

Erweiterte visuelle Benutzerschnittstellen zur Unterstützung verteilter Cloud-basierter Big-Data-Analysen¹

Marco Xaver Bornschlegl²

Abstract: Benutzerfreundliche Schnittstellen, die sich sowohl durch intuitive Bedienung als auch durch ein leichtes Erlernen charakterisieren, bieten den Anwendern von Big-Data-Analysis Software oftmals nur allgemeine Informationen sowie eine geringe Interaktionsmöglichkeit. Im Gegensatz dazu und insbesondere in Situationen, in denen Anwender mehr Kontrolle über unterschiedliche Aspekte der Software benötigen, bieten End-User-Empowered-Schnittstellen spezialisierte Interaktionsmöglichkeiten, die eine größere Benutzungsvielfalt erlauben. Speziell in Big-Data-Analysis-Anwendungen ist es jedoch wichtig, den Anwendern eine Kontext-sensitive Benutzungsschnittstelle zur Verfügung zu stellen, deren Verhalten sich anhand der unterschiedlichen Anwender sowie deren individueller Anwendungsszenarien anpasst. Um diese Forschungsdiskrepanz in Bezug auf Kontext-Sensitivität sowie Informationsvisualisierung bei Big-Data-Analysis-Anwendungsszenarien zu schließen, wurde mit IVIS4BigData ein theoretisches Referenzmodell entwickelt, welches als modernes und innovatives Rahmenwerk für verteilte Big-Data-Analysis-Anwendungsszenarien dient.

1 Einführung und Motivation

Die Verfügbarkeit von Daten hat sich innerhalb der vergangenen zehn Jahre dramatisch verändert. Die weite Verbreitung von internetfähigen mobilen Geräten sowie die Evolution von Web 2.0 Technologien tragen zu einer großen Menge an Daten (bekannt unter dem Begriff Big-Data) bei [Fr14]. Aufgrund der Tatsache, dass wir im „*Informationszeitalter leben*“ [Wo11], ist eine kognitiv effiziente Wahrnehmung und Interpretation von Wissen und Information zur Erkennung versteckter Muster, unbekannter Korrelationen oder anderer nützlicher Informationen innerhalb dieser großen Datenmenge (einer Vielzahl an Datentypen [Pr13]) eine große Herausforderung.

Moderne Cloud-Technologien sowie verteilte Computerarchitekturen führen heutzutage zu einer fast unbegrenzten Leistung bei der Speicherung und der Verarbeitung von Daten. Für einen Zugriff auf große und komplexe Datenmengen über eine Vielzahl von verteilten Datenquellen, um diese für die Anwender mithilfe innovativer Strategien visualisieren zu können, werden allerdings moderne Technologien benötigt [Fr15]. Im Gegensatz dazu wandeln traditionelle Big-Data-Analysemethoden die Daten allerdings oftmals direkt zu einer visuellen Repräsentation um, ohne den Anwendern eine Interaktion innerhalb der einzelnen Analyseprozessschritte zu ermöglichen. Weiterhin führt die aktuelle Entwicklung

¹ Englischer Titel der Dissertation: „Advanced Visual Interfaces Supporting Distributed Cloud-Based Big Data Analysis“

² FernUniversität Hagen, Fakultät für Mathematik und Informatik, D-58085 Hagen, marco-xaver.bornschlegl@fernuni-hagen.de

innerhalb der Informationstechnologie zu einem stetigen Wachstum an Computer-Systemen sowie der Anwenderzahl [Co09]. Innerhalb des Entwicklungsprozesses von visuellen Benutzungsschnittstellen für Visual-Analytics-Anwendungen kommt es dadurch zu einer wichtigen Entscheidung, welche der beteiligten Parteien – der Mensch oder die Software – die Interaktion kontrolliert. Benutzerfreundliche Schnittstellen, die sich sowohl durch intuitive Bedienung als auch durch ein leichtes Erlernen charakterisieren [Ch14], „bieten den Anwendern oftmals nur allgemeine Informationen sowie eine geringe Interaktionsmöglichkeit“ [Ng04]. Im Gegensatz dazu und in Situationen in denen Anwender mehr Kontrolle über unterschiedliche Aspekte der Software benötigen, bieten End-User-Empowered-Schnittstellen [Fi12] spezialisierte Interaktionsmöglichkeiten, die eine größere Benutzungsvielfalt erlauben. Speziell in Big-Data-Analysis-Anwendungen ist es somit wichtig, den Anwendern eine Kontext-sensitive Benutzungsschnittstelle zur Verfügung zu stellen [Fi12], deren Verhalten sich anhand der unterschiedlichen Anwender sowie deren individuellen Anwendungsszenarien anpasst [Ro16].

