

Diplomarbeit Technik und Wirtschaftsinformatik 2023-
2024

PostgreSQL HA Cluster - Konzeption und Implementation

22.11.2023

Management Summary

Diplomarbeit Michael Graber

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	4
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	1
1.1.1 Das Kantonsspital Graubünden	1
1.1.2 Die ICT des Kantonsspital Graubünden	3
1.1.3 Rolle in der ICT vom Kantonsspital Graubünden	5
1.1.4 Ausgangslage	5
1.1.5 Problemstellung	9
1.2 Zieldefinition	12
1.3 Abgrenzung	18
1.4 Risikomanagement	20
1.5 Vorgehensweise und Methoden	23
1.6 Projektmanagement	23
1.6.1 Rapport	23
2 Umsetzung	24
2.1 Evaluation	24
2.1.1 Erheben und Gewichten der Anforderungen	24
2.1.2 Exkurs Architektur	24
2.1.3 Testziele erarbeiten	28
2.1.4 PostgreSQL Benchmarking	28
2.1.5 Analyse gängiger PostgreSQL HA Cluster Lösungen	28
2.1.6 Installation verschiedener Lösungen	30
2.1.7 Gegenüberstellung der Lösungen	30
2.1.8 Entscheid	30
2.2 Aufbau und Implementation Testsystem	30
2.2.1 Bereitstellen der Grundinfrastruktur	31
2.2.2 Installation und Konfiguration PostgreSQL HA Cluster	31
2.2.3 Technical Review der Umgebung	31
2.3 Testing	31
2.3.1 Testing	31
2.3.2 Protokollierung	31
2.3.3 Review und Auswertung	31
2.4 Troubleshooting und Lösungsfindung	31

3 Resultate	32
3.1 Zielüberprüfung	32
3.2 Schlussfolgerung	32
3.3 Weiteres Vorgehen / offene Arbeiten	32
3.4 Persönliches Fazit	32
Abbildungsverzeichnis	33
Tabellenverzeichnis	34
Literatur	35
Glossar	39
Anhang	45
0.0.1 Rapport	45
0.0.2 pgpool-II	45

Abkürzungen

ICT	information and communications technology
ibW	ibW Höhere Fachschule Südostschweiz
KSGR	Kantonsspital Graubünden
RDBMS	Relational Database Management System
DBMS	Database Mananagement System
k8s	Kubernetes
HPE	Hewlett Packard Enterprise
HP-UX	Hewlett Packard UNIX
SAP	Systemanalyse Programmentwicklung
SQL	Structured Query Language
DBA	Database Administrator / Datenbankadministrator
HA	High Availability
PRTG	Paessler Router Traffic Grapher
SAN	Storage Area Network
SIEM	Security Information and Event Management
CI/CD	Continuous Integration/Continuous Delivery
SWOT-Analyse	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
OLAP	Online Analytical Processing
IaC	Infrastructure as Code
IPERKA	Informieren, Planen, Entscheiden, Realisieren, Kontrollieren, Auswerten
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
VRRP	Virtual Router Redundancy Protocol

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

1.1.1 Das Kantonsspital Graubünden

Das Kantonsspital Graubünden ist das Zentrumsspital der Südostschweiz, welches Teil der sogenannten Penta Plus Spitäler ist. Die Penta plus Spitäler sind das Kantonsspital Baden, das Kantonsspital Winterthur, das Spitalzentrum Biel AG, das Kantonsspital Baselland, die Spital STS (Simmenthal-Thun-Saanenland) AG und eben das Kantonsspital Graubünden.

Das KSGR deckt dabei die Spitalregion Churer Rheintal ab

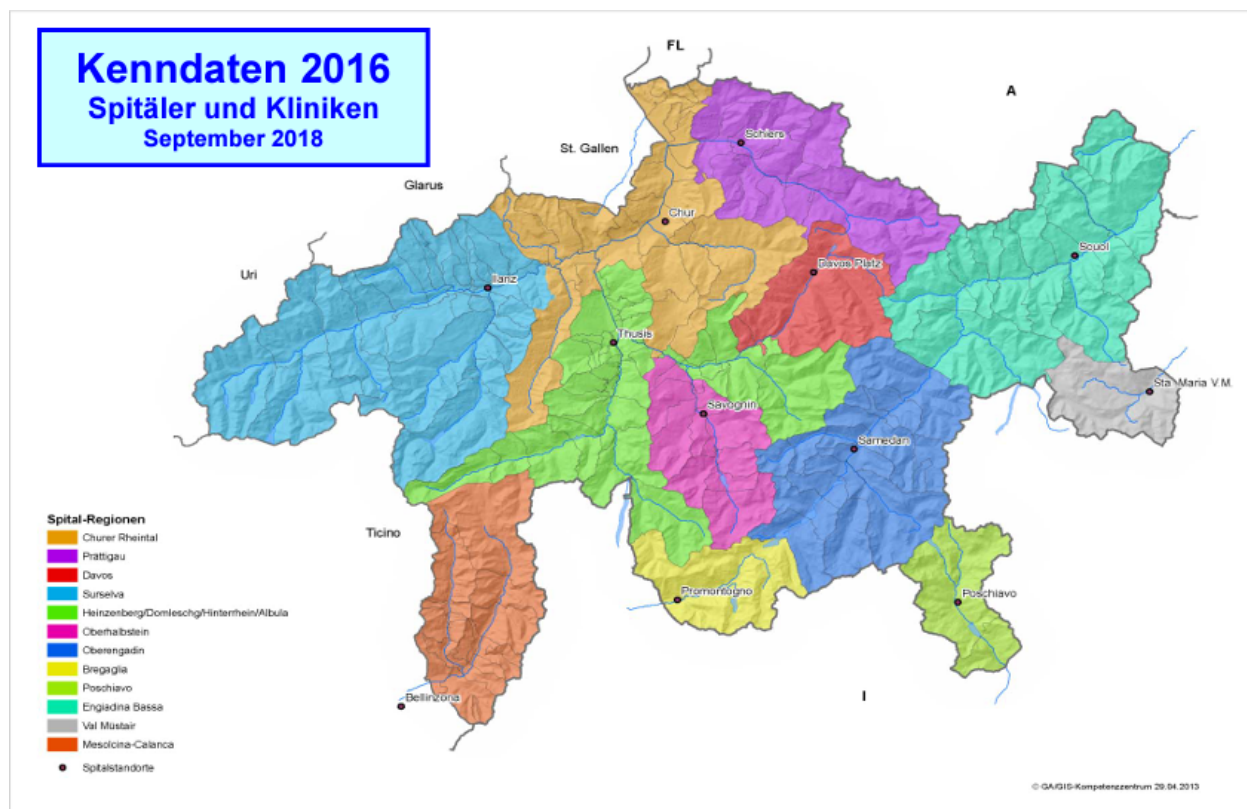


Abbildung 1.1: Spitalregionen Kanton Graubünden[20]

Seit dem 1. Januar 2023 betreibt das KSGR den Standort Walenstadt im Kanton St. Gallen und deckt primär den Wahlkreis Sarganserland ab.



Abbildung 1.2: Wahlkreise Kanton St. Gallen[41]

Da dieser Wahlkreis der Spitalregion Rheintal Werdenberg Sarganserland zugeordnet ist, wird das KSGR auch im restlichen südlichen Teil der Spitalregion aktiv sein.



Abbildung 1.3: Spitalregionen / Spitalstrategie Kanton St. Gallen[14]

1.1.2 Die ICT des Kantonsspital Graubünden

Das Kantonsspital Graubünden hat eine Matrixorganisation. Die ICT ist ein eigenständiges Departement und gilt als sogenanntes Querschnittsdepartement, dh. die ICT bedient alle anderen Departemente.

Organigramm des Kantonsspitals Graubünden

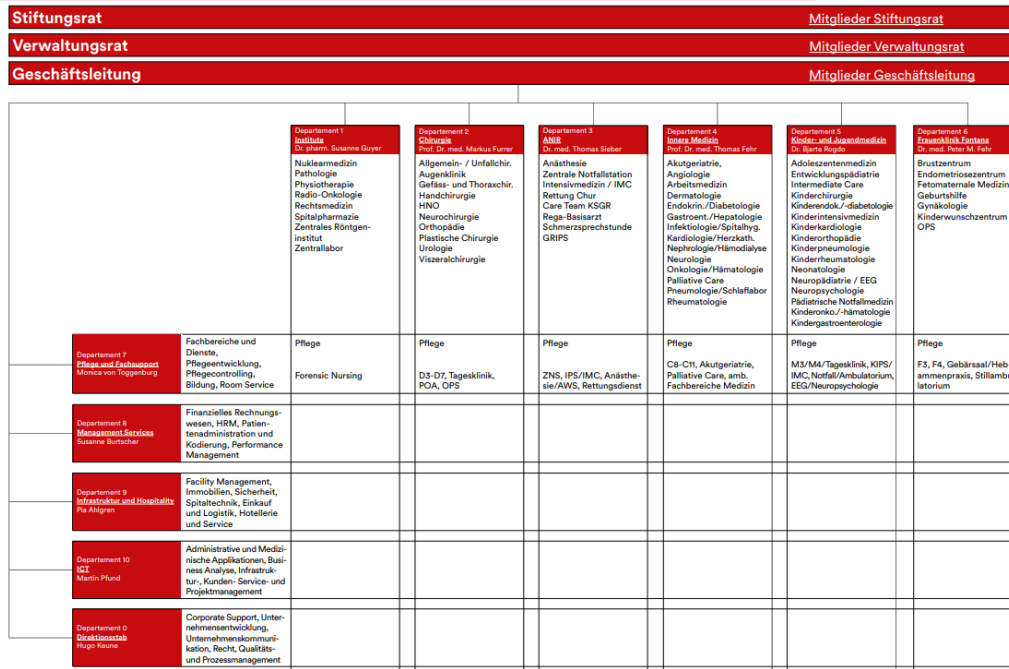
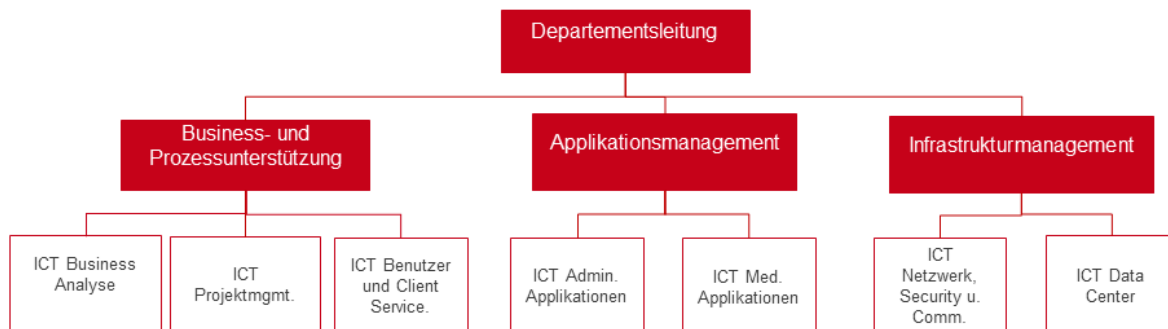


Abbildung 1.4: Organigramm Kantonsspital Graubünden

Die ICT betreibt über 400 Applikationen die auf mehr als 1055 physische und virtuelle Server und Appliances. Das Rückgrat der Infrastruktur ist dabei die Virtualisierungsplattformen VMware ESXi für Server und Citrix für die Thinclients der Enduser. Es werden aber auch Dienstleistungen für andere Spitäler und Kliniken oder andere Einrichtungen des Gesundheitswesens erbracht.

Entsprechen wurde die ICT in ein Applikationsmanagement, ein Infrastrukturmanagement sowie einem unterstützenden Bereich aufgliedert. Das Applikationsmanagement wurde in je einen Bereich für die Administrativen und Medizinischen Applikationen aufgeteilt. Das Infrastrukturmanagement wiederum wurde in den Bereich Netzwerk und Data Center, welcher für Server zuständig ist, aufgeteilt. Der Bereich Business- und Prozessunterstützung beinhaltet je eine Abteilung für die Businessanalyse, das Projektmanagement und Benutzer- und Clientservices in der auch der Service-Desk untergebracht ist.



