

Standards für Industrie 4.0

METRA-M Message Transmission - Metamodell

White Paper

Version 0.6

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple

24.06.2016

Lehrstuhl für Prozessleittechnik
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple
RWTH Aachen
D-52064 Aachen, Deutschland
Telefon +49 241 80 94339
Fax +49 241 80 92238
www.plt.rwth-aachen.de

1 Inhalt

2	Einordnung.....	2
2.1	Einordnung in das Gesamtbild.....	2
2.2	Thematische Eingrenzung.....	3
2.3	Abstraktionsebene.....	3
3	Grundprinzip des nachrichtenbasierten Informationsaustauschs.....	5
4	Übertragungsprozedur.....	7
5	Verwaltungsfunktionen des Nachrichtenübertragungssystems.....	10
6	Security	12
7	Literaturverzeichnis	13

2 Einordnung

Eine Grundforderung an eine Industrie 4.0 Architektur ist die prinzipielle Fähigkeit des Systems jedem Teilnehmer jederzeit zu ermöglichen mit einem anderen Teilnehmer in Verbindung zu treten und mit diesem Informationen auszutauschen. Für den Datenaustausch gibt es zwei grundlegende Modelle: 1. Die freie Veröffentlichung von Informationen an alle (Broadcast). In diesem Fall sind die Empfänger unbekannt. 2. Die gezielte Übertragung an dezidierte Empfänger. Das im Folgenden vorgestellte Metamodell beschreibt die Übertragung einer Nachricht an einen dezidierten Empfänger. Dieses Modell ist die Grundlage für die Kommunikationsinfrastruktur in einem Industrie 4.0-Netzwerk. Sämtliche weiterführenden Kommunikationsmuster bauen auf diesem elementaren Modellbaustein auf.

2.1 Einordnung in das Gesamtbild

In einem Industrie 4.0 Netzwerk findet Kommunikation auf den verschiedensten Ebenen und zwischen den unterschiedlichsten Teilnehmern statt. Das Metra-Modell beschreibt die Nachrichtenübertragung zwischen zwei Komponenten innerhalb eines internen Clusters. Die zugrundeliegende Vorstellung ist in Bild 1 skizziert.

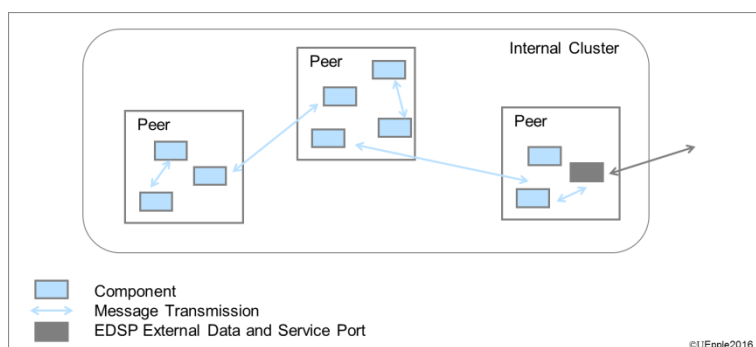


Bild 1: Gliederung eines I40-Systems aus Metra-Sicht

Grundeinheit sind die Komponenten. Sie kapseln ihre internen Funktionen, Daten und Dienste. Eine Metra-Nachrichtenübertragung findet immer zwischen zwei Komponenten statt. Jede Komponente befindet sich in einem Peer. Die Peers verwalten die Komponenten technisch und stellen diesen eine lokale Ablauf- und Systemumgebung zur Verfügung. Die Peers eines Organisationsbereichs können zu einem internen Cluster zusammengefasst werden. In einem internen Cluster hat prinzipiell jede Anwendung freien Zugang zu allen Informationen. Auch in einem internen Cluster können natürlich Zugriffe aus sicherheitstechnischen oder IP-rechtlichen Gründen gesperrt sein, das Grundparadigma ist jedoch der freie Zugriff auf Daten und Dienste. Innerhalb des internen Clusters ist die Daten- und Dienstenutzung nicht durch ein komplexes Geschäftsmodell geprägt. Dies grenzt das Metra-Modell von einem Daten- und Dienstaustausch über die Clustergrenzen hinweg ab. Der Austausch über die Clustergrenze unterliegt speziellen Verträgen und Geschäftsmodellen. Er wird im Metra-Modell technisch über dezidierte Ports, hier als EDSP (External Data and Service Ports) bezeichnet, abgewickelt. Diese Ports sind Broker und stellen die Schnittstellen zu übergeordneten Konzepten wie z.B. einem Industrial Data Space [1] her. Sie werden im Metra-Modell nicht betrachtet.

