

Projekt zur Lehrveranstaltung Data Warehousing



[Quelle: Tony Hisgett, Birmingham (UK)]

Verkehrsunfälle in New York

Hintergrund

Die Polizei in New York (New York Police Department, NYPD) führte in den 1990er Jahren das Programm *CompStat* ein, das das Ziel verfolgte, durch systematische Erstellung von Statistiken die Polizeiarbeit zu verbessern und die Sicherheit in der Stadt zu erhöhen. Am meisten Kontakt mit der Öffentlichkeit haben die Polizeibeamten des NYPD bei schweren Verkehrsunfällen mit Todesopfern. Der zu erstellende Polizeibericht entspricht dem Formular MV-104AN der Stadt New York, das bei einem Unfall ausgefüllt werden muss, wenn jemand verletzt oder getötet wurde oder wenn der Schaden mindestens 1000 US-Dollar beträgt. Dieses Formular beinhaltet sämtliche Details eines Unfalls [siehe. Anhang].

Im Juli 1999 wurde das Traffic Accident Management System (*TAMS*) bei der New Yorker Polizei implementiert, um sämtliche Daten zu Verkehrsunfällen in einheitlicher Form in der gesamten Stadt zu erfassen. Die Polizei musste in *TAMS* einige ausgewählte Felder aus dem Formular MV-104AN ausfüllen, um wichtige statistische Daten zu den Verkehrsunfällen zu erfassen: die Anzahl der Unfälle, die Zahl der Verletzten und der Todesopfer. Im Laufe der Zeit sollten dann aber noch weitere Verkehrsdaten digital erfasst werden, um detailliertere Auswertungen möglich zu machen.

Die stadtweite Verkehrssicherheitsinitiative Vision Zero begann im Jahre 2014. Die Vision dieser Initiative bestand darin, die Zahl der Verkehrstoten auf 0 abzusenken. Genau dafür wurden mehr Verkehrsdaten benötigt. Insbesondere ging es darum, bestimmte Tatbestände zu verfolgen, die oft Ursache schwerer Verkehrsunfälle sind, Dazu zählen: Fahren mit erhöhter Geschwindigkeit und unter Alkoholeinfluss, Telefonieren am Steuer, Unachtsamkeit gegenüber Fußgängern, Missachten von roten Ampeln und Stop-Schildern.

Im April 2016 wurde *TAMS* ersetzt durch ein Nachfolge-System, *Finest Online Records Management System (FORMS)*. *FORMS* erlaubt den Polizeibeamten, über Mobiltelefon oder

Computer alle Felder des MV-104AN-Formulars direkt in eine Datenbank einzugeben. Seitdem sind detaillierte Auswertungen der Verkehrsunfallstatistik nach unterschiedlichsten Gesichtspunkten möglich. Die Datenbank über Verkehrsunfälle (Motor Vehicle Collisions) enthält Informationen von sämtlichen Unfällen, die von der Polizei in New York City seit 2016 bis heute erfasst wurden. Diese sind als Open Data öffentlich zugänglich auf dem Portal: <https://opendata.cityofnewyork.us/>

Interne Datenquellen zu Verkehrsunfällen

Bei der gezielten Suche auf dem Datenportal der Stadt New York nach “Vehicle Collisions” findet man eine Übersicht verfügbarer Datenquellen und der zugehörigen Metadaten zum Thema Verkehrsunfälle.

Auf die eigentlichen Datenquellen kann über die [Socrata Open Data API](#) zugegriffen werden. Die Daten können in verschiedenen Datenformaten bezogen werden (z.B. CSV, JSON). Wenn man nicht den ganzen Data Set aus der Quelle verarbeiten möchte, steht auch eine Abfragesprache zum Filtern zur Verfügung, [SoQL](#), mit der aus SQL bekannten Funktionalität.

Folgende Informationen gibt es zu den einzelnen Datenquellen:

Motor Vehicle Collisions - Crashes: Diese Tabelle enthält Einzelheiten zu jedem Unfallereignis. Jede Zeile dieser Tabelle repräsentiert somit ein Unfallereignis.

