

## **R&D PROJEKT**

### **Semesterendbericht**

**Bezeichnung:** Erstellung einer JRZ Demodatenbank (DemoDB)

**Projektschlüssel:** RD16-03

**Betreuer:** DI Eduard Hirsch, DI Fabian Knirsch, BSc

**Kurzbeschreibung:** Konvertierung verschiedener Smartmeter Messdaten und Ablage in einer gemeinsamen Datenbank mit rollenbasiertem Zugriff.

**Beteiligte Firma:** Salzburg AG

**Studenten:** Isidor Reimar Klammer, BSc.

Maximilian Unterrainer, BSc.

Christopher Wieland, BSc.

---

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	i
Abkürzungsverzeichnis .....	iii
Abbildungsverzeichnis .....	iv
Tabellenverzeichnis .....	v
Listingverzeichnis.....	vi
1    Einleitung .....	1
1.1    Problemstellung und Motivation .....	1
1.2    Umgebung.....	2
2    Anforderungsanalyse .....	3
2.1    Datenmodell.....	3
2.1.1    Analyse der JRZ-DB .....	3
2.1.2    Anforderungen von Energieversorgern und Netzdienstleistern .....	4
2.1.3    Anforderungsprofil „Lastenheft Österreichs Energie“ .....	5
2.1.4    Rechtliche Rahmenbedingungen.....	6
2.1.5    Anpassung des Datenmodells.....	6
2.2    Rollenbasierter Zugriff .....	7
2.2.1    Rollenidentifikation.....	7
2.2.1.1    Messdaten aus dem Echtbetrieb .....	7
2.2.1.2    Anonymisierte Messdaten aus dem akademischen oder Forschungsbereich ..	8
2.2.2    Einbeziehung zusätzlicher Domänen.....	8
2.2.3    Rollendefinition.....	9
2.2.4    Verbindung zur Rollenverwaltung .....	9
2.3    Datenbankanforderungen.....	10
2.3.1    Testdaten .....	11
2.3.2    Messung .....	11

---

2.3.3	Erwartete Datenmengen .....	13
2.4	Schnittstellen.....	15
2.5	Systemarchitektur .....	17
3	Ausblick.....	19
3.1	Alternative Datenhaltung .....	19
	Literaturverzeichnis .....	21
	Anhang .....	25
	SQL Messungen .....	25

---

## Abkürzungsverzeichnis

AMCS	Advanced Meter Communication System
API	Application Programming Interface
COSEM	Companion Specification for Energy Metering
DAVID-VO	Datenformat- und Verbrauchsinformationsdarstellungs Verordnung
DBM	Datenbankmodell
DLSM	Device Language Messaging Specification
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EIWOOG	Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz
GDPR	EU General Data Protection Regulation
IMA-VO	Intelligente Messgeräte-AnforderungsVO 2011
JRZ	Josef Ressel Zentrum für Anwenderorientierte Smart Grid Privacy, Sicherheit und Steuerung
JRZ-DB	Datenbank, die im JRZ eingesetzt wird und auf deren Basis die gemeinsame Datenplattform entwickelt wird.
MMS	Manufacturing Messaging Specification
OBIS	Object identification system, entsprechend der EN 62056-01
OSGP	Open Smart Grid Protocol
RBAC	Role Based Access Control
REST	Representational State Transfer
SmartValAPI	Smart Meter Data Value API, Arbeitstitel des Projektes
SML	Smart Message Language
SOAP	Simple Object Access Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
XML	Extensible Markup Language

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Datenmodell JRZ-DB .....	4
Abbildung 2: erweiterte Tabelle meter_data .....	7
Abbildung 3: Tabelle REDD mit Testdaten .....	11
Abbildung 4: Dauer Berechnung des Mittelwerts auf der MySQL Datenbank .....	12
Abbildung 5: Dauer des Einfügens in die MySQL Datenbank .....	13
Abbildung 6: Komponentenmodell .....	18

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rücklauf der Anfragen bei Energieversorgern.....	5
Tabelle 2: maximale Auflösung auf Grund einer zugeteilten Rolle.....	9
Tabelle 3: Zugriff auf anonymisierte Messdaten aus Forschungsquellen .....	9
Tabelle 4: LDAP-Attribute zu Benutzer-Objekten.....	9
Tabelle 5: LDAP-Objekt für anonymisierte Messdatenquellen .....	10
Tabelle 6: Auswahlkriterien Relationale Datenbank.....	10
Tabelle 7: Erwartete Anzahl an Datensätzen.....	13

---

## Listingverzeichnis

Listing 1: CSV Format der REDD Daten.....	11
Listing 2: Berechnung des Durchschnittsverbrauchs pro Meter, Tag und Monat.....	12
Listing 3: Klasse für den Datenzugriff .....	15
Listing 4: Basisklasse um Abfragen zu definieren .....	16

# 1 Einleitung

Durch die Verabschiedung der Richtlinie 2009/72/EC [1] sind die Mitgliedsstaaten der EU aufgefordert, deren Inhalte in nationales Recht umzusetzen. Thema dieser Richtlinie ist es, die vorhandenen analogen Stromzähler durch digitale Smart Meter zu ersetzen. Mit der flächendeckenden Installation stehen sowohl den Netzbetreibern als auch den Energieproduzenten und den Verbrauchern Möglichkeiten das Netz optimal zu nützen, Energie zu günstigen Preisen zu erwerben und Energieverschwendung zu verringern [2]. Um diese Vorteile zu nützen, ist Kommunikation bezüglich des aktuellen Verbrauchs, der Netzbelastung und der im Netz vorhandenen Energie notwendig.

Über Kommunikationsprotokolle tauschen Verteilstationen, Energieeinspeiser und Smart Meter beim Endkunden Daten bezüglich des Verbrauchs aus. Der Preis für diese Vorteile ist die notwendige, zumindest teilweise Offenlegung des Energieverbrauchs des Endkunden.

Im Spannungsfeld von Schutz der Privatsphäre einerseits, und maschineller Messdatenauswertung im Rahmen des Erlaubten andererseits sollen die Ergebnisse dieses Projekts für Komfortverbesserung sorgen.

## 1.1 Problemstellung und Motivation

Für die Ablage und Verwaltung von Smart Meter Messdaten setzt das JRZ eine hausintern geschriebene Datenbankapplikation (JRZ-DB) ein. Es bestehen bereits einige Importprogramme die Messdaten aus unterschiedlichen Formaten, zum Beispiel REDD [3], UK-DALE [4], ADRES [5] und GREEND [6], in das Datenbankformat konvertieren. Hingegen existiert kein zentrales Zugriffsmodul, jede Anwendung, die auf diese Daten zugreift, benötigt das Wissen über den Tabellenaufbau, die Zugriffspfade sind je nach Anforderung neu zu implementieren und in der Folge zu warten. Nach der Umsetzung dieses Projekts steht existierenden und zukünftigen Applikationen ein vereinheitlichter und damit vereinfachter Zugriff zur Verfügung.

Die Speicherung der Messdaten aus unterschiedlichen Quellen in einer Datenbankinstanz kann in Verbindung mit uneingeschränktem Zugriff datenschutzrechtliche Probleme aufwerfen, andererseits ist der gleichzeitige Zugriff für vergleichende Auswertungen notwendig. Die Einbindung einer externen Komponente zur rollenbasierten Zugriffsregelung löst diese Anforderung, der Zugriff auf Messdaten im Allgemeinen und auf bestimmte Auflösungen im Speziellen wird über Berechtigungen des Benutzers gesteuert.



Dieses Projekt verfolgt vier Hauptziele:

- Schaffung einer erweiterbaren Programmierschnittstelle (SmartValAPI), die einen geregelten Zugriff auf Smartmeterdaten ermöglicht
- Einbindung und gegebenenfalls Erweiterung der im JRZ eingesetzten Datenbank (JRZ-DB, Details siehe Abschnitt Anforderungen an das ER-Modell) als einheitliche Datenplattform für bereits existierende Anwendungen
- Evaluierung alternativer Datenbanksysteme zur Ablage der Messdaten
- Einbindung einer rollenbasierten Zugriffsverwaltung

Nach der erfolgreichen Umsetzung des Projektes steht der Zugriff auf alle gespeicherten Messdaten, den Berechtigungen entsprechend, für programmtechnische Auswertungen in vereinheitlichter Form zur Verfügung.

