



HoGent

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Een vergelijkende studie tussen Data Vault 2.0 en het dimensioneel model bij het modelleren van een datawarehouse.

Jorik Spiesschaert

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Stijn Lievens
Co-promotor:
Jochen Stroobants

Instelling: DHL Pharma-Logistics

Academiejaar: 2018-2019

Tweede examenperiode

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Een vergelijkende studie tussen Data Vault 2.0 en het dimensioneel model bij het modelleren van een datawarehouse.

Jorik Spiesschaert

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Stijn Lievens
Co-promotor:
Jochen Stroobants

Instelling: DHL Pharma-Logistics

Academiejaar: 2018-2019

Tweede examenperiode

Woord vooraf

Samenvatting

Inhoudsopgave

1	Inleiding	15
1.1	Probleemstelling	15
1.2	Onderzoeksvraag	16
1.3	Onderzoeksdoelstelling	16
1.4	Opzet van deze bachelorproef	16
2	Stand van zaken	17
2.1	Inleiding data warehousing	17
2.1.1	Soorten data	18
2.1.2	Wat is een data warehouse?	18
2.1.3	Waarom is er nood aan een data warehouse?	19
2.1.4	Wat is het doel van een data warehouse?	20
2.1.5	Wat is OLTP en wat zijn de verschillen met OLAP?	21

2.1.6	Wat zijn de benodigdheden voor een data warehouse?	22
2.2	Dimensioneel modelleren via Kimball	23
2.2.1	Architectuur	23
2.2.2	Componenten	24
2.3	Modelleren via Data Vault 2.0	25
2.3.1	Architectuur	26
2.3.2	Componenten	27
2.4	Rapporteringsomgevingen	29
2.4.1	Wat is een KPI?	30
2.4.2	Het magische kwadrant	30
2.4.3	SAP Analytics Cloud	31
2.4.4	Power BI	32
3	Methodologie	35
4	Rapporteringsnood	37
4.1	Context DHL Pharma Logistics	37
4.2	Dock-to-Stock proces	37
4.3	Dock-to-Stock onderworpen aan het SMART-principe	38
4.4	De formules voor het berekenen van de KPI	38
4.5	Hoe moet deze KPI bekeken kunnen worden?	38
5	Vorbereiding op het onderzoek	39
5.1	Inleiding	39
6	Vergelijkend Onderzoek	41

7	Conclusie	43
A	Onderzoeksvoorstel	45
A.1	Introductie	45
A.2	Literatuurstudie	46
A.2.1	Data Vault 2.0	46
A.2.2	Dimensioneel modelleren	47
A.3	Methodologie	47
A.3.1	Performatie	47
A.3.2	Audit	47
A.3.3	Schaalbaarheid	48
A.3.4	Flexibiliteit	48
A.4	Verwachte resultaten	48
A.5	Verwachte conclusies	48
	Bibliografie	49

Lijst van figuren

2.1	Het ETL-proces	23
2.2	Architectuur van een data warehouse op basis van het dimensioneel modelleren.	24
2.3	Ster schema voorgesteld door Kimball en Ross (2013).	25
2.4	Sterschema (links) en OLAP cube (rechts) voorgesteld door Kimball en Ross (2013).	26
2.5	Data Vault architectuur voorgesteld door Stroobants (2018).	26
2.6	Link entiteit die 2 hub entiteiten met elkaar verbindt. (D. Linsteadt & Olschimke, 2016).	28
2.7	Een voorbeeld van een data vault model (Bukhantsov.org)	30
2.8	Het magische kwadrant opgesteld door Gartner (2019).	32
2.9	Een voorbeeld van een dashboard gemaakt met SAP Analytics Cloud (sap.com)	33
2.10	Een voorbeeld van een dashboard gemaakt met Power BI (microsoft.com)	33
A.1	Data Vault architectuur voorgesteld door Stroobants (2018).	46

Lijst van tabellen

1. Inleiding

Beslissingen genomen door het management worden vaak ondersteund op basis van data en rapporteringen. Bij sommige bedrijven worden de benodigde data nog steeds manueel uitgerekend. Deze methodologie heeft enkele nadelen: kans op fouten, tijdrovend, ... Bedrijven die dit proces willen automatiseren en digitaliseren moeten hiervoor een data warehouse opbouwen. Data afkomstig uit verschillende bronnen worden dan ingeladen in één centrale plaats. Op basis van de data afkomstig uit een data warehouse kan een rapporteringsomgeving de data visualiseren, dashboards en rapporteringen opmaken. Het is gebruikelijk dat het data model in een data warehouse opgebouwd wordt aan de hand van een dimensioneel model. Dit kan ook gebeuren aan de hand van een ander model, genaamd Data Vault.

Bij DHL Pharma Logistics wordt een data warehouse opgebouwd aan de hand van het Data Vault model. Maar hoe onderscheid Data Vault zich met het dimensioneel model? Waar zitten de verschillen? Was de keuze voor Data Vault de juiste keuze voor de data warehouse voor DHL Pharma Logistics?

1.1 Probleemstelling

Wie interesse heeft in Business Intelligence of modelleren van data, is ongetwijfeld al in aanraking gekomen met het dimensioneel model. Maar dit is heus niet de enigste techniek die beschikbaar is voor het modelleren van data modellen. Data Vault 2.0 werd al geïmplementeerd bij bedrijven zoals IBM, Oracle en ING. Wat zouden de redenen kunnen zijn waarom deze bedrijven kiezen voor Data Vault? Met welke elementen onderscheidt Data Vault zich ten opzichte van het dimensioneel model? Dit onderzoek is gericht naar

BI consultants en alle belanghebbenden.

1.2 Onderzoeksvraag

In dit onderzoek wordt een vergelijkende studie uitgevoerd tussen het dimensioneel modelleren en Data Vault 2.0, dit toegepast op een case bij DHL Pharma Logistics. Er wordt onderzocht waar de verschillen zitten bij het modelleren met Data Vault 2.0 en het dimensioneel modelleren. Er zal een antwoord trachten gevonden te worden op volgende deelvragen:

- **Performantie:** is er een significant verschil tussen de performantie tussen beide modellen?
- **Audit:** hoe wordt er omgegaan met de traceerbaarheid in beide modellen?
- **Schaalbaarheid:** hoe wordt er omgegaan met grote volumes data?
- **Complexiteit:** zijn beide modellen makkelijk begripbaar (voor IT en business)?
- **Flexibiliteit:** hoe makkelijk kunnen wijzigingen/toevoegingen gemaakt worden in beide systemen?

1.3 Onderzoeksdoelstelling

DHL Pharma Logistics wil een data warehouse ontwerpen voor hun rapporteringen te kunnen automatiseren. De data warehouse zal gemodelleerd worden via Data Vault. De vraag is echter of dit een juiste beslissing was. De andere mogelijkheid was om de data warehouse te ontwerpen via het dimensioneel ontwerpen.

1.4 Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 7, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2. Stand van zaken

Dit hoofdstuk bevat een literatuurstudie omtrent data warehousing. Na het lezen van dit hoofdstuk zullen begrippen zoals dimensioneel modelleren, Data Vault 2.0 en data warehousing jou niet meer onbekend zijn en waarom er nood is aan data warehousing. Je zal in staat zijn om een eerste Data Vault model en een dimensioneel model te kunnen schetsen.

2.1 Inleiding data warehousing

Torture the data, and it will confess to anything.

Ronald Coase
Winnaar Nobelprijs in Economie (1991)

Veel moderne, digitale bedrijven genereren tegenwoordig enorme volumes data. Deze data kan afkomstig zijn uit verschillende bronnen: ERP/CRM-systeem, flat-files (bijvoorbeeld Excel-sheets), big data, ... Bestuursleden gebruiken data om beslissingen te nemen die de onderneming toelaat om te (blijven) groeien of om bepaalde problemen op te sporen. Stel dat een onderneming meer kosten heeft dan opbrengsten, dan kunnen we op basis van alle gegevens die het bedrijf bezit een analyse maken. Zijn er overbodige kosten? Worden onze producten/diensten aan een te lage prijs verkocht? Dit zijn maar enkele vragen die kunnen opgelost worden wanneer het bestuur de correcte rapporteringen ontvangt. Ook wordt een data warehouse gebruikt om gegevens aan te leveren om budgetten op te stellen voor de komende jaren en om van forecasting gebruik te maken. Zo kan er bijvoorbeeld een

beslissing gemaakt worden welk budget er moet toegekend worden aan de verschillende afdelingen.

