

*Integrationsaspekte der Simulation:
Technik, Organisation und Personal*
Gert Zülch & Patricia Stock (Hrsg.)
Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2010

Methoden zur Plausibilisierung von Eingangsdaten für Belieferungssimulationen in Logistik-Planungssystemen der Digitalen Fabrik

Methods for the Plausibility Check of Input Data for Intra-Logistic-Simulations

Hannes Müller-Sommer
Daimler AG, Sindelfingen (Germany)
hannes.mueller-sommer@daimler.com

Steffen Straßburger
Technische Universität Ilmenau, Ilmenau (Germany)
steffen.strassburger@tu-ilmenau.de

Abstract: The concept of the Digital Factory provides the possibilities to generate intra-logistic-simulations with validated input data through a standardized method. Therefore the focus on the input data is necessary. This paper discusses a first approach how to validate this data with different, independent methods. The objective is collecting all necessary data in the required quality in order to generate a reliable simulation model, avoiding costly iterations or even wrong conclusions.

1 Motivation

Diskret-ereignisorientierte Materialflusssimulationen haben sich bei Automobilherstellern gerade in Produktion und Logistik als wirkungsvolles Instrument bewiesen, um zeitdynamische Zusammenhänge abzusichern. Allerdings ist eine Simulationsstudie sehr aufwändig und fordert ein breites Simulations- und Situationsverständnis.

Simulationsstudien lassen sich nach BAIER u.a. (2006) in Zieldefinition, Datenbeschaffungsphase, Modellierungsphase, Modell-V&V-Phase und Experimentphase gliedern. Um gezielt die Eingangsdaten zu untersuchen, wird im vorliegenden Beitrag die Datenbeschaffungsphase um eine Datenplausibilisierungsphase erweitert (vgl. Abb. 1). Die Qualität einer Simulationsstudie hängt direkt mit der Qualität der Eingangsdaten zusammen. In einer im Rahmen dieses Beitrags durchgeführten Umfrage mittels Fragebogen unter dem jeweiligen Experten für Belieferungssimulationen der sechs deutschen Automobilhersteller zeigte sich (MÜLLER-

SOMMER 2010, S. 5), dass 17 % des Gesamtaufwandes einer Simulationsstudie auf die Plausibilisierung der Eingangsdaten entfällt (vgl. Tab. 1). Datenplausibilisierung wird hier verstanden als die Validierung und Verifikation der Eingangsdaten. WENZEL u.a. (2008, S. 40) sprechen in ihrem Vorgehensmodell von einer permanenten Validierung und Verifikation (V&V) der Daten und des Modells. SARGENT (2009, S. 167) unterscheidet zwischen Datenplausibilisierung und Modell-V&V und stellt fest: "there is not much that can be done to ensure that the data are correct". Dieser Handlungsbedarf wird hier aufgegriffen: Durch die methodische Unterstützung des Simulationsexperten soll es zu einer Reduktion der Aufwände von Belieferungssimulationen führen. In der Digitalen Fabrik bietet das Produktionsplanungssystem der Logistik (Planungssystem) hierbei eine breite Plattform, Belieferungssimulationen standardisiert mit Eingangsdaten zu versorgen.

Aufwand	Mittelwert in %	StAbw in %
Zielsetzung/Problemdefinition	6.67	2.58
Datenbeschaffung/-erhebung	25.00	6.32
Plausibilisierung Eingangsdaten	16.67	11.69
Modellierung	24.17	12.81
Modellvalidierung	14.17	4.92
Experimente/Analyse	13.33	6.06

Tabelle 1: Aufwand der Belieferungssimulation (MÜLLER-SOMMER 2010, S. 5)