## 1.2 Umgebung

Die Umsetzung des Projektes erfolgt unter zu Hilfenahme von bereits im Umfeld des Josef Ressel Zentrums für Anwenderorientierte Smart Grid Privacy, Sicherheit und Steuerung an der Fachhochschule Salzburg durchgeführten Projekte. Im Detail sind dies:

- Datenmodell: die JRZ-DB stellt die Ausgangsbasis für mögliche, notwendige Erweiterungen dar und wird auf deren Eignung für die zu erwartenden Messdatenmengen evaluiert.
- Importmodule [7], um Messdaten in der Datenbank abzulegen. Dieses Programmpaket ermöglicht es, Messwerte, die in den Formaten ADRES, GREEND, REDD und UK-DALE vorliegen zu importieren.
- OpenTC [8] stellt eine rollenbasierte Authentifizierung und Autorisierung zur Verfügung, über die der Zugriffsschutz realisiert wird, die Rollenverwaltung erfolgt über ein beliebiges LDAP-Administrationswerkzeug.

Weitere verwendete Softwarepakete werden im Abschnitt Systemarchitektur angeführt.

## 2 Anforderungsanalyse

Aus dem Projektauftrag können Anforderungen abgeleitet werden, die Details dieser Anforderungen und den Weg zur jeweiligen Entscheidungsfindung beleuchtet dieser Abschnitt.

### 2.1 Datenmodell

Ausgangsbasis für die Anforderungen ist die bereits eingesetzte JRZ-DB, analysiert wird die Eignung für die Datenhaltung. Anforderungen von Energieversorgern und Netzdienstleistern fließen in die Untersuchung mit ein. Nicht zuletzt wird die Kompatibilität zu existierenden Anwendungen erhalten.

#### 2.1.1 Analyse der JRZ-DB

Die Tabellenwelt der JRZ-DB kann in zwei Gruppen eingeteilt werden: einerseits Stammdaten, wie zum Beispiel meter\_management, meter\_type oder customer\_data und andererseits Bewegungsdaten: meter\_data. Letztere Tabelle ist über einen Fremdschlüssel mit meter\_management verbunden. Die Welt der Stammdaten wird ohne Änderungen übernommen.

Alle Messdaten, die von einem Smart Meter zu einem Zeitpunkt ausgelesen werden, speichert die JRZ-DB als Tupel in der Tabelle meter\_data. Abgelegt. Nicht jedes Smart Meter stellt alle Werte zur Verfügung, in der JRZ-DB werden nicht vorhandene als NULL-Wert gekennzeichnet. Je Messzeitpunkt können folgende Werte abgelegt werden.

- Nutzdaten (Momentanwerte):  
je Phase, aktuelle Leistung (power\_p1, power\_p2, power\_p3), aktueller Stromverbrauch (work\_p1, work\_p2, work\_p3), 4 freie Werte (count\_register1 – count\_register4), die abhängig vom Typ des Smart Meter (meter\_type) belegt werden, Gesamtwerte für Spannung (voltage) und Frequenz (frequency), kumulierter Verbrauch (count\_total).
- Verwaltungsdaten (zur Identifikation):  
Identifikationsnummer des Smart Meter (meter\_id), Fremdschlüssel zu meter\_management, eindeutiger Schlüssel des Messdaten-Tupels (data\_id), Erstellungszeitpunkt zu dem die Nutzdaten aufgezeichnet werden (timestamp).

Das bestehende Modell der JRZ-DB gibt Abbildung 1 wieder.

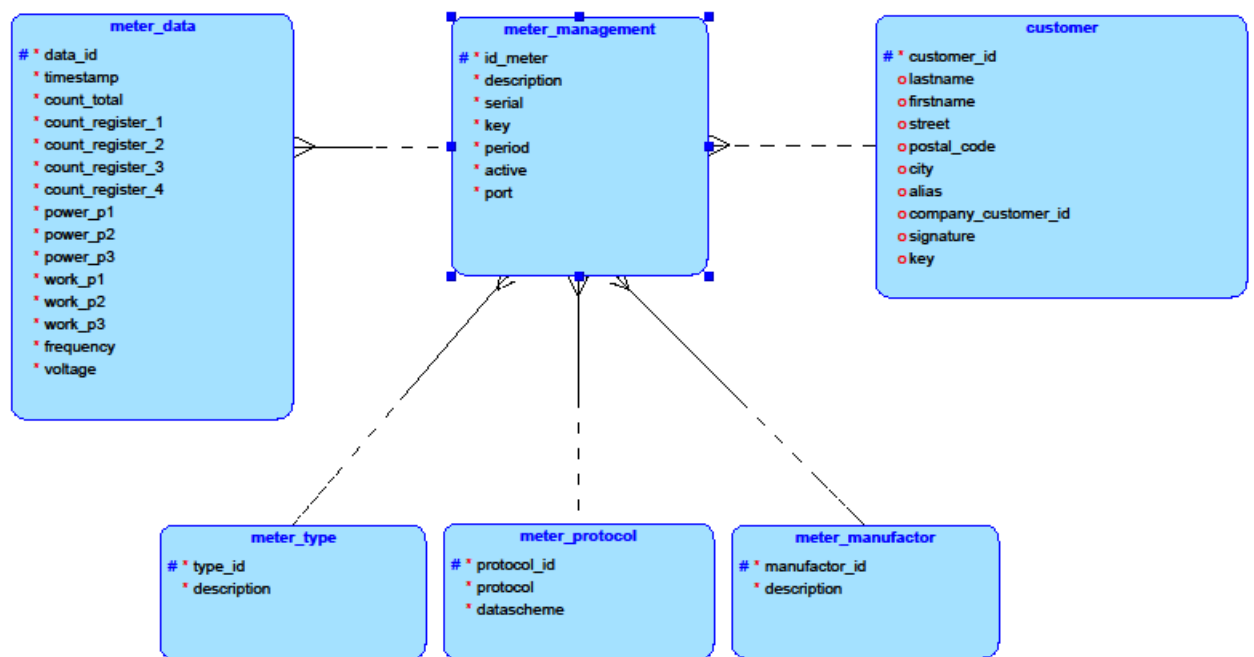


Abbildung 1: Datenmodell JRZ-DB

### 2.1.2 Anforderungen von Energieversorgern und Netzdienstleistern

Neben den Anforderungen des JRZ, als Auftraggeber, werden die möglichen Bedürfnisse von Energieversorgern und Netzbetreibern ermittelt, dazu wurde ein Fragenkatalog erstellt und an folgende 10 in diesem Feld tätigen Unternehmen übermittelt: Ebner Strom GmbH, Energie AG, Energie Steiermark, EVN AG und Netz Niederösterreich GmbH, Linz AG, Salzburg Netz GmbH, TINETZ – Tiroler Netze GmbH, Vorarlberger Energienetze GmbH und Wien Energie. Diese Fragen wurden gestellt:

- Welche Messwerte, abgesehen von Spannung, Strom und Wirkleistung, jeweils phasengetreunt sind für Sie als Energieversorger/Netzbetreiber von Bedeutung?
- In welcher Granularität (einzelne Smart Meter/Gruppen zB Trafostation) sollen diese Messdaten zur Verfügung stehen?
- Mit welcher/n Abtastrate/en soll/en diese Messwerte zur Verfügung stehen?
- Welche Werte, auf Basis der in der JRZ-DB sind verzichtbar?
- Weitere freie Hinweise.

Das Ergebnis zeigt Tabelle 1, auf Grund der Forderung einiger Betriebe, in anonymisierter Form zusammengefasst.