29.09.2023

3

Abbildung 1.5: Organigramm Departement 10 - ICT

Die Organisation der ICT wird sich aber bis spätestens zum Abschluss der Diplomarbeit noch verändern.

1.1.3 Rolle in der ICT vom Kantonsspital Graubünden

Meine Rolle im Kantonsspital Graubünden resp. in der ICT ist die eines DBA. Diese Rolle ist in der Abteilung ICT Data Center.

Da die Kernsysteme auf Oracle Datenbanken und HP-UX laufen, bin ich primär Oracle Database DBA und manage das HP-UX in Zusammenarbeit mit HPE. Die administrative Tätigkeit bei HP-UX besteht primär im Betrieb der HP-UX Cluster Packages (einer sehr rudimentären Art von Containern), überwachen und erweitern des Filesystems, erweitern von SAN Storage Lunes für die Filesystem erweiterung, Erstellen von PRTG-Sensoren für das Monitoring, SAP Printerqueue Management und andere Tasks die es noch auszuführen gibt. Daneben bin ich auch für andere Datenbanken, teilweise aber nur begrenzt Microsoft SQL Server, MySQL / MariaDB und vermehrt PostgreSQL zuständig. Darüber hinaus bin ich Teilweise in die Linux-Administration involviert und betreue auch noch einige Windows Server für das Zentrale klinische Informationssystem.

1.1.4 Ausgangslage

Die meisten der über 400 Applikationen, die das KSGR betreibt, haben in den allermeisten Fällen ihre Daten in Datenbanksysteme speichern. Entsprechend der Vielfalt der Applikationen existie-

ren auch eine Vielzahl an Datenbanksystemen und Versionen.

Basierend auf der Liste *DB-Engines Ranking*[11] der Top-Datenbanksysteme. Allerdings werden nicht alle Datenbanksysteme berücksichtigt, entweder weil das Datenbanksystem keine Client/Server Architektur hat oder nicht im Scope der IT oder des Projekts ist.

Folgende Datenbanken sind inventarisiert:

DBMS	Datenbankmodell	Inventarisiert	Kommentar
Oracle Database	Relational, NoSQL, OLAP	Ja	
MySQL	Relational	Ja	
Microsoft SQL Server	Relational, NoSQL, OLAP	Nein	Werden separat administriert und sind daher nicht in diesem Inventar gelistet
PostgreSQL	Relational, NoSQL	Ja	
MongoDB	NoSQL	Ja	
Redis	Key-value	Ja	
Elasticsearch	Search engine	Ja	
IBM DB2	Relational	Ja	
SQLite	Relational	Nein	Lokale Datenbank. Zudem wird die DB nicht via Netzwerk angesprochen
Microsoft Access	Relational	Nein	Nicht im Scope der ICT
Snowflake	Relational	Ja	
Cassandra	Relational	Ja	
MariaDB	Relational	Ja	
Splunk	Search engine	Ja	
Microsoft Azure SQL Database	Relational, NoSQL, OLAP	Nein	Datenbanken sind nicht On-Premise und somit nicht im Scope

Tabelle 1.1: Inventarisierte Datenbanksysteme

Folgende Datenbanksysteme sind demnach im KSGR im Einsatz:

RDBMS	Summe RDBMS / Cluster / CDB / Instance	Summe Databases
MariaDB	2	2
MongoDB	2	2
MySQL	28	50
Oracle Database	27	30
PostgreSQL	20	20
Redis	1	1
Gesamtergebnis	80	105

Tabelle 1.2: Datenbankinventar

Aufgeschlüsselt auf die Betriebssysteme auf denen die Datenbanken laufen, ergibt sich folgendes Bild:

OS / RDBMS	Summe RDBMS / Cluster / CDB / Instance	Summe Databases
HP-UX	21	24
Oracle Databases	21	24
Linux	26	48
MariaDB	2	2
MySQL	14	36
Oracle Database	1	1
PostgreSQL	8	8
Redis	1	1
Windows Server	33	33
MongoDB	2	2
MySQL	14	14
Oracle Databases	5	5
PostgreSQL	12	12
Gesamtergebnis	80	105

Tabelle 1.3: Datenbankinventor - Nach Betriebssystemen aufgeschlüsselt

Die Kernsysteme des Spitals werden auf Oracle Datenbanken (Oracle Database) betrieben, die aktuell auf einer HP-UX betrieben werden. Stand heute gibt es kein Clustersystem für die Open-Source Datenbanken wie MariaDB/MySQL oder PostgreSQL.

Durch die Einführung von Kubernetes als Containerplattform wird der Bedarf an PostgreSQL

Datenbanken immer grösser. Es werden in naher Zukunft auch verschiedene Oracle Datenbanken sowie MySQL Datenbanken auf PostgreSQL migriert werden.

Aktuell werden die Daten des Zabbix der Netzwerktechniker auf eine MariaDB Datenbank gespeichert, dies soll sich aber ändern. Da das Zabbix alle Netzwerkgeräte überwacht, pro Sekunde werden im Moment 1'200 Datenpunkte abgefragt und xxx in die Datenbank und wird im Laufe der Zeit mehrere Terrabyte gross werden.

1.1.5 Problemstellung

Zusammen mit den bestehenden PostgreSQL-Datenbankinstanzen werden die PostgreSQL Datenbanken in der Art, wie sie bisher betrieben werden, nicht mehr betreibbar sein. Die bisherige Strategie erzeugt sehr viele Aufwände und provoziert Risiken, namentlich:

- dezentrale Backups und fragmentierte Backup-Strategien
 - Fehlende Kontrolle
 - Wiederherstellbarkeit nicht garantiert
- Verschiedene Betriebssysteme mit verschiedenen Versionen
 - Fehlernder Überblick
 - Veraltete Betriebssystem- und Datenbankversionen
 - Grosser Administrationsaufwand
- Uneinheitliche Absicherung und Härtung
 - Hohe Angreifbarkeit
 - Veraltete Betriebssystem- und Datenbankversionen
 - Grosser Administrationsaufwand
- Uneinheitliche HA-Fähigkeit
 - Hohe Angreifbarkeit
 - Veraltete Betriebssystem- und Datenbankversionen
 - Grosser Administrationsaufwand

Dadurch ergeben sich nach BSI folgende Risiken:

Identifikation						Abschätzung		Behandlung		
ID	Schutzziel	Referenz BSI 200-3	Risiko	Beschreibung / Ursache	Auswirkung	WS	SM	Massnahmen ergreifen?	Zielwert WS SM	Massnahme
1	I	G0.22	Manipulation von Informationen	Durch veraltete Systeme die zudem unterschiedlich gut gehärtet und gesichert sind (z.B. durch Verschlüsselung des Verkehrs oder der Daten auf dem Storage), besteht das Risiko das Daten manipuliert werden Manche Datenbanken und deren Betriebssysteme sind sehr alt und sehr lange im Einsatz. Einige dieser Systeme sind schon so alt, das keine Hotfixes, Patches und Updates mehr erhältlich sind. Hierdurch entsteht das Risiko, das Systeme Ausfallen	Die Auswirkungen reichen von einer Fehlfunktion des Systems bis hin zum vollständigen Verlust der Integrität der Daten	2	4	Ja	1 2	Best-Practice bei Härtung der Systeme. Redundanzen einführen
2	A	G0.25	Ausfall von Geräten oder Systemen	Manche Datenbanken und deren Betriebssysteme sind sehr alt und sehr lange im Einsatz. Einige dieser Systeme sind schon so alt, das keine Hotfixes, Patches und Updates mehr erhältlich sind. Hierdurch entsteht das Risiko, das Systeme Ausfallen	Sofern keine HA-Architektur aufgebaut wurde, ist die Verfügbarkeit ernsthaft gefährdet resp. die Applikation steht nicht mehr zur Verfügung.	4	4	Ja	2 2	Redundanzen einführen
3	C, I, A	G0.26	Fehlfunktion von Geräten oder Systemen	Manche Datenbanken und deren Betriebssysteme sind sehr alt und sehr lange im Einsatz. Einige dieser Systeme sind schon so alt, das keine Hotfixes, Patches und Updates mehr erhältlich sind. Hierdurch entsteht das Risiko, das Systeme Fehlfunktionen erleiden. Allerdings versuchen Datenbanksysteme, die Auswirkungen so gering wie möglich zu halten. Aufgrund der sehr heterogenen Landschaft ist der Administrationsaufwand für die jetzigen Systeme sehr gross. Zu gross, als das für jede Datenbank und deren Betriebssystem die notwendige Zeit für eine bedarfsgerechte Administration erbracht werden kann.	Fehlfunktionen können innerhalb von Datenbanksystemen die Datenkonsistenz verletzen, Daten können verloren gehen oder ungewollt von Dritten und unberechtigten Personen eingesehen werden. Systeme könnten nicht mehr oder nur noch eingeschränkt verfügbar werden. Daher sind sowohl Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit gefährdet.	2	4	Ja	2 2	Systeme zentralisieren Lifecycle etablieren
4	C, I, A	G0.27-1	Ressourcenmangel (personelle Ressourcen)	Dadurch bleiben Fehler länger unentdeckt, Hotfixes, Patches, Updates und Upgrades können nicht oder nicht zur richtigen Zeit eingespielt werden. Bei einem akuten Problemfall ist nicht garantiert, das die Leute erreichbar sind, die notwendig sind	Die Auswirkungen können vielfältig sein, abhängig davon welcher Aspekt unter dem Ressourcenmangel leidet. Grundsätzlich wird aber sowohl die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit gefährdet. Wenn die CPU- und Memory-Usage über einen gewissen Schwellwert geht, fängt das Betriebssystem an zu Priorisieren. Dies wird primär der Endanwender in form von Performance Einbussen bemerken. Im schlimmsten Fall steht eine Anwendung nicht mehr zur Verfügung.	3	3	Ja	2 3	Systeme zentralisieren
5	A	G0.27-2	Ressourcenmangel (technische Ressourcen)	Kann auftreten wenn Ressourcenwachstum zu spät bemerkt wird. So kann die CPU Usage oder das Memory Usage schnell anwachsen. Auch der Storage eines Betriebssystems kann nicht mehr ausreichend für ein System werden.	Gefährlicher sind Storage Overflows, besonders wenn die Datenbank nicht mehr alle Informationen schreiben konnte, die sie für einen korrekten Neustart benötigte. Doch die folgen bleiben nichtsdesto trotz überschaubar. Abhängig davon, welche Fehler gemacht wurden können die Auswirkungen auch stark variieren. Sie reichen von fehlender Verschlüsselung bis hin zu nicht vorhandenem Backup mit nicht mehr gesicherter Wiederherstellbarkeit von Systemen.	2	2	Ja	1 2	Monitoring verschärfen
6	C, I, A	G0.31	Fehlerhafte Nutzung oder Administration von Geräten und Systemen	Durch die Vielfalt an Datenbankversionen und Betriebssystemen und Plattformen worauf diese betrieben werden, besteht allen voran das Risiko einer Fehlerhafter Administration und Konfiguration. Obwohl das Microsoft Active Directory die Zentrale Benutzerverwaltung ist, sind die wenigsten Datenbanken an dieses angeschlossen. Hinzu kommt der umstand, das in der Vergangenheit jeder Softwarelieferant sein eigenes Benutzerkonzept mitgebracht hat, auch bei den Datenbankzugängen.	Daraus erschliesst sich das auch bei diesem Risiko die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit gefährdet ist.	4	3	Ja	2 3	Systeme zentralisieren
7	C, I, A	G0.32	Missbrauch von Berechtigungen	Multipliziert mit der Anzahl der unterschiedlichsten Datenbanken, Betriebssystemen und Applikationen entsteht das Risiko, das Berechtigungen Wissendlich oder Unwissendlich missbraucht werden. Verschiedene Datenbanken sind Standalone Cluster (Instanzen) welche über keinen Failover-Mechanismus verfügen. Zudem wurden die meisten Datenbanken nur mittels Snapshots oder einem Filesystem Backup gesichert, nicht über eine eigentliche Sicherung mittels WAL. Gerade die fehlende WAL Archivierung führt im Backupfall dazu, das alle Transaktionen die zwischen dem letzten Backup nicht mehr vorhanden sind.	Der Wissentliche oder Unwissentliche Missbrauch von Berechtigungen kann verheerende Auswirkungen haben. Unter anderem können Daten missbräuchlich abgezogen werden, Daten manipuliert oder das ganze System komplett zerstört werden.	2	4	Ja	2 2	Systeme zentralisieren Übergreifendes Berechtigungskonzept einführen Monitoring der Zugriffe
8	A, I	G0.45	Datenverlust	Hinzu kommt, das für die meisten Datenbanken hohe Sicherungsintervalle von einmal pro Stunde oder gar nur einmal am Tag gewählt wurde. Ein weiterer Aspekt des Risikos besteht in der tatsache, das aufgrund der grossen Anzahl Datenbanken und deren Heterogenität nur wenige Backups auch wirklich regelmässig geprüft werden.	Aus dem Risiko ergeben sich zwei Auswirkungen, die aber beide ein hohes Mass an Schaden verursachen können. Erstens könnten Backups gar nicht mehr Wiederhergestellt werden, dies hätte dann einen Totalen Datenverlust zur Folge. Die zweite Ursache erwächst auf der fehlenden WAL-Archivierung, dadurch können zwar die Daten bis zu einem Zeitpunkt X Wiederhergestellt werden allerdings sind diese dann nicht zwingend Konsistent.	4	5	Ja	1 3	Systeme zentralisieren Einheitliches Backupkonzept Regelmässige Restore-Tests