Um diese Forschungsdiskrepanz in Bezug auf Kontext-Sensitivität sowie Informationsvisualisierung bei Big-Data-Analysis-Anwendungsszenarien zu schließen, wurde mit IVIS4-BigData ein theoretisches Referenzmodell innerhalb dieser Dissertation mit dem Thema **Advanced Visual Interfaces Supporting Distributed Cloud-Based Big Data Analysis** [Bo19] entwickelt, welches die neuen Gegebenheiten der modernen Informationstechnologie berücksichtigt und als modernes und innovatives Rahmenwerk für verteilte Big-Data-Analysis-Anwendungsszenarien dient.

2 State of the Art in Wissenschaft und Technik

Informationsvisualisierung (IVIS) ist ein Resultat „aus den Forschungen in den Bereichen Mensch-Maschine Kommunikation, Informatik, Grafik, visuellem Design, Psychologie sowie Geschäftsmethoden“ [TC+06]. Gemäß Rainer Kuhlen kann IVIS jedoch auch, aufgrund der fehlenden direkten Verbindung zwischen zwei Personen, aus der Frage nach dem Austausch von Ideen und Informationen zwischen unterschiedlichen Personen hergeleitet werden [Ku04]. Shneiderman betont zusätzlich, dass „das Durchsuchen von Informationssammlungen mit zunehmendem Umfang immer schwieriger wird. Eine einzelne Informationsseite ist zwar leicht zu durchsuchen, aber wenn die Informationen den Umfang eines Buches, einer Bibliothek oder sogar größer haben, kann es schwierig sein, bekannte Elemente zu finden oder nach Informationen zu suchen, um sich einen Überblick zu verschaffen“ [Sh96]. Aufgrund dieser Argumente und der Art und Weise, wie der menschliche Verstand Informationen verarbeitet, „ist es schneller die Bedeutung vieler Datenpunkte zu erfassen, wenn sie in Diagrammen und Grafiken angezeigt werden, als über Stapel von Tabellenkalkulationen zu blättern oder Seiten von Auswertungen zu lesen“ [SA12]. Auch bei sehr großen Datenmengen können Muster somit schnell und einfach erkannt werden.

Mit zunehmender Bildschirmauflösung sowie Verarbeitungsgeschwindigkeit der Computer Anfang der 90er Jahre erkannte Shneiderman, „dass Informationsvisualisierung und grafische Oberflächen wahrscheinlich eine wachsende Rolle spielen werden“ [Sh96]. Damals

waren Benutzeroberflächen größtenteils textorientiert. Da Menschen über bemerkenswerte Wahrnehmungsfähigkeiten verfügten, die in dieser Zeit bei der Gestaltung der Benutzeroberflächen größtenteils ungenutzt blieben, ergaben sich bei der Erforschung visueller Ansätze interessante neue Möglichkeiten [Sh96]. Als Softwaredesigner gerade erforschten, wie die neuen schnellen und hochauflösenden Farbdisplays optimal verwendet werden können, definierten Card et al. [CMS99] ein Referenzmodell der Informationsvisualisierung (vgl. Abb. 1), um die Diskussion über Informationsvisualisierungssysteme zu vereinfachen sowie diese Systeme vergleichen und gegenüberstellen zu können.

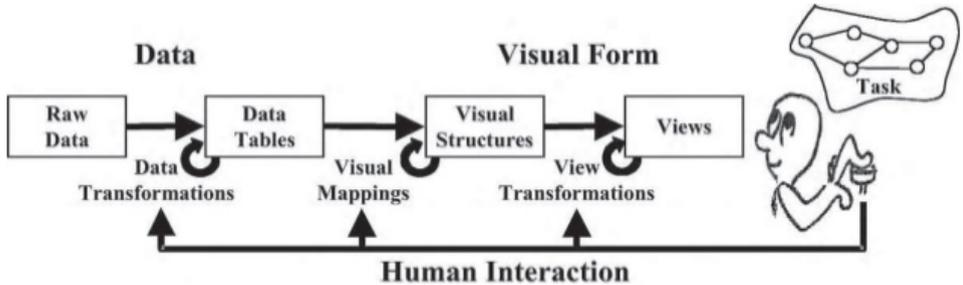


Abb. 1: Referenzmodell der Informationsvisualisierung [CMS99]

Ausgehend von einer Rohdatenquelle auf der linken Seite hin zu einer visuellen Datenrepräsentation für den Anwender auf der rechten Seite, beschreibt dieses Modell eine Reihe von Datentransformationen. Darüber hinaus beschreiben zusätzliche Pfeile ausgehend vom Anwender hin zu den einzelnen Transformationen die Anpassung dieser Transformationen durch benutzerdefinierte Interaktionen [CMS99].