<b>Zusätzliche Messwerte</b>	
zusätzliche Werte (Phasenlage)	2
Kein Interesse an Erweiterung bzw. Verweis auf das EIWOG [9]	2
Keine Auskunft	6
<b>Granularität</b>	
Gruppierung	1
Keine Auskunft	9
<b>Auflösung</b>	
Messwerte in der vorliegenden, dem EIWOG [9] entsprechenden, Auflösung sind ausreichend	4
Keine Auskunft	6
<b>Verzichtbare Werte</b>	
Netzfrequenz	2
Keiner der Werte soll weggelassen werden	5
Keine Auskunft bzw. keine Antwort	3
<b>Weitere Hinweise</b>	
Datenschutzkritische Anwendung	3
Verweis auf EIWOG, daher gilt „interessant“ nicht	1

Tabelle 1: Rücklauf der Anfragen bei Energieversorgern

### 2.1.3 Anforderungsprofil „Lastenheft Österreichs Energie“

Österreichs Energie, als Interessensgemeinschaft der österreichischen Netzbetreiber und einem Großteil der österreichischen Energieversorger, fasst im Zuge des Vergabeverfahrens der Smart Meter Einführung die zu erfüllenden Anwendungsfälle in [10] und der Arbeitsunterlage zur Erstellung eines Lastenheftes in [11] zusammen. Diese Anwendungsfälle beschreiben vor allem die Anforderungen an die Fernsteuerung von bereits beim Kunden installierten Smart Meter Geräten und nur am Rande mit der inhaltlichen Bedeutung der übertragenen Messdaten. Neben den, in der JRZ-DB in *meter\_data* bereits vorhandenen Datenfeldern, bietet das Lastenheft optional die Möglichkeit der Auslesung der Blindleistung.

### 2.1.4 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Erfassung, Übertragung und Speicherung von Smart Meter Messdaten wird in vier Richtlinien geregelt:

- ElWOG [9]
- GDPR [12]
- IMA-VO [13]
- DAVID-VO [14]

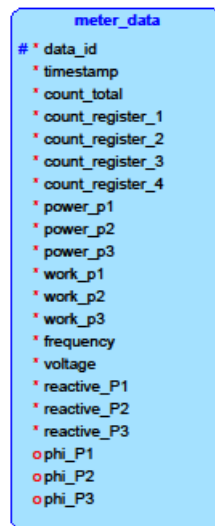
Geregelt werden einerseits Mindestanforderungen an Smart Meter, andererseits die Inhalte und die Frequenzen, mit denen die Werte ausgelesen werden dürfen. Nach §84 ElWOG müssen dem Verbraucher die Daten bezüglich des „Verbrauchs der über ein intelligentes Messgerät gemessen wird“ zeitnah zur Verfügung zu gestellt werden. Es erfolgt keine genauere Definition, welche Daten dies im Detail sind, lediglich die Frequenzen, mit denen ausgelesen wird, sind festgelegt. Details dazu, finden sich im Abschnitt Rollenidentifikation. Bezüglich der auslesbaren Daten legt das Lastenheft von Österreichs Energie [11] jene Messwerte fest, die von einem Smartmeter übertragen werden müssen. Die IMA-VO befasst sich mit der Einführung der der intelligenten Zähler. die GDPR regelt die kontrollierte Löschung nach der Verarbeitung von Messdaten als Form der personenbezogenen Daten. Beide haben daher keinen Einfluss auf das Datenmodell. Die Weitergabe der erfassten Daten an berechnete Dritte wird von der DAVID-VO geregelt. Diese Verordnung hat keinen Einfluss auf das Datenmodell, wohl aber auf die maximale Frequenz, mit der Messdaten ausgelesen werden können. Die Details dazu werden daher im Abschnitt Rollenidentifikation angeführt.

### 2.1.5 Anpassung des Datenmodells

Auf Grund der Rückmeldungen der Energiedienstleister kommt es, in Übereinstimmung mit den Usecases von Österreichs Energie zur Erweiterung von meter\_data.

Weitere Datenfelder, wie sie zum Beispiel das ETSI in der Definition des OSGP [15] vorschlägt, werden nicht in die Menge der gespeicherten Daten aufgenommen, da diese weder von den Energieversorgern in den Rückmeldungen noch von den Netzbetreibern im Lastenheft gewünscht werden. Abbildung 2 zeigt die erweiterte Tabelle meter\_data.

Um die Vorgabe der Kompatibilität zu erfüllen werden keine Felder aus der Tabelle meter\_data entfernt, auch wenn zum Beispiel auf die Netzfrequenz aus Sicht der Netzbetreiber verzichtet werden könnte.

A light blue rounded rectangle containing a list of database fields. The title 'meter\_data' is at the top. The fields are listed with asterisks for standard fields and red circles for optional fields.

meter_data	
# *	data_id
*	timestamp
*	count_total
*	count_register_1
*	count_register_2
*	count_register_3
*	count_register_4
*	power_p1
*	power_p2
*	power_p3
*	work_p1
*	work_p2
*	work_p3
*	frequency
*	voltage
*	reactive_P1
*	reactive_P2
*	reactive_P3
o	phi_P1
o	phi_P2
o	phi_P3

Abbildung 2: erweiterte Tabelle meter\_data

## 2.2 Rollenbasierter Zugriff

Werden Messdaten aus unterschiedlichsten Quellen in einer gemeinsamen Datenbank abgelegt, darf der Zugriff darauf nur jenen Benutzern gewährt werden, die dazu berechtigt sind. Neben der Verhinderung von nicht autorisierten Zugriffen auf fremde Messdaten muss eine weitere Anforderung erfüllt werden: die Wartung des Zugriffs über Rollen. Bei einem rollenbasierten Zugriffsmodell werden einzelne Berechtigungen an Rollen zugeteilt und nicht an Benutzer vergeben. Das vereinfacht die Administration und ermöglicht eine flexible Anpassung der Berechtigungen [16].

### 2.2.1 Rollenidentifikation

Die Messdatenquellen können auf Grund der Analyse in zwei Gruppen, die unterschiedliche Anforderungen an das Zugriffssystem stellen, eingeteilt werden.

#### 2.2.1.1 Messdaten aus dem Echtbetrieb

Für die Erfassung und damit einhergehend dem Zugriff auf Messdaten aus dem Echtbetrieb gelten im Wesentlichen zwei Verordnungen: das ElWOG [9] und die DAVID-VO [14]. Das ElWOG legt in §84 die Rahmenbedingungen für die Erfassung von Messdaten zum Zwecke der Verrechnung, der Kundeninformation, der Energieeffizienz, der Energiestatistik und der Aufrechterhaltung eines sicheren und effizienten Netzbetriebes fest. Abs. (1) legt Periode der Erfassung auf 15 Minuten fest. Die Weitergabe der Viertelstundenwerte ist nur bei ausdrücklicher Zustimmung des Endverbrauchers möglich (Abs. (2)), in begründeten lokalen Einzelfällen, zur Aufrechterhaltung eines sicheren Netzbetriebes, ist die Weitergabe

von Viertelstundenwerten ohne ausdrückliche Erlaubnis möglich. Ohne Zustimmung zur Weitergabe steht ein Messwert je 24 Stunden zur Verfügung.

Die DAVID-VO §4 regelt die Übertragung der Messdaten und in der Folge die Bereitstellung für den Kunden über eine Website. Auf Kundenwunsch wird hier die kleinstmögliche Auflösung dargestellt, ohne diese Zustimmung wird ein Wert je 24 Stunden dargestellt. Die Weitergabe erfolgt an den Energielieferanten und optional an einen berechtigten Energieberater.

Messdaten werden in Verbindung mit Kundendaten nach [17] zu einer Ausprägung von personenbezogenen Daten. Es ist daher der Artikel 17 der GDPR [12] anzuwenden. Es wird darin ausgesagt, dass Daten, welche für die Zwecke, für die sie erhoben wurden, nicht mehr benötigt werden, zu löschen sind. Da einerseits der Datenimport keinen Teil dieses Projektes darstellt und andererseits davon ausgegangen wird, dass zur Verfügung gestellte Messdaten anonymisiert wurden, finden die beiden Regelwerke keine Anwendung. Es wird daher im Zuge dieses Projektes in der Folge nicht weiter auf die Löschung von Messdaten eingegangen.

#### **2.2.1.2 Anonymisierte Messdaten aus dem akademischen oder Forschungsbereich**

Bezüglich der anonymisierten Messwerte gelten diese rechtlichen Einschränkungen nicht. Eine Beschränkung des Zugriffs auf Daten aus Quellen wie zum Beispiel REDD, UK-DALE, ADRES oder GREEND ist aus diesem Blickwinkel nicht notwendig. Manche der anonymisierten Datensätze, beispielsweise REDD, stehen nur mit Benutzername/Passwort-Zugriff zur Verfügung, sie werden daher auch nicht jedem Benutzer des API zugänglich gemacht. Gekennzeichnet werden Messwerte aus anonymisierten Quellen über ein LDAP-Attribut, Details dazu folgen im Abschnitt 2.2.4 .

