

Ansatz für die modellbasierte, interdisziplinäre räumliche Kollaboration an Digitalen Zwillingen über den gesamten Produktlebenszyklus auf Basis des Advanced Systems Engineering

Benjamin SCHNEIDER, Benjamin WINGERT, Matthias BUES, Mehmet KÜRÜMLÜOĞLU, Oliver RIEDEL, Katharina HÖLZLE

*Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO,
Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart*

Kurzfassung: Das Änderungsmanagement ist eine unternehmerische Kernaktivität, in der sehr viele Bereiche und Disziplinen miteinander kollaborieren müssen, um optimale Lösungen für notwendige Anpassungen an einem Produkt zu realisieren. Zunehmend komplexe, technische Systeme, steigern die Anzahl der involvierten Disziplinen und somit auch die zu beachtenden Schnittstellen. Der Beitrag schlägt hierfür einen Lösungsansatz vor, der auf dem Advanced Systems Engineering basiert und die Lösungselemente Industrial Metaverse, Digitaler Zwilling, Model-Based Systems Engineering und interaktive räumliche Kollaboration zielgerichtet miteinander verbindet. Der Ansatz zielt darauf ab, sowohl die Identifikation der Auswirkungen von Änderungen als auch die interdisziplinäre Erarbeitung einer aus Unternehmenssicht optimalen Lösung, zu verbessern.

Schlüsselwörter: Engineering Change Management, Advanced Systems Engineering, Industrial Metaverse, Interdisziplinäre Kollaboration, Mehrbenutzer Virtuelle Realität, Model-Based Systems Engineering

1. Einleitung

Produzierende Unternehmen verschiedener Branchen sehen sich durch Megatrends wie Globalisierung, Digitalisierung, Individualisierung und Nachhaltigkeit mit einer steigenden Komplexität in der Produktentstehung konfrontiert. Das Advanced Systems Engineering (ASE) beschreibt aus diesen Trends motiviert, Advanced Systems als zukünftige Marktleistungen, die sich durch Autonomie, dynamische Vernetzung, sozio-technische Interaktion und Aspekte von Produkt-Service-Systemen auszeichnen. Die Systeme sind durch das Zusammenwirken verschiedener Disziplinen, wie Mechanik, Elektronik, Software, Service, I&K-Technik und auch der Psychologie, gekennzeichnet (Dumitrescu et al. 2021).

Systems Engineering und Advanced Engineering stellen im ASE-Bausteine dar, mit denen die Komplexität handhabbar gemacht werden soll und eine interdisziplinäre Produktentstehung mithilfe agiler Organisationsformen, digitaler Technologien und Künstlicher Intelligenz optimal unterstützt werden soll. Ein zentrales Lösungselement stellen Digitale Zwillinge dar, die als virtuelle Repräsentation von realen oder noch in Planung befindlichen Systemen Zusammenhänge visualisieren und detaillierte Einblicke in Teile eines Gesamtsystems ermöglichen (Stark et al. 2020). Grundlage für die Digitalen Zwillinge sind modellbasierte und durchgängig verknüpfte Daten. Besonders strukturbeschreibende Daten wie eine Stückliste oder ein auf dem Model-Based

Systems Engineering (MBSE) basierendes Systemmodell sowie prozessbeschreibende Daten, wie ein Prozessmodell.

Diese werden in der unternehmerischen Praxis in der Regel in Systemen für das Produktlebenszyklusmanagement (PLM) verwaltet. Zentral ist die digitale und durchgängige Verknüpfung der verschiedenen Daten und Informationen, welche in ihrer Gesamtheit eine möglichst vollständige Charakterisierung des in Entwicklung befindlichen Systems ermöglichen sollen (Riedel et al. 2020).

Multiviewer Virtual Reality (VR) Umgebungen schaffen für mehrere Personen einen räumlichen, visuellen Zugang zu den Modellen und Daten, aus denen sich ein Digitaler Zwilling eines Systems zusammensetzt. Sie ermöglichen so eine optimierte lokale Zusammenarbeit mehrerer Personen (Wingert et al. 2023).