Om alles nog even samen te vatten: een data warehouse levert data aan een rapporteringsomgeving. Op basis van deze data worden beslissingen ondersteund.

2.1.1 Soorten data

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende soorten data. Voornamelijk kunnen we informatie opdelen in drie categorieën: gestructureerde, semi-gestructureerde en ongestructureerde data. Volgens Langseth, Vivatrat en Sohn (2005), bestaat 95% van de globale informatie uit ongestructureerde data.

Gestructureerde data

Data afkomstig uit een relationele databank (RDBMS) is meestal gestructureerd. Deze data is meestal ingedeeld in categorieën, denk bijvoorbeeld maar aan postcode, naam, klantnummer, ... Hieruit volgt dat deze data heel gemakkelijk te doorzoeken is.

Semi-gestructureerde data

Data afkomstig uit IoT-apparaten of XML-bestanden zijn meestal semi-gestructureerd. In deze data is een bepaalde structuur te herkennen, maar deze data zit niet in een bepaalde tabel-structuur.

Ongestructureerde data

Deze informatie kan niet gemakkelijk worden opgeslagen in relationele databanken (er kan hiervoor geen primair datatype gebruikt worden, maar bijvoorbeeld wel als een BLOB-type). Denk maar aan Excel-sheets, emails, muziek, ... Deze data bevat vaak ook heel nuttige informatie die organisaties graag willen gebruiken. Denk bijvoorbeeld maar aan emails: hoe gelukkig zijn klanten over een bepaald product? Hoeveel mails worden er maandelijks ontvangen met klachten?

2.1.2 Wat is een data warehouse?

De definitie van een data warehouse luidt als volgt: *'een subject-georiënteerde, geïntegreerde, tijd-variante, niet-vluchtige collectie van gegevens die in eerste instantie gebruikt wordt bij organisaties om beslissingen te nemen'* (Bill Inmon).

Subject-georiënteerd

Dit begrip slaat op het feit dat een data warehouse gebouwd is met als doel het analyseren van data, niet om transacties op toe te passen. Dit wordt uitgebreid besproken in subsectie 2.1.5.

Geïntegreerd

Dit betekent dat de data warehouse een 'centrale' databank is die gegevens bevat vanuit verschillende bronsystemen (bijvoorbeeld gegevens uit het klantenbestand en gegevens uit het verkoopsysteem).

Tijd-variant

Alle data van het verleden, moet terug te vinden zijn in de data warehouse. Dit betekent dat data uit het verleden (bijvoorbeeld een vorige factuur van een klant) moet beschikbaar zijn, ook al is de data in het transactioneel systeem aangepast. Dit wordt toegepast op transactionele data, minder op master data.

Niet-vluchtig

De data die in het systeem zit, moet onveranderlijk zijn, ook al is de data foutief. Om de foutieve data toch aan te passen, zal er een nieuwe rij moeten toegevoegd worden die de juiste data bevat, die een hogere versie bevat dan de vorige rij.

Conclusie

We kunnen dus uit de definitie van een data warehouse afleiden dat het een grote databron is die alle (gestructureerde semi-gestructureerde en ongestructureerde) gegevens bevat die een organisatie bezit vanaf het moment dat de data warehouse geïmplementeerd werd tot het heden. Op deze databron worden dan analyses gemaakt.

2.1.3 Waarom is er nood aan een data warehouse?

Een organisatie heeft tegenwoordig heel wat data ter beschikking. Vaak is deze data gefragmenteerd over verschillende systemen. Wanneer men een analyse wil maken op basis van de verspreide data, zal dat niet evident zijn.

Om deze reden wordt een data warehouse ontworpen. Hierin worden gegevens, verspreid over meerdere bronnen, in één centrale plaats verzameld. Zo kunnen rapporteringen makkelijk en flexibel opgebouwd worden.

Een andere reden voor het opbouwen van een data warehouse is dat je de historiek van alle data kan bijhouden. Wanneer er bijvoorbeeld gegevens aangepast zijn in het transactionele

systeem, dan zijn de oude gegevens vaak moeilijk te achterhalen (omdat deze dat vaak overschreven wordt). Door verschillende versies bij te houden van entiteiten, kan je oudere data makkelijk opzoeken.

Wanneer men rapporteringen wil opvragen aan het transactionele systeem, vergt dit ook extra belasting van de server. Dit komt doordat dat datamodel opgebouwd werd niet geoptimaliseerd is om zware SELECT-queries af te handelen. Dit zou niet alleen de server (van het transactionele systeem) meer belasten, bovendien zal dit ook zorgen voor een tragere rapportering. Indien de server te veel rapporteringen zou moeten opvragen, zou dit kunnen leiden tot een overbelasting waarbij transacties niet meer mogelijk zouden kunnen zijn.

2.1.4 Wat is het doel van een data warehouse?

Het belangrijkste doel van een data warehouse is om een **correcte** rapportering te leveren. Dit zorgt ervoor dat het beslissingsnemingsproces ondersteunt wordt die genomen wordt door het management.

Data kwaliteit

Zoals eerder aangekaart, is het belangrijk dat rapporten de juiste gegevens bevat. Hieruit volgt dat data kwaliteit een heel belangrijk aspect is. Vaak zijn er verschillende oorzaken waarom de data kwaliteit niet voldoet:

- Inconsistente data tussen verschillende systemen
- Incorrecte gegevens
- Onvoldoende validatie bij het invoeren van gegevens
- Onjuiste gegevensbewerkingen
- ...

(Helfert, Zellner & Sousa, 2002)

Gegevens die in een data warehouse geladen worden, ondergaan een proces (zie paragraaf 2.1.6). In dit proces wordt de data gemanipuleerd zodat de data kwaliteit verhoogd wordt.

Performantie

We kunnen een onderscheid maken tussen 3 verschillende soorten beslissingen: operationele (dagelijks), tactische (jaarlijks) en strategische (lange termijn) beslissingen. Wanneer we operationele rapporten nodig hebben, verwachten we dan ook dat deze onmiddellijk kunnen opgeleverd worden. Het datamodel van een data warehouse wordt geoptimaliseerd voor het ophalen van data in plaats van het te kunnen stockeren. De data wordt 's nachts ingeladen zodat werknemers geen performantieproblemen hieromtrent ondervinden.

De toekomst Door de komst van in-memory databanken merken we op dat een deel van de (operationele) rapportering opnieuw verhuist naar de transactionele databanken. Dit heeft enerzijds te maken met de snelheid van de databanken en anderzijds met het feit dat queries om operationele rapporten op te vragen gebruikelijk niet zo belastend zijn. Zo kan er gewerkt worden met **live data** (doordat deze niet 's nachts moet ingeladen worden in de data warehouse). De voorwaarde hiervoor is dat alle benodigde data beschikbaar is binnen dat geïntegreerd systeem. Een voorbeeld van een in-memory databank is HANA, een technologie ontwikkelt door SAP.

Automatisering

Doordat alle rapporteringsnaden geautomatiseerd kunnen worden, heeft dit natuurlijk als voordeel dat personeelsleden deze niet meer manueel hoeven te maken/berekenen. Zo kunnen ze hun tijd spenderen aan andere prioriteiten. Deze data kan dan worden voorgesteld in een overzichtelijke omgeving (zie sectie 2.4). Bovendien zal er ook een kleinere kans zijn op fouten.

2.1.5 Wat is OLTP en wat zijn de verschillen met OLAP?

On-line transactional processing (OLTP) systemen zijn voornamelijk klantgericht. Het datamodel is opgebouwd rond het efficiënt verwerken van transacties. On-line analytical processing (OLAP) systemen zijn marktgericht. De data in een OLAP-systemen worden gebruikt om analyses op uit te voeren (Satyanarayana, 2010).