#### **2.2.2 Einbeziehung zusätzlicher Domänen**

Aktuell wurde die Richtlinie 2006/32/EG in Österreich für die Datenerfassung und Kommunikation von Messgeräten für elektrische Energie umgesetzt, derzeit gibt es in Österreich keine äquivalenten Grundlagen für Gas, Wärme und Wasser. Technisch ist eine Erweiterung um jene Felder, die nach der rechtlichen Festlegung erfasst werden sollen, problemlos möglich, daher wird ein Einsatz in weiteren im Zuge der Umsetzung dieses Projekts nicht weiter in Betracht gezogen.

### 2.2.3 Rollendefinition

Aus den in den Abschnitten 2.2.1.1 und 2.2.1.2 angestellten Überlegungen werden folgende Rollen mit den ihnen zugeordneten Auflösungen abgeleitet:

<b>Rolle</b>	<b>maximale Auflösung</b>
Smart Meter Besitzer	15-Minuten
Netzbetreiber, Energieversorger	24-Stunden
Energieberater	15-Minuten

Tabelle 2: maximale Auflösung auf Grund einer zugeteilten Rolle

<b>Rolle</b>	<b>Zugriff</b>
Akademischer oder Forschungsbenutzer	Höchste vorhandene Auflösung

Tabelle 3: Zugriff auf anonymisierte Messdaten aus Forschungsquellen

In Tabelle 2 und Tabelle 3 werden die Zugriffsberechtigungen mit den dafür notwendigen Rollen in Verbindung gebracht und dargestellt. Anzumerken ist, dass für einen Zugriff auf nicht anonymisierte Daten nicht nur die jeweilige Rolle vonnöten ist. Zusätzlich wird eine Zuordnung zwischen Benutzer und Smart Meter hergestellt. Diese grundlegende Berechtigung wird in der Implementierung als Attribut zum Benutzer abgelegt.

### 2.2.4 Verbindung zur Rollenverwaltung

Für die Administration der Zugriffsberechtigungen wird die Komponente Open-TC [8] eingesetzt. Alle rollenrelevanten Attribute werden hier abgelegt. Eine Übersicht der dieser Attribute zeigt Tabelle 4.

<b>Attribut</b>	<b>Mögliche Werte</b>
Rolle	Besitzer, Energieversorger, Energieberater, Forscher
Kunde	customer_id

Tabelle 4: LDAP-Attribute zu Benutzer-Objekten



Um im bestehenden Datenmodell keine Erweiterungen bezüglich des Zugriff machen zu müssen, werden Smart Meter, die Messdaten aus akademischen oder Forschungsquellen enthalten werden mit der objectClass Computer abgelegt, das identifizierende Attribut verweist, wie in Tabelle 5 zu sehen, auf die meter\_id.

Attribut	Mögliche Werte
cn	meter_management.meter_id
MeterType	open

Tabelle 5: LDAP-Objekt für anonymisierte Messdatenquellen

## 2.3 Datenbankanforderungen

Ziel des Projekts bezüglich der verwendeten Datenbank sind die Weiterverwendung des bestehenden Datenmodells und die Recherche nach möglichen Alternativen.

Für die Weiterverwendung des bestehenden Modells spricht, dass es bereits mehrere Komponenten gibt, die dieses System verwenden [7], [18]. Für die Ablösung des bestehenden Modells spricht eine eventuell bessere Performance alternativer Datenbanken bei großen Datenmengen. Da die Weiterverwendung gewünscht wird, werden zuerst Performancemessungen auf einem Relationalen Datenbanksystem durchgeführt. Ist die Performance ausreichend, wird diese Datenbank verwendet.

Name	Eigene Vorkenntnisse	Popularität	Open Source (Kostenlos)
MySQL	3	3	1
PostgreSQL	1	2	1
MariaDB	0	1	1

Tabelle 6: Auswahlkriterien Relationale Datenbank

Für die Auswahl der Datenbank wurden die Vorkenntnisse und freie Verfügbarkeit als Kriterien definiert. Da die Erfahrung mit Datenbanken in der Projektgruppe allgemein eher gering ist, ist die erwartete Unterstützung aus der Community ein weiteres Kriterium. Dafür wurde die Anzahl der Fragen innerhalb einer Woche auf Stack Overflow verwendet. Nach den Kriterien aus Tabelle 6 ist die Wahl auf MySQL gefallen.

Zum Zeitpunkt der Messung sind wir von ungefähr 250.000.000 Datensätzen innerhalb eines Jahres ausgegangen. Das ergibt sich aus 500.000 Smartmetern der Salzburg AG (1 Wert pro Tag) und ungefähr 60.000.000 Messwerten aus den REDD Daten.

### 2.3.1 Testdaten

Als Testdaten wurden die ‚low\_freq‘ Daten aus dem REDD Datensatz verwendet. Die Daten liegen in pro Haus in einem eigenen Ordner und dort pro Kanal in einem eigenen File. Die Files sind ‚channel\_X.dat‘ benannt wobei X eine fortlaufende Nummer ist. Parallel zu den Messwerten liegt eine Datei ‚labels.dat‘ in welche die Zuordnung der einzelnen Kanäle zu den Verbrauchern ermöglicht. Die Messwerte sind, wie in Listing 1 dargestellt, in einem CSV Format abgespeichert, wobei das Trennzeichen ein Leerzeichen ist.

timestamp_power
-----------------

Listing 1: CSV Format der REDD Daten

### 2.3.2 Messung

Für die Performance Messungen wurde eine C# Applikation geschrieben, welche sämtliche ‚low\_freq‘ REDD Daten in eine MySQL Datenbank importiert. Dafür wurden die Datensätze pro Kanal geparkt und in 100.000er Schritten in die Datenbank importiert. Aus dem Zeitstempel im Unix-Epoch-Format wurde lokal der Tag und der Monat ausgerechnet um später danach gruppieren zu können. Zusätzlich wurde pro Kanal eine fortlaufende Id, in Abbildung 3 als ‚meterId‘ dargestellt, vergeben.



```
loadprofiles.redd
# * power
# * meterid
# * day
# * month
```

Abbildung 3: Tabelle REDD mit Testdaten

Damit das Einfügen von 100.000 Datensätzen auf einmal funktioniert wurde die maximal erlaubte Paketgröße auf 160 MB erhöht [<https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/packet-too-large.html>]. Die Datenbank läuft auf dem lokalen Testsystem (i5 4690K @ 3.5GHz, 16GB Arbeitsspeicher, Windows 10 Pro) um einen möglichen Delay über das Netzwerk ausschließen zu können.

Nach dem Hochladen eines jeden Datensatzes wurde der Durchschnittsverbrauch pro Id, Monat und Tag abgefragt (Listing 2).

```
select SQL_NO_CACHE avg(power) as power, day, month, meterId
from redd
group by meterId asc, month asc, day asc;
```

Listing 2: Berechnung des Durchschnittsverbrauchs pro Meter, Tag und Monat

Durch die SQL\_NO\_CACHE Anweisung wird verhindert das das Ergebnis der Abfragen aus dem Cache zurückgeliefert werden, was einem realistischen Szenario entspricht. Die Abfrage wurde fünf Mal wiederholt ausgeführt und die jeweilige Zeit mittels der ‚System.Diagnostics.Stopwatch‘ Klasse gemessen.

Die Messungen wurden in einem XML Dokument abgespeichert um dann mit Excel weiterverarbeitet werden zu können. Aus den 5 Messungen wurde der Median und Mittelwert berechnet, welche dieselben Schwankungen zeigen. Daher wurde auf die Darstellung des Mittelwerts verzichtet.