Tabelle 1.4: Risiko-Matrix aktuelle Situation PostgreSQL Datenbanken

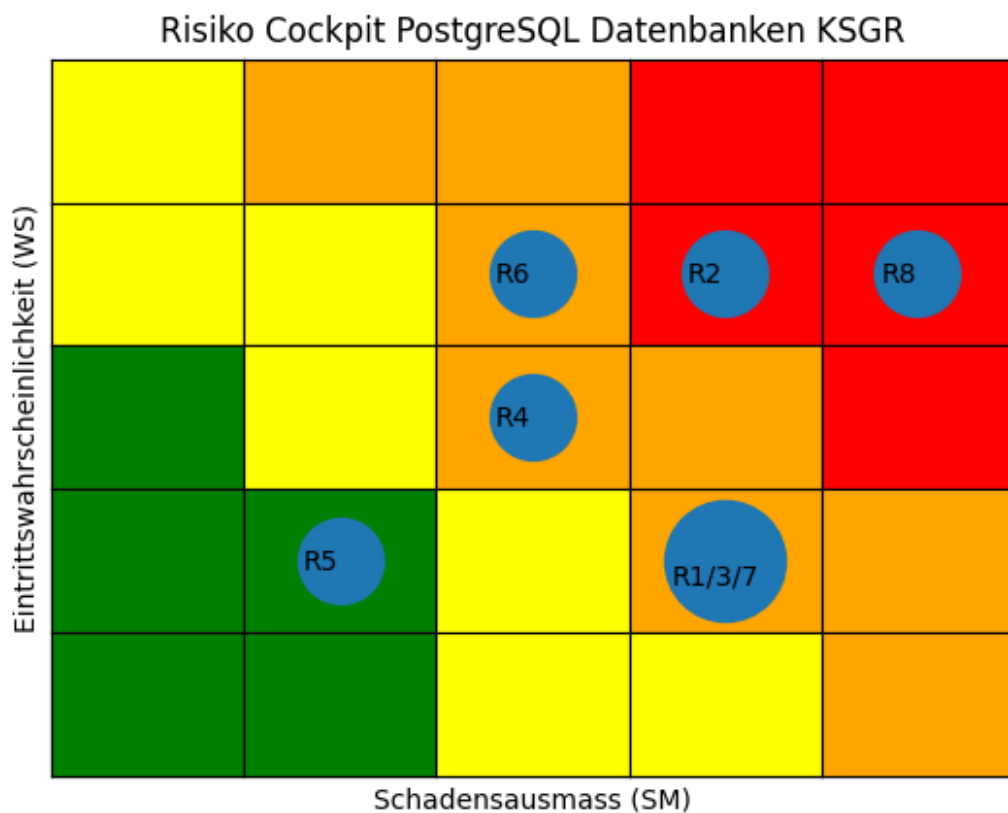


Abbildung 1.6: Risiken bestehende Lösung

Daraus ergeben sich folgende Strategien und Handlungsfelder um die Massnahmen zur Risikominimierung umzusetzen:

- Systemabsicherung erarbeiten und einsetzen
- HA-Clustering einführen um die Redundanz zu gewährleisten und Systeme zentral verwalten und betreiben zu können
- Lifecycle-management für Datenbanken und Betriebssysteme erarbeiten und einsetzen
- Backupkonzept erarbeiten
- Berechtigungskonzept erarbeiten und einführen

Mit diesen Massnahmen lassen sich die Risiken gesenkt werden:

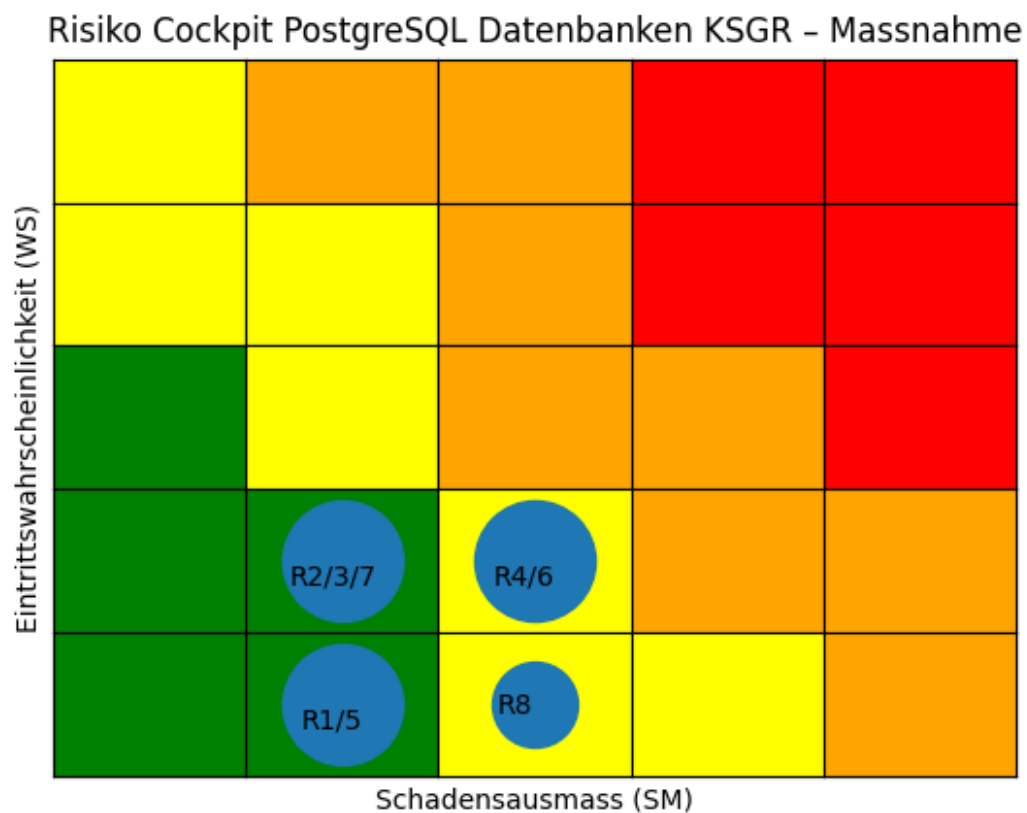


Abbildung 1.7: Risiken bestehende Lösung mit Massnahmen

1.2 Zieldefinition

Das administrieren einer PostgreSQL Datenbank umfasst i.d.R. [28, 33] folgende zehn Tasks die zum täglichen Alltag gehören:

Nr.	Aufgabe	Beschreibung	Wichtigkeit
1	Failover	In einem Fehlerfall soll die DB-Node auf einen Standby-Node übergeben werden. Nach einem Failover muss der DB-Node wieder vom Standby-Node auf den Primären Node zurückgesetzt werden.	Hoch
2	Failover Restore	Dabei darf es zu keinem Datenverlust kommen, also alle Daten die auf dem Standby-Node erfasst wurden, müssen auf den Primären DB-Node zurückgeschrieben werden beim Failover Restore Die Datenmenge von Datenbanken wachsen in der Regel beständig.	Hoch
3	Filesystem Management	Die Belegung von Tablespaces und Filesystem muss deshalb Überwacht und ggf. erweitert werden. Läuft eine Disk voll kommt es im besten Fall zu einem Stillstand der DB, im schlimmsten Fall zu Inkonsistenzen und Datenverlust	Hoch
4	Monitoring	Nebst den allgemeinen Metriken wie CPU / Memory Usage und der Port Verfügbarkeit gibt es noch eine Reihe weiterer Aspekte die Überwacht werden müssen. Zum Beispiel ob es zu Verzögerungen bei der Replikation kommt oder die Tablespaces genügend Platz haben. Dazu gehört auch das Überwachen des Logs und entsprechende Schritte im Fehlerfall. PostgreSQL sammelt Statistiken um SQL Queries optimaler ausführen zu können. Zudem wird im Rahmen des gleichen Scheduled Tasks ein Cleanup Vorgenommen,	Mittel
5	Statistiken / Cleanup Jobs justieren	so dass z.B. gelöschte Datensätze den Disk Space nicht sinnlos belegen. Die Konfiguration dieser Jobs muss an der Metrik der Datenbank angepasst werden, weil gewisse Tasks dann entweder viel zu oft oder viel zu wenig bis gar nicht mehr ausgeführt werden.	Mittel
6	SQL optimierungen	In PostgreSQL können inperformante SQL Statements ausgelesen werden und zum Teil werden auch Informationen zum Tuning geliefert[9]. Diese müssen Regelmässig ausgelesen werden	Tief
7	Health Checks und Aktionen (Maintenance)	Regelmässig muss die Gesundheit der DBs überprüft werden, etwa ob Tabellen und/oder Indizes sich aufgebläht haben oder ob Locks vorhanden sind[2]. Während der Hauptarbeitszeit muss dies mindestens alle 90 Minuten geprüft und ggf. reagiert werden.	Hoch
8	Housekeeping	Mit Housekeeping Jobs werden regelmässig Trace- und Alertlogfiles aufgeräumt, um Platz auf den Disken zu sparen aber auch um die Übersichtlichkeit zu wahren.	Mittel
9	Verwalten von DB Objekten	Regelmässig müssen DB Objekte wie Datenbanken, Tabellen, Trigger, Views etc. angepasst oder erstellt werden. Dies richtet sich nach den Bedürfnis der Kunden resp. deren Applikationen.	Tief
10	User Management	Die Zugriffe der User müssen Überwacht, angepasst, erfasst oder gesperrt werden. Auch diese Aufgabe richtet sich nach den Bedürfnissen der Kunden.	Tief

Tabelle 1.5: Administrative Aufgaben

Von diesen Tasks müssen Teile davon zu 50% automatisiert werden wobei alle Muss-Aufgaben automatisiert werden müssen. Diese wären nachfolgende Tasks die automatisiert werden können.