2.2 Thematische Eingrenzung

Thema ist die Gestaltung des nachrichtenbasierten Informationsaustauschs zwischen den Komponenten eines internen Clusters. Der nachrichtenbasierte Informationsaustausch lässt sich in drei Teilaspekte gliedern:

1. Die operative Nachrichtenübertragung,
2. Die Struktur und Verwaltung des Nachrichtenübertragungssystems und
3. die zwischen den Kommunikationspartnern abzustimmende Semantik des Nachrichteninhalts.

Diese drei Teile können unabhängig voneinander konzipiert und realisiert werden. Dieses Papier enthält Festlegungen zu:

- Grundprinzipien des nachrichtenbasierter Informationsaustausch
- Übertragungsprozedur
- Verwaltungsfunktionen des Nachrichtenübertragungssystems
- Security

Zu weiteren Themen werden keine Festlegungen getroffen. Dazu gehören z.B.:

- Semantik des Nachrichteninhalts,
- Struktur von Dienstsysteimen,
- Interaktionsmuster des Informationsaustauschs,
- Ausgestaltung des Nachrichtenübertragungssystems

Diese werden zur Sicherstellung der Interoperabilität in weiterführenden Standards festgelegt oder Wettbewerbslösungen überlassen.

2.3 Abstraktionsebene

Referenzmodelle lassen sich in verschiedene Abstraktionsebenen einordnen. In Bild 2 sind diese Ebenen dargestellt.

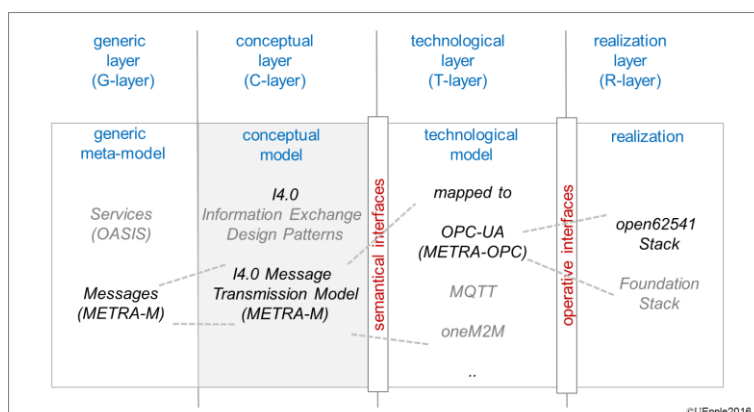


Bild 2: Festlegungen zur Systemkommunikation auf verschiedenen Abstraktionsebenen

Im METRA-M Modell ist das Modell des Nachrichtenaustauschs auf der generischen Meta-Modellebene anzusiedeln. Die weiteren Teile sind der konzeptionellen Modellebene zuzuordnen.

Die Modellbeschreibung konzentriert sich auf die konzeptionelle Beschreibung der Gesamtarchitektur und des generischen Nachrichtenaustauschs. Sie enthält keinerlei Festlegungen weder zur Kon-

zeption des Nachrichtenübertragungssystems noch zur Semantik des Nachrichteninhalts. Sie beschränkt sich auch beim Nachrichtenaustausch auf die einfache Nachrichtenübertragung und spezifiziert keine höherwertigen Interaktionsmuster zwischen zwei oder mehreren Kommunikationspartnern (wie z.B. Client-Server-Nachrichtensequenzen, Pub-Sub-Brokerkonzepte usw.). Sie bietet jedoch das generische Konzept auf dem solche Muster realisiert werden können.