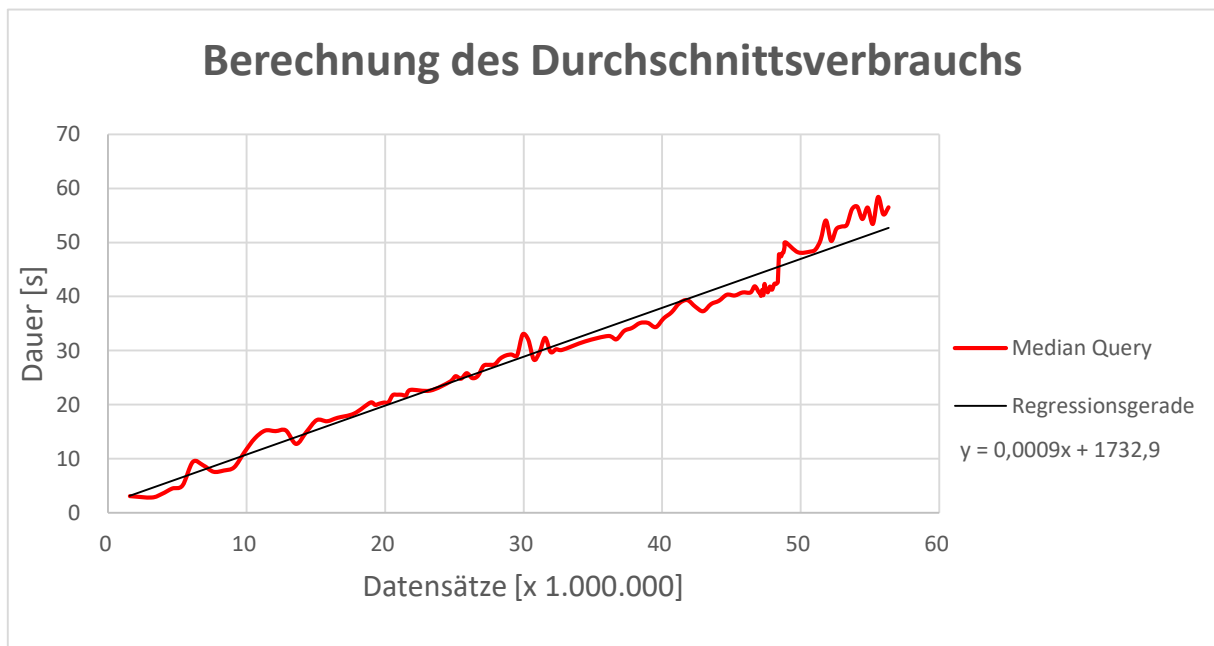


Abbildung 4: Dauer Berechnung des Mittelwerts auf der MySQL Datenbank

Abbildung 4 zeigt, dass die Dauer der Berechnung des Durchschnittsverbrauches in linearem Zusammenhang zur Anzahl der Datensätze in der Tabelle ist. Die teilweise starken Schwankungen des Medianes lassen sich durch Hintergrundprozesse wie Virens Scanner und verschiedene Updatedienste erklären. Die Formel der Regressionsgerade liefert im

Gegensatz zur y-Achse eine erwartete Dauer, bei der Abfrage auf X Datensätzen, in Millisekunden.

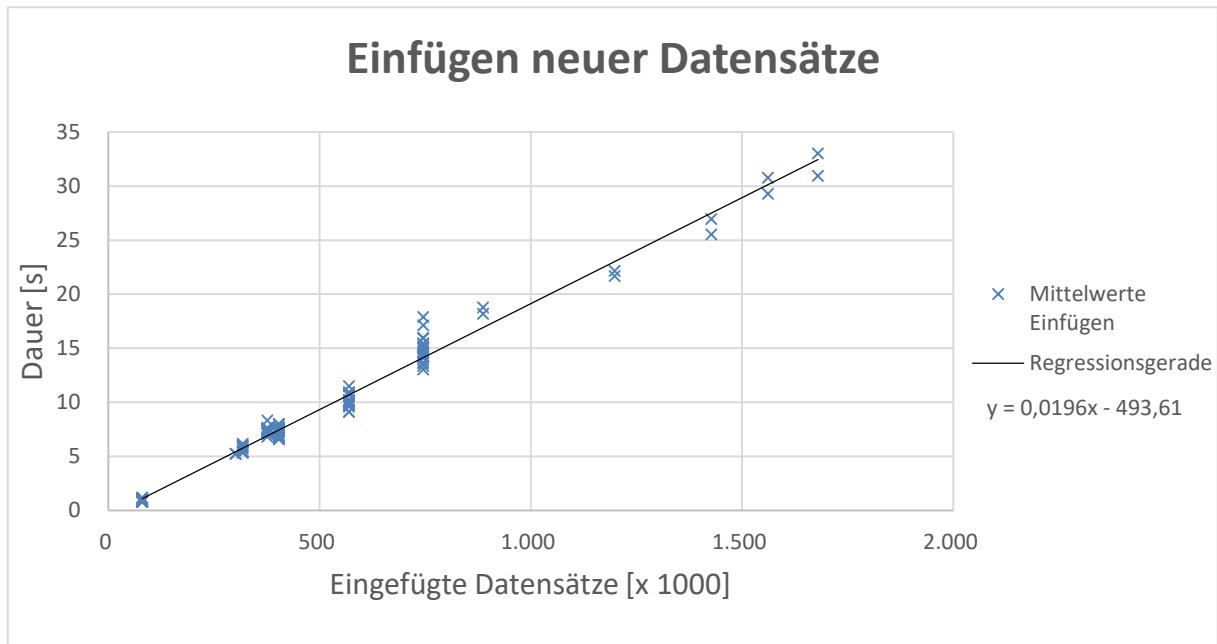


Abbildung 5: Dauer des Einfügens in die MySQL Datenbank

Auch das Einfügen neuer Datensätze steht, wie in Abbildung 5 zu sehen in linearem Zusammenhang mit der Anzahl der neu eingefügten Datensätze. Die Tabelle mit den Messungen ist im Anhang zu finden.

### 2.3.3 Erwartete Datenmengen

Die Datenbank soll eine Sammlung von Messdaten aus verschiedenen Quellen sein. Im Moment sind vier verschiedene Datenquellen bekannt (Tabelle 7).

Name	Anzahl	Kommentar
REDD	56M	bisher nur low_freq
ADRES	36M	30 Haushalte je 1 Sensor, 2 Wochen, 1Hz
GREEND	2.270M	8 Häuser je 9 Sensoren, 1 Jahr, 1Hz
Salzburg AG	182M / Jahr	500.000 Haushalte 1 Messung pro Tag
<b>Summe</b>	<b>2.544M</b>	

Tabelle 7: Erwartete Anzahl an Datensätzen

Diese Datensätze zusammen gerechnet beinhalten ungefähr 2.544 M Einträge. Rechnerisch würde eine Abfrage des Durchschnittswertes auf dem Testsystem ungefähr 40 Minuten dauern. Da moderne Datenbankserver allerdings um ein vielfaches performanter als ein Heimcomputer sind, ist dieser Wert für ein Livesystem nicht aussagekräftig. Es zeigt sich ebenfalls, dass der derzeitig verfügbare Testserver (Xeon E5-2620 @ 2GHz, 4GB Arbeitsspeicher), für einen Betrieb mit allen Datensätzen nicht geeignet ist.

Mögliche Ansätze zur Erhöhung der Performance wären horizontale Skalierung mit einem SQL System oder vertikale Skalierung mit einem NoSQL System. Eine Lösung dieses Problems ist für das nächste Semester geplant.

## 2.4 Schnittstellen

Um die Daten abfragen zu können wird eine REST Schnittstelle definiert. Das Datenaustauschformat JSON oder XML kann wie von einer REST Schnittstelle erwartet in der Abfrage eingestellt werden. Derzeit ist noch kein Framework für die REST API definiert.

```
/**
 * The central class to query the Database
 */
public class DataAccess {

    private final ILdapPermissionManager _permissionManager;
    private final IDatabaseAccess _databaseAccess;

    public DataAccess(ILdapPermissionManager permissionManager,
        DatabaseAccess databaseAccess){
        _permissionManager = permissionManager;
        _databaseAccess = databaseAccess;
    }

    /**
     * Query the Database
     * @param query the query to execute
     * @return a QueryResult with either Data or a ErrorMessage.
     */
    public QueryResult QueryDataSource(QueryBase query) {
        if(!_permissionManager.IsAllowedToAccess(
            query.getUserContext(),
            query.getDataSourceContext())) {
            return createNotAllowedResult();
        }
        return _databaseAccess.QueryDatabase(query);
    }

    private QueryResult createNotAllowedResult() {
        return new QueryResult(false,
            "Not allowed to access datasource",
            QueryStatusCode.Error) {
            @Override
            public Object GetData() {
                return null;
            }
        };
    }
}
```

Listing 3: Klasse für den Datenzugriff

In der Schnittstelle ist die zentrale Klasse DataAccess (Listing 3).