Inhoudelijk

Bij OLAP systemen worden metadata opgeslagen bij de entiteiten. Voorbeelden hiervan zijn: tijdstip van inladen, van welke bron de data komt, ... Het grote voordeel hierbij is dat wanneer een fout gebeurt, er gemakkelijker kan achterhaald worden waar het fout liep. Ook wordt de historische data ook bewaard, in tegenstelling tot OLTP. Bij OLTP wordt de te wijzigen data overschreven. Het gevolg hiervan is dat de volume data bij OLAP doorgaans groter zal zijn.

Toegankelijkheid

Wanneer men data wil verkrijgen/wijzigen in een OLTP systeem, moet er rekening gehouden met een aantal aspecten. Een transactie in een OLTP omgeving moet voldoen aan enkele eisen:

- **Atomic:** Wanneer een transactie afgebroken is, mag er niets gewijzigd zijn in de databank.
- **Consistent:** Als een deel van de transactie faalt, zullen alle doorgevoerde wijzigingen in die transactie ongedaan gemaakt worden en zal de databank terugkeren naar een consistente staat.

- **Isolated:** Transacties worden geïsoleerd, transacties mogen in geen enkel geval elkaar beïnvloeden.
- **Durable:** Wanneer een transactie is doorgevoerd, kan deze niet meer ongedaan gemaakt worden.

Bij een OLAP-systeem worden geen transacties doorgevoerd, enkel leesopdrachten. Dat vermindert de complexiteit en verhoogt de snelheid van de queries (Satyanarayana, 2010).

2.1.6 Wat zijn de benodigdheden voor een data warehouse?

Voor er kan begonnen worden met het opbouwen van een data warehouse, zijn er enkele benodigdheden. Zo zal er een keuze moeten gemaakt worden voor een bepaalde methodologie en een architectuur. Ook zal er een fysieke opslagplaats nodig zijn. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van Cloud oplossingen of een on-premise server. Maar in dit hoofdstuk bespreken we welke software-aspecten er nodig zijn bij het opbouwen van de data warehouse.

RDBMS

Voor het opmaken en beheren van de data warehouse zal er een RDBMS moeten gekozen worden. Hiervoor zijn heel wat mogelijkheden beschikbaar op de markt. Bijvoorbeeld:

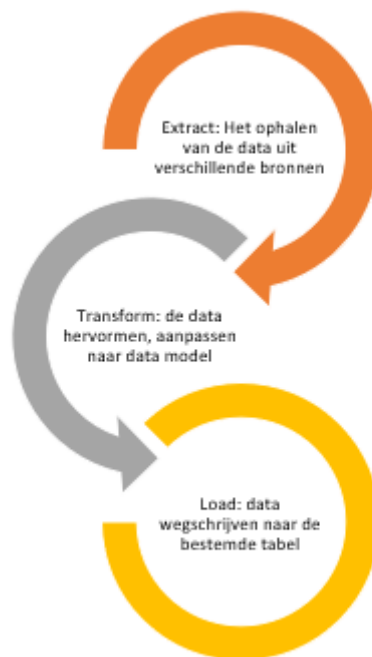
- Oracle DB
- Microsoft SQL Server
- IBM DB2
- Microsoft Office Access
- ...

Klassieke databanken slaan hun gegevens op op harde schijven en/of SSD's. Maar sinds kort zien we de komst van een nieuwe technologie, genaamd een in-memory databank. Hierbij worden de gegevens initieel opgeslagen in het RAM-geheugen. Dit zorgt voor een veel snellere lees- en schrijftijd. Het nadeel van deze nieuwe technologie is het prijskaartje.

Data integratie software

Het data inladen is een proces dat verantwoordelijkheid draagt voor de data integratie software, al is dat niet zijn enige verantwoordelijkheid. De software is verantwoordelijk voor het gehele ETL-proces (zie visualisatie 2.1):

- **Extraction:** Ophalen van de data vanuit de bron
- **Transformation:** Transformaties en manipulaties uitvoeren op die data
- **Load:** De data wegschrijven naar de nieuwe bron



Figuur 2.1: Het ETL-proces

2.2 Dimensioneel modelleren via Kimball

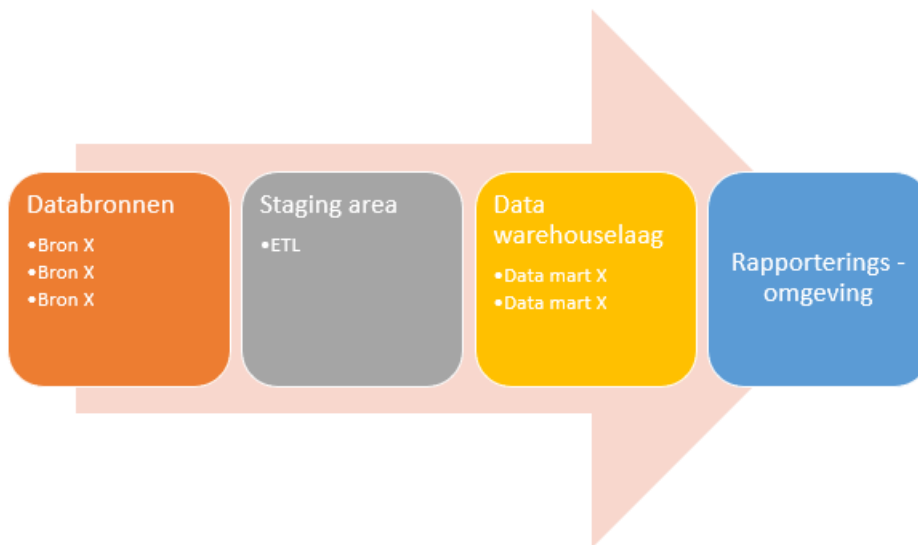
Wie consultant Business Intelligence is, heeft ongetwijfeld al gehoord van dimensioneel modelleren. Over de jaren heen is het als het ware een standaard geworden wanneer men een data warehouse wil ontwerpen. Dimensioneel modelleren heeft als voordeel dat het model niet complex is, dus gemakkelijk te begrijpen, zelf voor niet IT-opgeleide personen. Ook is er vaak een snel resultaat beschikbaar. In deze sectie zal het dimensioneel modelleren aan de hand van Kimball dieper bekeken worden.

2.2.1 Architectuur

Bij het dimensioneel modelleren wordt het proces opgedeeld in 2 soorten lagen: de staging area en de data warehouselaag. In de data warehouselaag worden de data marts opgebouwd. Rapporteringsomgevingen connecteren met de data marts om hun data op te halen.

Staging area

In deze laag wordt het ETL-proces toegepast. Eerst en vooral wordt de data vanuit één of meerdere bronnen in de data warehouse geladen. Daarna wordt de data bewerkt en gemanipuleerd. Bijvoorbeeld records met bepaalde lege waarden weglaten. De data kwaliteit (zoals eerder aangekaart) is zeer belangrijk in een data warehouse. Het doel is om de toegekomen data consistent te maken en ervoor te zorgen dat de integriteit gewaarborgd blijft (Kimball & Ross, 2013)



Figuur 2.2: Architectuur van een data warehouse op basis van het dimensioneel modelleren.

Data warehouselaag

In deze laag worden OLAP-cubes of relationele ster schema's gemaakt op basis van de staging area. Deze laag kan eigenlijk als de presentatielaag beschouwd worden. Deze laag moet gedetailleerde data bevatten. Een data mart moet gebaseerd zijn rond een business unit (Kimball & Ross, 2013).

2.2.2 Componenten

Een sterschema of OLAP-cube bestaat uit dimensies en facts. Wat deze precies zijn, wordt hieronder uitgelegd.

Dimension tabel

Voor elke dimensie wordt een primary key aangemaakt (of afkomstig uit het systeem als business sleutel). Deze sleutel wordt gebruikt in een fact tabel als foreign key, zodat er een relatie kan worden gelegd tussen beide attributen.

Naast de primary key wordt in deze tabel ook de beschrijvende data bewaard voor een bepaalde rij. Deze data kan gebruikt worden om in de rapporteringsomgeving de verschillende assen te kiezen. Een typisch attribuut is bijvoorbeeld 'naam' of 'woonplaats' voor de dimensie 'Customer'.