Quelle: <https://dev.socrata.com/foundry/data.cityofnewyork.us/h9gi-nx95>

Folgende Informationen sind in den Spalten enthalten:

- Collision-ID zur Identifikation des Unfalls
- Zeitpunkt des Unfalls
- Ort des Unfalls (Adresse, Geo-Koordinaten)
- Anzahl der getöteten und verletzten Personen (Autofahrer, Fußgänger, Fahrradfahrer, Motorradfahrer)
- Unfallfaktoren bei den beteiligten Fahrzeugen
- Fahrzeugtypen der beteiligten Fahrzeuge

Motor Vehicle Collisions - Persons: Diese Tabelle enthält Einzelheiten zu jeder an einem Unfall beteiligten Person. Jede Zeile dieser Tabelle repräsentiert somit eine Person (Fahrer, Fahrzeuginsasse, Fußgänger, Radfahrer ...). Die Daten in dieser Tabelle reichen zurück bis zum April 2016, als die Unfallberichte vollständig in ein Datenbanksystem übernommen wurden.

Quelle: <https://dev.socrata.com/foundry/data.cityofnewyork.us/f55k-p6yu>

Folgende Informationen sind in den Spalten dieser Tabelle enthalten:

- Collision-ID, Fremdschlüssel zur Identifikation des Unfalls in der Crash-Tabelle
- Zeitpunkt des Unfalls
- Ort des Unfalls
- PersonID – Personen-Identifikator, der vom System vergeben wird
- Typ der Person (z.B. Radfahrer, Fußgänger, Fahrzeuginsasse)
- Art des Personenschadens (verletzt, getötet, undefiniert)
- Vehicle-ID, Fahrzeug, das in Verbindung mit der betroffenen Person steht, Fremdschlüssel zur Vehicle-Tabelle

- Alter und Geschlecht der Person
- Details zur Verletzung (Körperteil, Beschwerden, Bewusstseinszustand)
- falls Fahrzeuginsasse: Position im Fahrzeug bei den beteiligten Fahrzeugen
- Sicherheitsausstattung im Fahrzeug (z.B. Sicherheitsgurte, Airbag)
- weitere Informationen zu Fußgängern: Handlung, Rolle (z.B. Fußgänger, Unfallzeuge, Inline-Skater), Ort zum Unfallzeitpunkt
- Unfallfaktoren

Motor Vehicle Collisions - Vehicles: Diese Tabelle enthält Einzelheiten zu jedem an einem Unfall beteiligten Fahrzeug. Jede Zeile dieser Tabelle repräsentiert somit ein Fahrzeug. Die Daten in dieser Tabelle reichen zurück bis zum April 2016, als die Unfallberichte vollständig in ein Datenbanksystem übernommen wurden.

Quelle: <https://dev.socrata.com/foundry/data.cityofnewyork.us/bm4k-52h4>

Folgende Informationen sind in den Spalten dieser Tabelle enthalten:

- Collision-ID, Fremdschlüssel zur Identifikation des Unfalls in der Crash-Tabelle
- Zeitpunkt des Unfalls
- Vehicle-ID: Fahrzeug-ID
- Bundesstaat, wo das Fahrzeug zugelassen ist
- Angaben zum Fahrzeug: Fahrzeugtyp, Modell, Hersteller, Baujahr
- Fahrtrichtung
- Anzahl der Fahrzeuginsassen
- Angaben zum Fahrer: Geschlecht, Führerschein (Art und Herkunft)
- Aktion zum Unfallzeitpunkt (z.B. Abbiegen nach rechts) und zum
- Angaben zur Auftreffstelle und Schäden am Fahrzeug
- Angaben zu Schäden an öffentlichen Einrichtungen (z.B. Absperrung) – falls vorhanden

Es gibt bereits Statistiken, gegliedert nach Boroughs und Polizeirevieren. Dort findet man Auswertungen des Unfallgeschehens für einen Monat nach verschiedenen Kategorien wie betroffene Personen, Unfallursachen und Fahrzeugtypen:

<https://www.nyc.gov/site/nypd/stats/traffic-data/traffic-data-collision.page>

Diese können als Anhaltspunkt dienen für mögliche eigene Auswertungen.

Weitere externe Datenquellen

Um die Aussagekraft der mit einem Data Warehouse zu gewinnenden Informationen noch zu erhöhen, sollte mindestens eine weitere externe Datenquelle hinzugezogen werden. Diese sollten vorzugsweise der zeitlichen oder der geographischen Dimension zugehörig sein. Durch diese zusätzlichen externen Datenquellen kann eine semantische Anreicherung der Unfalldaten erfolgen, indem z.B. soziodemographische Daten einbezogen werden oder der Einfluss des Wetters oder bestimmter Ereignisse im Jahr auf das Unfallgeschehen.