Auch wenn sich dieses Referenzmodell als ein angesehener Standard etabliert hat, beschreibt es jedoch nur die Erfassung von Rohdaten aus einer einzigen Datenquelle. Weiterhin lässt es visuelle Interaktionsmöglichkeiten auf Zwischenergebnisse der einzelnen Datentransformationen zur Darstellung für den Anwender vermissen. Heutzutage ist es jedoch notwendig, mehrere verteilte, heterogene sowie interdisziplinäre domänen- oder organisationsübergreifende Datenquellen durch geeignete Informationsintegrationsansätze zu verbinden und zu integrieren, um auf diese Weise eine globale Verarbeitung in Big-Data- und Informationsvisualisierungs-Anwendungen zu gewährleisten. Darüber hinaus ist es notwendig, unterschiedlichen Anwender-Stereotypen visuellen Zugriff auf die Zwischenergebnisse der einzelnen Prozessschritte zu ermöglichen, um diese anzuzeigen, bearbeiten, korrigieren und kommunizieren zu können. Somit fehlen diesem Referenzmodell direkte manipulative Interaktionsmöglichkeiten zur Unterstützung der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Anwender-Stereotypen innerhalb der verschiedenen Prozessschritte und der Anpassung der jeweiligen Transformationen durch benutzergesteuerte Interaktionen. Um den neuen Rahmenbedingungen von Big-Data-Analyseanwendungen in der gegenwärtigen Situation gerecht zu werden und die verteilten und heterogenen Rohdaten auf den verschiedenen Prozessschritten der Informationsvisualisierung unterschiedlichen Anwender-Stereotypen zur Verfügung zu stellen, ist es notwendig, dieses Referenzmodell zu verfeinern.

3 Konzeptionelle Modellierung und Design

Basierend auf den identifizierten Herausforderungen des Referenzmodells der Informationsvisualisierung, ist im Rahmen der AVI Konferenz 2016 ein Workshop veranstaltet [Bo16b] worden, durch den die bereits erkannten Herausforderungen validiert sowie neue Herausforderungen identifiziert werden konnten; um somit ein systematisches Road-Mapping hin zu einem neuen Referenzmodell der Informationsvisualisierung für moderne Big-Data-Analyseanwendungen durchführen zu können. Ausgehend von den Ergebnissen dieses Expert-Round-Tables, bestehend aus akademischen und industriellen Forschern und Anwendern der Bereiche Big-Data, Visual-Analytics und Informationsvisualisierung, wurde das konzeptionelle IVIS4BigData -Referenzmodell (vgl. Abb. 2) abgeleitet und im Rahmen des Road-Mapping Prozesses des Workshops qualitativ bewertet [Bo16a].