Nr.	Aufgabe	Wichtigkeit	Zu automatisierender Task	Priorität	Muss / Kann	Spätester Termin
1	Failover	Hoch	Automatisierter Failover auf mindestens einen Sekundären DB-Node	1	Muss	Abgabe
2	Failover Restore	Hoch	Sobald der Primäre DB-Node wieder vorhanden ist, muss automatisch auf den Primären DB-Node zurückgesetzt werden.	1	Muss	
3	Filesystem Management	Hoch	Das Filesystem muss beim Erreichen von 95% Usage automatisch vergrößert werden.	4	Kann	
4	Monitoring	Mittel	Die Vergrößerung muss anhand der Wachstumsrate (die mittels Linux Commands zu ermitteln ist), vergrößert werden	2	Muss	
5	Statistiken / Cleanup Jobs justieren	Mittel	Der Status der Clusterumgebung und der Replikation muss im PRTG überwacht werden	2	Muss	
6	SQL Optimierungen	Tief	Regelmässig müssen die Parameter für den AUTOVACUUM Job berechnet werden und das Configfile postgresql.conf automatisch angepasst werden	2	Muss	
7	Health Checks und Aktionen (Maintenance)	Hoch	Es gibt SQL Abfragen, mit dem fehlende Indizes ermittelt werden können. Diese Indizes sollen automatisiert erstellt werden.	2	Muss	
8	Housekeeping	Mittel	Im gleichen Zug sollen aber auch Indizes, welche nicht verwendet werden, entfernt werden. Sie tragen nicht nur nichts zu performanteren Abfragen bei sondern beziehen unnötige Ressourcen bei Datenmanipulationen[9].	3	Muss	
9	Verwalten von DB Objekten	Tief	Tabellen und Indizes können sich aufblähen (bloated table / bloated index)	5		
10	User Management	Tief	Ist ein Index aufgebläht, kann dies mittels eines REINDEX mit geringem Impact auf die Datenbank gelöst werden[2].	4	Kann	
			Log Rotation muss aktiviert werden und alte Logs regelmässig gelöscht werden.			
			Keine Automatisierung möglich			
			Regelmässige Reports sollen User aufzeigen, die seit mehr als einer Woche nicht mehr aktiv waren.			

Tabelle 1.6: Automatisierung Administrativer Aufgaben

Mit der Arbeit sollen folgende Ergebnisse und Resultate erzielt werden:

- Ergebnisse

Mindestens drei Methoden einen PostgreSQL Cluster aufzubauen müssen analysiert und evaluiert werden

- Resultate

Aus den mindestens drei Methoden muss die optimale Methode ermittelt werden.

Am Ende muss zudem ein Funktionierendes Testsystem bestehen.

Daraus ergeben sich folgende Ziele:

Nr.	Ziel	Beschreibung	Priorität
1	Evaluation	Am Ende der Evaluationsphase müssen mindestens drei Methoden für einen PostgreSQL HA Cluster müssen evaluiert werden.	Hoch
2	Testsystem	Innerhalb der evaluation muss analysiert werden, welche Methode oder welches Tool sich hierfür eignen würde.	Hoch
3	Automatisierter Failover	Am Ende der Diplomarbeit muss ein funktionierendes Testsystem Installiert sein.	Hoch
4	Automatisierter Failover Restore	Ein PostgreSQL Cluster muss im Fehlerfall auf mindestens einen Standby-Node umschwenken.	Hoch
5	Monitoring - Cluster Healthcheck	Dabei muss das Timeout so niedrig sein, dass Applikationen nicht auf ein Timeout laufen.	Hoch
6	AUTOVACUUM - Parameter verwalten	Nach einem Failover muss es zu einem Fallback oder Failover Restore kommen, sobald der Primary-Node wieder verfügbar ist.	Mittel
7	SQL optimierungen - Indizes tracken und verwalten	Die wichtigsten Parameter für das Monitoring des PostgreSQL Clusters (isready, Locks, bloaded Tables), der Replikation (Replay Lag, Standby alive) und des PostgreSQL HA Clusters müssen Überwacht werden.	Mittel
8	Maintenance - Indizes säubern	Täglich müssen die Parameter für den AUTOVACUUM Job berechnet werden und das Configfile postgresql.conf automatisch angepasst werden	Mittel
9	Housekeeping - Log Rotation	Täglich fehlende Indizes automatisiert erstellen und nicht mehr verwendete Indizes automatisiert entfernen	Hoch
10	User Management - Monitoring	Täglich bloaded Indices, also aufgeblähte Indizes, automatisiert erkennen und mittels REINDEX bereinigen	Hoch
11	Evaluationsziel	Die Log Rotation muss aktiviert werden. Die Logs müssen aber auch in das KSGR-Log Repository geschrieben werden	Tief
12	Installationsziel	Nicht verwendete User sollen einmal pro Woche automatisiert erkannt und in einem Report gemeldet werden.	Hoch
		Am Ende der Evaluationsphase muss ein Entscheid getroffen worden sein, welche Methode verwendet wird.	Hoch
		Die Testinstallation muss Lauffähig sein und zudem alle Anforderungen und Ziele (3 und 4) erfüllen	Hoch
		Folgende Testziele müssen erreicht werden:	
13	Testziele	1. Der PostgreSQL Cluster muss immer Lauffähig sein solange noch ein Node up ist, unabhängig davon welche Nodes des PostgreSQL HA Clusters down ist	Hoch
		2. Ein Switchover auf alle Secondary Nodes muss möglich sein	
		3. Der Fallback auf den Primary Node muss Erfolgreich sein, unabhängig davon ob ein Failover oder Switchover stattgefunden hat	
		4. Das Timeout bei einem Failover / Switchover muss unterhalb der Default Timeouts der Applikationen GitLab und Harbor liegen.	
		5. Das Replay Lag zwischen Primary und Secondary darf beim Initialen Start nicht über eine Minute dauern oder 1KiB nicht überschreiten	

Tabelle 1.7: Ziele

1.3 Abgrenzung

Es existieren Technische und Organisatorische Abhängigkeiten. Diese haben sowohl ein Risiko als auch einen Impact wenn das Risiko eintritt. Dies wären folgende:

Objekt	Abhängigkeit	Beschreibung	Status	Risiko	Impact
Foreman	VMs	Das Lifecycle Management und Provisioning System muss zur Verfügung stehen um in der Evaluationsphase Develop-VMs und in der Installationsphase Test-VMs erstellen zu können.	Im Moment ist Foreman in einer Proof of Concept Phase.	Das Risiko besteht, dass Foreman nicht betriebsbereit ist	VMs müssen von Hand aufgesetzt werden. Entsprechend wird sehr viel mehr Zeit in der Evaluations- und Installationsphase benötigt.
Storage	Speicher für VMs / Daten	Es müssen genügend Kapazitäten auf dem Storage vorhanden sein, um die VMs und Datenbanken in Betrieb zu nehmen	Storage wurde bereits erweitert, neue Disks für den SAN Storage wurden bestellt.	Auf dem SAN ist keine Kapazität mehr vorhanden	Es können keine VMs oder Datenbanken erstellt werden
Log Management / SIEM System	Sichern der Logfiles für Log Rotation	Ein Log Management System / SIEM muss vorhanden sein, um Logs langfristig sichern zu können.	Die bestehenden Plattformen für das Log Management und das SIAM werden abgelöst. Die Ausschreibung ist erfolgt	Die neue Log Management Plattform ist noch nicht betriebsbereit	Log Retention muss stark erhöht werden. Dies wird mehr Storage in Anspruch nehmen.
HP-UX Ablöseprojekt	Ressourcen	Das Projekt zur Ablösung der HP-UX Plattform für die Oracle Datenbanken geht in die Konzeptions- und Umsetzungsphase.	Das Projekt geht in die Konzeptions- und Umsetzungsphase.	Als Oracle DBA bin ich stark in das Projekt eingebunden. Es besteht, dass Risiko eines Ressourcenengpasses	Projekt kann nicht Zeitgemäss abgeschlossen werden
GitLab	Sicherung	Sicherung von Konfigurationen, Scripts usw.	GitLab ist Implementiert und Betriebsbereit.	GitLab steht nicht mehr zur Verfügung	Keine Versionierung und Teils Sicherungen mehr von Konfigurationsfiles, Scripts usw.

Tabelle 1.8: Abhängigkeiten

1.4 Risikomanagement

Zusätzlich wurde eine SWOT-Analyse-Analyse für das Projekt erstellt, um weitere Risiken und Gefahren für das Projekt aufzudecken. Dabei bezieht sich die Externe Betrachtung auf die Um-systeme und die ICT des KSGR und die Interne Betrachtung auf mich und das Team um mich herum.



Abbildung 1.8: SWOT-Analyse Projekt

Aus den Abhängigkeiten und der SWOT-Analyse-Analyse wurden folgende Risiken identifiziert:

Identifikation				Abschätzung		Behandlung				
ID	Risiko	Beschreibung / Ursache	Auswirkung	WS	SM	Massnahmen ergreifen?	Zielwert	WS	SM	Massnahme
1	Fehlende Ressourcen	Viele parallele Projekte, Aufträge und der Tagesbetrieb	Ressourcen während der Diplomarbeit sind knapp bemessen	3	4	Ja	2	2		Organisation und Selbstmanagement
2	HP-UX Ablöseprojekt	Das Projekt ist sehr umfangreich und ist in die Konzeptions- und Umsetzungsphase gestartet	Das Projekt wird parallel zur Diplomarbeit sehr viele Ressourcen und Aufmerksamkeit binden	4	4	Ja	3	3		Ressourcen reservieren
3	Alte Infrastruktur kann ungeplant sämtliche Ressourcen binden	HP-UX Plattform, DELL NetWorker / Data Domain Umgebung und HPE 3PAR SAN Storage Umgebung sind über dem Lifecycle und haben in den vergangenen Monaten immer wieder kritische Ausfälle erlebt	Bei einem Event, ausgelöst durch das Alter der HP-UX Plattform, der DELL NetWorker / Data Domain Umgebung oder dem SAN Storage, kann der ganze Betrieb zum Erliegen kommen und entsprechend viele Ressourcen aufgrund der Kritikalität binden	4	4	Ja	3	3		Monitoring vorgängig ausbauen und Massnahmen definieren
4	Schwächen beim Selbstmanagement und in der Selbstorganisation	Selbstmanagement und Organisation ist nicht meine Stärke	Das Projekt verzettelt sich, Zeit geht verloren. Auch eine folge könnte der Scope Verlust sein	3	3	Ja	2	2		Werkzeuge im Vorfeld definieren und bereitstellen
5	Scope verlust während des Projekts	Der Scope kann während des Projekts verloren gehen	Verzettelung und Zeitverlust bis hin zu scheitern	3	4	Ja	2	3		Ziele klar definieren
6	Scope Creep	Der Umfang kann stark steigen wenn Ziele nicht genau genug definiert wurden	Zeitverlust bis hin zu scheitern des Projekts	3	4	Ja	3	3		Ziele SMART definieren
7	SIEM / Log Plattform nicht betriebsbereit	Die öffentliche Ausschreibung für die neue / Log Plattform wurde erst am 23.10.2023 veröffentlicht. Bis zur Implementation kann noch Zeit vergehen. Die Foreman Provisioning- und Lifecycle Plattform befindet sich aktuell erst in der Proof of Concept Phase.	Logs müssen länger auf dem System selber vorgehalten werden. Zudem müssen ggf. eigene Massnahmen zum Auslesen von Logs getroffen werden	4	1	Nein				
8	Foreman nicht betriebsbereit	Dadurch besteht das Risiko, dass sie nicht betriebsbereit zum Start der Diplomarbeit ist	Ms müssen von Hand provisioniert werden. Dies bedeutet einen massiven Mehraufwand und verzögert ggf. die Evaluationsphase und mit sicherheit die Installationsphase	3	5	Ja	3	4		Massnahmen ergreifen um die manuelle Installation so effizient wie möglich zu gestalten.