Das METRA-M Modell ist strikt technologieneutral und macht keinerlei Vorschläge zur technischen Abbildung. Referenzmodelle zur technischen Abbildung können zur Sicherstellung der Interoperabilität in technologischen Standards festgelegt oder Wettbewerbslösungen überlassen werden.

3 Grundprinzip des nachrichtenbasierten Informationsaustauschs

In Bild 3 ist das Grundprinzip eines nachrichtenbasierten Informationsaustauschs dargestellt.

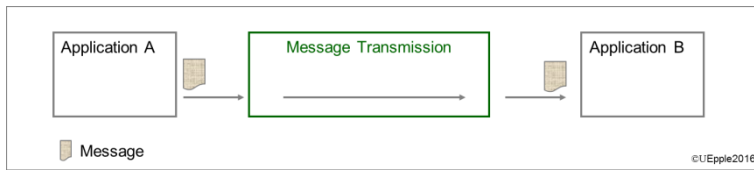


Bild 3: Grundprinzip des nachrichtenbasierten Informationsaustauschs

Eine Anwendung A will einer Anwendung B eine Nachricht zukommen lassen. Zur Übertragung der Nachricht an die Anwendung B nutzt Anwendung A ein Nachrichtenübertragungssystem. Das Nachrichtenübertragungssystem kennt den (logischen) Ort an dem sich die Anwendung B befindet und stellt Anwendung B die Nachricht unverändert zu.

Das Grundprinzip ist durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

Interaktion

P-M01: Das Metamodell betrachtet immer nur die Übertragung einer einzelnen Nachricht von einem Sender an einen Empfänger.

P-M02: Für das Metamodell ist es vollständig unerheblich, um welche Art von Nachricht es sich handelt. Es kann ein Auftrag, eine Anfrage, eine Registrierung, eine Antwort auf eine vorangegangene Nachricht, eine Änderungsmeldung oder irgendeine andere Nachricht sein.

Semantik

P-M03: Das Metamodell macht keinerlei Angaben zur Semantik der übermittelten Informationen. Es bietet auch keinerlei Funktionen, Dienste oder Modellvorstellungen zur Abstimmung der Semantik zwischen den Kommunikationspartnern.

Virtualisierung

P-M04: Im Kontext des METRA Modells benötigen die Anwendung keinerlei Kenntnisse über die Struktur des sie umgebenden Systems. Will eine Anwendung einer anderen Anwendung eine Nachricht senden, dann benötigt sie nur deren (global) eindeutigen Namen. Sie muss weder wissen wo sich diese befindet noch auf welchem Weg sie zu erreichen ist.

P-M05: Das Nachrichtenübertragungssystem ist vollständig virtualisiert.

P-M06: Jeder Anwendung steht das Nachrichtenübertragungssystem lokal zur Verfügung. Im METRA-Modell wird die Nachrichtenübertragung von den LMSRs (Local Message System Representative) als lokale Systemfunktion angeboten.

P-M07: Das Nachrichtenübertragungssystem kennt die (logischen) Orte der Anwendung und/oder hat die Fähigkeit diese dynamisch zu ermitteln.

P-M08: Das Nachrichtenübertragungssystem kennt die Übertragungswege zu einer Anwendung und/oder besitzt die Fähigkeit diese dynamisch zu ermitteln.

Transparenz der Übertragung, Kodierung

P-M09: Das Nachrichtenübertragungssystem kennt den Nachrichteninhalt nicht. Dies betrifft auch die Art der Nachricht (Anfrage, Antwort..) und ihre Semantik.

P-M10: Das Nachrichtenübertragungssystem überträgt den Nachrichteninhalt unkodiert (textbasiert) oder als xdr-Stream (binär). Welche Kodierung gewählt wird ist entweder systemweit einheitlich festgelegt oder Teil des individuellen Übertragungsvertrags. Im Falle einer Übertragung als xdr-Stream darf die Nachricht nur Daten des standardisierten xdr-Datentyp-Sets enthalten.

Integrität

P-M11: Das Nachrichtenübertragungssystem wird als eine per se vertrauenswürdige Systemfunktion betrachtet. Das heißt: Die Anwendungen vertrauen dem Nachrichtenübertragungssystem, dass dieses die von ihm zugesicherten Eigenschaften auch tatsächlich besitzt. Dies besagt nichts über die Qualität der zugesicherten Eigenschaften, dies besagt nur, dass den vom Nachrichtenübertragungssystem gemachten Angaben absolut vertraut wird.