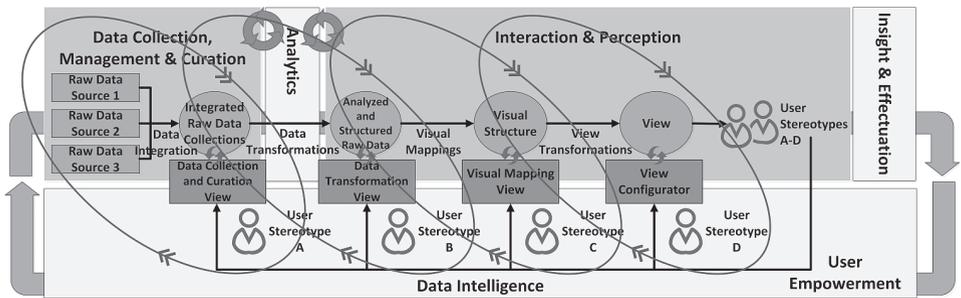


Abb. 2: IVIS4BigData Referenzmodell

Analog zum Referenzmodell der Informationsvisualisierung ist die IVIS-Pipeline des IVIS4BigData-Referenzmodells in eine Reihe von Datentransformationen unterteilt. Aufgrund der Anforderung einer direkten manipulativen Interaktionsmöglichkeit unterschiedlicher Anwender-Stereotypen innerhalb der einzelnen Prozessschritte und deren Anpassung und Konfiguration der jeweiligen Daten-Transformationen, bietet jedes Segment innerhalb der IVIS4BigData-Pipeline den unterschiedlichen Anwender-Stereotypen eine, auf dem End-User-Empowerment-Prinzip [Fi94] bestehende, graphische Schnittstelle. Dadurch ermöglicht IVIS4BigData den unterschiedlichen Anwender-Stereotypen (Domänen-Spezialisten) von Big-Data-Analyseanwendungen, Co-Designer der Anwendung zu werden, um somit eine höhere Unabhängigkeit von Computer-Spezialisten zu erhalten [Fi12; Fi94].

Aus diesem Grund ist die IVIS4BigData-Pipeline in vier aufeinanderfolgende Prozessschritte (Ellipsen) unterteilt, mit denen unterschiedliche Anwender-Stereotypen jede Daten-Transformation interaktiv spezifizieren, konfigurieren, simulieren, optimieren und ausführen können. Ausgehend von den Rohdaten auf der linken Seite werden die vier aufeinanderfolgenden IVIS4BigData-Prozessschritte - wobei jeder Prozessschritt eine bestimmte IVIS4BigData-Transformation (Daten-Integration, Daten-Transformation, Visuelle-Zuordnung und View-Transformation) repräsentiert - folgendermaßen definiert:

- Advanced Visual Interfaces
- Information Visualization for Big Data, Informationsvisualisierung für Big-Data

- **Data Collection, Management, and Curation:** Harmonisierung und Semantische-Integration einzelner, verteilter und heterogener Rohdatenquellen in ein einheitliches Schema (Daten-Integration aus lokalen Quellschemata in ein globales Schema).
- **Analytics:** Verteilte und Cloud-basierte Big-Data-Analyse der integrierten Rohdaten (Daten-Transformation).
- **Visualization:** Definition und Erstellung einer geeigneten visuellen Struktur auf Basis der strukturierten Daten (Visuelle-Zuordnung).
- **Perception and Effectuation:** Ermöglichung der Interaktion mit entsprechenden Ansichten der generierten visuellen Strukturen, um eine geeignete Interpretation der Big-Data-Analyseergebnisse zu ermöglichen (View-Transformation).

Während die einzelnen Prozessschritte (Ellipsen) SECI Zyklen entsprechen, verdeutlicht die Iteration um den ganzen Analyseprozess, dass es sich bei IVIS4BigData nicht nur um einen einmaligen Prozess handelt. Somit können die Ergebnisse aus vorherigen Analyseprozessen als Eingabe für eine neue Prozess-Iteration verwendet werden. Auf diese Weise ermöglicht IVIS4BigData die Kombination von Data-Mining-Ansätzen, mit deren Hilfe unbekannte Muster (ill-defined Information-Need) im ersten Schritt identifiziert werden, mit Knowledge-Management-Ansätzen. Dadurch können in weiteren Iterationen die bereits identifizierten Muster (well-defined Information-Need) automatisch erkannt werden.

Zur Modellierung des End-User-Empowerments ist es notwendig, „den Anwendern die Informationen bereitzustellen, die als Ergebnis auf ihre - auf Teilspezifikationen und Teilkonstruktionen basierenden - Problemlösungsaktivitäten resultieren, um diese bei der Verfeinerung der Definition ihres Analyseprozesses wiederverwenden zu können“ [FN92]. Um dies zu realisieren werden die, von Fischer und Nakakoji definierten, Elemente einer facettenreichen Architektur [FN92] verwendet (vgl. Abb. 3 und 4).

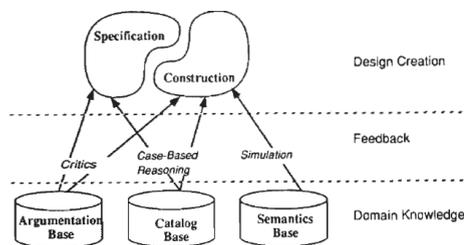


Abb. 3: Elemente einer facettenreichen Architektur [FN92]