2 Bestandteile

2.1 Belieferungssimulation

Nach dem Verständnis der VDA-Unterarbeitsgruppe "Ablaufsimulation" (MÜLLER-SOMMER, STRASSBURGER 2009) untersucht die Belieferungssimulation das Zusammenspiel der unterschiedlichen Belieferungsprozesse mit den Einsatzfaktoren und den anderen Gewerken. Die Belieferungssimulation betrachtet den Teilefluss. Das Simulationsmodell basiert auf dem Layout der Produktionshalle. Ziel ist es, die zu verbauenden Teile unter den logistischen Vorgaben termingerecht am Bereitstellort (BO) vorzuhalten, und dies mittels der Simulation dynamisch abzusichern. Den größten Anteil der Eingangsdaten haben hierbei die parametrisierten Transportketten. Eine Transportkette beschreibt nach DIN 30781 alle Orte (Logistikstationen) des Materialflusses von der Quelle über Lager- und Umschlagpunkte bis hin zur Senke. Die einzelnen Orte sind durch Versorgungsprozesse mit den benötigten Ressourcen verbunden, die den Materialtransport respektive Belieferungsprozess definieren. Somit ist für jede Positionsvariante eines Bauteils eine eigene Transportkette vorhanden. Belieferungssimulationen im Montagegewerk haben oft mehr als 1.000 verschiedene Bauteile und damit mindestens so viele Transportketten. Eine Transportkette für sich ist transparent, die Komplexität ent-

steht durch die hohe Anzahl und die Interaktion untereinander. Daher sind die Transportketten der Belieferungssimulation ein ideales Untersuchungsobjekt.

2.2 Vorabplausibilisierung der Digitalen Fabrik

Die Werkzeuge der Digitalen Fabrik sollen nach ROOKS (2009, S. 39) den Planer bereits während seiner Planungstätigkeit dahingehend unterstützen, unplausible Planungsergebnisse zu erkennen bzw. zu vermeiden. Bereits bei der Dateneingabe im Planungssystem der Produktionsplanung kann vor einem Modellaufbau eine Plausibilisierung integriert werden, beispielsweise wenn der Datentyp und der Wertebereich (integer, boolean, nur positive Werte erlaubt, ...) vorab untersucht wird. Darstellbar ist dies im Planungssystem durch vordefinierte Bausteine und Eingabefelder mit Plausibilitätsprüfungen. Hierbei können viele Inkonsistenzen bereits bei Eingabe unterbunden werden, allerdings sind diese Verfahren für eine umfassende Datenplausibilisierung alleine nicht ausreichend.

2.3 Qualitätsmerkmale

Die Bewertung von Informationen muss über Statistiken zur Vollständigkeit und Fehlerfreiheit der Objekte in Planungssystemen hinausgehen. Eigenschaften wie Übersichtlichkeit und Relevanz beschreiben weitere wichtige Merkmale, die die Qualität von Informationen bestimmen (ROHWEDER u.a. 2008, S. 25). Die Informationsqualität wird hier exemplarisch anhand von 15 Merkmalen, zusammengefasst in vier Kategorien, definiert (HILDEBRAND u.a. 2008, S. 26), weiter haben auch WAND und WANG (1996, S. 88) sowie HELFERT (2002, S. 181) wesentliche Beiträge zur Klassifikation beigetragen:

- **Zweckabhängigkeit:** Aktualität, Wertschöpfung, Vollständigkeit, Umfang, Relevanz
- **Systemunterstützung:** Zugänglichkeit, Bearbeitbarkeit
- **Inhärenz:** Ansehen, Fehlerfreiheit [Korrektheit], Objektivität, Glaubwürdigkeit
- **Darstellungsbezug:** Verständlichkeit, Übersichtlichkeit, einheitliche Darstellbarkeit, eindeutige Auslegbarkeit

2.4 Qualitätsmerkmale für Belieferungssimulationen

Alle diese Kategorien und Merkmale sind in der Digitalen Fabrik von Bedeutung und haben bereits in der Konzeptphase eine große Relevanz (single source of truth). Bezogen auf die Eingangsdaten einer Belieferungssimulation sind hier zwei Merkmale besonders hervorzuheben: Vollständigkeit und Korrektheit. Die mangelnde Vollständigkeit einer Transportkette kann in der Simulation zu falschen Ergebnissen führen. Wenn dies bemerkt wird, entsteht ein Mehraufwand im Simulationsmodell und im Mengengerüst. Sollte diese Unvollständigkeit nicht bemerkt werden, so kann sich dies direkt auf die Modellvalidierung und -verifikation sowie auf die Simulationsergebnisse auswirken. Eine mangelnde Korrektheit führt zwar zu einem Modellaufbau, hat aber ebenfalls direkte Auswirkungen auf die Modellvalidierung

und -verifikation sowie auf die Simulationsergebnisse. Die Aussagekraft einer Belieferungssimulation mit einem verifizierten Modell ist nur bei vollständigen und korrekten Eingangsdaten gegeben.