Kommt eine Anfrage aus der REST Schnittstelle wird zuerst über den ILdapPermissionManager überprüft ob der User anhand seiner Rolle berechtigt ist auf die gewünschten Daten zuzugreifen. Ist das erlaubt wird die IDatabaseAccess aufgerufen, welche dann die Abfrage an die Datenbank stellt und ein QueryResult zurückliefert. Der

Vorteil dieser Implementierung ist, dass der Datenbankzugriff völlig unabhängig vom Berechtigungssystem ist, und beliebig ausgetauscht werden kann.

Um eine neue Abfrage hinzuzufügen muss lediglich die Methode `getQuery()` der Klasse `QueryBase` implementiert werden (Listing 4).

```
/**
 * A Baseclass to query the database
 */
public abstract class QueryBase {
    private IUserContext _userContext;
    private IDataSourceContext _dataSourceContext;

    public QueryBase(IUserContext userContext,
        IDataSourceContext dataSourceContext){
        _userContext = userContext;
        _dataSourceContext = dataSourceContext;
    }

    /**
     *
     * @return the user context of the query
     */
    public IUserContext getUserContext(){
        return _userContext;
    }

    /**
     *
     * @return the dataSourceContext of the query
     */
    public IDataSourceContext getDataSourceContext(){
        return _dataSourceContext;
    }

    /**
     * Implement this method for the query.
     * It will get
     * @return
     */
    public abstract String getQuery();
}
```

Listing 4: Basisklasse um Abfragen zu definieren

Die Schnittstellen und Klassen stellen ein Gerüst für die Implementierung dar und können sich im Projektverlauf noch ändern. Auf Darstellung der REST Schnittstelle wurde derzeit noch verzichtet, da noch nicht klar ist, wie genau die Authentifizierung darüber funktioniert und in welcher Form die Abfragen darüber ausgewählt werden können.

## 2.5 Systemarchitektur

Um die Systemumgebung festzulegen, und vor allem die Software passgenau in die Softwarelandschaft des JRZ einfügen zu können, werden die Schnittstellen von Open-TC [7] und das Modell der bestehenden Datenbank, siehe Abschnitt 2.1.1, verwendet. Mit der Ausnahme des Betriebssystems werden Open Source Komponenten eingesetzt. Neben der freien Verfügbarkeit und dem Betrieb ohne Lizenzkosten sprechen weitere Aspekte, wie zum Beispiel Unabhängigkeit, Einsatz offener Standards und oft eine schnellere Behebung von Sicherheitslücken [19]. Die eingesetzten Komponenten sind wie angeführt:

- Hardware: Für den Betrieb ist keine explizite Hardware vonnöten, vom JRZ wurde eine virtuelle Maschine im Bladecenter zur Verfügung gestellt: 2 Prozessoren Intel Xeon E5-2620 2GHz, 4 GB Hauptspeicher und 80 GB Plattenplatz.
- Die Identifikationsdaten des Produktivsystems sind:  
Hostname: landsteiner.fh-salzburg.ac.at  
IP-Adresse: 193.170.119.66
- Betriebssystem: Aufgrund der größeren Erfahrung der Entwickler mit der Administration erfolgt der Betrieb auf einem Windows System (Windows Server 2012 R2).
- Java als Programmiersprache ist eine Vorgabe, da bestehende Software im Umfeld des JRZ bereits damit umgesetzt wurde.
- Die Entwicklung der Software erfolgt mit zwei unterschiedlichen Entwicklungsumgebungen: Eclipse Neon oder IntelliJ IDEA. Beide Entwicklungsumgebungen unterstützen die Entwicklung von Java Programmen, der jeweilige Einsatz erfolgt auf Grund der persönlichen Präferenzen der Entwickler.
- Als RDBMS wird MySQL eingesetzt, nach „Guide to Scaling Web Databases with MySQL Cluster“ [20] kann der zu erwartenden Menge von Schreibzugriffen (~500k/d) durch Verteilung auf einzelne Nodes begegnet werden. Sollte ein Cluster mehrerer Nodes zu Performanceeinbußen führen können einem Cluster einfach weitere Nodes hinzugefügt werden, eine Anpassung der Applikation ist in diesem Fall nicht notwendig.
- Als Datenbankdesigntool wird, passend zur Datenbank die MySQL Workbench 6.3.9 eingesetzt
- Der Entwurf des API sieht die Übergabe eines generischen Benutzerkontextes vor, damit ist die Anbindung von Open-TC oder einer anderen Benutzerverwaltung ohne Änderungen am API möglich.



- Die Schnittstelle zu Importmodulen ist einzig und allein die Datenbank, da hier das Schema vorgeschrieben ist, sind die Anforderungen an die Importmodule klar definiert und es bestehen keine programmseitigen Abhängigkeiten.
- Die öffentlichen Schnittstellen sind im Abschnitt 2.4 detailliert dargestellt.
- Aus den Anforderungen ergeben sich folgende Komponenten, deren Abhängigkeiten untereinander und Verbindungen zueinander, und als UML Diagramm in Abbildung 6 dargestellt werden.

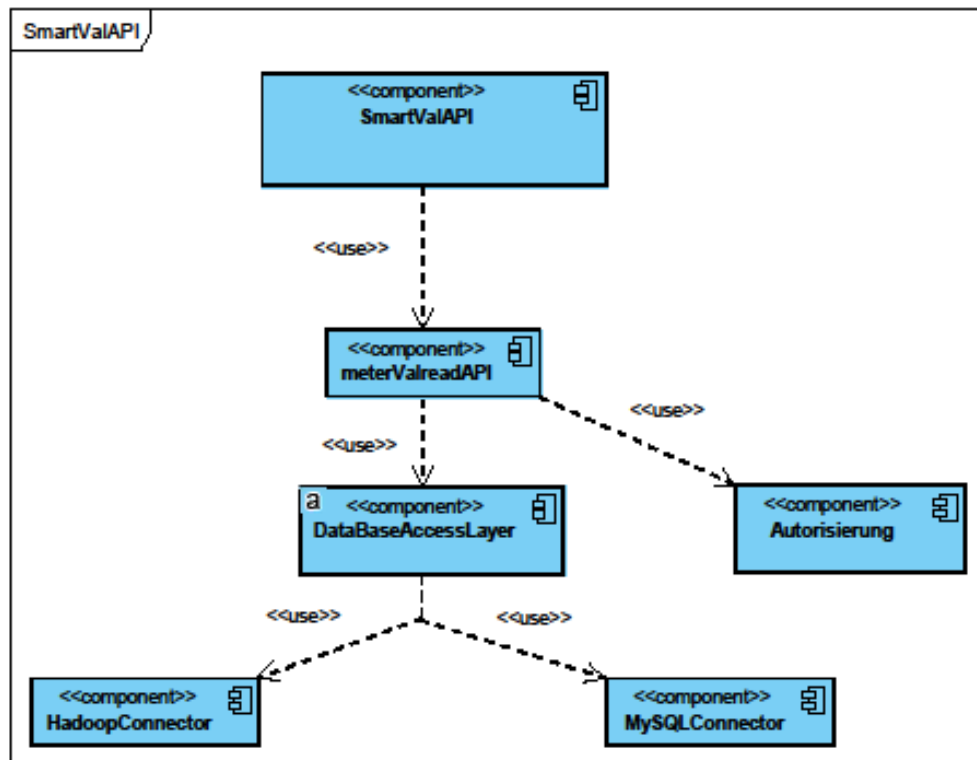


Abbildung 6: Komponentenmodell

Der Übersicht halber wird die Komponente „Logger“, die jede der angeführten Komponenten verwendet, nicht in der Übersicht dargestellt.

## 3 Ausblick

### 3.1 Alternative Datenhaltung

Die JRZ-DB ist für aktive Anwendungen wie zum Beispiel Open-TC auf Basis einer MySQL Datenbank im Einsatz. Bestehende Anwendungen, wie zum Beispiel Smart Vis [18] zeigen, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit für Messdatenmengen in der Größe von akademischen und Forschungsquellen ausreichend ist. Die im Abschnitt 2.3.3 angeführten Zahlen führen, insbesondere bei einem zentralen und dauerhaften Betrieb, zu Datensatzmengen, die Überlegungen bezüglich einer alternativen Datenhaltung notwendig machen. Auch wenn es keine einheitliche Definition für den Begriff Big Data gibt [21], ergibt die Anzahl der Messdatensätze eine Datenmenge, die im praktischen Betrieb möglicherweise zu verlängerten Antwortzeiten führen wird.