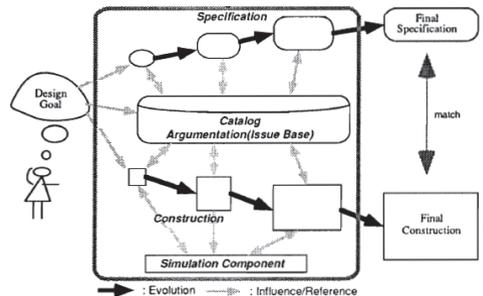


Abb. 4: Spezifikation- und Konstruktion innerhalb einer facettenreichen Architektur [FN92]

Während die linke Abbildung 3 die verschiedenen Arten der Interaktion mit Funktionspfeilen zwischen der funktionsübergreifenden Domain-Knowledge-Layer und den beiden oberen

SECI Model of Knowledge Dimensions [NT95] (SECI = Socialization, Externalization, Combination, and Internalization)

Interaktions-Layer darstellt, beschreibt die rechte Abbildung 4 den Spezifikations- und Konstruktionsprozess innerhalb der Problemlösungsaktivitäten der Anwender. „Ausgehend von einem vagen Entwurfsziel wechseln Anwender zwischen den Komponenten in der Umgebung hin und her“ [FN92]. Indem er die verfügbaren Informationen in einer Argumentationskomponente und einem Katalog sowie das Feedback einer Simulationskomponente verwenden, entwickelt der Anwender gemeinsam mit dem System inkrementelle Spezifikation und Konstruktion, infolgedessen ein passendes Paar aus Spezifikation und Konstruktion das Ergebnis darstellt [FN92].

Mithilfe der, in diesen beiden Ansätze gezeigten, Elemente und Funktionen, ist es nun möglich, die einzelnen Prozessschritte von IVIS4BigData (Ellipsen) in ein funktionales und konzeptionelles Rahmenwerk zu überführen. Auf dessen Basis und unter Einhaltung der End-User-Empowerment-Prinzipien können somit konkrete Use-Case-Spezifikationen für die jeweiligen Aktionen der interaktiven und benutzerdefinierten Transformationsprozesse der einzelnen Prozessschritte definiert werden (vgl. Abb. 5).

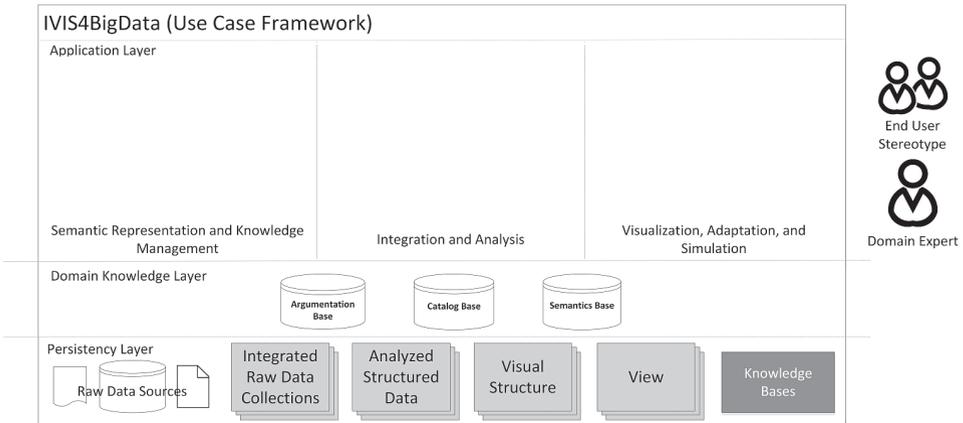


Abb. 5: IVIS4BigData Use-Case Framework

Während das mittlere Domain-Knowledge-Layer dem ursprünglichen Modell der Elemente einer facettenreichen Architektur entspricht, haben Fischer und Nakakoji eine separates Feedback-Layer definiert. Da Feedback in der heutigen Zeit ein integraler Bestandteil eines Spezifikations- und Konstruktionsprozesses ist, wird das ursprüngliche Feedback-Layer in das Application-Layer, welches wiederum dem ursprünglichen Design-Creation-Layer entspricht, innerhalb des IVIS4BigData Use-Case-Framework integriert.