Fact tabel

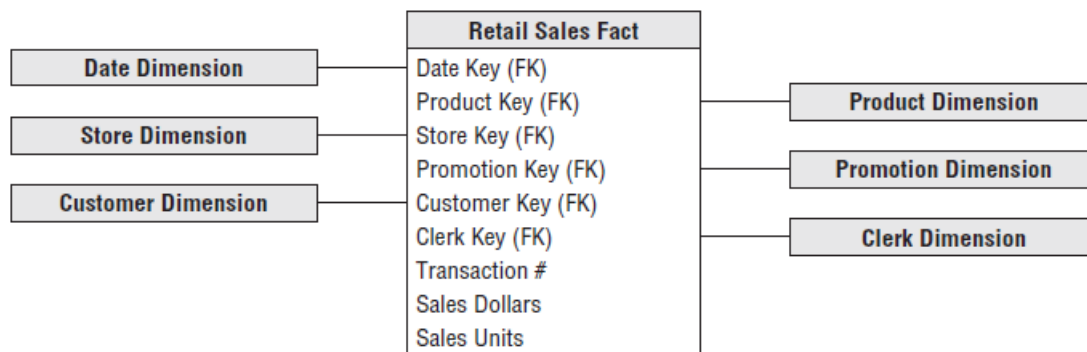
In een fact tabel worden alle meetbare cijfers bijgehouden. Meetbare cijfers betekent dat bewerkingen moeten mogelijk zijn op die data. Een bankrekeningnummer is een getal, maar hier kunnen geen bewerkingen met uitgevoerd worden (bijvoorbeeld gemiddelde

bankrekeningnummer geven). Facturatiebedrag is een goed voorbeeld. Hierop kunnen enkele bewerkingen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld: gemiddelde, minimum, maximum, totaal, Deze gegevens worden in vaktermen als **measures** aangeduid.

De fact tabel bevat niet alleen measures, maar ook de foreign keys van de dimensies waarmee het verbonden is. Zo kan je bruikbare informatie toevoegen aan je measure in de rapporteringsomgeving.

Ster schema

In een ster schema worden dimensies en fact tabellen verbonden door enerzijds de primaire sleutels in de dimensies, en anderzijds bij de vreemde sleutels in de fact tabel. Wanneer meerdere tabellen verbonden worden met elkaar zien we een centraal punt in het model, dat de fact tabel is (zie figuur 2.3).



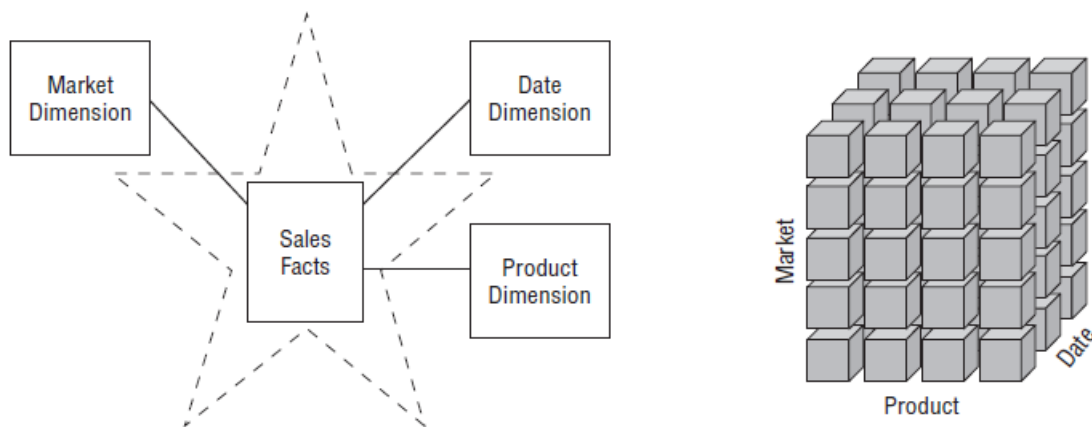
Figuur 2.3: Ster schema voorgesteld door Kimball en Ross (2013).

Verschil tussen een sterschema en een OLAP-cube

Het verschil tussen beide zit niet in het ontwerp, maar puur in het 'fysieke' gedeelte. OLAP cubes zijn geoptimaliseerd voor een drill down of een drill up te doen in de gegevensset. Drill down betekent dat de gegevens op een dieper detailniveau zullen bekeken worden, bijvoorbeeld vertrekkend uit een productcategorie niveau, ga je naar een productniveau. OLAP cubes zorgen ervoor dat er meer analytische functies beschikbaar zijn in vergelijking met SQL. Maar als nadeel heeft de OLAP cubes dat het niet zo performant is als een ster schema (zie figuur 2.4). (Kimball & Ross, 2013).

2.3 Modelleren via Data Vault 2.0

Data Vault 2.0 is een modelleertechniek die ontworpen is door Daniel Linstedt. Het model zorgt ervoor dat dimensies gemakkelijk uitgebreid kunnen worden en dat databronnen toevoegen vlot moet gaan. Linstedt is van mening dat business requirements vaak veranderen,

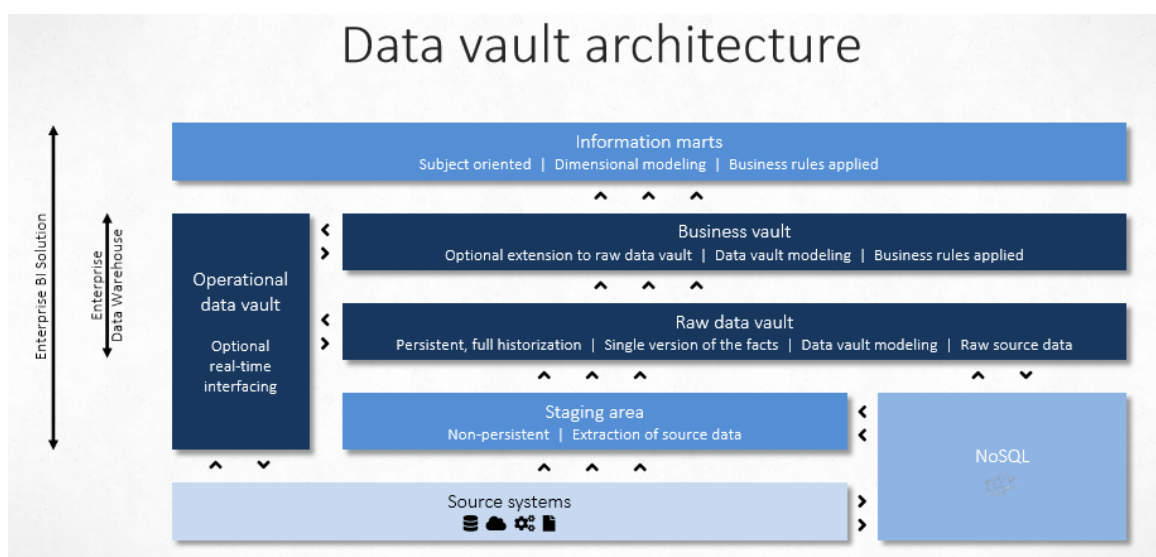


Figuur 2.4: Sterschema (links) en OLAP cube (rechts) voorgesteld door Kimball en Ross (2013).

dus moet het model waarin de data warehouse ontworpen is ook flexibel zijn. (D. Linstedt & Olschimke, 2016)

2.3.1 Architectuur

Data vault maakt gebruik van een 3-lagen model. Dit heeft als voordeel dat processen duidelijk kunnen onderscheiden worden per laag en alles overzichtelijk blijft. Deze architectuur ondersteunt om data op halen via een batch, maar ook om live data op te halen. NoSQL kan ook gebruikt worden om de data warehouse te ontwerpen. Wanneer de data live opgehaald wordt, valt de staging area weg en wordt de data onmiddellijk in de raw data vault geladen. (D. Linstedt & Olschimke, 2016)



Figuur 2.5: Data Vault architectuur voorgesteld door Stroobants (2018).

Staging area

In deze laag wordt alle data ingeladen (of een virtuele tabel gebruikt) van een bepaalde bron via een batch. Hier wordt alle data onbewerkt ingeladen. Deze data bevat dan ook nog geen historische metadata. De tabel worden dus gedupliceerd van de bron(nen). Deze laag is niet persistent.