Zentrale Herausforderung in der Entwicklung zukünftiger Advanced Systems sind die optimale Unterstützung und Orchestrierung der interdisziplinären Kollaboration sowie die Unterstützung der Entwicklerinnen und Entwickler im Umgang mit komplexer werdenden, datengetriebenen Systemen. Der Beitrag stellt das Änderungsmanagement in den Mittelpunkt der Betrachtung und beschreibt hierfür einen Ansatz zur Kombination zweier Lösungselemente: (1) die interdisziplinäre visuelle Kollaboration, in Multiviewer VR-Umgebungen und (2) die durchgängige und modellbasierte Verknüpfung der Daten, die ein System und dessen Eigenschaften, im Sinne eines Digitalen Zwillings, charakterisieren. Der Beitrag beleuchtet, wie die beiden Lösungselemente im Zusammenspiel (a) Verständnis und Transparenz von Zusammenhängen und Abhängigkeiten in komplexen Systemen optimieren, also den Menschen im ASE unterstützen und (b) die interdisziplinäre Zusammenarbeit über den Produktlebenszyklus optimieren.

2. Stand der Forschung und Technik

2.1 Änderungsmanagement und Model-Based Systems Engineering

Das Änderungsmanagement nimmt eine zentrale Rolle in der Produktentwicklung ein und beansprucht in Unternehmen bis zu einem Viertel der gesamten F&E-Kapazität (Langer et al. 2012). Bis zu einem Drittel der Änderungen werden hierbei als kritisch, also den Produkterfolg gefährdend bewertet (Langer et al. 2012). Ein Engineering Change, also eine erforderliche Änderung an einem Produkt kann als Änderung oder Anpassung im Hinblick auf Struktur, Verhalten, Funktionalität oder das Zusammenspiel dieser Eigenschaften eines bereits freigegebenen Produktes, angesehen werden (Hamraz et al. 2013).

Für einen Überblick zu bestehenden Änderungsmanagement Methoden sei auf die Arbeiten von Martin et al. (2022) und Tryczak et al. (2023) verwiesen. Viele dieser Methoden weisen jedoch eine hohe Komplexität auf (Tryczak et al. 2023).

Im Kontext des ASE und des zugehörigen MBSE liegt der Fokus auf dem modellbasierten Änderungsmanagement. Martin et al. (2022) beschreiben mit dem Advanced Engineering Change Impact Approach einen modellbasierten Ansatz für das Änderungsmanagement. Weitere modellbasierte Ansätze sind in Meißner et al. (2021) oder Nonsiri et al. (2013) beschrieben.

2.2 Digitaler Zwilling im Industrial Metaverse

Der Digitale Zwilling (DZ) beschreibt eine virtuelle Repräsentation eines Systems. Der DZ setzt sich hierfür in der Regel aus verschiedenen verknüpften Modellen zusammen, welche die Eigenschaften eines Systems beschreiben, die für dessen Entwicklung, Herstellung oder Betrieb relevant sind (Stark et al. 2020).

Bitkom (Angerer et al. 2023) folgend, ermöglicht das Industrial Metaverse mittels Technologien der Virtuellen und Erweiterten Realität (VR und AR) einen intuitiven visuellen Zugang zum Digitalen Zwilling von Produkt und Produktionssystem. Heute gängige CAD-, CAE- und Produktionsplanungssysteme bieten bereits (3D-) Visualisierung, diese ist jedoch nicht domänenübergreifend nutzbar.

Im Kontext des Industrial Metaverse existieren bereits einige, auch kollaborative Applikationen zur VR-basierten Engineering-Visualisierung (Angerer et al. 2023). Einschränkungen bestehen hier aktuell in der Bearbeitbarkeit von bspw. CAD-Modellen und der fehlenden Einbindung von ergänzenden Produktinformationen, wie das Verhalten des Produktes im Einsatz oder Daten mit Bezug zur Produktion.

2.3 Interdisziplinäre Kollaboration und Handhabung von Komplexität

Die steigende Komplexität von Produkten und Systemen und die zunehmende Integration von Funktionalitäten erfordern interdisziplinäre Kollaboration bei der Erstellung von technischen Systemen (Dumitrescu et al. 2021). Experten können in der Erstellung und Handhabung komplexer Systeme, welche durch eine zunehmende Menge an Daten und komplexe Systemmodelle geprägt sind (Dumitrescu et al. 2021), durch visuelle Zugänge wie VR unterstützt werden.

Neue Technologien wie Multiviewer-Powerwalls ermöglichen eine lokale räumliche Zusammenarbeit (Wingert et al. 2023). Studien zur Remote-Zusammenarbeit in VR haben gezeigt, dass Head-Mounted-Displays das Gefühl der räumlichen Präsenz und der Kopräsenz gegenüber klassischen Lösungen verbessern (Bayro et al. 2022).