Das zentrale Application-Layer, in dem sich alle Spezifikations- und Konstruktionsaktivitäten der einzelnen IVIS4BigData-Prozessschritte befinden, ist in drei Bereiche unterteilt. Während der linke Semantic Representation and Knowledge-Management Bereich alle Aktivitäten zur Spezifikation und Konstruktion der jeweiligen Daten-, Analyse- oder Visualisierungs-Prozessschritte enthält, beinhaltet der zentrale Integration and Analysis Bereich alle Aktivitäten um den spezifizierten und konstruierten IVIS4BigData-Prozessschritt

auszuführen. Weiterhin enthält dieser Bereich auch die zentrale Transformation der einzelnen IVIS4BigData-Prozessschritte (Daten-Integration, Daten-Transformation, Visuelle Zuordnung und View-Transformation). Der rechte Visualization, Adaptation, and Simulation Bereich dieses Layers enthält alle Aktivitäten zur Unterstützung des Spezifikations- und Konstruktionsprozesses. Auf diese Weise werden in diesem zentralen Application-Layer alle Spezifikations-, Konstruktions- und Feedback-Aktivitäten von Fischers und Nakakoji's facettenreicher Architektur auf detaillierte und effektive Weise zusammengefasst.

Um die verteilte Verarbeitungsfähigkeit von IVIS4BigData abzudecken, wird außerdem ein zusätzliches Persistency-Layer unter den beiden oberen Layer eingeführt. Die Zuordnung der Knowledge-Bases innerhalb des Persistency-Layer statt innerhalb des Domain-Knowledge-Layer ergibt sich aus der Eigenschaft, dass die Knowledge-Bases sowohl Endanwendern als auch Domänenexperten bei der Nutzung domänenspezifischer Funktionalitäten entlang der verschiedenen IVIS4BigData-Prozessschritte unterstützen, jedoch auch gleichzeitig als Grundlage für die Konfiguration des gesamten IVIS4BigData-Prozesses dienen müssen. Aufgrund der Möglichkeit, verteilte Architekturen und Cloud-Dienste für die Datenspeicherung sowie für die Datenverarbeitung zu verwenden, wird durch die Zuordnung der einzelnen IVIS4BigData-Prozessschritte in diesem unteren Layer auch die Bedeutung der Verwaltung und Steuerung der Daten während und nach eines IVIS4BigData-Prozessschrittes hervorgehoben.

4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Diskussion

Zusätzlich zu der Definition und Evaluation des theoretischen IVIS4BigData-Referenzmodells im Rahmen eines Expert-Round-Table-Workshops auf der AVI 2016 Konferenz, sowie der Design-Evaluation der entwickelten IVIS4BigData Service-orientierten Architektur inklusive der graphischen Benutzeroberflächen mithilfe einer Thinking-Aloud-Methodik, wurde die resultierende IVIS4BigData Proof-of-Concept-Referenzimplementierung mithilfe zweier konkreter Anwendungsfälle aus der Industrie aus Anwender- und Anwendungssicht evaluiert.

In Bezug auf die theoretische Evaluation im Rahmen des Expert-Round-Table-Workshops, bestehend aus initialem Fragebogen sowie einer anschließenden Diskussionsrunde, bestätigten sich die identifizierten Anpassungsnotwendigkeiten des Referenzmodells für Informationsvisualisierung, um den neuen Rahmenbedingungen von Big-Data-Analyseanwendungen in der gegenwärtigen Situation gerecht zu werden und die verteilten und heterogenen Rohdaten auf den verschiedenen Prozessschritten der Informationsvisualisierung unterschiedlichen Anwender-Stereotypen zur Verfügung zu stellen. Auch wenn einige Teilnehmer im Rahmen ihrer aktuellen Forschung nur Teile des IVIS4BigData-Referenzmodells verwenden, waren sich jedoch alle einig, dass dieses Modell einen globalen Rahmen für die IT-Infrastruktur ihrer virtuellen Forschungsumgebung sowie einen allgemeinen Rahmen für die Unterstützung verteilter Big-Data-Analyseanwendungen darstellen kann, um die aufkommende

Wissensgenerierung in der interdisziplinären Forschungszusammenarbeit sowie domänen- oder organisationsübergreifende Business-Intelligence- und Innovations-Szenarien zu unterstützen.