3 Lösungskonzept

Die Digitale Fabrik bietet die komfortable Ausgangssituation, mittels einer standardisierten Methodik den Aufwand in der Datenbeschaffungs- und Plausibilisierungsphase signifikant zu reduzieren. Dieser Beitrag soll einen ersten Ansatz diskutieren. Das Ziel ist es, ausschließlich plausibilisierte Transportketten an die Belieferungssimulation zu übergeben. Daher werden in der Konzeptphase für die betrachteten Qualitätsmerkmale zusätzlich zu statistischen Analyseverfahren der Digitalen Fabrik unabhängige Filterklassen entwickelt. Diese Filterklassen können Transportketten qualifiziert bewerten: Referenzdatenbanken, komplementäre Werkzeuge und die Entscheidungsbaum-Schwelldwertanalyse. Eine Filterklasse ist eine unabhängige Methode, die einzelne Attribute eines Datensatzes [hier: in einer Transportkette] untersucht und eventuelle Abweichungen vom erwarteten Ergebnis dokumentiert. Ein standardisierter Ablauf unterstützt die Planer (vgl. Abb. 1). Je unterschiedlicher die einzelnen Methoden der Filterklassen ausgelegt sind, desto größer ist die Möglichkeit, Inkonsistenzen und Unvollständigkeiten zu finden und diese zur Überarbeitung an die verantwortlichen Planer zurückzuspielen.

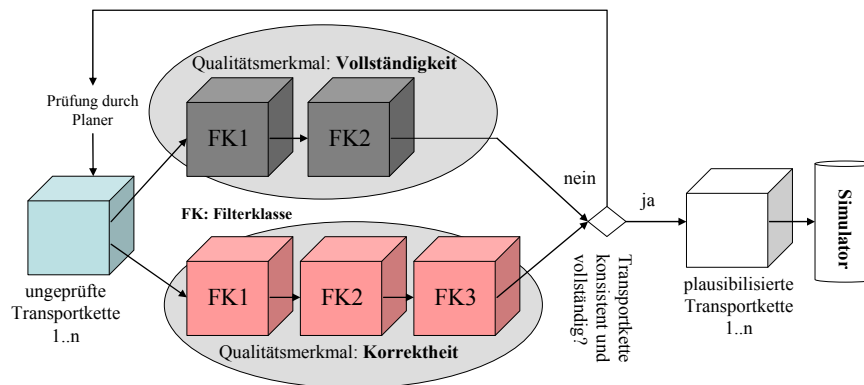


Abbildung 1: Plausibilisierung von Transportketten vor dem Modellaufbau

3.1 Qualitätsmerkmal Vollständigkeit

Das Parametrieren von Transportketten auf der Grundlage von Standardprozessen unterstützt nachhaltig das Erkennen von Fehlern im Vorfeld (ROOKS 2009 S.49). Dies beinhaltet:

- Die Prüfung der Planungsobjekte hinsichtlich Sequenz und Vollständigkeit
- Die komplette Zuordnung von Ressource und Produkt
- Überprüfung, ob die Logistikstationen für die ausgewählten Transportmittel erreichbar sind

Die für die Simulation benötigten parametrisierten Transportketten können unvollständig sein, z.B. durch fehlende Prozessverknüpfung, fehlende oder unvollständig parametrisierte Ressourcendaten bei Flurförderzeugen oder Ladungsträgern, fehlende Ladungsträgerinhalte, fehlende Logistikstationen sowie eine Abweichung von Logistikstationen im Prozess und im Layout. Diese fehlende Vollständigkeit in Prozess- und Ressourcendaten kann über die Filterklasse "Referenzdatenbank" oder über die Filterklasse "komplementäre Werkzeuge" geprüft werden (vgl. Kap. 3.2.1 und 3.2.3). Komplementarität steht hier für die Zusammengehörigkeit unabhängiger, aber sich ergänzender Werkzeuge, die auf das Mengengerüst aufsetzen. Sollte eine dieser Inkonsistenzen aus einem vorgelagerten System übernommen worden sein, so sind über einen Workflow die entsprechenden Beteiligten zu informieren, um die Korrekturen direkt im Quellsystem vorzunehmen. Redundante Datenhaltung ist zu vermeiden. Mit einem vollständig parametrisierten Mengengerüst ist die Voraussetzung geschaffen, alle relevanten Eingangsdaten an die Simulation zu übergeben. Inhaltliche und qualitative Aussagen können allerdings nicht bewertet werden, hierfür wird ein Ansatz im nächsten Kapitel aufgezeigt.