Um eine vollständige interdisziplinäre Kollaboration im ASE-Kontext entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu ermöglichen, muss ein bidirektionaler Zugang zu den Autorensystemen (CAD, CAE) und dem PLM, welches die Daten verwaltet hergestellt werden. Damit können Anwender fachspezifische Daten um geometrische und strukturelle Informationen ergänzen, tiefere Einblicke in das System und dessen Zusammenhänge erhalten und somit den Lösungsprozess bestmöglich unterstützen.

3. Methodik

Obwohl die Forschung, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, bereits viele Methoden und Ansätze für ein effizientes und durchgängiges Änderungsmanagement bietet, basiert dieses auf manuellen Schnittstellen und nicht verknüpften Modellen. Zentrale Herausforderungen bestehen weiterhin in der modellbasierten Nachverfolgbarkeit der Auswirkungen von Änderungen sowie der interdisziplinären Abstimmung auf der Basis gemeinsam definierter und verstandener Modelle (Langer et al. 2012).

Der hier vorgestellte Ansatz kombiniert ein modellbasiertes Änderungsmanagement mit einem visuellen Zugang im Sinne des Industrial Metaverse. Dies realisiert die bisher fehlende Durchgängigkeit in den Modellen und Informationen, welche für eine

Nachverfolgbarkeit der Auswirkungen einer Änderung zentral relevant ist, sowie eine optimale Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit bei der detaillierten Ausarbeitung der Änderung. Abbildung 1 zeigt die eingesetzten Werkzeuge und Schnittstellen bzw. Austauschformate, auf denen das Vorhaben realisiert wird. Zentral sind Anforderungen und deren modellbasierte Beschreibung, welche über eine ReqIF-Schnittstelle (Requirements Interchange Format) die Ausgangsbasis für das MBSE und die entsprechenden Systemmodelle bilden. Das PLM dient als Integrationsplattform für alle Datenmodelle und Informationen. Die CoLEDWall, eine Multi-User VR-Umgebung, ist direkt an das PLM angebunden und unterstützt Anwender im gemeinsamen Analysieren und Optimieren der Auswirkungen einer Änderung am Produkt. Als Vorgehensmodell für das modellbasierte Änderungsmanagement werden die in Kapitel 2.1 referenzierten Vorarbeiten herangezogen.

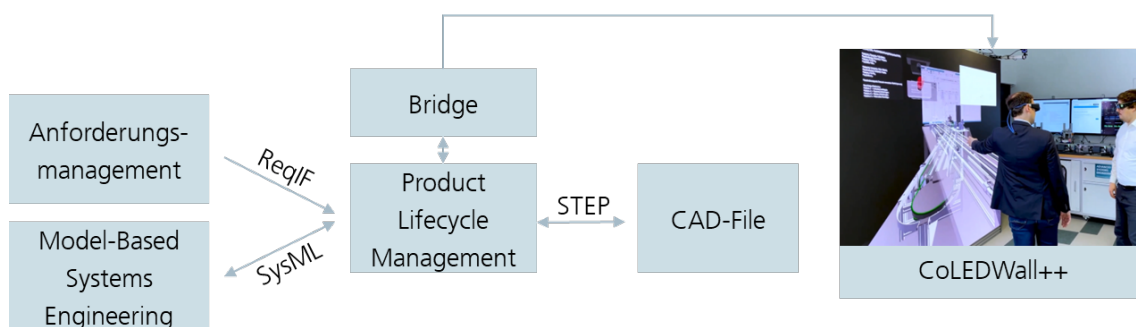


Abbildung 1: Darstellung der grundlegenden Infrastruktur und IT-Schnittstellen für das beschriebene Vorhaben. Zentral ist die CoLEDWall, welche eine räumliche interdisziplinäre Kollaboration ermöglicht, Bild © Fraunhofer IAO

Abbildung 2 visualisiert den unternehmensinternen Durchlauf einer Änderung. Die rote Linie stellt den Pfad der Änderung durch die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus dar. Für die prototypische Umsetzung und Evaluation der Methodik werden zunächst zwei besonders relevante Anwendungsfälle betrachtet.