Während die erste praktische Evaluation der IVIS4BigData-Referenzimplementierung im Rahmen des konkreten Anwendungsfalls Anomalien-Detektion für Car-to-Cloud-Datenanwendungen die allgemeine Anwendbarkeit belegen sollte, indem auf Basis von synthetischen Testdaten eines führenden internationalen Automobilkonzerns, verborgene, aber bekannte Anomalien erkannt werden sollten, fokussierte sich die Evaluation des zweiten Anwendungsfalls Predictive-Maintenance-Analyse für Roboter-Sensordaten auf die Identifikation sowie auf die anschließende Erkennung von bisher unbekanntem Anomalien innerhalb der Daten eines führenden internationalen Anbieters für Mechatronik-Lösungen. Somit konnte nachgewiesen werden, dass IVIS4BigData die Kombination von Data-Mining-Ansätzen, mit deren Hilfe unbekannte Muster (ill-defined Information-Need) im ersten Schritt identifiziert werden, mit Knowledge-Management-Ansätzen, durch die, in weiteren Iterationen, die bereits identifizierten Muster (well-defined Information-Need) automatisch erkannt werden, ermöglicht. Zusätzlich zu dem Aspekt der technischen Funktionalität diente die zweite praktische Evaluation jedoch auch dazu, dass Anwendungsdesign zu verifizieren. Da die Service-orientierte Architektur der Referenzimplementierung auf Basis des Konzepts eines Virtual-Research-Environment definiert wurde, konnte durch die erneute Instanzierung einer weiteren Referenzapplikation auf Basis derselben darunterliegenden Service-, Ressourcen- und Infrastruktur-Layer nachgewiesen werden, dass beide Referenzapplikationen einzelnen Anwendungsfällen innerhalb des gemeinsamen Virtual-Research-Environments entsprechen.

Zusammenfassend und auf Basis der Ergebnisse der theoretischen und praktischen Evaluierungen kann daher der Schluss gezogen werden, dass IVIS4BigData die Rahmenbedingungen von Big-Data-Analyseanwendungen in der gegenwärtigen Situation erfüllt. Durch direkte manipulative Interaktionsmöglichkeiten unterschiedlicher Anwender-Stereotypen innerhalb der einzelnen Prozessschritten und deren Anpassung und Konfiguration der jeweiligen Daten-Transformationen, bietet jedes Segment innerhalb der IVIS4BigData-Pipeline den unterschiedlichen Anwender-Stereotypen eine, auf dem End-User-Empowerment-Prinzip bestehende, graphische Schnittstelle. Dadurch ermöglicht IVIS4BigData den unterschiedlichen Anwender-Stereotypen (Domänen-Spezialisten) von Big-Data-Analyseanwendungen, Co-Designer der Anwendung zu werden, um somit eine höhere Unabhängigkeit von Computer-Spezialisten zu erhalten.

Literaturverzeichnis

- [Bo16a] Bornschlegl, M. X.; Engel, F. C.; Bond, R.; Hemmje, M. L.: Advanced Visual Interfaces. Supporting Big Data Applications, AVI 2016 Workshop, AVI-BDA 2016, Bari, Italy, June 7–10, 2016, Revised Selected Papers, English, 2016, XIII, 290.

- [Bo16b] Bornschlegl, M. X.; Manieri, A.; Walsh, P.; Catarci, T.; Hemmje, M. L.: Road Mapping Infrastructures for Advanced Visual Interfaces Supporting Big Data Applications in Virtual Research Environments. In: Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI 2016, Bari, Italy, June 7-10, 2016. S. 363–367, 2016.
- [Bo19] Bornschlegl, M. X.: Advanced Visual Interfaces Supporting Distributed Cloud-Based Big Data Analysis, Diss., Hagen, Germany: University of Hagen, Faculty of Mathematics, Computer Science, Chair of Multimedia und Internet Applications, 2019.
- [Ch14] Christensson, P.: User-Friendly Definition, Accessed: 2017-10-15, Jan. 2014, URL: <https://techterms.com/definition/user-friendly>.
- [CMS99] Card, S. K.; Mackinlay, J. D.; Shneiderman, B.: Information Visualization. In (Card, S. K.; Mackinlay, J. D.; Shneiderman, B., Hrsg.): Readings in Information Visualization. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, S. 1–34, 1999, ISBN: 1-55860-533-9.
- [Co09] Costabile, M. F.; Mussio, P.; Parasiliti Provenza, L.; Piccinno, A.: Supporting End Users to Be Co-designers of Their Tools. In: End-User Development. Bd. 5435, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin Heidelberg, S. 70–85, 2009, ISBN: 978-3-642-00425-4.
- [Fi12] Fischer, G.: Context-Aware Systems: The 'Right' Information, at the 'Right' Time, in the 'Right' Place, in the 'Right' Way, to the 'Right' Person. In: Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces. AVI '12, ACM, Capri Island, Italy, S. 287–294, 2012, ISBN: 978-1-4503-1287-5.
- [Fi94] Fischer, G.: In Defense of Demassification: Empowering Individuals. *Human-Computer Interaction* 9/1, S. 66–70, 1994.
- [FN92] Fischer, G.; Nakakoji, K.: Beyond the Macho Approach of Artificial Intelligence: Empower Human Designers - Do Not Replace Them. *Knowledge-Based Systems* 5/1, S. 15–30, 1992, ISSN: 0950-7051.
- [Fr14] Freiknecht, J.: Big Data in der Praxis. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München, Deutschland, 2014, ISBN: 978-3-446-44177-4.
- [Fr15] Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research IGD: Visual Business Analytics, Accessed: 2015-12-02, 2015, URL: <http://www.igd.fraunhofer.de/en/Institut/Abteilungen/Informationsvisualisierung-und-Visual-Analytics/Visual-Business-Analytics>.
- [Ku04] Kuhlen, R.: Informationsethik: Umgang mit Wissen und Information in elektronischen Räumen. UVK-Verlag-Ges., 2004, ISBN: 9783825224547.
- [Ng04] Ng, A.: User Friendliness? User Empowerment? How to Make a Choice?, Techn. Ber., Graduate School of Library und Information Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2004.