P-M12: Das Nachrichtenübertragungssystem bietet im Allgemeinen eine Möglichkeit zur Verschlüsselung der Daten an. Diese entspricht den Anforderungen an die Übertragungssicherheit. Anwendungen vertrauen dem Nachrichtenübertragungssystem und übergeben ihm ihre Daten unverschlüsselt. Je nach Sicherheitsanforderung werden die Daten dann vom Nachrichtenübertragungssystem selbst vor der Übergabe an unterlagerte technische Übertragungssysteme für den eigentlichen Transport verschlüsselt.

(* natürlich steht es einem besonders wichtigen oder misstrauischen Partnerpaar frei die Daten zusätzlich unter sich zu verschlüsseln)

QoS

P-M14: Die Qualität der Nachrichtenübertragung wird durch standardisierte Kennzahlen beschrieben [2]. Diese sind Teil der konzeptionellen Modelle und werden mit diesen zusammen festgelegt. Kennzahlen machen z.B. Zusicherungen zu maximalen Verzögerungszeiten, Ausfallwahrscheinlichkeiten, Sicherheitslevels etc. Sie können sich aus der Realisierung ergeben oder mit dem Nachrichtenübertragungssystem explizit vereinbart werden.

4 Übertragungsprozedur

Im METRA-Modell sind die Sender und Empfänger von Nachrichten Komponenten. Die Komponenten repräsentieren die Anwendungsfunktionen. Jede Komponente wird, wie im Architekturmodell in Bild 1 dargestellt, technisch in einem Peer verwaltet. Jeder Peer besitzt einen LMSR der die Nachrichtenübertragung als Systemfunktion zur Verfügung stellt. Für die operative Übertragung bietet er dazu, wie in Bild 4 dargestellt, einen Ausgangsbrieffkasten als Schnittstelle an. Die eigentliche Übertragung und Zustellung der Nachricht wird vom Nachrichtenübertragungssystem vollständig gekapselt und ist nicht sichtbar.

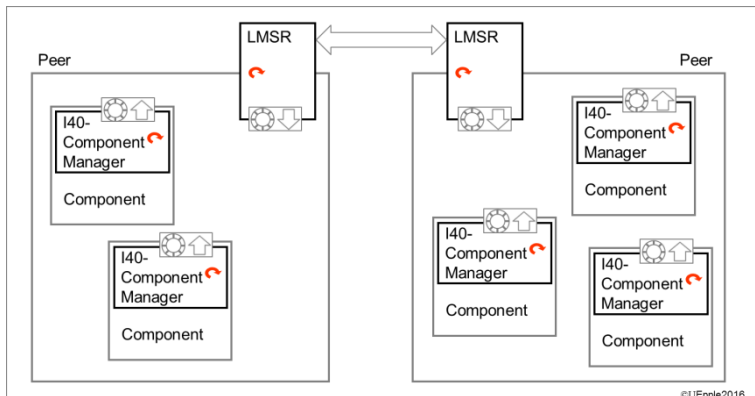


Bild 4: Elemente des METRA-Referenzmodells (LMSR = Local Message System Representative)

In einem Peer können sich mehrere Komponenten befinden. Jede Komponente hat einen I40 Komponenten Manager der sowohl das Versenden als auch das Empfangen der Nachrichten abwickelt. In Bild 5 ist die Prozedur eines Nachrichtenaustauschs mit Anfrage und Antwort erläutert.