Eine Quelle für zusätzliche Open Data aus New York City bietet das Open-Data-Portal der Stadt: <https://opendata.cityofnewyork.us/>

In der Dimension **Zeit** wäre die Kombination mit historischen Wetterdaten von New York aus dem Untersuchungszeitraum interessant. Historische Wetterdaten sind leider zumeist kostenpflichtig, eine mögliche Quelle für tägliche Wetterdaten ist in der Datei jfk_weather.csv zu finden unter:

<https://www.kaggle.com/datasets/zhaodianwen/noaaweatherdatajfkairport> (Hinweis: Erfordert Registrierung bei Kaggle, Datenbezug ist jedoch kostenlos).

Eine weitere interessante Kombination wäre die Verknüpfung mit Feiertagen oder anderen großen Ereignissen in New York, die im gleichen Zeitraum wie die betrachteten Verkehrsunfälle stattgefunden haben (z.B. Sportereignisse, Paraden).

Mögliche Quellen hierfür:

<http://www.feiertagskalender.ch/>

<https://en.wikipedia.org/> Category: Annual events in New York City

In der **geographischen** Dimension wäre es sinnvoll, die in den Datenquellen gespeicherten Geokoordinaten der Verkehrsunfälle mit geographischen Bezügen anzureichern. Hierbei ist zum Verständnis die Verwaltungsgliederung von New York zu betrachten. Die Stadt New York besteht aus 5 Boroughs (Stadtbezirke), die in 59 Community Districts gegliedert sind. Die Community Districts wiederum bestehen aus verschiedenen Neighborhoods. Die Neighborhoods sind allerdings keine fest definierten Verwaltungseinheiten, sondern Bezeichnungen, die sich im Laufe der Zeit für einzelne Stadtteile herausgebildet haben (z.B. historische Ortschaften). Eine Übersicht zur Verwaltungsgliederung von New York befindet sich hier: https://de.wikipedia.org/wiki/Verwaltungsgliederung_von_New_York_City

Reverse Geocoding könnte hierbei aus den Koordinaten bzw. der Postadresse des Unfallortes eine Zuordnung zu District oder Neighborhood vornehmen. Das New York Police Department nutzt noch eine andere Verwaltungsgliederung, nämlich die Aufteilung der Boroughs in Polizeireviere (Precincts), die zugleich auch Gegenstand offizieller Statistiken sind. Insgesamt ist die Stadt in 77 Precincts aufgeteilt und diese in Abschnitte (Sectors), die in ihren Grenzen ungefähr den offiziellen Neighborhoods entsprechen. Zu finden ist diese Aufteilung in Precincts hier:

<https://www.nyc.gov/site/nypd/bureaus/patrol/find-your-precinct.page> und hier:

<https://data.cityofnewyork.us/City-Government/Police-Precincts/y76i-bdw7>

Die Boroughs und ihre Neighborhoods sind ebenfalls zu finden, in einem großen JSON File:

https://raw.githubusercontent.com/geekman1/nyc_taxi/master/nyc_neighborhoods.json