3.2 Qualitätsmerkmal Korrektheit

Systemseitig wird bisher die Vollständigkeit geprüft. Aussagen, die die Korrektheit der einzelnen Datensätze bestätigen, werden vom System bisher nicht betrachtet. Hier sind folgende Fragestellungen zu untersuchen:

- Sind die Logistikstationen richtig verknüpft?
- Sind die Stammdaten richtig?
- Sind die Ladungsträgerinhalte richtig?
- Sind die Logistikstationen richtig?

Für Belieferungssimulationen lassen sich miteinander kombinierbare Methoden zur Prüfung der Korrektheit identifizieren: die Kopplung einer Referenzdatenbank, die Nutzung vorgelagerter, komplementärer Werkzeuge und zusätzlich die Entscheidungsbaum-Schwellwertanalyse (EBS-Analyse). Das Qualitätsmerkmal "Korrektheit" setzt Referenzen und Erfahrungen des Logistikplaners voraus. Die folgenden Filterklassen untersuchen, ob der Datensatz inhaltlich korrekt sein kann.

3.2.1 Filterklasse "Referenzdatenbank"

Die Nutzung von bereits vorhandenen Referenzdatenbanken ermöglicht eine gute Ausgangssituation für eine Plausibilisierung der Transportketten (Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen), beispielsweise aus dem Mengengerüst der Vorgängerbaureihe (vertikal referenzierte Baureihe), aber auch mit anderen aktuellen Baureihen mit Gleichteilen – und identischen Prozessen (horizontal referenzierte Baureihe). Die überwiegende Anzahl an Bauteilen eines Fahrzeuges wird, wenn auch in abgeänderter Form, für weitere Baureihen verwendet. Auch ist die zunehmende Modularisierung in der Automobilindustrie hilfreich, identische Module von horizontal referenzierten Baureihen miteinander abzugleichen. Die Transportkette wird mit horizontal und vertikal referenzierten Baureihen verglichen. Dies beruht auf der Annahme, dass gleiche Bauteile auch identische Prozesse mit identischen

Ressourcen in verschiedenen Baureihen haben. Eventuelle Abweichungen außerhalb einer definierten Toleranz werden zurückgemeldet. Somit kann die Qualität der Planung nach einem Initialaufwand ohne weiteren operativen Mehraufwand sichergestellt werden, zeitaufwändige Fehlersuche oder sogar falsche Auswertungen können reduziert, allerdings nicht ausgeschlossen werden. Durch eine flexible Datenbankabfrage ist die Implementierung generisch und muss nicht auf spezifische Baureihen angepasst werden. Die Referenzdatenbank ist anwendbar auf die meisten Attribute einer Transportkette.

3.2.2 Filterklasse "komplementäre Werkzeuge"

Eine Simulationsstudie für interne Belieferungen setzt erst spät im Planungsprozess ein, meist nachdem die Bereitstellorte von der Montage definiert sind. Zuvor arbeiten weitere Werkzeuge auf dem Mengengerüst des Planungssystems, beispielsweise Programme zur Verknüpfung von Prozesslogistikstationen mit den tatsächlichen im Layout zugeordneten Logistikstationen oder Programme zur Festlegung und Optimierung von Versorgungsrouten. Auch Auswertungen zu bestimmten Meilensteinen wie Kostenabschätzungen greifen bereits früh im Planungsprozess auf die Planungsdaten im Mengengerüst zu. Diese Programme und Auswertungen setzten ein plausibles Mengengerüst voraus, da unter anderem Investitionsentscheidungen und Lieferantenvergaben direkt davon abhängen. Da die Belieferungssimulation spät im Produktplanungsprozess auf das Mengengerüst aufsetzt ist eine Vorabplausibilisierung (Prozess-, Ressourceninformationen) bereits für einen Großteil der Eingangsdaten für einen Modellaufbau erfolgt, sofern die vorgelagerten Werkzeuge systematisch eingebunden sind. Sollten Korrekturen direkt im komplementären Werkzeug erfolgen, so ist über eine Schnittstelle die Rückversorgung in das System sicherzustellen, in welchem die Daten erhoben wurden und durch zusätzliche Parameter zu dokumentieren, was und warum geändert wurde. Dadurch kann geprüft werden, ob der Datensatz bereits plausibilisiert wurde.