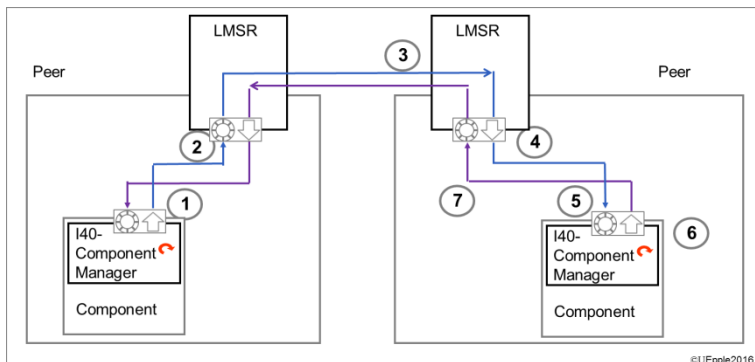


Bild 5: Beispielablaufs eines Nachrichtenaustauschs

Szenario: Komponente A sendet Komponente B eine Anfrage und erhält darauf eine Antwort. Im ersten Schritt übergibt die Komponente A die Anfrage an ihren lokalen LMSR (1). Dazu besitzt jeder LMSR einen „Ausgangspostkasten“ (2) in den alle lokalen Komponenten ihre Nachrichten „einwerfen“. Jede Nachricht hat einen Umschlag auf dem der Name des Empfängers und des Absenders steht. Der LMSR übernimmt die Nachricht und leitet sie an den LMSR weiter in dessen Umgebung sich die Empfängerkomponente befindet (3). Dieser wirft sie (4) in den Eingangsbrieffkasten der Empfängerkomponente ein (5). Die Empfängerkomponente liest die Nachricht, führt je nach Inhalt die entsprechenden Dienste aus und sendet ihre Antwort (7) an den Absender zurück. Die Rücksendung

der Antwort ist eine eigene unabhängige Nachrichtenübertragung. Die LMSR wissen nicht, ob es sich um eine Anfrage oder eine Antwort handelt.

Die hier skizzierte Austauschprozedur ist durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

Nachrichtenformat

P-A01: Jede Nachricht wird für den Transport mit einem Header versehen. Dieser enthält, wie in Bild 6 dargestellt, immer den Namen des Empfängers und den Namen des Absenders. Die Namen sind global eindeutige IDs der Komponenten.

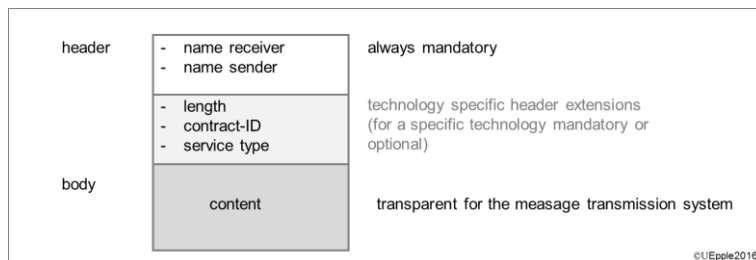


Bild 6: Format einer Nachricht bei der Übertragung

P-A02: In den technologischen Referenzmodellen können weitere (verpflichtende oder optionale) Kopfdaten festgelegt werden, z.B. die Länge der Nachricht oder der Vertrag zwischen Komponente und Nachrichtenübertragungssystem nach dem die Übertragung abgewickelt werden soll.

P-A03: Der Rumpf enthält die eigentliche Nachricht. Deren Aufbau und Semantik ist interne Angelegenheit der Anwendungen. Für die Nachrichtenübertragung ist der Rumpf nur eine nicht zu interpretierende Folge von Daten.

Namen

P-A04: In METRA-M hat jede Komponente einen global eindeutigen Namen (global eindeutige Identifizierung). METRA-M macht keinerlei Vorgaben an die Gestaltung des globalen Namensraums. Falls dieser Namensraum hierarchisch gestaltet ist können in einem Peer-Cluster das vollständig in einem gemeinsamen Ober-Namensraum liegt die lokalen Namen ohne den vorangestellten Ober-Namensraum verwendet werden.

Adressen

P-A05: Das Modell sieht eine vollständige Virtualisierung der Verteilung der Komponenten vor. Eine Komponente weiß nicht wo sich die anderen Komponenten befinden. Die Adressierung auf Komponentenebene erfolgt prinzipiell über deren Namen. Das Wissen um die Zuordnung in welchem Peer sich welche Komponente befindet liegt vollständig im Transportsystem.