Anhang: Formular MV-104AN

PEDESTRIAN/BICYCLIST/OTHER PEDESTRIAN LOCATION		APPARENT CONTRIBUTING FACTORS		Vehicular	
1. Pedestrian/Bicyclist/Other Pedestrian at Intersection 2. Pedestrian/Bicyclist/Other Pedestrian Not at Intersection		Human 2. Alcohol Involvement 3. Backing Unsafely* 4. Driver Inattention/Distracted* 5. Driver Inexperience 6. Drugs (Illegal) 7. Failure to Yield Right-of-Way 27. Failure to Keep Right 21. Fatigued/Drowsy 8. Fell Asleep 9. Following Too Closely 10. Illness 11. Lost Consciousness 12. Passenger Distraction 13. Passing or Lane Usage Improper 14. Pedestrian/Bicyclist/Other Pedestrian Error/Confusion 15. Physical Disability 16. Prescription Medication 17. Traffic Control Disregarded 18. Turning Improperly 19. Unsafe Speed 20. Unsafe Lane Changing 22. Cell Phone (hand-held) 23. Cell Phone (hands-free) 24. Other Electronic Device* 25. Outside Car Distraction* 26. Reaction to Other Uninvolved Vehicle 28. Aggressive Driving/Road Rage*		41. Accelerator Defective 42. Brakes Defective 43. Headlights Defective 44. Other Lighting Defects 45. Oversized Vehicle 46. Steering Failure 47. Tire Failure/Inadequate 48. Tow Hitch Defective 49. Windshield Inadequate 50. Driverless/Runaway Vehicle 60. Other Vehicular * Environmental 61. Animal's Action 62. Glare 63. Lane Marking Improper/Inadequate 64. Obstruction/Debris 65. Pavement Defective 66. Pavement Slippery 67. Shoulders Defective/Improper 68. Traffic Control Device Improper/Non-Working 69. View Obstructed/Limited	
PEDESTRIAN/BICYCLIST/OTHER PEDESTRIAN ACTION 1. Crossing, With Signal 2. Crossing, Against Signal 3. Crossing, No Signal, Marked Crosswalk 4. Crossing, No Signal or Crosswalk 5. Riding/Walking/Skating Along Highway With Traffic 6. Riding/Walking/Skating Along Highway Against Traffic 7. Emerging from in Front of/Behind Parked Vehicle 8. Going to/From Stopped School Bus 9. Getting On/Off Vehicle Other Than School Bus 11. Working in Roadway 12. Playing in Roadway 13. Other Actions in Roadway * 14. Not in Roadway (Indicate) *		TRAFFIC CONTROL 1. None 2. Traffic Signal 3. Stop Sign 4. Flashing Light 5. Yield Sign 6. Officer/Guard 7. No Passing Zone 8. RR Crossing Sign 9. RR Crossing Flashing Light 10. RR Crossing Gates 11. Stopped School Bus-Red Lights Flashing 12. Construction Work Area 13. Maintenance Work Area 14. Utility Work Area 15. Police/Fire Emergency 16. School Zone 20. Other *		VEHICLE INFORMATION Vehicle 19 Vehicle 20 Vehicle 21 Vehicle 22 Vehicle 23 Vehicle 24 Vehicle 25 Vehicle 26 Vehicle 27 Vehicle 28 Vehicle 29 Vehicle 30	
LIGHT CONDITIONS 1. Daylight 2. Dawn 3. Dusk 4. Dark-Road Lighted 5. Dark-Road Unlighted		ROADWAY CHARACTER 1. Straight and Level 2. Straight and Grade 3. Straight at Hillcrest 4. Curve and Level 5. Curve and Grade 6. Curve at Hillcrest		ROADWAY SURFACE CONDITION 1. Dry 2. Wet 3. Muddy 4. Snow/Ice 5. Slush 6. Flooded 0. Other *	
WEATHER 1. Clear 2. Cloudy 3. Rain 4. Snow 5. Sleet/Hail/Freezing Rain 6. Fog/Smog/Smoke 0. Other *		LOCATION OF MOST SEVERE PHYSICAL COMPLAINT 1. Head 2. Face 3. Eye 4. Neck 5. Chest 6. Back 7. Shoulder-Upper Arm 8. Elbow-Lower Arm-Hand 9. Abdomen - Pelvis 10. Hip-Upper Leg 11. Knee-Lower Leg-Foot 12. Entire Body		LOCATION OF FIRST EVENT 1. On Roadway 2. Off Roadway	
WHICH VEHICLE OCCUPIED 1. Vehicle No. 1 2. Vehicle No. 2 A. All-Terrain Vehicle (ATV) B. Bicyclist C. In-Line Skater O Other * P. Pedestrian S. Snowmobiler		POSITION IN/ON VEHICLE 1. Driver 2-7. Passengers 8. Riding/Hanging on Outside		TYPE OF PHYSICAL COMPLAINT 1. Amputation 2. Concussion 3. Internal 4. Minor Bleeding 5. Severe Bleeding 6. Minor Burn 7. Moderate Burn 8. Severe Burn 9. Fracture - Dislocation 10. Contusion - Bruise 11. Abrasion 12. Complaint of Pain 13. None Visible 14. Whiplash	
SAFETY EQUIPMENT USED 1. None 2. Lap Belt 3. Harness 4. Lap Belt/Harness 5. Child Restraint Only 6. Helmet (Motorcycle Only) 7. Air Bag Deployed 8. Air Bag Deployed/Lap Belt 9. Air Bag Deployed/Harness A. Air Bag Deployed/Lap Belt/Harness B. Air Bag Deployed/Child Restraint		EJECTION FROM VEHICLE 1. Not Ejected 2. Partially Ejected 3. Ejected		VICTIM'S PHYSICAL AND EMOTIONAL STATUS 1. Apparent Death 2. Unconscious 3. Semiconscious 4. Incoherent 5. Shock 6. Conscious	
IN-LINE SKATER/BICYCLIST C. Helmet Only D. Helmet/Other E. Pads Only F. Stoppers Only 0. Other *		AGE 11 12 13		SEX M/F	
INJURED TAKEN 17 BY TO 18		TYPE OF ACCIDENT -- COLLISION WITH 1. Other Motor Vehicle 2. Pedestrian 3. Bicyclist 4. Animal 5. Railroad Train 6. In-Line Skater 7. Deer 8. Other pedestrian 10. Other Object (Not Fixed)*		COLLISION WITH FIXED OBJECT 11. Light Support/Utility Pole 12. Guide Rail-Not At End 13. Guide Rail-End 14. Crash Cushion 15. Sign Post 16. Building/Wall 17. Curbing 18. Fence 19. Bridge Structure 20. Culvert/Head Wall 21. Median-Not At End 26. Median-End 27. Barrier 22. Snow Embankment 23. Earth Embankment/Rock Cut/Ditch 24. Fire Hydrant 30. Other Fixed Object* NO COLLISION 31. Overturned 32. Fire/Explosion 33. Submersion 34. Ran Off Roadway Only 40. Other*	

