet zusammen mit NXP Semiconductors das Arbeitspaket 5, das den Anwendungsfall eines True-Demand Ökosystems als Kernaufgabe behandelt. Die Initiative konnte bereits maßgeblich durch Wissenstransfer aus dem Use Case

und der Weiterverwertung von Arbeitsergebnissen aus GAIA-X 4 PLC AAD profitieren. Unter anderem wurden im Rahmen des Projekts Granularitäten, Darstellungsstandards und Kategorien erarbeitet, welche in Ontolgien, in Knowledge Graphen sowie in Dashboards bereits Anwendung finden. Das Projekt wird aktuell mit regelmäßiger Beteiligung fortgeführt und verwertet Ergebnisse aus GAIA-X 4 PLC AAD weiter innerhalb der Halbleiterindustrie.

2.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Laufe des Projekts haben verschiedene Modelle im Gebiet der generativen künstlichen Intelligenz stark an Relevanz gewonnen. Für das Projekt wurde deren potenzieller Nutzen bereits untersucht, es kam jedoch zu keiner tiefgreifenden oder unmittelbaren Nutzung für das Erreichen des Projektziels.

2.5 der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Die Ergebnisse werden in indirekter Form zu den Anschlussprojekten und zur internen Weiterentwicklung von Bedarfsvorhersage innerhalb der Infineon Technologies AG herangezogen (Siehe 2.4.3.). Eine formelle Veröffentlichung erfolgt nicht.