- [NT95] Nonaka, I.; Takeuchi, H.: *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, 1995, ISBN: 0-19-509269-4.
- [Pr13] Prajapati, V.: *Big Data Analytics with R and Hadoop*. Packt Publishing, 2013, ISBN: 978-1-782-16328-2.
- [Ro16] Rouse, M.: *Context Awareness*, Accessed: 2017-10-15, Mai 2016, URL: <http://whatis.techtarget.com/definition/context-awareness>.
- [SA12] SAS Institute Inc.: *Data Visualization - What it is and why it is Important*, Accessed: 2015-12-21, Juli 2012, URL: http://www.sas.com/en%5C_us/insights/big-data/data-visualization.html.
- [Sh96] Shneiderman, B.: *The Eyes Have it: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations*. In: *Visual Languages, 1996. Proceedings., IEEE Symposium on*. S. 336–343, Sep. 1996.
- [TC+06] Thomas, J. J.; Cook, K. et al.: *A Visual Analytics Agenda*. *Computer Graphics and Applications*, IEEE 26/1, S. 10–13, Jan. 2006, ISSN: 0272-1716.
- [Wo11] Wood, J.; Andersson, T.; Bachem, A.; Best, C.; Genova, F.; Lopez, D. R.; Los, W.; Marinucci, M.; Romary, L.; Van de Sompel, H.; Vigen, J.; Wittenburg, P.; Giarretta, D.; Hudson, R. L.: *Riding the Wave: How Europe can Gain from the Rising Tide of Scientific Data. Final Report of the High Level Expert Group on Scientific Data; A Submission to the European Commission.*, 2011.



Dr.-Ing. **Marco Xaver Bornschlegl** studierte Technische Informatik (B.Sc.) sowie Informationstechnik (M.Sc.) an der Hochschule Mannheim. Bis zum erfolgreichen Abschluss seines Studiums war er Stipendiat der Stiftung der Deutschen Wirtschaft (sdw), dass sich an herausragende, sozial engagierte Studierende und Doktoranden richtet, die Potenzial zur Übernahme von Führungsverantwortung in Wirtschaft und Gesellschaft aufweisen. Darüber hinaus erhielt er während seines Studiums zwei weitere Stipendien von führenden mittelständigen Unternehmen aus der Metropolregion Rhein-Neckar. Er schloss sein Bachelor- und Masterstudium jeweils mit Auszeichnung ab und erhielt für seine Masterthesis eine Auszeichnung von einem führenden deutschen Ingenieurverband (IfKom e.V.). Auf der SEDE-Konferenz 2017 (San Diego, CA) wurde sein Forschungsbericht mit dem Best-Paper-Award ausgezeichnet. 2018 sowie 2019 wurde er mit dem IDEAward für digitale Pioniere und Innovatoren ausgezeichnet, die sich erfolgreich den Herausforderungen der digitalen Transformation stellen und damit die Nachhaltigkeit der Deutschen und Österreichischen Wirtschaft stärken. Seine mit Summa Cum Laude abgeschlossene Promotion wurde mit dem Bernd-Pederzani-Gedächtnispreis ausgezeichnet, der sich an herausragende Promovenden der FernUniversität Hagen richtet. Seit 2016 ist er CISO und seit 2020 leitet er die Direktion Application Services & Data Science der STRABAG SE. Weiterhin ist er seit 2019 Habilitations-Kandidat an der FernUniversität Hagen.