Tabelle 1.9: Risiko-Matrix der Diplomarbeit

Daraus ergibt sich folgende Risikomatrix

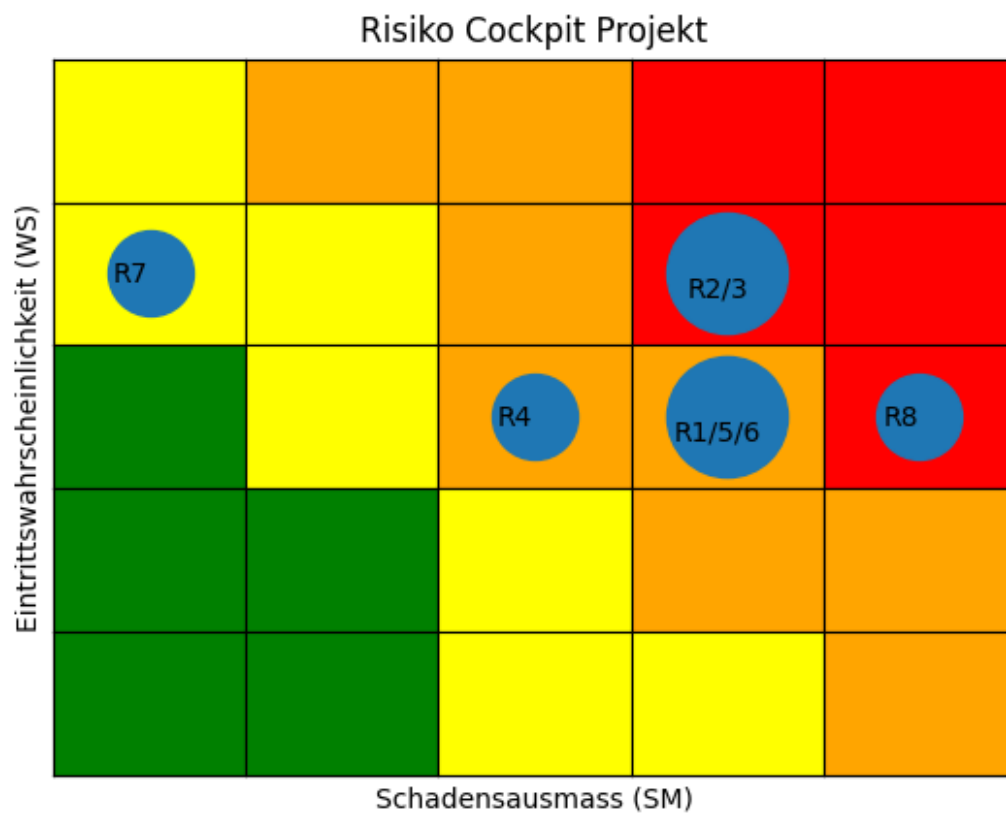


Abbildung 1.9: Projektrisiken

Mit den entsprechenden Massnahmen können die Risiken gesenkt werden:

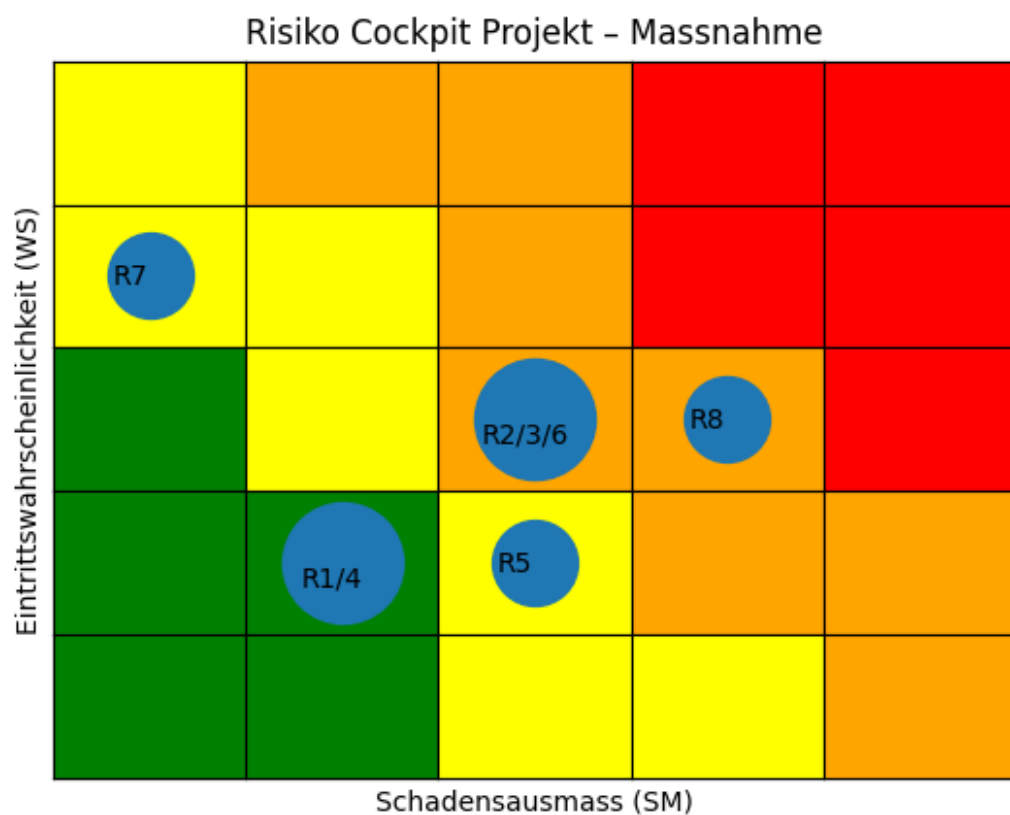


Abbildung 1.10: Projektrisiken mit Massnahmen

1.5 Vorgehensweise und Methoden

1.6 Projektmanagement

1.6.1 Rapport

2 Umsetzung

2.1 Evaluation

2.1.1 Erheben und Gewichten der Anforderungen

2.1.2 Exkurs Architektur

2.1.2.1 Monolithische vs. verteilte SQL Systeme

Klassische SQL-Datenbanken sind Monolithische Systeme, selbst wenn sie mittels Replikation eine Primary/Standby-Architektur aufweisen. Man kann mittels eines SQL Proxys ein gewisses Mass an Load Balancing betreiben, hat aber immer noch das Problem das es einen Primary Node gibt auf dem beschrieben wird.

Verteilte Systeme wiederum

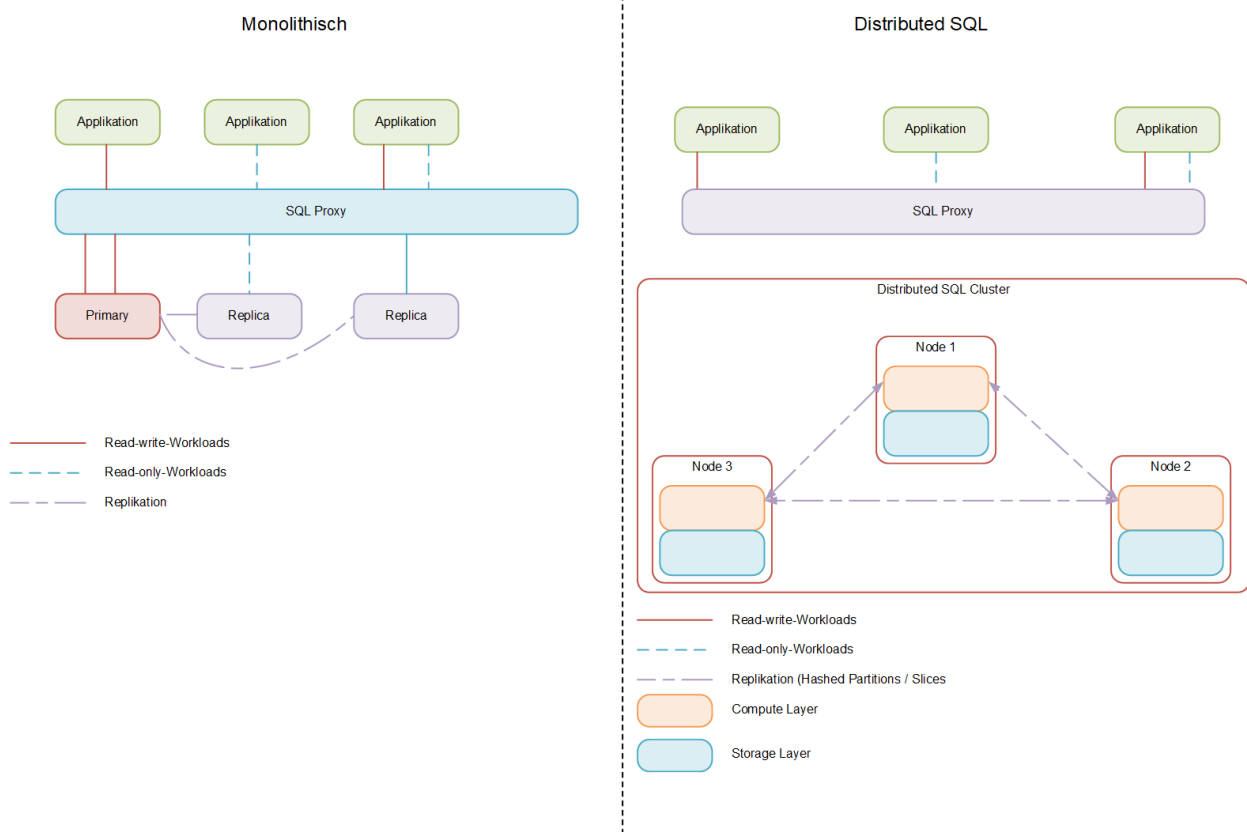


Abbildung 2.1: Monolithische vs. verteilte SQL Systeme

2.1.2.2 High Availability und Replikation

Wenn eine Datenbank HA (High Availability), also Hochverfügbar, sein soll, braucht es eine Primäre und mindestens eine Sekundäre- oder Failover-Datenbank. Um Datenverlust zu vermeiden, müssen die Daten permanent von der Primären auf die sekundäre Datenbank repliziert werden, dies nennt man Replikation[31]. Dabei wird zwischen den folgenden beiden Replikationen unterschieden:

Synchrone Replikation

Wenn bei einer Synchronen Replikation eine Transaktion abgesetzt wird, wird der Commit auf der primären Seite erst gesetzt, wenn die Änderung auf der sekundären Seite oder den sekundären Seiten ebenfalls eingetragen und Committed ist. Bis zu diesem Moment ist die Transaktion nicht als Committed.

Dies wird dann zum Problem, wenn keine Verbindung mehr zu mindesten einer sekundären Seite vorhanden ist. Zudem wird die Synchrone Replikation bei hohen Latenzen zum Bottleneck der Datenbank.

Asynchrone Replikation

Bei der Asynchronen Replikation wird eine Transaktion erst auf der eigenen primären Seite Committed und erst dann an die sekundären Nodes gesendet. Besonders bei hohen Latenzen bleibt die Datenbank immer performant, allerdings kann es je nach Latenz und genereller Auslastung zu Datenverlusten kommen, wenn es zum Failover kommt.

2.1.2.3 Quorum

Ein Quorum-System soll die Integrität und Konsistenz in einem Datenbank-Cluster sicherstellen. Dabei gilt zu beachten, dass nicht eine beliebige Anzahl an Nodes hinzugefügt werden können. Auch hat das Hinzufügen von Nodes immer eine Einbusse an Performance zur Folge, besonders dann, wenn eine Synchrone Replikation gewählt wird und auf jedes Commitment von den Replica-Nodes gewartet werden muss.

Quorum

Die Mehrheit der Server, die einen funktionierenden Betrieb gewährleisten können, ohne eine Split-brain-Situation zu erzeugen. Die Formel ist gemeinhin $n/2 + 1$

Throughput

Beschreibt, wie sich die Anzahl Nodes auf die Schreibgeschwindigkeit der Commitments auf die restlichen Nodes auswirkt.

Die Verdopplung der Server halbiert i.d.R. den Throughput.

Fehlertoleranz

Beschreibt, wie viele Nodes ausfallen können, damit der Cluster noch Arbeitsfähig ist.

Wobei eine Erhöhung der Nodes von 3 auf 4 die Fehlertoleranz nicht erhöht, da nun eine Split-brain-Situation entstehen kann.

Hier ein Beispiel wie sie in den Artikeln [29, 39, 25] beschrieben werden. Es zeigt auf, ab wie vielen Nodes die Fehlertoleranz erhöht wird und wie sich der Representative Throughput verhält.

Anzahl Nodes	Quorum	Fehlertoleranz	Representative Throughput
1	1	0	100
2	2	0	85
3	2	1	82
4	3	1	57
5	3	2	48
6	4	2	41
7	4	3	36

Tabelle 2.1: Quorum Beispiele

2.1.2.4 CAP Theorem

Das CAP Theorem besagt, dass nur zwei der drei folgenden drei Merkmale von verteilten Systemen gewährleistet werden können [16].

Konsistenz - Consistency

Die Datenbank ist konsistent, alle Clients sehen gleichzeitig die gleichen Daten unabhängig auf welchem Node zugegriffen wird. Hierzu muss eine Replikation der Daten an alle Nodes stattfinden und der Commit zurückgegeben werden, also eine synchrone Replikation stattfinden.