Anwendungsfall 1 beschreibt, wie Abbildung 2 zu entnehmen ist, die frühe Phase eines Engineering Change und bezieht sich auf die Schnittstelle zwischen dem Anforderungsmanagement und der Systemmodellierung. Beide bilden die Grundlage für eine spätere Nachverfolgbarkeit von Änderungen. Im geplanten Szenario treffen sich die jeweiligen Disziplinexperten an der CoLEDWall und bringen ihre disziplinspezifischen und modellbasiert miteinander verknüpften Modelle mit. Diese werden gemeinsam betrachtet, Auswirkungen einer Anforderungsänderung auf die im Systemmodell beschriebene Systemarchitektur analysiert, verschiedene Lösungsoptionen analysiert und gemeinsam priorisiert. Durch das gemeinsame Betrachten der disziplinspezifischen Modelle können ein gemeinsames Verständnis für die Auswirkungen einer Änderung erzeugt und eine für alle Seiten optimale Lösung identifiziert werden.

In Anwendungsfall 2 nutzen CAD-Experten und Produktionsplaner die im Systemmodell beschriebenen Strukturinformationen, erweitert um disziplinspezifische Modelle, die Geometrien und Prozesse beschreiben. Auch diese Modelle können auf der VR-Wand angezeigt und gemeinsam betrachtet werden. Aus der geänderten Systemstruktur resultierende Änderungen an der Geometrie und deren Auswirkungen auf die Fertigungsprozesse können analysiert und Lösungen entwickelt werden.

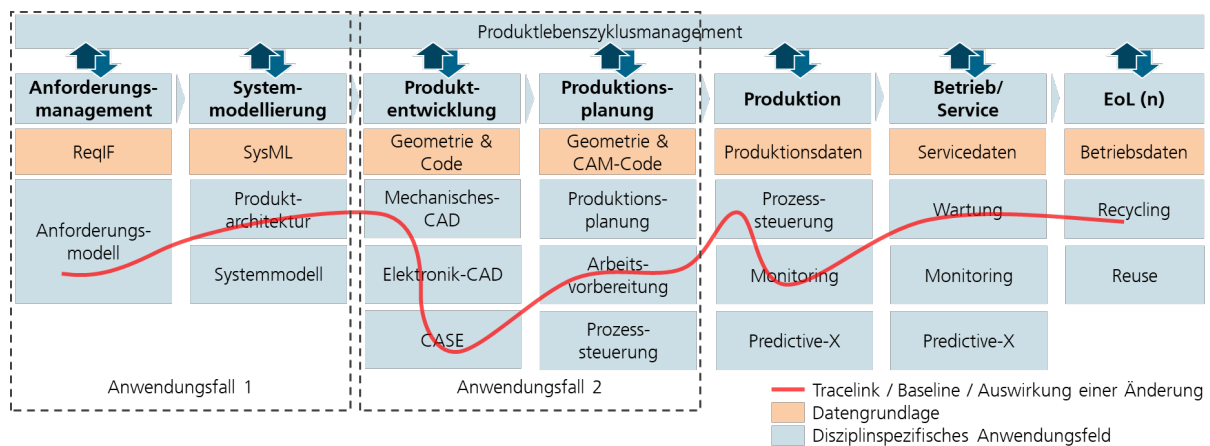


Abbildung 2: Visualisierung der Auswirkungen einer Produktänderung. Eigene Darstellung.

Um die resultierenden Mehrwerte messbar zu machen, wird ein zweistufiges Verfahren angewandt. In Stufe 1 werden die aus der modellbasierten Verknüpfung der disziplinspezifischen Modelle erreichbaren Mehrwerte bei der Identifikation der Auswirkungen von Änderungen identifiziert. Hierfür können Performance Indikatoren für den Engineering Change (Kattner et al. 2016) herangezogen werden. In Stufe 2 werden die aus der visuellen, räumlichen Kollaboration resultierenden Mehrwerte für die Identifikation der für das Unternehmen, aus betriebswirtschaftlicher Perspektive, optimalen Lösung für den Engineering Change bewertet. Hierfür werden u. a. Nutzerstudien durchgeführt.