P-A06: Ein LMSR erkennt anhand des Namens an welchen anderen Peer er eine Nachricht senden muss. Wie dieses Wissen abgelegt ist (zentral/dezentral), wie es verwaltet wird (kanalbezogen/sessionbezogen/gecached) und wie es erfasst wird (dynamisch/statisch.. usw.) ist Teil des spezifischen technologischen Modells.

Ausführungssteuerung, Synchronisierung

P-A07: Bei der Versendung einer Nachricht legt eine Komponente diese in den Ausgangsbriefkasten ihres lokalen LMSR. Mit dem Ablegen kann eine `sendMessage`-Funktion des LMSR aufgerufen werden die eine direkte synchrone Versendung der Nachricht auslöst. Die Übergabe kann jedoch auch asynchron erfolgen. In diesem Fall legt die Komponente lediglich die Nachricht im Ausgangsbriefkasten ab. Die Auswertung und Weiterleitung erfolgt dann im Rahmen der Ausführungstask des LMSR.

P-A08: Bei der Übergabe einer Nachricht an die empfangende Komponente legt der lokale LMSR diese in den Eingangsbriefkasten der Komponente. Mit dem Ablegen kann eine `receiveMessage`-Funktion der Komponente aufgerufen werden die eine direkte synchrone Annahme der Nachricht auslöst. Die Übergabe kann jedoch auch asynchron erfolgen. In diesem Fall legt der LMSR lediglich die Nachricht im Eingangsbriefkasten ab. Die Annahme und Auswertung erfolgt dann im Rahmen der Ausführungstask der Komponente.

5 Verwaltungsfunktionen des Nachrichtenübertragungssystems

Die Ausführung der operativen Nachrichtenübertragung erfordert eine Reihe von Konfigurations- und Zustandsdaten die im Nachrichtenübertragungssystem verwaltet werden müssen. Dazu gehört z.B. die Verwaltung der Informationen

- wo sich welche Komponenten im Netzwerk befinden,
- welche Kanäle mit welchen Übertragungs-QoS zur Verfügung stehen und
- welche Sessions mit welchen vertraglichen Zusicherungen aktiv sind

Wie beschreiben sieht das Modell eine vollständige Virtualisierung in dem Sinne vor, dass es für einen externen Beobachter nicht sichtbar ist, wo und wie das Nachrichtenübertragungssystem seine Verwaltungsfunktionen realisiert. Eine Anwendung kann sämtliche Interaktionen mit den Verwaltungsfunktionen des Nachrichtenübertragungssystems über seinen lokalen Peermanager abwickeln.

Verwaltung der Komponenten im Netzwerk

PA-09: Jede Komponente die sich an der Nachrichtenübertragung beteiligen möchte muss sich beim Nachrichtenübertragungssystem explizit anmelden. Eine Komponente die angemeldet ist nimmt direkt am Nachrichtenaustausch teil, eine Komponente die nicht angemeldet ist, ist im System nicht sichtbar.

Bei hierarchischen Komponentensystemen muss anwendungsseitig entschieden werden, ob die hierarchisch untergeordneten Komponenten direkt am Nachrichtenaustausch teilnehmen sollen oder nicht. In Bild 7 sind die beiden Möglichkeiten einander gegenübergestellt. Im linken Fall handelt es sich um eine geschachtelte Struktur. Die inneren Komponenten sind nicht sichtbar und können über das Nachrichtensystem nicht erreicht werden. Nur die äußerste Komponente ist sichtbar. Eventuelle Nachrichten an die inneren Komponenten müssen über die äußere Komponente übertragen werden. Im rechten Fall handelt es sich um eine gestapelte Struktur. In diesem Fall können alle hierarchisch gestapelten Komponenten angemeldet und direkt erreicht werden. Eine solche Struktur ist z.B. in der Prozessführung üblich.