Die vorhandene Hardware und die bisher durchgeführten Tests lassen noch keine konkreten Aussagen über die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Messdatenmengen in der Größenordnung von ca. 500.000 Datensätze pro Tag, wie sie von zum Beispiel der Salzburg AG [22] zu erwarten sind, zu. Abhängig von den Reaktionszeiten werden folgende Vorgehensweisen in Betracht gezogen:

- MySQL unterstützt die Fragmentierung einzelner Tabellen, sowohl lokal (partitioning) als auch verteilt (sharding). Nach „Guide to Scaling Web Databases with MySQL Cluster“ [23] kann der zu erwartenden Menge von Schreibzugriffen durch Verteilung auf einzelne Nodes begegnet werden. Sollte ein Cluster mehrerer Nodes zu Performanceeinbußen führen können einem Cluster einfach weitere Nodes hinzugefügt werden, eine Anpassung der Applikation ist in diesem Fall nicht notwendig, über die Administration des MySQL Clusters wird das Partitionierung transparent für die Anwendung durchgeführt.
- Fusco et al. schlagen in [24] einen dualen Betrieb von RDBMS und einer NoSQL Datenverwaltung vor. Die Messwertedatenpakete werden in unterschiedlicher Granularität, zum Beispiel Rohdaten, Messdaten aggregiert nach Smartmeter, Zeitraum und vorverarbeitet, zum Beispiel Durchschnittsverbrauch über einen bestimmten Zeitraum, abgelegt. Ziel dieses Ansatzes ist es auch Vorhersagen über den zukünftigen Verbrauch zu tätigen. Jene Daten die Messwerte betreffen werden in einer separaten Komponente verwaltet, dadurch soll ermöglicht werden die Datenhaltung mittelfristig ersetzen zu können. Details siehe im Abschnitt „Systemarchitektur“ angeführt.

---

Ein dezentraler Ansatz, wie zum Beispiel das COUGAR Sensornetzwerk [25], als Alternative zu einer zentralen Datenbank bietet zwar den Vorteil, den einen, zentralen Angriffspunkt zu vermeiden, Messdaten hingegen ausschließlich ad hoc auszulesen widerspricht den Regelungen des ElWOG und scheidet daher aus den Alternativen aus.

## Literaturverzeichnis

- [1] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, „Richtlinie 2009/72/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009,“ 13 Juli 2009. [Online]. Available: <http://publications.europa.eu/resource/celex/32009R0713>. [Zugriff am 19 Februar 2017].
- [2] K. D. Craemer und G. Deconinck, „Analysis of state-of-the-art smart metering communication standards,“ in *Proceedings of the 5th young researchers symposium*, 2010.
- [3] J. Z. Kolter und J. Johnson, „REDD: A public data set for energy disaggregation research,“ in *Workshop on Data Mining Applications in Sustainability (SIGKDD)*, San Diego, CA, 2011.
- [4] W. K. Jack Kelly, „UK-DALE: A dataset recording UK Domestic Appliance-Level Electricity demand and whole-house demand,“ 2014. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.750.4515&rep=rep1&type=pdf>. [Zugriff am 01 03 2017].
- [5] Alfred Einfalt, et al., „ADRES-Concept: Konzeptentwicklung für ADRES-Autonome Dezentrale Regenerative EnergieSysteme,“ TU Wien and Austrian Institute of Technology and Austrian Power Grid, Wien, 2012.
- [6] Andreas Monacchi et al., „GREEND: An energy consumption dataset of households in Italy and Austria,“ in *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 2014.
- [7] C. Bellucci, A.-M. Oberluggauer und M. Tschuchnig, „Untersuchung unterschiedlicher Referenzdatensätze im Energiebereich,“ 2017.
- [8] W. F. T. H. Michael Egger, „Rollenbasierter LDAP Zugriff TODO TODO TODO,“ 2016.
- [9] *Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz, Fassung vom 01.03.2017*, Wien, 2017.

- 
- [10] Oesterreichs Energie, „Smart Metering Use-Cases,“ 14 Dezember 2015. [Online]. Available: [http://oesterreichsenergie.at/branche/stromnetze/smart-meter-use-cases.html?file=files/oesterreichsenergie.at/Downloads%20Netze/Smart%20Meter/Oesterreich%20Use%20Cases%20Smart%20Metering\\_14122015\\_Version\\_1-1.pdf](http://oesterreichsenergie.at/branche/stromnetze/smart-meter-use-cases.html?file=files/oesterreichsenergie.at/Downloads%20Netze/Smart%20Meter/Oesterreich%20Use%20Cases%20Smart%20Metering_14122015_Version_1-1.pdf). [Zugriff am 19 Februar 2017].
- [11] Oesterreichs Energie, „Lastenheft Smart Meter,“ 01 Juli 2013. [Online]. Available: [http://oesterreichsenergie.at/branche/stromnetze/lastenheft-smart-meter.html?file=files/oesterreichsenergie.at/Downloads%20Netze/Smart%20Meter/Lastenheft\\_SmartMeter\\_1\\_0.pdf](http://oesterreichsenergie.at/branche/stromnetze/lastenheft-smart-meter.html?file=files/oesterreichsenergie.at/Downloads%20Netze/Smart%20Meter/Lastenheft_SmartMeter_1_0.pdf). [Zugriff am 19 Februar 2017].
- [12] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, „Verordnung des Europäischen Parlaments und zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr,“ 11 06 2015. [Online]. Available: <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9565-2015-INIT/de/pdf>. [Zugriff am 28 02 2017].
- [13] „Intelligente Messgeräte-AnforderungsVO,“ 25 10 2011. [Online]. Available: <https://www.e-control.at/documents/20903/-/-/20a992e6-d11f-48b8-aef9-8e5d66f284c1>. [Zugriff am 16 02 2017].
- [14] „Datenformat- und VerbrauchsinformationsdarstellungsVO,“ 2012. [Online]. Available: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007999>. [Zugriff am 14 02 2017].
- [15] ETSI, „Open Smart Grid Protocol (OSGP),“ 01 Januar 2012. [Online]. Available: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/OSG/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gs\\_osg001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/OSG/001_099/001/01.01.01_60/gs_osg001v010101p.pdf). [Zugriff am 19 Februar 2017].
- [16] Ferraiolo, David and Cugini, Janet and Kuhn, D Richard, „Role-based access control (RBAC): Features and motivations,“ in *Proceedings of 11th annual computer security application conference*, New Orleans, 1995.
- [17] „Gesamte Rechtsvorschrift für Datenschutzgesetz 2000,“ [Online]. Available: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10001597>.

- [18] P. Unger, B. Moser und M. Wurz, „SmartVis-Dokumentation - Visualisierung von Smart Meter-Daten,“ 2016.
- [19] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, „Freie Software (FLOSS: Freie, Libre und Open Source Software) - Strategische Position des BSI zu Freier Software,“ [Online]. Available: [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/DigitaleGesellschaft/FreieSoftware/freiesoftware\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/DigitaleGesellschaft/FreieSoftware/freiesoftware_node.html). [Zugriff am 01 03 2017].
- [20] Oracle, „Guide to Scaling Web Databases with MySQL Cluster,“ 1970 Januar 01. [Online]. Available: <https://www.mysql.de/why-mysql/white-papers/guide-to-scaling-web-databases-with-mysql-cluster/>. [Zugriff am 19 Februar 2017].
- [21] J. S. Ward und A. Barker, „Undefined By Data: A Survey of Big Data Definitions,“ 2013.
- [22] Salzburg AG, [Online]. Available: [https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwilh8z2psDSAhVMJJoKHfRyAJkQFggiMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.salzburg-ag.at%2F%3FeID%3Ddownload%26uid%3D1825&usg=AFQjCNHc-oFEdGUSo3qC\\_JXquXgB6QzpVg](https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwilh8z2psDSAhVMJJoKHfRyAJkQFggiMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.salzburg-ag.at%2F%3FeID%3Ddownload%26uid%3D1825&usg=AFQjCNHc-oFEdGUSo3qC_JXquXgB6QzpVg). [Zugriff am 02 03 2017].
- [23] Oracle, „Guide to Scaling Web Databases with MySQL Cluster,“ 18 10 2016. [Online]. Available: <https://www.mysql.de/why-mysql/white-papers/guide-to-scaling-web-databases-with-mysql-cluster/>. [Zugriff am 19 Februar 2017].
- [24] F. Fusco, U. Fischer, V. Lonij, P. Pompey, J.-B. Fiot, B. Chen, Y. Gkoufas und M. Sinn, „Data Management System for Energy Analytics and its Application to Forecasting,“ in *EDBT/ICDT Workshops*, Bordeaux, 2016.
- [25] *IT-Grundschutz-Profil für Open-Source-Software (GSProOSS)*, 2010.
- [26] S. W. M. Lisovich, „Privacy concerns in upcoming residential and commercial demand-response systems,“ in *Proc. of the Clemson University Power Systems Conference*, Clemson, SC, 2008.
- [27] B. f. S. i. d. IT, „BSI TR-03109 Technische Vorgaben für intelligente Messsysteme und deren sicherer Betrieb,“ 18 März 2013. [Online]. Available:

[https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR-03109-1\\_Anlage\\_Feinspezifikation\\_Drahtgebundene\\_LMN-Schnittstelle\\_Teilb.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR-03109-1_Anlage_Feinspezifikation_Drahtgebundene_LMN-Schnittstelle_Teilb.pdf?__blob=publicationFile). [Zugriff am 19 Februar 2017].

- [28] J. G. P. S. Phillipe Bonnet, „Towards sensor database systems,“ in *International Convergence on Mobile Data Management*, Berlin, 2001.
- [29] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, „Energieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates,“ 05 April 2006. [Online]. Available: [eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0032](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0032). [Zugriff am 19 Februar 2017].

## Anhang

### SQL Messungen

Anzahl Datensätze Gesamt	Anzahl Datensätze Neu	Median Query	Mittelwert Dauer Query	Mittelwerte Einfügen
1.561.660	1.561.660	3.046	2.912	29.269
3.123.320	1.561.660	2.786	4.355	30.764
3.869.198	745.878	3.449	4.797	15.450
4.615.076	745.878	4.448	7.836	15.960
5.360.954	745.878	5.009	6.686	17.114
6.106.832	745.878	9.382	8.209	14.166
6.852.710	745.878	8.752	8.691	14.245
7.598.588	745.878	7.561	8.604	14.967
8.344.466	745.878	7.788	9.909	15.903
9.090.344	745.878	8.386	10.261	17.873
9.836.222	745.878	11.197	10.706	14.746
10.582.100	745.878	13.738	12.065	14.338
11.327.978	745.878	15.181	13.176	15.373
12.073.856	745.878	15.079	13.701	15.152
12.819.734	745.878	15.215	14.287	14.555
13.565.612	745.878	12.712	14.293	13.679
14.311.490	745.878	14.933	14.804	13.346
15.057.368	745.878	17.127	16.247	13.601
15.803.246	745.878	16.913	17.009	14.104
16.549.124	745.878	17.541	17.568	13.036
17.747.658	1.198.534	18.325	18.629	21.674
18.946.192	1.198.534	20.384	21.117	22.140
19.264.951	318.759	19.933	21.712	5.870
19.583.710	318.759	20.170	20.349	6.154
19.902.469	318.759	20.369	21.567	5.721
20.221.228	318.759	20.404	21.537	5.413
20.539.987	318.759	21.737	22.309	5.923
20.858.746	318.759	21.821	21.447	5.997
21.177.505	318.759	21.820	22.041	5.338
21.496.264	318.759	21.683	22.011	5.354
21.815.023	318.759	22.716	23.106	5.481
23.242.307	1.427.284	22.585	22.967	26.950
24.669.591	1.427.284	24.229	24.617	25.510
25.073.698	404.107	25.250	25.136	7.577
25.477.805	404.107	24.785	24.726	6.572
25.881.912	404.107	25.809	25.772	6.810
26.286.019	404.107	24.898	25.111	6.633
26.690.126	404.107	25.312	25.339	6.739
27.094.233	404.107	27.168	27.323	7.631



---

27.498.340	404.107	27.355	27.535	6.823
27.902.447	404.107	27.442	27.533	7.317
28.306.554	404.107	28.522	28.555	6.955
28.710.661	404.107	29.089	29.080	7.985
29.114.768	404.107	29.270	29.166	7.483
29.518.875	404.107	29.098	29.153	7.224
29.922.982	404.107	32.988	32.276	7.922
30.327.089	404.107	32.010	32.721	7.356
30.731.196	404.107	28.320	28.772	7.681
31.135.303	404.107	29.645	29.863	7.436
31.539.410	404.107	32.354	32.011	6.638
31.943.517	404.107	29.732	30.124	7.352
32.347.624	404.107	30.250	30.300	6.979
32.751.731	404.107	30.106	31.241	7.395
34.431.570	1.679.839	31.689	32.122	33.013
36.111.409	1.679.839	32.697	32.854	30.951
36.681.772	570.363	32.073	32.377	10.693
37.252.135	570.363	33.639	33.956	10.918
37.822.498	570.363	34.188	34.188	9.101
38.392.861	570.363	35.098	35.026	10.033
38.963.224	570.363	35.123	35.631	9.734
39.533.587	570.363	34.343	35.308	10.195
40.103.950	570.363	35.954	36.484	10.146
40.674.313	570.363	37.084	37.248	9.601
41.244.676	570.363	38.779	39.015	10.745
41.815.039	570.363	39.344	39.206	10.896
42.385.402	570.363	38.134	37.900	11.496
42.955.765	570.363	37.281	37.783	9.998
43.526.128	570.363	38.608	39.094	10.064
44.096.491	570.363	39.215	39.504	10.215
44.666.854	570.363	40.336	40.338	9.114
45.237.217	570.363	40.198	40.472	10.629
45.807.580	570.363	40.761	40.711	9.836
46.377.943	570.363	40.756	41.062	9.825
46.680.065	302.122	41.908	42.431	5.216
46.982.187	302.122	40.767	41.030	5.221
47.062.604	80.417	40.688	40.915	858
47.143.021	80.417	40.119	40.690	870
47.223.438	80.417	41.244	41.275	1.001
47.303.855	80.417	40.245	40.402	826
47.384.272	80.417	42.313	42.747	904
47.464.689	80.417	41.341	41.376	959
47.545.106	80.417	41.157	41.489	759
47.625.523	80.417	40.780	40.795	879
47.705.940	80.417	41.429	41.580	847
47.786.357	80.417	41.859	41.926	1.098
47.866.774	80.417	41.344	41.339	801

---

47.947.191	80.417	41.318	41.392	810
48.027.608	80.417	41.913	41.707	880
48.108.025	80.417	42.380	42.136	914
48.188.442	80.417	42.311	42.161	824
48.268.859	80.417	42.430	42.674	787
48.349.276	80.417	42.722	42.128	798
48.429.693	80.417	47.812	50.891	852
48.510.110	80.417	47.744	47.971	1.184
48.590.527	80.417	47.434	47.925	1.149
48.670.944	80.417	48.016	48.488	1.060
48.751.361	80.417	48.165	50.397	994
48.831.778	80.417	49.126	49.097	940
48.912.195	80.417	50.028	50.125	1.018
49.799.652	887.457	48.200	48.851	18.768
50.687.109	887.457	48.321	48.778	18.176
51.064.077	376.968	48.709	52.024	7.211
51.441.045	376.968	50.506	51.418	7.506
51.818.013	376.968	54.101	55.036	8.319
52.194.981	376.968	50.304	50.361	7.627
52.571.949	376.968	52.504	53.179	7.436
52.948.917	376.968	52.966	53.548	7.142
53.325.885	376.968	53.259	54.507	7.273
53.702.853	376.968	56.174	56.052	7.514
54.079.821	376.968	56.656	56.808	7.516
54.456.789	376.968	54.351	54.845	7.066
54.833.757	376.968	56.484	57.023	7.532
55.210.725	376.968	53.445	55.320	6.812
55.587.693	376.968	58.440	60.198	7.319
55.964.661	376.968	55.223	55.174	7.117
56.341.629	376.968	56.523	56.217	7.584