Verfügbarkeit - Availability

Jeder Client, der eine Anfrage sendet, muss auch eine Antwort erhalten. Unabhängig davon wie viele Nodes im Cluster noch aktiv ist.

Ausfalltoleranz / Partitionstoleranz - Partition tolerance

Der Cluster muss auch dann noch funktionsfähig bleiben, wenn es eine beliebige Anzahl von Verbindungsunterbrüchen oder anderen Netzwerkproblemen zwischen den Nodes gibt.



Abbildung 2.2: CAP-Theorem

PostgreSQL, Oracle Database oder IBM DB2 präferieren CA, also Konsistenz und Verfügbarkeit.

2.1.2.5 Skalierung

Datenbanken müssen skalierbar sein. Dabei wird unterschieden zwischen einer vertikalen Skalierung (scale-up) und horizontaler Skalierung (scale-out). Bei der vertikalen Skalierung werden den DB-Servern mehr CPU-Cores und Memory sowie zum Teil Storage hinzugefügt, wobei der Storage in jedem Fall wachsen wird. Beim horizontalen Skalieren werden weitere

DB-Nodes in den Cluster eingehängt[27]:

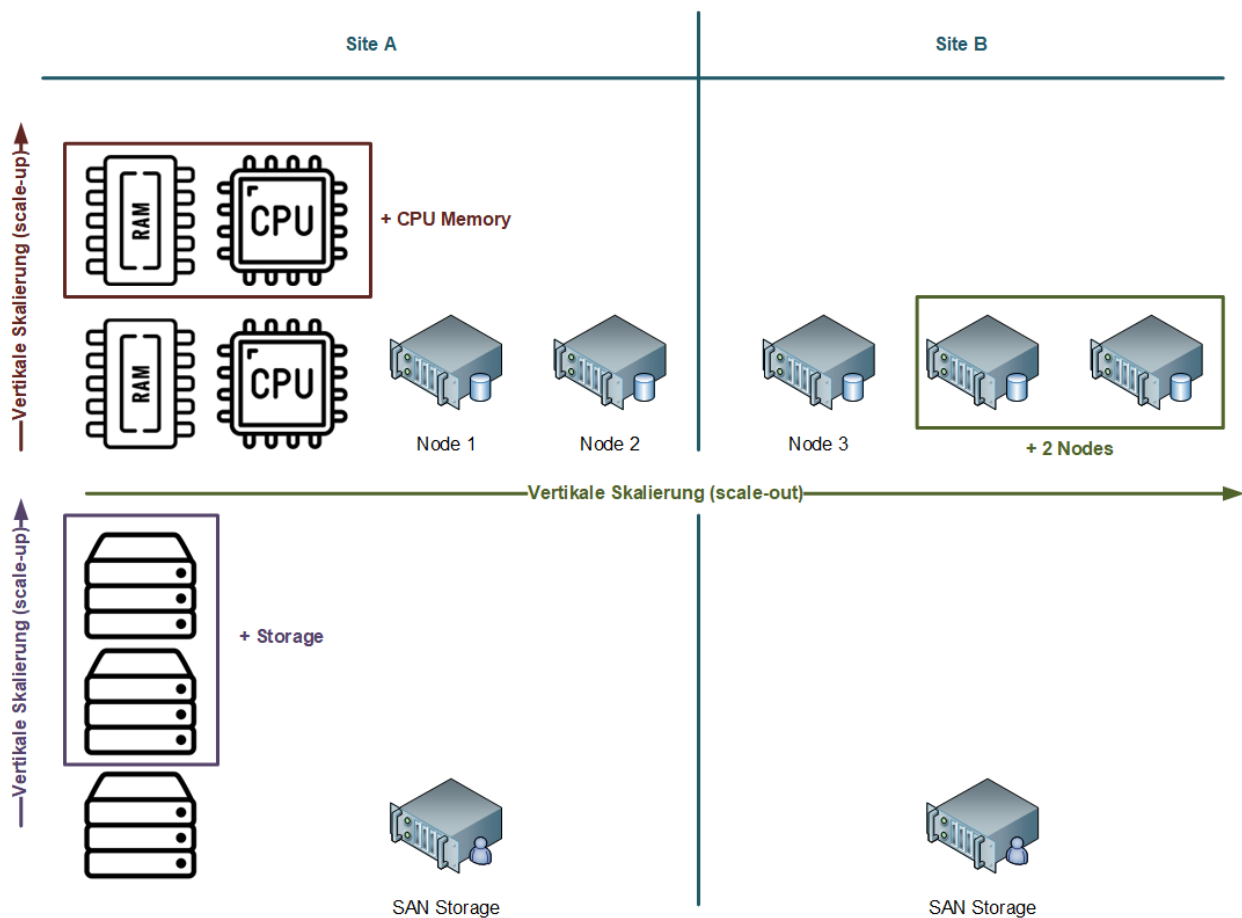


Abbildung 2.3: Datenbankskalierung

Bei monolithischen Datenbanken, werden irgendwann die Grenzen der horizontalen Skalierung erreicht und man muss wieder vertikal skalieren, um dem Primary Node genügend Rechnerleistung vorzuhalten.

2.1.3 Testziele erarbeiten

2.1.4 PostgreSQL Benchmarking

PostgreSQL bietet ein Benchmarking-Tool,[24, 1] mit dem die DB vermessen werden kann.

2.1.5 Analyse gängiger PostgreSQL HA Cluster Lösungen

2.1.5.1 PostgreSQL Replikation

PostgreSQL bietet von Haus aus Möglichkeiten, um Replikationen durchzuführen. Dabei ist nicht jede gleich gut für jedes Szenario geeignet[23].

Shared Disk Failover

File System (Block Device) Replication

Write-Ahead Log Shipping

Logical Replication

Trigger-Based Primary-Standby Replication

Data Partitioning

Multiple-Server Parallel Query Execution

2.1.5.2 KSGR Lösung

Das Kantonsspital Graubünden hat basierend auf keepalived wird geprüft ob die primäre Seite erreichbar und betriebsbereit ist. Trifft dies nicht mehr zu, wird ein Failover durchgeführt[40]. Ist die primäre Seite wieder verfügbar, wird ein Restore auf die primäre Seite gefahren.

Es wird beim Restore immer ein komplettes Backup der sekundären Seite auf die primäre Seite übertragen. Ursache ist, dass die normalerweise für den Datenrestore benötigten PostgreSQL Board mittel nur für eine relativ kurze Zeit eingesetzt werden können ehe die differenzen zwischen den beiden Seiten zu gross werden.

Bei kleinen Datenbanken wie jene für Harbor und GitLab ist die Zeit die hierfür benötigt wird, nicht relevant. Sind die Datenbanken auf dem PostgreSQL Cluster jedoch grösser, kann der Restore mehrere Minuten dauern.

2.1.5.3 pgpool-II

pgpool-II ist eine Middleware die zwischen einem PostgreSQL Cluster und einem PostgreSQL Client gesetzt wird. pgpool-II bietet folgende Funktionen[37, 21]:

High Availability

pgpool-II bietet einen automatic Failover genannten Service an, den Watchdog. Dieser schwenkt auf einen Standby-Server und entfernt den Defekten Server. Um false positive Events und Split-brains zu verhindern setzt pgpool-II auf einen eigens entwickelten Quorum-Algorithmus.

Connection Pooling

Bestehende Connections werden wiederverwendet um die Anzahl gleichzeitig offener Connections zu reduzieren. Der Pool wird dabei anhand von Username, Database, Protocol und weiteren Verbindungsparametern zugeordnet.

Replikation

Nebst dem Standard PostgreSQL bietet pgpool-II sein eigenes Replikationssystem an.

Load Balancing

Ähnlich wie Oracle Active Data Guard [8] bietet auch pgpool-II die Möglichkeit, SELECT-Queries und Backup-Jobs auf die Secondary-Nodes umzuleiten um den Primary Node zu entlasten.

Limiting Exceeding Connections

Die Anzahl an concurrent Connections, also gleichzeitiger Verbindungen, ist bei PostgreSQL begrenzt (Systemparameter wird dabei vom DBA gesetzt). pgpool-II speichert alle Connections, die über dem Limit sind, in einer Queue und somit nicht sofort fehlerhaft abgelehnt.

Watchdog

Der Watchdog koordiniert mehrere pgpool-II Nodes und verhindert ein Split-brain.

In Memory Query Caching

pgpool-II speichert SELECT-Queries in einem Cache und verwendet die ResultSets wieder, wenn eine identische Abfrage eingeht.

Online Recovery

2.1.5.4 `pg_auto_failover`

2.1.5.5 `Patroni`

2.1.5.6 `CloudNativePG`

2.1.5.7 `yugabyteDB - Distributed SQL 101`

yugabyteDB - Distributed SQL 101 ist eine nahezu komplett PostgreSQL Kompatible Datenbank. Sie ist eine Distributed SQL Datenbank, also eine Verteilte Datenbank[49].

2.1.6 `Installation verschiedener Lösungen`

2.1.7 `Gegenüberstellung der Lösungen`

2.1.8 `Entscheid`

2.2 `Aufbau und Implementation Testsystem`

- 2.2.1 Bereitstellen der Grundinfrastruktur
- 2.2.2 Installation und Konfiguration PostgreSQL HA Cluster
- 2.2.3 Technical Review der Umgebung
- 2.3 Testing
 - 2.3.1 Testing
 - 2.3.2 Protokollierung
 - 2.3.3 Review und Auswertung
- 2.4 Troubleshooting und Lösungsfindung

- 3** **Resultate**
- 3.1** **Zielüberprüfung**
- 3.2** **Schlussfolgerung**
- 3.3** **Weiteres Vorgehen / offene Arbeiten**
- 3.4** **Persönliches Fazit**

Abbildungsverzeichnis

1.1	Spitalregionen Kanton Graubünden[20]	1
1.2	Wahlkreise Kanton St. Gallen[41]	2
1.3	Spitalregionen / Spitalstrategie Kanton St. Gallen[14]	3
1.4	Organigramm Kantonsspital Graubünden	4
1.5	Organigramm Departement 10 - ICT	5
1.6	Risiken bestehende Lösung	11
1.7	Risiken bestehende Lösung mit Massnahmen	12
1.8	SWOT-Analyse Projekt	20
1.9	Projektrisiken	22
1.10	Projektrisiken mit Massnahmen	23
2.1	Monolithische vs. verteilte SQL Systeme	24
2.2	CAP-Theorem	27
2.3	Datenbankskalierung	28

Tabellenverzeichnis

1.1	Inventarisierte Datenbanksysteme	7
1.2	Datenbankinventar	8
1.3	Datenbankinventor - Nach Betriebssystemen aufgeschlüsselt	8
1.4	Risiko-Matrix aktuelle Situation PostgreSQL Datenbanken	10
1.5	Administrative Aufgaben	13
1.6	Automatisierung Administrativer Aufgaben	15
1.7	Ziele	17
1.8	Abhängigkeiten	19
1.9	Risiko-Matrix der Diplomarbeit	21
2.1	Quorum Beispiele	26

Literatur

- [1] *About pgbench-tools*. <https://github.com/gregs1104/pgbench-tools>. original-date: 2010-02-17T13:33:28Z. 2023.
- [2] Satyadeep Ashwathnarayana und Inc. Netdata. *How to monitor and fix Database bloats in PostgreSQL?* | Netdata Blog. <https://blog.netdata.cloud/postgresql-database-bloat/>. 2022.
- [3] GitLab B.V. und GitLab Inc. *The DevSecOps Platform* | GitLab. <https://about.gitlab.com/>.
- [4] Alexandre Cassen und Read the Docs. *Introduction — Keepalived 1.2.15 documentation*. <https://keepalived.readthedocs.io/en/latest/introduction.html>. 2017.
- [5] Microsoft Corporation. *Azure SQL-Datenbank – ein verwalteter Clouddatenbankdienst* | Microsoft Azure. <https://azure.microsoft.com/de-de/products/azure-sql/database>. 2023.
- [6] Microsoft Corporation. *Datenbank-Software und Datenbankanwendungen* | Microsoft Access. <https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/access>. 2023.
- [7] Microsoft Corporation. *Microsoft Data Platform* | Microsoft. <https://www.microsoft.com/de-ch/sql-server>.
- [8] ORACLE CORPORATION. „Oracle (Active) Data Guard 19c“. In: (2019), S. 14.
- [9] Varun Dhawan und data-nerd.blog. *PostgreSQL-Diagnostic-Queries – data-nerd.blog*. <https://data-nerd.blog/2018/12/30/postgresql-diagnostic-queries/>.
- [10] Elektronik-Kompendium.de und Schnabel Schnabel. *SAN - Storage Area Network*. <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0906071.htm>. 2023.
- [11] DB-Engines und solidIT consulting & software development gmbh. *DB-Engines Ranking*. <https://db-engines.com/en/ranking>.
- [12] DB-Engines und solidIT consulting & software development gmbh. *relationale Datenbanken - DB-Engines Enzyklopädie*. <https://db-engines.com/de/article/relationale+Datenbanken?ref=RDBMS>.
- [13] The Linux Foundation. *Harbor*. <https://goharbor.io/>. 2023.
- [14] Kanton St. Gallen - Amt für Gesundheitsversorgung und Staatskanzlei Kanton St. Gallen - Dienststelle Kommunikation. *Weiterentwicklung der Strategie der St.Galler Spitalverbunde* | sg.ch. <https://www.sg.ch/gesundheit-soziales/gesundheit/gesundheitsversorgung--spitaeler-s-spitaeler-kliniken/spitalzukunft.html>.
- [15] Git. *About - Git*. <https://git-scm.com/about>.