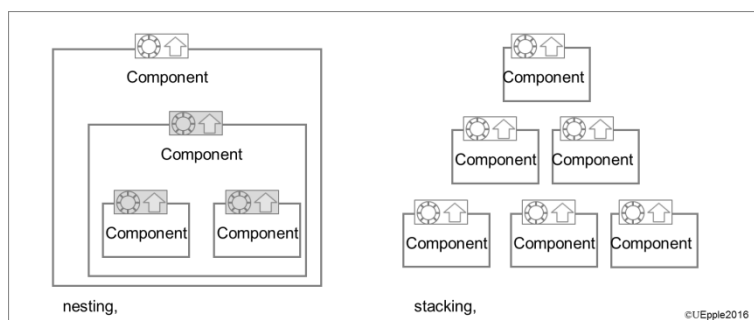


Bild 7. Verschiedene Hierarchiestrukturen

PA-10: Die Anmeldung muss durch die Komponente selbst bei ihrem lokalen LMSR erfolgen.

PA-11: Es ist eine interne Angelegenheit des Nachrichtenübertragungssystems wo und wie diese Anmeldeinformationen verwaltet werden.

Verwaltung der Kanäle

5 - Verwaltungsfunktionen des Nachrichtenübertragungssystems

Zur Realisierung der Nachrichtenübertragung müssen dem Nachrichtenübertragungssystem Übertragungskanäle mit definierten Eigenschaften zur Verfügung stehen. Wie diese angelegt, genutzt und verwaltet werden ist eine interne Angelegenheit des Nachrichtenübertragungssystems. In der technischen Umsetzung können jedoch die LMSRs zusätzliche Dienste zur expliziten Verwaltung der Kanäle anbieten.

Sessions und Verträge

Die Abwicklung der Nachrichtenübertragung erfolgt im Rahmen von Sessions denen Verträge über zugesicherte Übertragungs- und Nutzungs-Eigenschaften zugrunde liegen. Die Vertragsmodelle werden in eigenen Referenzmodellen beschrieben und sind nicht Thema dieser Spezifikation.

6 Security

Auf der Grundlage der Systemarchitektur können zur Lösung der Security-Aufgabe, wie in Bild 8 dargestellt, folgende Bereiche voneinander abgegrenzt werden.

1. Komponente intern
2. Peer-intern
3. Kommunikationskanäle innerhalb eines Peer-Clusters
4. Cluster-intern
5. Kommunikationskanäle über die Clustergrenzen

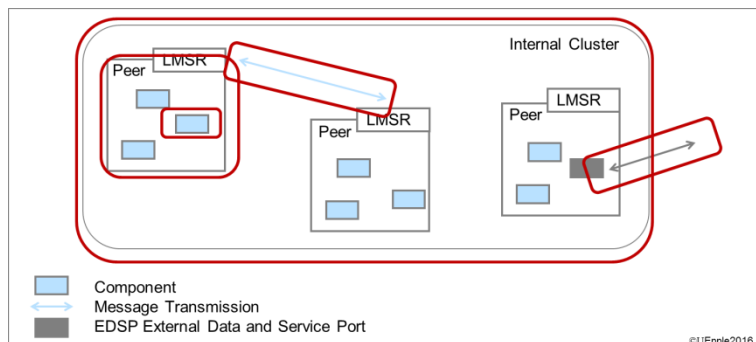


Bild 8: Security Domänen

Geht man davon aus, dass der Informationsaustausch nur auf der Grundlage des hier beschriebenen Nachrichtenaustauschs stattfinden, dann kann man wesentliche Sicherheitsaspekte diesen einzelnen Bereichen zuordnen und sie dort lösen. Grundlage ist die Annahme der systemischen Integrität. So ist z.B. für die sichere Informationsübertragung über das Netzwerk ausschließlich das Nachrichtenübertragungssystem verantwortlich. Alle damit verbundenen Gefahren müssen von ihm beherrscht werden. Dazu kann es sehr gut, gut oder auch weniger gut gerüstet sein. Entscheidend ist, dass den von den Repräsentanten eines Bereichs gemachten Angaben vertraut werden kann.

7 Literaturverzeichnis

- [1] N.N.: Interaktionsmodell für Industrie 4.0 Komponenten. Plattform Industrie 4.0, UAG Semantik, <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/interaktionsmodell-I40-komponenten.pdf>. Abgegriffen: 20.06.2016.
- [2] N.N.: Informationsschnittstellen in der Prozessautomatisierung – betriebliche Eigenschaften. NAMUR Empfehlung NE139, NAMUR, 2012.