4. Diskussion

Im beschriebenen Forschungsvorhaben soll eine neue Art der interdisziplinären Zusammenarbeit im Unternehmenskontext, welche sich der Mehrwerte des industriellen Metaversums bedient, entwickelt, pilotiert und evaluiert werden. Der Fokus der Analyse liegt im ersten Schritt auf der Definition des Produktes über Anforderungen und Architekturmodellierung, der technischen Entwicklung sowie der Produktionsplanung und soll später um die weiteren dargestellten Phasen erweitert werden. Es wird erwartet, dass die zu entwickelnde Vorgehensweise und Technologie deutliche Mehrwerte im Bereich der Aufwände und Auswirkungen, welche durch einen Engineering Change entstehen, erzeugen. Im Bereich der Arbeitswissenschaft wird eine deutliche und positive Auswirkung im Bereich der Zugänglichkeit komplexer Systemmodelle sowie der interdisziplinären Kollaboration erwartet.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das Änderungsmanagement ist eine zentrale unternehmerische Aktivität, die einen hohen Ressourceneinsatz erfordert. Immer komplexer werdende Systeme machen die Analyse und Beurteilung von Änderungen und deren Auswirkungen zu einer zunehmend komplexen Aufgabe. Schwachstellen bestehen aktuell im Bereich der Kommunikation über Disziplinen und Bereiche hinweg sowie der Gesamtbetrachtung der Auswirkungen von Änderungen. Das Forschungsvorhaben zielt darauf ab, diese direkt zu

adressieren und dadurch einen Mehrwert für entwickelnde und produzierende Unternehmen zu realisieren.

6. Literatur

- Angerer H, Bliesch F, Lehmann-Brauns S, Claasen D, Eckertz D, Hawa R et al. (2023): Industrial Metaverse. Use Cases, Mehrwerte und Potenziale für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Hrsg. v. BITKOM.
- Bayro A, Ghasemi Y, Jeong H (2022): Subjective and Objective Analyses of Collaboration and Co-Presence in a Virtual Reality Remote Environment. In: 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW). 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW). Christchurch, New Zealand, 12.03.2022 - 16.03.2022: IEEE, S. 485–487.
- Dumitrescu R, Albers A, Riedel O, Stark R, Gausemeier J (2021): Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft: Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Paderborn.
- Hamraz, B, Caldwell NHM, Clarkson PJ (2013): A Holistic Categorization Framework for Literature on Engineering Change Management. In: Systems Engineering 16 (4), S. 473–505. DOI: 10.1002/sys.21244.
- Kattner N, Wang T, Lindemann U (2016): Performance metrics in engineering change management – Key Performance Indicators and engineering change performance levels. In: 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Bali, Indonesia, 04.12.2016–07.12.2016: IEEE, S. 1180–1184.
- Langer S, Wilberg J, Maier A, Lindemann U (2012): Änderungsmanagement-Report 2012: Studienergebnisse zu Ursachen und Auswirkungen, aktuellen Praktiken, Herausforderungen und Strategien in Deutschland.
- Martin A, Kaspar J, Pfeifer S, Mandel C, Rapp S, Albers A (2022): Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) – Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). 2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). Vienna, Austria, 24.10.2022–26.10.2022: IEEE, S. 1–7.
- Meißner M, Jacobs G, Jagla P, Sprehe J (2021): Model based systems engineering as enabler for rapid engineering change management. In: Procedia CIRP 100, S. 61–66. DOI: 10.1016/j.procir.2021.05.010.
- Nonsiri S, Coatanea E, Bakhouya M, Mokammel F (2013): Model-based approach for change propagation analysis in requirements. In: 2013 IEEE International Systems Conference (SysCon). 2013 7th Annual IEEE Systems Conference (SysCon). Orlando, FL, 15.04.2013–18.04.2013: IEEE, S. 497–503.
- Riedel O, Kürümlüoğlu M, Schneider B (2020): Advanced Systems Engineering. In: Riedel O, Hölzle K, Schlund S & Spath D (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–24.
- Stark R, Thoben K-D, Gerhard D, Hick H, Kirchner E, Anderl R et al. (2020): Digitaler Zwilling. In: WiGeP-Positionspapier: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP).
- Tryczak J, Lis A, Ziemiański P, Czyżewicz J (2023): Towards a Universal Model of Engineering Change Management. In: J Knowl Econ. DOI: 10.1007/s13132-023-01576-3.
- Wingert B, Bues M, Hofmann J, Riedel O (2023): (2023). Co-located collaborative Virtual Reality to accelerate the engineering process. To appear in: Lecture Notes in Production Engineering.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt der Fraunhofer Gesellschaft für die Förderung dieser Forschungsarbeit im Rahmen des Projekts INSTANCE.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de