- [16] IBM Deutschland GmbH. *Was ist das CAP-Theorem?* | IBM. <https://www.ibm.com/de-de/topics/cap-theorem>. 2023.
- [17] IBM Deutschland GmbH. *Was ist OLAP?* | IBM. <https://www.ibm.com/de-de/topics/olap>.
- [18] Jedox GmbH. *Was ist OLAP? Online Analytical Processing im Überblick*. <https://www.jedox.com/de/blog/was-ist-olap/>. Section: Knowledge.
- [19] Pure Storage Germany GmbH. *Was ist ein Storage Area Network (SAN)?* | Pure Storage. <https://www.purestorage.com/de/knowledge/what-is-storage-area-network.html>.
- [20] Gesundheitsamt Graubünden, Uffizi da sanadad dal Grischun und Ufficio dell'igiene pubblica dei Grigioni. *Kenndaten 2016 Spitäler und Kliniken September 2018*. <https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/djsg/ga/InstitutionenGesundheitswesens/Spitaeler/Dok%20Spitler/Kenndaten%202016%20Spit%C3%A4ler.pdf>.
- [21] The Pgpool Global Development Group. *What is Pgpool-II?* <https://www.pgpool.net/docs/44/en/html/intro-what-is.html>. 2023.
- [22] The PostgreSQL Global Development Group. *25.1. Routine Vacuuming*. <https://www.postgresql.org/docs/16/routine-vacuuming.html>. 2023.
- [23] The PostgreSQL Global Development Group. *27.1. Comparison of Different Solutions*. <https://www.postgresql.org/docs/16/different-replication-solutions.html>. 2023.
- [24] The PostgreSQL Global Development Group. *pgbench*. <https://www.postgresql.org/docs/16/pgbench.html>. 2023.
- [25] Patrick Hunt, Mahadev Konar, Flavio P Junqueira und Benjamin Reed. „ZooKeeper: Wait-free coordination for Internet-scale systems“. In: (2010).
- [26] Splunk Inc. *Splunk | Der Schlüssel zu einem resilienten Unternehmen*. https://www.splunk.com/de_de. 2023.
- [27] Sebastian Insausti. *Scaling PostgreSQL for Large Amounts of Data*. <https://severalnines.com/blog/scaling-postgresql-large-amounts-data/>. 2019.
- [28] Shiv Iyer und MinervaDB. *PostgreSQL DBA Daily Checklist*. <https://minervadb.xyz/postgresql-dba-daily-checklist/>. 2020.
- [29] Unmesh Joshi. *Quorum*. <https://martinfowler.com/articles/patterns-of-distributed-systems/quorum.html>. 2020.
- [30] Martin Keen und IBM Deutschland GmbH. *IBM Db2*. <https://www.ibm.com/de-de/products/db2>.
- [31] Pasha Kostohrys. *Database replication — an overview*. <https://medium.com/@pkostohrys/database-replication-an-overview-f7ade110477>. 2020.
- [32] Anatoli Kreyman. *Was ist eigentlich Splunk?* <https://www.kreyman.de/index.php/splunk/76-was-ist-eigentlich-splunk-big-data-platform-monitoring-security>.

- [33] Pankaj Kushwaha und Unit 3D North Point House. *POSTGRESQL DATABASE MAINTENANCE. Routine backup of daily database...* | by Pankaj kushwaha | Medium. <https://pankajconnect.medium.com/postgresql-database-maintenance-66cd638d25ab>.
- [34] Red Hat Limited. *Was ist CI/CD? Konzepte und CI/CD Tools im Überblick.* <https://www.redhat.com/de/topics/devops/what-is-ci-cd>.
- [35] Switzerland Linuxfabrik GmbH Zurich. *Keepalived — Open Source Admin-Handbuch der Linuxfabrik.* <https://docs.linuxfabrik.ch/software/keepalived.html>. 2023.
- [36] Nico Litzel, Stefan Luber und Vogel IT-Medien GmbH. *Was ist Elasticsearch?* <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-elasticsearch-a-939625/>. 2020.
- [37] SRA OSS LLC. *pgpool Wiki.* https://www.pgpool.net/mediawiki/index.php/Main_Page. 2023.
- [38] Hewlett Packard Enterprise Development LP. *Was ist SAN-Speicher? | Glossar.* <https://www.hpe.com/ch/de/what-is/san-storage.html>.
- [39] Diego Ongaro. „Consensus: Bridging Theory and Practice“. In: (2014).
- [40] Bruno Queirós und LinkedIn Ireland Unlimited Company. *Postgresql replication with automatic failover.* <https://www.linkedin.com/pulse/postgresql-replication-automatic-failover-brunoc3%B3s>. 2020.
- [41] Kanton St. Gallen - Dienst für politische Rechte und Staatskanzlei Kanton St. Gallen - Dienststelle Kommunikation. *Wahlkreise für Kantonsratswahlen | sg.ch.* <https://www.sg.ch/politik-verwaltung/abstimmungen-wahlen/wahlen/Wahlkreise-im-Kanton-SG.html>.
- [42] Ed Reckers und SnapLogic Inc. *Was ist die Snowflake-Datenplattform?* <https://www.snaplogic.com/de/blog/snowflake-data-platform>. 2023.
- [43] IONOS SE. *Apache Cassandra: Verteilte Verwaltung großer Datenbanken.* <https://www.ionos.de/digitalguide/hosting/hosting-technik/apache-cassandra-vorgestellt/>. 2021.
- [44] IONOS SE. *Datenbankmanagementsystem (DBMS) erklärt.* <https://www.ionos.de/digitalguide/hosting/hosting-technik/datenbankmanagementsystem-dbms-erklart/>. 2020.
- [45] IONOS SE. *MongoDB – die flexible und skalierbare NoSQL-Datenbank.* <https://www.ionos.de/digitalguide/websites/web-entwicklung/mongodb-vorstellung-und-vergleich-mit-mysq>. 2019.
- [46] IONOS SE. *SQLite: Die bekannte Programmbibliothek im Detail vorgestellt.* <https://www.ionos.de/digitalguide/websites/web-entwicklung/sqlite/>. 2023.
- [47] IONOS SE. *Was ist Redis? Die Datenbank vorgestellt.* <https://www.ionos.de/digitalguide/hosting/hosting-technik/was-ist-redis/>. 2020.
- [48] IONOS SE. *Was ist SIEM (Security Information and Event Management)?* <https://www.ionos.de/digitalguide/server/sicherheit/was-ist-siem/>. 2020.

- [49] Sami Ahmed Siddiqui. *Distributed SQL 101*. <https://www.yugabyte.com/distributed-sql/>.
- [50] Inc. Snowflake. *Datenbanken, Tabellen und Ansichten – Überblick | Snowflake Documentation*. <https://docs.snowflake.com/de/guides-overview-db>.
- [51] Thomas-Krenn.AG. *Git Grundlagen – Thomas-Krenn-Wiki*. https://www.thomas-krenn.com/de/wiki/Git_Grundlagen.

Glossar

AUTOVACUUM Der AUTOVACUUM Job räumt die Tablespaces und Data Files innerhalb von PostgreSQL sowie auf dem Filesystem nach Lösch- und Manipulations-Transaktionen auf, aktualisiert Datenbank interne Statistiken und verhindert Datenverlust von selten genutzten Datensätzen[22].. 15, 17

Cassandra Cassandra ist eine Spaltenorganisierte NoSQL-Datenbank die 2008 veröffentlicht[43] wurde.. 7

CI/CD Continuous Integration/Continuous Delivery bedeutet, dass Anpassungen kontinuierlich in die Entwicklungsumgebungen integriert und auf die Zielplattformen verteilt werden[34].. 4

DBMS Ein Database Management System regelt und organisiert die Datenbasis einer Datenbank[44].. 4

Elasticsearch Elasticsearch ist eine 2010 veröffentlichte Open-Source Suchmaschine die auf Basis von JSON-Dokumenten und einer NoSQL-Datenbank arbeitet[36].. 7

Failover In einem Fehlerfall wird in einem HA-System meist ein Primary Node auf den Secondary ungeplant geschwitched.. 17, 25, 29, 40

Foreman Foreman ist ein Lifecycle Management und Provisioning System für Virtuelle und Physische Server. Ab Version 6 basiert der Red Hat Satellite auf Foreman. 19, 21, 41

Git Git ist eine Versionierungssoftware und bietet die Möglichkeit, Repositories erstellen zu können. Die Repositories sind dabei nicht zentral sondern dezentral organisiert und arbeiten daher mit Working Copies von Repositories[15, 51].. 39

GitLab GitLab ist ein Git basierendes System für die Versionierung und bietet dabei auch noch Dienste für CI/CD. GitLab kann sowohl als Online Dienst als auch als On-premises Service konsumiert werden[3].. 17, 19, 29

Harbor Harbor ist ein Open-Source-Tool zur Registrierung von Richtlinien rollenbasierten Zugriffssteuerung[13]. Harbor wird beim KSGR zur Verwaltung der Kubernetes-Plattform verwendet.. 17, 29

HP-UX Dieses UNIX-Derivat ist ein abkömmling von System III, System V R3 und System V R4 und wurde von HP zum ersten Mal 1982 veröffentlicht.. 4, 5, 8, 19, 21

IBM DB2 IBM DB2 ist eine Relationale Datenbank[30] deren Vorläufer System-R von IBM zwischen 1975 und 1979 entwickelt wurde. DB2 selber wurde 1983 von IBM veröffentlicht.. 7, 27

keepalived keepalived nutzt VRRP um eine leichtgewichtige Lösung für ein HA-Failover zu realisieren. keepalived benötigt dazu keinen dritten Node, also einen Quorum-Node. Wenn die definierte sekundärseite keine Antwort mehr von der primären Seite nach einer definierten Anzahl versuchen in einem bestimmten Interval mehr bekommt, oder ein per Skript definiertes Event auf der primären Seite eintrifft, wird ein Failover auf die sekundäre Seite ausgeführt. Je nach Konfiguration kann der Restore auf die primäre Seite eingeleitet werden wenn diese wieder verfügbar ist oder der Restore unterbunden werden[35, 4].. 29

Kubernetes Kubernetes, oder k8s, ist eine Open-Source Containerplattform die ursprünglich von Google 2014 für die Bereitstellung und Orchestrierung von Containern entwickelt wurde aber 2015 an eine Tochter Foundation der Linux Foundation gespendet. Kubernetes kommt aus dem Griechischen und bedeutet Steuermann.. 4, 8, 39