Raw data vault

De data wordt overgeladen van de staging area naar de raw data vault via het ETL-proces (2.1.6). Deze laag is persistent, logisch ook wanneer we verschillende versies en de historie behouden van onze entiteiten. Vanaf deze laag beginnen we te modelleren in Data Vault. De data wordt in deze laag gemanipuleerd (ofwel getransformeerd (ETL)). Ook wordt er metadata toegevoegd aan de records zodat er audits kunnen plaatsvinden.

Business vault

Dit is een optionele laag. Deze laag wordt enkel en alleen toegevoegd wanneer er 'Business regels' moet toegepast worden in het model. De business vault wordt in principe niet opgeslagen in een aparte laag, maar vaak wordt deze opgeslagen als een uitbreiding van de raw data vault. Een voorbeeld van een 'Business rule' is dat je bijvoorbeeld geen producten wil promoten wanneer er minder dan 10 in voorraad zijn.

Information marts

Vertrekkend uit de business vault (of raw data vault) zullen er information marts moeten aangemaakt worden, ook wel bekend als data marts. D. Linstedt en Olschimke (2016) spreek liever over 'information' mart omdat het doel van een enterprise data warehouse duidelijk is: informatie aanbieden. De information marts bestaan uit sterschema's. Hierop connecteren de eindgebruikers om hun informatie te verkrijgen.

2.3.2 Componenten

Een data vault model bestaat uit 3 soorten componenten: hubs, links en satellites. Elk component heeft zijn functie en zijn doel.

Hubs

D. Linstedt en Olschimke (2016) beschrijft hubs als pilaren voor het Data Vault model. Een hub bestaat altijd uit minimaal 4 attributen:

- **Hashkey (PK):** Als primary key van de entiteit wordt een gehashte identifier van de entiteit gebruikt.
- **LoadDate:** Datum/tijdstip wanneer de record is ingeladen

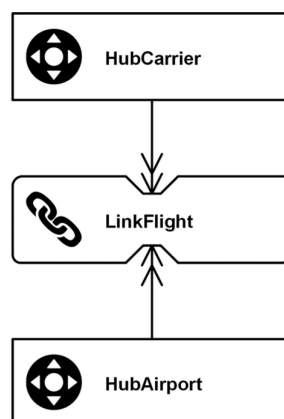
- **Record source:** Van welke databron is de record afkomstig?
- **Business key(s):** De business key(s) van de bijhorende entiteit

De business key is een unieke sleutel, die vaak een betekenis heeft naar de business. Voorbeelden zijn: ISBN-nummers, Klantnummer, Chassisnummer, ...

Hubs zijn vooral heel handig wanneer er meerdere databronnen zijn, zo kan je meerdere bronnen aan een hub hangen. In een hubs zit nooit andere data behalve een hash key, metadata en business keys.

Links

Wanneer we 2 hub-entiteiten willen verbinden, zullen we ze niet rechtstreeks met elkaar verbinden. Twee hub-entiteiten worden namelijk verbonden door middel van een link. Andere verantwoordelijkheden voor een link zijn hierarchieën, redefinities of business termen. De bedoeling is om een zo laag mogelijke granulariteit te creëren. Links zorgen ervoor dat het data vault model heel flexibel wordt en makkelijk uitbreidbaar is.



Figuur 2.6: Link entiteit die 2 hub entiteiten met elkaar verbindt. (D. Linstedt & Olschimke, 2016).

Ook bij links moeten er een aantal attributen aanwezig zijn:

- **Hashkey (PK):** Als primaire sleutel van de entiteit worden alle business keys gehasht naar 1 sleutel.
- **LoadDate:** Datum/tijdstip wanneer de record is ingeladen
- **Record source:** Van welke databron is de record afkomstig?
- **Business key(s):** Alle business key(s) van de 2 gelinkte hub-entiteiten

Satellites

In een satellite worden alle gegevens gestockeerd die een business object, relatie of transactie beschrijven. In de entiteit zelf is het belangrijk dat de historiek wordt bijgehouden (D. Linstedt & Olschimke, 2016).

Bij een satellite vinden we minstens volgende attributen terug:

- **Parent Hashkey (PK):** Als primaire sleutel van de entiteit worden alle business keys gehasht naar 1 sleutel.
- **LoadDate (PK):** Datum/tijdstip wanneer de record is ingeladen
- **Record source:** Van welke databron is de record afkomstig?
- **End load date:** Hierin wordt het moment geladen wanneer de entiteit niet meer gebruikt wordt (belangrijk voor het bewaren van de historiek). Wie vertrouwt is met het dimensioneel modelleren, kan dit vergelijken met het principe van slow changing dimensions.

Een satellite hoort bij een hub of een link. Een hub en een satellite vormen een bepaald business object. Hier is de primary key een composite key, dat bestaat uit een Parent Hashkey en een LoadDate. Deze combinatie is nodig om nieuwe versies van data te kunnen toevoegen.

Data Vault schema

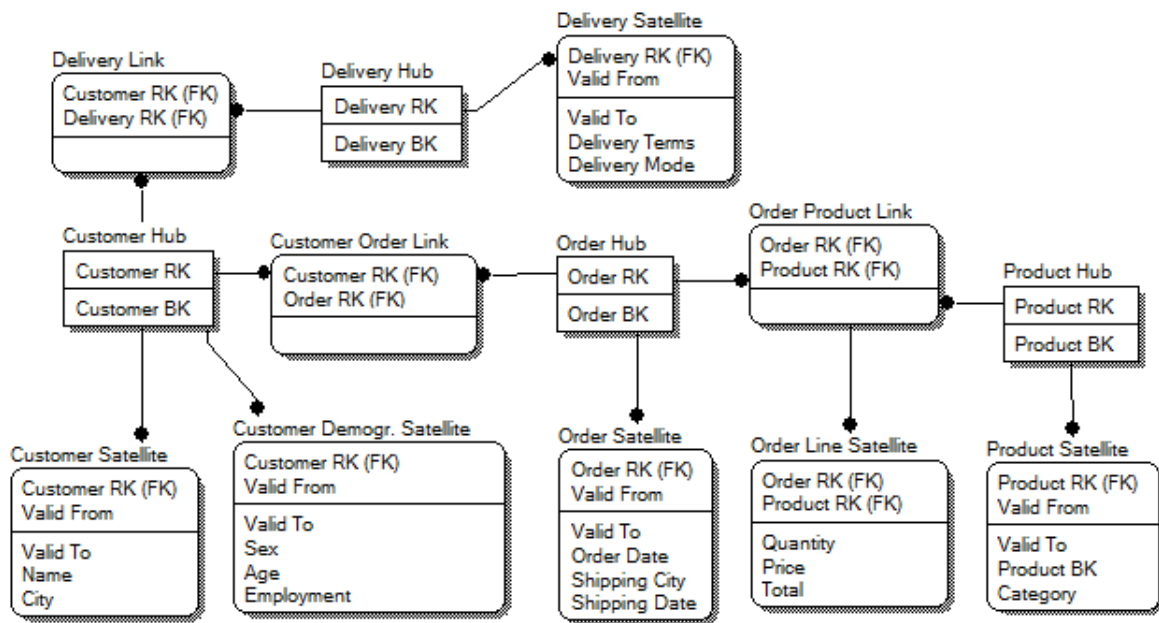
Wanneer we zowel hubs, links als satellites samengieten in één schema, bekommen we een data vault. Wel zijn er nog enkele belangrijke opmerkingen:

- Hubs mogen nooit rechtstreeks verbonden met elkaar, dit moet altijd gebeuren via een link (anders verliest het model zijn flexibiliteit).
- Een link kan meer dan 2 hubs verbinden.
- Satellites kunnen zowel met hubs als links verbonden worden.
- Hubs/links kunnen meerdere satellites hebben: deze staan meestal voor verschillende databronnen.
- Een satellite kan maar verbonden worden met 1 hub of link.

Dit model heeft veel flexibiliteit te bieden. Enerzijds kan er gemakkelijk nieuwe hubs toevoegen door een nieuwe link te leggen. Ook kan heel gemakkelijk een nieuwe gegevensbron toevoegen, dit wordt gedaan door een nieuwe satellite toe te voegen aan een bestaande hub.