3.2.3 Filterklasse "Entscheidungsbaum-Schwellwertanalyse (EBS-Analyse)"

Um methodisch Entscheidungen im Planungsprozess zu treffen werden unter anderem Entscheidungsbäume verwendet. Um die Fragestellung an einem einzelnen Ast zu beantworten, kann es sein, dass diese Entscheidung in Unternetzwerken ermittelt wird. Jede dieser Entscheidung hat wiederum einen direkten Einfluss auf den Materialfluss in der Fabrik. Daher hat die Entscheidungsfindung einen großen Einfluss auf die Planungsqualität. Die Entscheidungen sind untereinander abhängig von diversen Rahmenbedingungen und werden in unterschiedlichen vorgelagerten Planungsschritten ermittelt. Die EBS-Analyse untersucht selbstständig den Weg der Entscheidungsfindung und kann mit auf aggregierter Ebene nachvollziehen, ob die vom Planer getroffene Entscheidung nach den gewählten Kriterien korrekt ist, bspw. für Produktinformationen (vgl. Abb. 2).

Die EBS-Analyse besteht aus einem binären Entscheidungsbaum auf Grundlage des Classification and Regression-Trees (CART)-Algorithmus (BREIMANN 1998) mit aggregierten Schlüsselfragen. Der CART-Algorithmus findet Entscheidungen in binären Entscheidungsbäumen. Die Beantwortung dieser Fragen setzt teilweise Kenntnisse voraus, die in Unternetzwerken in Vorfragen und vorgelagerten Vorfra-

gen (V-Vorfragen) erst ermittelt werden (vgl. Abb. 2). Voraussetzung sind modellierte binäre Entscheidungsbäume für jede Fragestellung sowie jeweils geeignete plausible Datensätze mit definierten Schwellwerten sowie die entsprechenden Attribute am Datensatz. Die EBS-Analyse entscheidet anhand dieser definierten Schwellwerte und kann somit auch die übergeordneten Fragestellungen beantworten. Der Weg der Entscheidungsfindung ist transparent und nachvollziehbar, was unmittelbar der Glaubwürdigkeit der Simulationsstudie zu Gute kommt.