Quelle: <https://dmv.ny.gov/forms/p33.pdf>

Projekt-Aufgabe

Mit dem zu bearbeitenden Projekt ist der komplette Ablauf eines kleinen Data Warehouse-Projekts zu vollziehen

Phase 1: Analyse

1. Datenverarbeitungsanforderungen
Es sind mögliche Auswertungen (aus fachlicher Perspektive) und deren Anforderungen (z.B. Häufigkeit, Genauigkeit) zu beschreiben. Dabei sind bestimmte Maßzahlen zu definieren, die auf den Fakten der Unfalldaten beruhen (z.B. Anzahl verunglückter bzw. verletzter Personen). Diese sollten aber auch mit anderen Daten kombiniert werden (z.B. Wetter), um mögliche Zusammenhänge aufzuzeigen.
2. Konzeptuelle Modellierung
Zur konzeptuellen Modellierung des Data Warehouse sind geeignete Dimensionen, Fakten bzw. Kennzahlen eines multidimensionalen Modells zu spezifizieren. Hierfür ist die ADAPT-Technik zu nutzen [1] [2]. Grundsätzlich sind Auswertungen in einer zeitlichen oder geographischen Dimension vorzunehmen. Die Kennzahlen können die Anzahl der verunglückten Personen, betroffene Fahrzeugtypen oder Unfallursachen betreffen.

Das Ergebnis der Analyse ist schriftlich zu dokumentieren.

Phase 2: Entwurf des Data Warehouse

1. Relationaler Entwurf der Basisdatenbank (BDB)
Diese Datenbank enthält die gesamten Daten des Data Warehouse auf feingranularer Ebene als Basis der Analysen. Die BDB ist nach den Regeln des Datenbankentwurfs konzipiert – nicht nach dem Analysezweck. Sie ist somit redundanzfrei gespeichert (relational 3NF) und bereinigt (Operational Data Store).
2. Entwurf eines MDM-Schemas
Es ist ein Schema für einen oder mehrere Data Cubes auf der Basis des multidimensionalen Datenmodells (MDM) zu entwerfen, das auf relationalen Strukturen umzusetzen ist (ROLAP). Das MDM-Schema ist zugleich das Zielschema für die aus der Basis-Datenbank zu ladenden Daten in die Cubes.

Das Ergebnis des Entwurfs ist in Form von Diagrammen, versehen mit notwendigen Erläuterungen zu bestimmten Entwurfsentscheidungen, zu dokumentieren.