2.4 Rapporteringsomgevingen

Wanneer alle data in de data warehouse ingeladen en getransformeerd is, moet het mogelijk zijn om visuele en interactieve rapporten op te stellen. Op basis van deze rapporten kan het management beslissingen gaan nemen. Ook kunnen dashboards opgesteld worden voor werknemers die een high level overzicht nodig hebben. De bedoeling in deze sectie is om een schets te geven van de rapporteringsomgevingen die op de markt beschikbaar zijn.



Figuur 2.7: Een voorbeeld van een data vault model (Bukhantsov.org)

2.4.1 Wat is een KPI?

Een Key Performance Indicator (KPI) is een doelstelling uitgedrukt als een cijfer voor een bepaalde actie van een bedrijf. Een KPI is niet sector gebonden, maar wordt bepaald door het management van een onderneming. Het is een doelstelling die het bedrijf moet verwezelijken. Vaak worden deze doelstellingen op lange termijn bepaald.

Een KPI moet opgesteld zijn aan de hand van het SMART-principe:

- **Specifiek:** een KPI moet duidelijk geformuleerd worden.
- **Meetbaar:** Er moet kunnen vastgesteld worden wanneer een doel bereikt is.
- **Acceptabel:** Is de KPI acceptabel?
- **Realistisch:** Is het behalen van deze KPI realistisch?
- **Tijdsgebonden:** Wanneer moet de KPI behaald worden?

Alle KPI's samen vormen de rapporteringsnaden op strategisch niveau.

2.4.2 Het magische kwadrant

Gartner (2019) maakte een vergelijkende studie tussen verschillende Business Intelligence platvormen. Als meetpunt werd in deze studie rekening gehouden met 15 cruciale features:

- **Administratie, beveiliging en architectuur:** administratie gebruikers, beveiliging garanderen, controleren wie toegang heeft en indien nodig, een herstel kunnen uitvoeren.
- **Platform-as-a-service:** heeft de software een omgeving beschikbaar in de cloud?
- **Connecteren naar databronnen:** kunnen gebruikers verbinden naar verschillende

databronnen (ongestructureerde data, gestructureerde data, ..)?

- **Beheer van metadata:** mogelijkheid aanbieden om te kunnen werken met metadata (zoeken, opslaan, herstellen, ...).
- **Opslag en laden:** mogelijkheden voor het integreren, transformeren en het laden van gegevens.
- **Voorbereiden van gegevens:** op welke manieren is het voorbereiden van gegevens mogelijk? Kan er gebruikt worden van machine learning hierbij?
- **Schaalbaarheid:** hoe wordt er omgegaan met enorme volume data, complexe data modellen, zijn de prestaties geoptimaliseerd, en hoe gaat de omgeving om met veel gebruikers?
- **Geavanceerde analyses voor data scientists:** Zijn de geavanceerde analytische mogelijkheden makkelijk beschikbaar of moet er externe ontwikkelde software geïmplementeerd worden?
- **Dashboards:** De mogelijkheid om interactieve dashboards te creëren, is werken met geo-informatie mogelijk?
- **Verkennen:** kunnen gebruikers data analyseren en manipuleren door te werken met een interactieve presentatie van die gegevens?
- **Augmented data ontdekken:** kan data ontdekt worden door natural language query (NLQ) technologie? Kan het automatisch uitzonderingen, clusters, links en voorstellingen vinden en visualiseren?
- **Invoeren van Analytics in externe applicaties:** kunnen deze dashboards of visualiseringen in een andere omgeving makkelijk worden ingevoerd?
- **Publiceren, delen en samenwerken:** kunnen gebruikers de inhoud publiceren, delen of samenwerken met anderen om visualisaties te realiseren of bekijken?
- **Gebruiksgemak, visuele aantrekkelijkheid en de integratie van de workflow:** is het platform makkelijk te gebruiken en beheren? Kan de data visueel aantrekkelijk voorgesteld worden? Kan de tool makkelijk geïmplementeerd worden in huidige workflows?

Op basis van deze features werden de verschillende Business Intelligence platformen verdeeld in vier kwadranten naargelang hun visie en naar hoelang ze deze realiseren. De vier kwadranten zijn: niche-spelers, uitdagers, visionairs en marktleiders.

In deze literatuurstudie bekijken we enkel de mogelijkheden die 2 grootmachten in de ERP-markt (Microsoft en SAP) aanbieden, maar er zijn dus nog een aantal andere opties beschikbaar om rapporteringen visueel aantrekkelijk te maken.

2.4.3 SAP Analytics Cloud

Bij SAP Analytics Cloud kan er gebruik gemaakt worden van realtime analytics. Hiervoor is live data nodig en deze wordt opgehaald in het transactionele systeem. Indien gewenst, kan er toch nog steeds gewerkt worden met een batch die 's nachts geladen wordt.

Analytics cloud biedt heel veel mogelijkheden om interactieve dashboards te ontwerpen. Waar SAP Analytics Cloud zich onderscheidt met de andere spelers, is dat er in deze omgeving planning kan worden toegepast. Er kunnen budgetten opgesteld worden voor



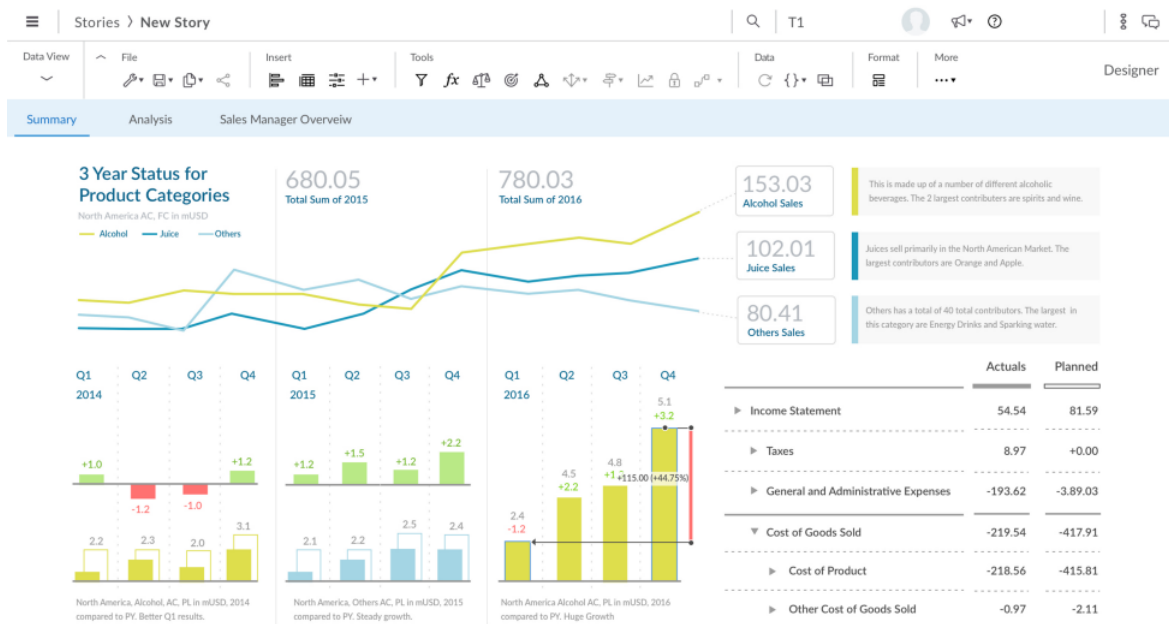
Figuur 2.8: Het magische kwadrant opgesteld door Gartner (2019).

de komende jaren (bijvoorbeeld IT-kosten), en deze kunnen dan vergeleken worden met de actuele kosten op dat momenten. Wanneer een bedrijf deze planning-feature wil implementeren, moeten ze hiervoor een aparte licentie aanschaffen.