Linux Linux ist ein Open-Source Betriebssystem, welches von Linus Torvalds 1991 in seiner frühesten Form entwickelt wurde und lose vom UNIX Derivat MINIX inspiriert war. Linux besteht heute aus einer enorm grossen Anzahl an Distributionen und läuft auf einer grossen Anzahl von Plattformen.. 5, 8, 40

MariaDB MariaDB ist ein MySQL Fork des ehemaligen MySQL Mitbegründers Michael Widenius, wobei sich der Name Maria aus dem Vornamen einer seiner Töchter ableitet. Nach dem Fork 2009 blieb MariaDB für eine Zeitlang sehr ähnlich mit MySQL und behielt ein ähnliches Versionierungsschema bei. Dies änderte sich 2012 wo dann direkt mit der Version 10 weitergefahren wurde. Beide Datenbanken entfernen sich im Lauf der Zeit immer mehr voneinander und sind nicht mehr in jedem Fall kompatibel oder beliebig austauschbar. Auf den Linux Distributionen tritt MariaDB die Nachfolge von MySQL als Standard Datenbank an.. 5, 7, 8, 9

Microsoft Azure SQL Database Microsoft Azure SQL Database oder auch Azure SQL ist eine Relationale Datenbank die von Microsoft für die Azure Cloud optimiert 2010 Entwickelt wurde[5].. 7

Microsoft Access Access wurde 1992 veröffentlicht und ist Entwicklungsumgebung, Front- und Backend-Software und Relationale Datenbank in einem[6].. 7

Microsoft SQL Server MS SQL Server ist das RDBMS von Microsoft[7]. Nebst Microsoft Windows und Windows Server lässt es sich seit Version 2014 ebenfalls auf Linux Betreiben. In der Wirtschaft ist die primäre Plattform aber Windows Server.. 5, 7, 41

MongoDB MongoDB ist eine dokumentenorientierte NoSQL-Datenbank, die zum ersten Mal 2007 veröffentlicht wurde[45].. 7, 8

MySQL Die Datenbank MySQL wurde Ursprünglich als reine Relationale Open-Source Datenbank von Firma MySQL AB 1994 Entwickelt. Der Name My leitet sich vom Namen My der Tochter des Mitbegründers Michael Widenius ab. Als Sun Microsystems 2008 MySQL übernahm, hielt sich die Option frei, bei einem Kauf von Sun Microsystems durch Oracle gründen zu dürfen. Seit Oracle Sun Microsystems 2010 gekauft hat, wurden immer mehr Funktionalitäten von der Community Edition zu der Enterprise Edition verschoben worden. Aus diesem Grund hat heute der MySQL Fork MariaDB MySQL mehrheitlich aus allen Linux Distributionen als Standard Datenbank verdrängt.. 5, 7, 8, 9

NoSQL NoSQL steht für Not only SQL. Das heisst, Relationale Datenbanken haben Komponenten wie Dokumentendatenbanken, Graphendatenbanken, Key-Value-Datenbanken und Spaltenorientiert Datenbanken. Viele der grossen Datenbanklösungen wie Oracle Database oder Microsoft SQL Server sind NoSQL Datenbanken resp. bieten diese Option an.. 7, 39, 41, 42, 43

OLAP Eine Online Analytical Processing, kurz OLAP, ist eine Multirelationale resp. Multidimensionale Datenbanklösung. Sie wird oft in Form eines Datenwürfels erklärt, kann aber auf verschiedene Arten umgesetzt werden[18, 17]. OLAP-Systeme bieten eine Hochperformante Analyse grosser Datenmengen und sind oftmals zentraler Teil eines Data-Warehouses.. 4, 7

openSUSE openSUSE ist eine Linux Distribution die aus den Distributionen Slackware Linux, Jurix und S.u.S.E. Linux 4.2 heraus entstand. Die Distribution wird heute von der SUSE S.A. betreut. Das OS ist Open-Source wobei es Enterprise Editionen für Server und Desktop sowie Tools für das Lifecycle Management und Provisioning gibt, die in Konkurrenz zu Red Hat Satellite und deren Open-Source Basis Foreman stehen.. 45

Oracle Database Die erste verfügbare Version der Oracle Datenbank kam im Jahr 1979 mit Version 2 (statt Version 1) heraus, damals allerdings nur mit den Basisfunktionen. Im Laufe der Zeit wuchs der Funktionsumfang sehr stark an, die Grundlage des Client-Server-Designs kam erstmals im Jahr 1985 mit Version auf den Markt und hat sich im Prinzip bis heute gehalten. Mit der mit Version 8/8i 1997 erschienenen Optimizer und mit der Version 9i 2001 erschienenen Flashback-Funktionalität (die ein schnelles Online Recovery sowie einen Blick in die Vergangenheit ermöglichen) konnte Oracle sich stark von der Konkurrenz absetzen. Heute gilt die Datenbank als erste Wahl, wenn es um Hochverfügbare Systeme, hohe Performance oder grosse Datenmengen geht.. 5, 7, 8, 27, 41

PostgreSQL Die OpenSource Datenbank PostgreSQL wurde in Form von POSTGRES zum ersten Mal 1986 von der University of California at Berkeley veröffentlicht. und zählt zu den

beliebtesten OpenSource Datenbanken. Zudem besteht in vielen Bereichen eine gewisse Ähnlichkeit zu Oracles Oracle Database.. 5, 7, 8, 9, 12, 13, 27, 28, 29, 30, 45

PostgreSQL HA Cluster Der HA Cluster des PostgreSQL Clusters. 17

PostgreSQL Cluster Ein PostgreSQL Cluster entspricht einer Instanz bei MS SQL oder einer Container Database wie Oracle.. 16, 17, 29, 42, 45

PRTG Das Monitoring System Paessler Router Traffic Grapher der Firma Paessler wurde 2003 zum ersten Mal veröffentlicht und war ebenfalls als Netzwerkmonitoring System konzipiert. Wie bei Zabbix lässt sich heute damit ebenfalls fast jedes IT-System überwachen. Reichen die zahlreichen vorhandenen Standard Sensoren nicht, können eigene Sensoren geschrieben werden. PRTG ist nicht Open-Source, man bezahlt anhand gewisser Sensor Packages.. 4, 5, 15

Quorum In verteilten Systemen resp. Cluster muss sichergestellt werden, dass bei einem Ausfall oder einer Netzwerktrennung zwischen den Nodes es zu keiner Split-brain-Situation kommt. Hierzu wird i.d.R. ein Quorum verwendet. I.d.R. wird jener Teil des Quorums zum Primary oder alleinigen Node, der mit der Mehrheit aller Nodes vereint. Daraus ergeben sich bestimmte Größen, mit 5 Nodes braucht es 3 Nodes um aktiv zu bleiben und mit 3 Nodes deren 2. Bei diesen Konstellationen wird daher darauf geachtet, eine ungerade Anzahl Nodes im Cluster zu halten um keine Pat-Situation zu provozieren. Im Kapitel [Unterabschnitt 2.1.2.3](#) wird genauer auf die Mechanik eines Quorums eingegangen. . 29, 40

RDBMS Ein RDBMS ist ein Datenbankmanagementsystem für eine Relationale Datenbank. Relationale Datenbanken sind Tabellenorganisierte Datenmodelle, die auf Relationen aufbauen, deren Schemata sich Normalisieren lassen. Dabei müssen Relationale Datenbanken müssen dabei auch Mengenoperationen, Selektion, Projektion und Joins erfüllen, um als Relationale Datenbanken zu gelten[12].. 4, 8

Redis Redis ist eine Key-Value-orientierte NoSQL In-Memory-Datenbank, d.h. die Daten liegen primär im Memory und nicht auf dem Storage[47]. Redis wurde 2009 zum ersten Mal veröffentlicht.. 7, 8

SAN Ein Storage Area Network ist ein dediziertes Netzwerk aus Storage Komponenten. SAN Systeme bieten redundante Pools an Speicher. Die physischen Festplatten werden zu virtuellen LUNs, also logischen Einheiten, zusammengefasst. Dies werden nach aussen den Konsumenten präsentiert[10, 38, 19]. 4, 5, 19, 21

SIEM Ein SIEM sammelt Daten aus verschiedenen Netzwerkkomponenten oder Geräten von Agents oder Logs. Diese Daten werden permanent analysiert und mit einem definierten Regelwerk gegengeprüft. Ziel ist es, verdächtige Events zu erkennen und einem Angriff zuvorzukommen oder ihn möglichst früh zu unterbinden[48].. 4, 19

Snowflake Snowflake ist eine Big Data Plattform die Data Warehousing, Data Lakes, Data Engineering und Data Science in einem Service vereint. Die Daten werden in eigenen internen Relationalen und NoSQL-Datenbanken gespeichert[50, 42]. 7

Split-brain Im Kapitel ?? werden die Ursachen und Folgen eines Split-brains genauer besprochen. . 25, 26, 42

Splunk Splunk ist Big Data Plattform, Monitoring- und Security-Tool in einem[26, 32]. . 7

SQLite SQLite ist eine Relationale Embedded Datenbank welche seit 2000 existiert. Sie verzichtet auf eine Client-Server-Architektur und kann in vielen Frameworks eingebunden werden[46].. 7

Switchover In einem Maintenance-Fall in einem HA-System meist ein Primary Node auf den Secondary geplant geschaltet.. 17

SWOT-Analyse Eine SWOT-Analyse soll die Stärken (Strengths), Schwächen (Weaknesses), Chancen (Opportunities) und Risiken (Threads) für ein Unternehmen oder ein Projekt aufzeigen. Anhand einer SWOT-Analyse werden i.d.R. anschliessend Strategien abgeleitet um mit den Stärken und Chancen die Schwächen und Risiken abzufangen oder anzumildern.. 4, 20

UNIX Die erste Version von UNIX wurde im Jahr 1969 in den Bell Labs entwickelt und übernahm viele Komponenten aus dem gescheiterten Multics-Projekt. Aus dem Ursprünglichen UNIX entstanden im Laufe der Zeit viele offene und proprietäre Derivate deren Einfluss weit über die Welt der Informatik reicht.. 4

VRRP VRRP . 4, 40

Zabbix Das 2001 veröffentlichte Open-Source Monitoring System Zabbix gilt zwar als Netzwerk-Monitoring System, allerdings kann heute nahezu jedes IT-System damit überwacht werden. Zabbix speichert die Metriken und nicht die Auswertungen, das heisst, solange die Daten vorhanden sind können Grafiken zu jedem Zeitpunkt generiert werden. Zabbix ist grundsätzlich Open-Source, man kann allerdings Supportverträge abschliessen.. 9

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Thesis selbständig verfasst und keine andern als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche kenntlich gemacht. Ich versichere zudem, dass ich bisher noch keine wissenschaftliche Arbeit mit gleichem oder ähnlichem Inhalt an der Fernfachhochschule Schweiz oder an einer anderen Hochschule eingereicht habe. Mir ist bekannt, dass andernfalls die Fernfachhochschule Schweiz zum Entzug des aufgrund dieser Thesis verliehenen Titels berechtigt ist.

Ort, Datum, Unterschrift

0.0.1 Rapport

0.0.2 pgpool-II

0.0.2.1 PostgreSQL Cluster Installation

PostgreSQL Package Repository in Debian einbinden

```
1 linux-4fi4:~ # ip a
2 1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state UNKNOWN group default
   qlen 1
3     link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
4     inet 127.0.0.1/8 scope host lo
5         valid_lft forever preferred_lft forever
6     inet6 ::1/128 scope host
7         valid_lft forever preferred_lft forever
8 2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP
   group default qlen 1000
9     link/ether 00:50:56:33:d8:e4 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
10    inet 172.23.150.140/20 brd 172.23.159.255 scope global eth0
11        valid_lft forever preferred_lft forever
12    inet6 fe80::250:56ff:fe33:d8e4/64 scope link
13        valid_lft forever preferred_lft forever
14 3: eth1: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP
   group default qlen 1000
15    link/ether 00:0c:29:e0:2f:ec brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
16    inet 192.168.210.1/24 brd 192.168.210.255 scope global eth1
17        valid_lft forever preferred_lft forever
18    inet6 fe80::20c:29ff:fee0:2fec/64 scope link
19        valid_lft forever preferred_lft forever
```

Listing 1: openSUSE - Netzwerk Settings