Phase 3: Implementierung des Data Warehouse

1. Implementierung der Basisdatenbank (BDB)
Das Schema der Basisdatenbank ist mittels SQL-Anweisungen zu implementieren. Dabei sind die Gegebenheiten der Datenquellen zu berücksichtigen.
2. ETL-Prozess
Die Datenquellen sollen so aufbereitet werden, dass sie im MS SQL Server für OLAP-Anwendungen genutzt werden können. Dazu müssen die Rohdaten extrahiert, und ggf. gefiltert und vorverdichtet werden, um den Umfang der weiterzuverarbeitenden Daten möglichst frühzeitig zu reduzieren. Die Vorverarbeitung kann mittels Tools erfolgen (z.B. Pandas). Diese Daten können z.B. als CSV-Datei in die Basisdatenbank geladen werden. Darüber hinaus sollten auch andere externe Datenquellen (außerhalb der Open Data vom NYPD) in die BDB geladen werden, um sie mit den Unfalldaten zu verknüpfen.
3. Implementierung der Data Cubes
Auf Grundlage der Basisdatenbank sind die Data Cubes zu implementieren, mit den jeweils konzipierten Auswertungsdimensionen entsprechend des entworfenen MDM-Schemas. Dieses sollte nicht manuell, sondern mit Tool-Unterstützung (MS Analysis Services) erfolgen.

Das Schema der Basisdatenbank ist in Form eines SQL-Skripts zu dokumentieren.

Hinweis: Die Projektdatenbank ist auf 20 GB beschränkt, so dass bei der Auswahl der Beispieldaten das Datenvolumen a-priori begrenzt werden sollte.

Phase 4: Auswertungen und Visualisierung

1. Berichte und Diagramme für Datenbank-Auswertungen

Es sind mindestens vier ausgewählte Auswertungen zu implementieren. Darin enthalten sein sollte die zeitliche und die räumliche Dimension, angereichert mit Informationen aus den externen Datenquellen. Durch Dimensionshierarchien sollte die Möglichkeit zu verfeinerten Analysen bestehe, wo es sich anbietet. Die Auswertung sollte graphisch erfolgen unter Nutzung eines Reporting Tools (z.B. PowerPivot, Analysis Services).

2. Optimierung der Data Cubes

Zur Verbesserung der Performance sollten mögliche Optimierungen des DWH Schemas betrachtet werden. Hierzu zählen z.B. Denormalisierung einzelner Tabellen, Dimensionsreduktion, Verkleinerung von Cubes, Partitionierung, Indexierung, Materialisierte Sichten.

3. Evaluation der Ergebnisse

Ausgehend von der Informationsbedarfsanalyse sind die Ergebnisse der Auswertungen hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Steuerungsfähigkeit für die Polizei New York (NYPD) zu bewerten. Die gewonnen Aussagen sollten zu einer höheren Verkehrssicherheit beitragen können im Sinne der Vision Zero.

Die Ergebnisse der Phasen 3 und 4 werden in einem Abschlusskolloquium präsentiert. Vorzubereiten sind ein paar Präsentationsfolien sowie die zugehörige Live-Demo.

Termine

Phase 1 und 2 (schriftlich bzw. elektronisch): 05.01.2026

Phase 3 und 4 (mündlich): 17.03.2026 (Kolloq-Termine individuell in KW 13)

Als Datenbank-Plattform kann genutzt werden:

- Microsoft SQL Server (in der aktuellen Version): <https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server-downloads>

Für die konzeptuelle Modellierung des MDM-Schemas wird das Visio Stencil für ADAPT empfohlen [1].

Für die Datenauswertung und Visualisierung steht das Excel Add-In PowerPivot bereit, das mit MS SQL Server zusammenarbeiten kann [3] [4], für die mehrdimensionale Analyse können die SQL Server Analysis Services [5] genutzt werden. Beachten Sie dazu bitte auch die Hinweise im Dokument Softwareanforderungen im OPAL-Ordner Allgemeine Hinweise.

Das Projekt ist in Zweiergruppen durchzuführen.

Weitere Referenzen:

[1] ADAPT™: http://www.symcorp.com/tech_expertise_design.html

[2] Symmetry Corporation: Getting Started with ADAPT™. OLAP Database Design, White Paper: http://www.symcorp.com/downloads/ADAPT_white_paper.pdf

[3] A. Ferrari, M. Russo: Datenanalyse mit Microsoft Power BI und Power Pivot für Excel. Dpunkt Verlag, 2017.

[4] S. Giessen, R. Hein u.a.: PowerPivot: Einstieg in die Arbeit mit PowerPivot für Microsoft Excel 2013 (Taschenbuch). Create Space Independent Publishing, 2015.

[5] Microsoft: Mehrdimensionale Modellierung, SQL: <https://docs.microsoft.com/de-de/analysis-services/multidimensional-tutorial/multidimensional-modeling-adventure-works-tutorial?view=asallproducts-allversions>