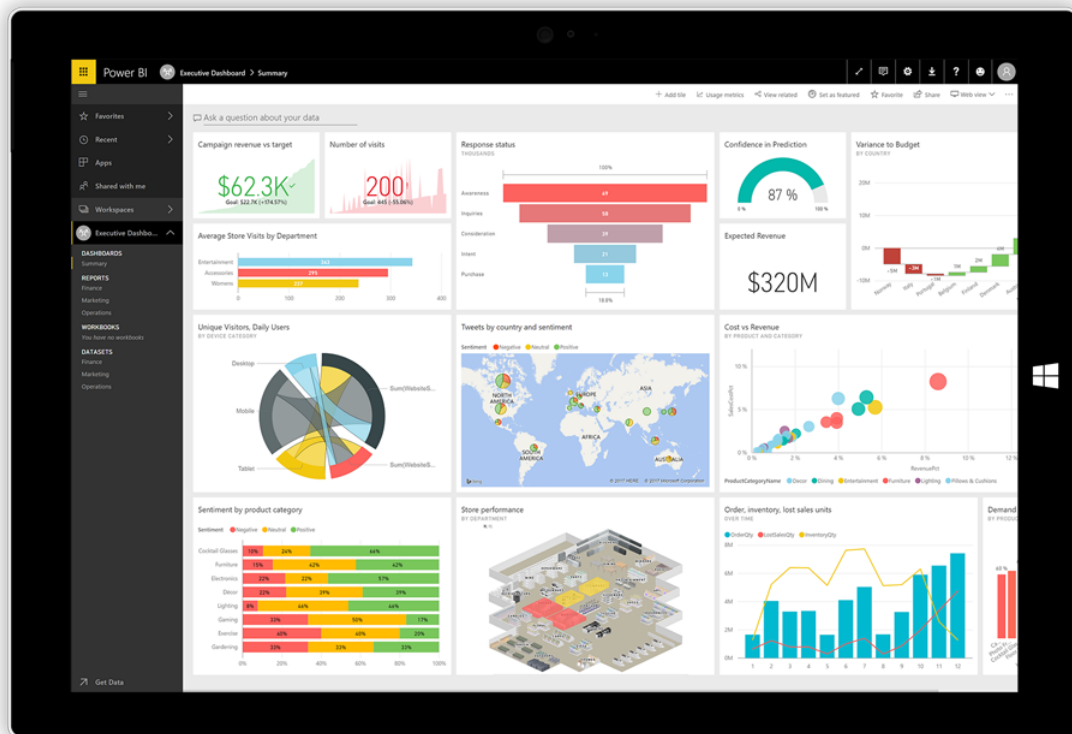
2.4.4 Power BI

Power BI is het programma bij uitstek dat gebruikt wordt bij datavisualisatie van ontwikkelaar Microsoft. PowerBI is een uitstekende keuze wanneer bedrijven Office 365 en microsoft Dynamics geïmplementeerd hebben in hun infrastructuur.

In tegenstelling tot SAP Analytics cloud kan je Power BI wel on-premise installeren. Maar indien gewenst, kan er steeds gebruik gemaakt worden van een cloud-omgeving.



Figuur 2.9: Een voorbeeld van een dashboard gemaakt met SAP Analytics Cloud (sap.com)



Figuur 2.10: Een voorbeeld van een dashboard gemaakt met Power BI (microsoft.com)

3. Methodologie

In Rapporteringsnood (hoofdstuk 4) wordt de te implementeren Key Performance Indicator (KPI) toegelicht. Er wordt in detail overlopen wat de KPI betekent en wat er exact moet berekend worden.

Daara zal het onderzoek opgedeeld worden in twee onderdelen: het voorbereidende werk en het vergelijkend onderzoek.

In het voorbereidende werk beschrijven we wat de benodigdheden zijn voor dit experiment en worden twee data warehouses stap voor stap opgebouwd. De ene data warehouse gebaseerd op het dimensioneel model, de andere data warehouse gebaseerd op Data Vault. Het gehele ETL-proces (2.1.6) wordt neergepend in deze paper voor zowel Data Vault als voor het dimensioneel model. Hierdoor kan het experiment (indien gewenst) nagebootst worden. De gebruikte data-files zal als bijlage toegevoegd worden aan dit document.

In het vergelijkend onderzoek zal de onderzoeksvraag en deelvragen beantwoord worden.

4. Rapporteringsnood

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de rapporteringsnood is voor DHL Pharma Logistics. Er wordt duidelijk beschreven wat de KPI is en deze wordt gemeten aan de hand van het SMART-principe.

4.1 Context DHL Pharma Logistics

DHL Pharma Logistics is een divisie van de logistieke grootmacht DHL Supply Chain. PHL Pharma Logistics is verantwoordelijk van de opslag en het bewaren van allerlei medische producten. Bij het stokeren van medische producten moet er met allerlei zaken rekening gebouwen worden: temperatuur, houdbaarheid, ... DHL Pharma Logistics hun verantwoordelijkheid ligt bij de opslag en niet bij het vervoeren van deze middelen. DHL Pharma Logistics ontvangt de goederen van labo's (ontwikkelaars van de medicatie) en houden deze goederen bij tot deze moeten verzonden worden naar de klant (ziekenhuizen, apothekers, ...).

4.2 Dock-to-Stock proces

Labo's sluiten met DHL Pharma Logistics een periode af waarin de goederen vanaf het dock-tijdstip (wanneer de vrachtwagen toekomt aan de juiste poort) totdat de goederen op de juiste plaats gestokeerd zijn op de juiste plaats. Deze periode wordt opgenomen in een Service Level Agreement (SLA). Het berekenen van deze KPI kan op verschillende niveau's: levering, per pallet of per unit. Bij DHL Pharma Logistics is het gebruikelijk dat

goederen moeten worden gestokeerd binnen de 24 uur. Deze KPI wordt dan berekend op pallet-niveau, al zijn er enkele uitzonderingen.

4.3 Dock-to-Stock onderworpen aan het SMART-principe

Goederen die toekomen aan het magazijn moeten binnen de 24 uur gestockeerd worden op de juiste plaats. In dit interval, moeten alle controles ondergaan zijn. Dit is een afspraak die vast gelegd is in de Service Level Agreement met de Labo's.

- **Specifiek:** De KPI is duidelijk geformuleerd.
- **Meetbaar:** Het doel is bereikt wanneer de goederen tijdig zijn gestockeerd.
- **Acceptabel:** De KPI is bepaald in een overeenkomst, dus is deze acceptabel.
- **Realistisch:** Het stockeren van de goederen binnen de 24 uur is realistisch.
- **Tijdsgebonden:** Er wordt een duidelijk interval aangegeven (binnen de 24 uur).

4.4 De formule voor het berekenen van de KPI

Een pallet is tijdig gestockeerd wanneer:

$$\text{Tijdstip pallet van stockage} - \text{Tijdstip pallet van aankomst} < 24 \text{ uur}$$

4.5 Hoe moet deze KPI bekeken kunnen worden?

Deze opgestelde KPI is niet alleen belangrijk voor het clienteel om na te gaan of de goederen wel tijdig gestockeerd zijn, maar ook voor DHL Pharma Logistics om de juiste analyse te kunnen maken wanneer het fout loopt. Zo kunnen ze opsporen waar er een probleem zit in hun proces en daar de juiste oplossing voor vinden. Hebben ze te weinig personeel voor het verwerken van de orders? Zijn er veel defecten in hun rollend materieel? Hebben ze te veel leveringen geaccepteerd op een te korte termijn? Dit zijn nog maar enkele vragen die kunnen opgelost worden wanneer een data warehouse is opgesteld voor deze specifieke KPI.

5. Voorbereiding op het onderzoek

5.1 Inleiding

Jow vloggetjes

6. Vergelijkend Onderzoek

7. Conclusie

A. Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

A.1 Introductie

Wanneer het management in het bedrijf een strategische of tactische beslissing wil maken, is deze beslissing gebaseerd op data afkomstig uit verschillende databronnen. Daarom is er bij grote ondernemingen (en tegenwoordig ook bij KMO's) nood aan een rapporteringssysteem. Voor het opstellen en onderhouden van datawarehouses wordt een bepaald budget voorzien. Relaties leggen tussen verschillende data is dan ook een grote uitdaging. Daarom is het dus belangrijk dat het model op de juiste manier ontworpen wordt om kosten te beperken wanneer men de datawarehouse wil onderhouden/uitbreiden. Hiervoor bestaan verschillende modelleertechnieken. In dit onderzoek worden enkel het Kimball dimensioneel modelleren en Data Vault 2.0 vergeleken. We proberen in dit onderzoek de volgende vraag te beantwoorden: **Waar zitten de verschillen bij het modelleren met Data Vault 2.0 en het dimensioneel modelleren?**

Ook zal er een antwoord trachten gevonden te worden op volgende deelvragen:

- Zijn er verschillende manieren van aanpak mogelijk?
- Hoe flexibel/schaalbaar zijn beide systemen?
- Is er een verschil in performantie?
- Hoe verschillen de technieken naar onderhoud toe?