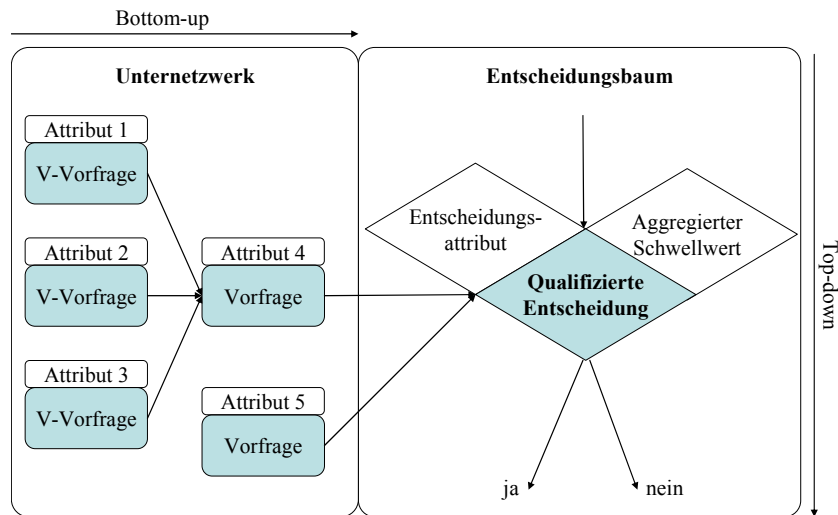


Abbildung 2: Entscheidungsfindung mit aggregiertem Schwellwert

4 Bewertung und Zusammenfassung

Die Aussagen einer Simulationsstudie sind maximal so gut wie die Qualität der Eingangsdaten. Daher ist es von großer Bedeutung, einen transparenten Planungsprozess und eine Rückverfolgbarkeit der einzelnen Datensätze bis zu ihrer Erhebung zu haben. Dieses Vorabkonzept zeigt für die Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen Möglichkeiten zur Prüfung der Vollständigkeit und der Korrektheit der Transportketten auf. Durch die Anwendung unterschiedlicher Filterklassen können Inkonsistenzen und Unvollständigkeiten aufgespürt werden. Bisher kann allerdings der Grad der Überprüfung nicht bestimmt werden, somit ist auch ein Soll-Ist-Vergleich nicht möglich. Dieses Vorabkonzept möchte einen Beitrag leisten, das Themenfeld Simulationseingangsdaten qualifiziert zu bewerten und in eine systematische Datenplausibilisierung zu überführen. Das Ziel ist die sowohl methodische als auch prozessuale Implementierung im Logistik-Produktionsplanungssystem der Digitalen Fabrik. Momentan wird ein Konzept mit den vorgestellten Methoden bei der Daimler AG, Sindelfingen, entwickelt. Ein Prototyp soll bis Ende 2010 erste Ergebnisse aufzeigen.

Literatur

- BAIER, Jochen; RUF, Harald; HILL, Henning: Verknüpfung von Materialflusssimulation und Planungsdatenbanken. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, München, 101(2006), S.70-76.
- BREIMAN, Leo: Classification and regression trees (Repr.). Boca Raton, FL: Chapman & Hall, 1998.
- DIN 30781, Blatt 1. DIN - Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag, 1989.
- FRITZ, Jürgen: Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik. Saarbrücken: LFT Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM, Dissertation, 2007.
- HELFERT, Markus: Planung und Messung der Datenqualität in Data-Warehouse-Systemen. Bamberg: Difo-Druck, 2002.
- MÜLLER-SOMMER, Hannes: Aufwände einer Belieferungssimulation – eine Umfrage im VDA Unterarbeitskreis Ablaufsimulation. <http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15869>, Stand: 05.06.2010.
- MÜLLER-SOMMER, Hannes; STRASSBURGER, Steffen: Ausprägungen und Nutzung der Logistiksimulation im Umfeld der Automobilindustrie. In: Arbeitsgemeinschaft Simulation - 20. Symposium. Hrsg.: GNAUK, A.; LUTHER, B. Aachen: Shaker 2009, S. 353-361.
- WENZEL, Sigrid; WEISS, Matthias; COLLISI-BÖHMER, Simone; PITTSCH, Holger; ROSE, Oliver: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- ROHWEDER, Jan; KARSTEN Gerhard; MALZAHN, Dirk; PRIO, Andrea; SCHMID, Joachim: Informationsqualität – Definitionen, Dimensionen und Begriffe. Hrsg: HILDEBRAND, Knut; GEBAUER, Marcus; HINRICHS, Holger; MILKE, Michael: Daten- und Informationsqualität: Auf dem Weg zur Information Excellence. Wiesbaden: GWV Fachverlage, 2008.
- ROOKS, Tobias: Rechnergestützte Simulationsmodellgenerierung zur dynamischen Absicherung der Montagelogistikplanung bei der Fahrzeugneutypplanung im Rahmen der Digitalen Fabrik. Aachen: Shaker Verlag, 2009.
- SARGENT, Robert: Verification and Validation of Simulation Models. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference; Energy Alternatives. Hrsg.: ROSSETTI, M. D.; HILL, R. R.; JOHANSSON, B.; DUNKIN, A.; INGALLS, R. G. New York, NY: Association for Computing Machinery Order Department; Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 2009, S. 162-176.
- WAND, Yair; WANG, Richard Y.: Anchoring Data Quality Dimensions in Ontological Foundations. In: Communications of the ACM. Hrsg.: Association for Computing Machinery. New York: Association for Computing Machinery, 1996 S. 86–95.