Bij DHL Pharma Logistics gebeurt het berekenen van de KPI's (Key Performance In-

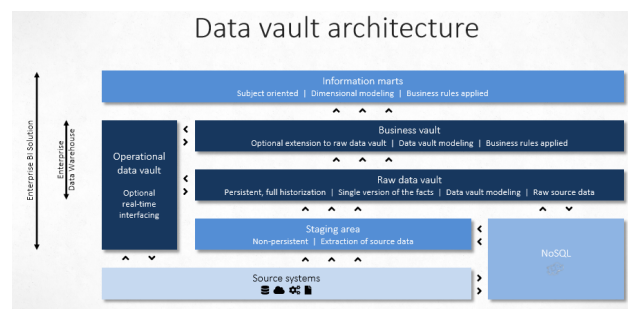
dicators) nog altijd manueel. Zo worden de KPI's berekend via een rekenmachine en handmatig ingevoerd in een Excel-bestand. De informatie die nodig is om verschillende berekeningen te maken is afkomstig uit verschillende databronnen (mainframe, Cronos, Excel-sheets, ..). Dit neemt veel tijd in beslag, dus beslist de firma om een deel van de KPI's te automatiseren. Hiervoor zal een datawarehouse moeten opgezet worden. Deze zal gemodelleerd worden in Data Vault 2.0. Maar is dit wel de beste oplossing? Dit onderzoek zal uitwijzen of Data Vault 2.0 wel degelijk de beste oplossing is.

A.2 Literatuurstudie

A.2.1 Data Vault 2.0

Architectuur

De architectuur van Data vault bestaat voornamelijk uit 3 lagen: De staging area, de raw data vault area en de Business vault. De staging area wordt gebruikt om alle data tijdelijk te stockeren. Daarna wordt de data doorgezonden naar de volgende laag: de raw data vault. Hierbij wordt de architectuur omgevormd naar een data vault. Hierop worden dan data manipulaties gemaakt en wordt de data doorgezonden naar de volgende laag, de business vault. Data marts worden gecreëerd op de business vault (Linstedt, 2015).



Figuur A.1: Data Vault architectuur voorgesteld door Stroobants (2018).

Entiteittype's

Bij data vault wordt er een onderscheid gemaakt tussen 3 verschillende entiteiten: hub, link en satelliet. In een hub wordt een hash sleutel opgeslagen die gebaseerd is op de identifier van die entiteit en metadata (zoals de bron en wanneer de record is ingevoerd). Een link is entiteit die verantwoordelijk is om verschillende hubs met elkaar te verbinden. Hierin worden de hash sleutels van de verbonden entiteiten in opgeslagen. Satellieten kunnen verbonden worden met hubs en links. Deze bevatten de inhoudelijke data van de entiteit.

A.2.2 Dimensioneel modelleren

Architectuur

Bij het dimensioneel modelleren via Kimball is er 1 enkele laag, hierin worden alle operaties uitgevoerd (ETL: Extraction, Transaction en Load). De data wordt ingeladen in een ster-schema. Op deze laag worden dan data marts gebouwd. (Jukic, 2006)

Entiteittype's

Bij deze techniek bestaan er 2 entiteittype's: feit tabellen en dimensionele tabellen. De feit tabellen bevatten alle transactionele data, data waarop je eigenlijk berekeningen kan maken. Dimensionele tabellen bevatten meer informatie over de transactionele data.

A.3 Methodologie

Voor dit onderzoek zullen er twee datawarehouses opgezet worden in een SAP HANA-omgeving. De eerste datawarehouse zal gemodelleerd worden in Data Vault 2.0, de andere in een dimensioneel model. De SAP HANA omgeving is 'on-premise' die draait in een Microsoft Azure omgeving. Het modelleren zal deels gebeuren in Eclipse (die een remote-verbinding maakt met Azure) en deels via een web IDE voor HANA (Xsengine). Wanneer beide datawarehouses operationeel zijn, kan er gestart worden met de vergelijking. De datawarehouses zullen gebaseerd zijn op KPI's die gedefinieerd zijn bij DHL Pharma Logistics.

A.3.1 Performatie

Om de performantie van beide systemen te vergelijken, zullen er een aantal verschillende queries uitgevoerd worden op data marts gebaseerd op deze datawarehouses. Op basis van uitvoeringstijd kunnen we deze dan met elkaar vergelijken. Zo kunnen we te weten komen of er wel degelijk een verschil is tussen beide architecturen in performantie en hoe groot de verschillen zijn.

A.3.2 Audit

Stel dat er op 2 verschillende databronnen klantgegevens opgeslagen wordt, zal er een keuze moeten gemaakt worden. Van welke bron haal ik mijn gegevens? Indien er verschillende problemen optreden met data, willen we graag kunnen onderzoeken waar het probleem zich heeft voorgedaan. Hiervoor voegen we META-data toe aan de data die ons verteld waar en wanneer de data werd opgehaald.

A.3.3 Schaalbaarheid

Hoe wordt er omgegaan met grote hoeveelheden data in beide architecturen? Merken we hier een significant verschil? Zien we de uitvoeringstijden lineair/exponentieel stijgen?

A.3.4 Flexibiliteit

De vereisten voor rapportering verandert vaak bij bedrijven. Soms moeten KPI's worden toegevoegd, soms moeten deze gewijzigd worden. Maar wat als er databronnen in het bedrijfsnetwerk toegevoegd? Hoe gemakkelijk kunnen deze wijzigingen gemaakt worden in beide architecturen? Dit zullen we onderzoeken door een nieuwe KPI toe te voegen aan het systeem.

A.4 Verwachte resultaten

Op basis van het uitgevoerde onderzoek zullen we hiervan een resultaat kunnen opstellen. Ik verwacht dat beide technieken zijn voordelen en nadelen zullen hebben. Zo zal Data Vault 2.0 een modelleertechniek zijn die zeer flexibel is, maar dit zal ten koste gaan van de performantie. Het dimensionele model zal zo performanter zijn, maar weinig flexibiliteit bieden.

A.5 Verwachte conclusies

Aangezien Data Vault 2.0 veel flexibiliteit te bieden heeft, zal dit de beste oplossing zijn wanneer alle data verspreidt staat op verschillende systemen. Bij Data Vault 2.0 is het namelijk mogelijk gemakkelijk nieuwe databronnen toe te voegen in een datawarehouse. Maar wanneer men de data marts wil ontwerpen, zal men nog steeds moeten gebruik maken van dimensioneel modelleren. Wanneer een bedrijf weinig databronnen heeft en deze weinig veranderen, is dimensioneel modelleren de betere oplossing.

Voor DHL Pharma Logistics zal Data Vault 2.0 dan ook de beste oplossing zijn, aangezien hun data verspreidt staat over enkele systemen. Zo kunnen ze hun KPI's ook nog beter definiëren en makkelijker aanpassen in het systeem.

Bibliografie

- Gartner. (2019). *Magic quadrant for analytics and business intelligence platforms*. Gartner.
- Helfert, M., Zellner, G. & Sousa, C. (2002). Data quality problems and proactive data quality management in data-warehouse-systems.
- Jukic, N. (2006). Modeling strategies and alternatives for data warehousing projects. *Communications of the ACM*.
- Kimball, R. & Ross, M. (2013). *The data warehouse toolkit: Third edition*. Wiley.
- Langseth, J., Vivatrat, N. & Sohn, G. (2005). Schema and ETL tools for structured and unstructured data.
- Linstedt. (2015). *Building a Scalable Data Warehouse with Data Vault 2.0*.
- Linstedt, D. & Olschimke, M. (2016). *Building a scalable data warehouse with data vault 2.0* (A. Invernizzi, Red.). Todd Green.
- Satyanarayana, R. (2010). Data warehousing, data mining, OLAP and OLTP technologies are essential elements to support decision-making process in industries. *International Journal on Computer Science and Engineering*.
- Stroobants, J. (2018). Modern data warehousing with data vault in SAP HANA.