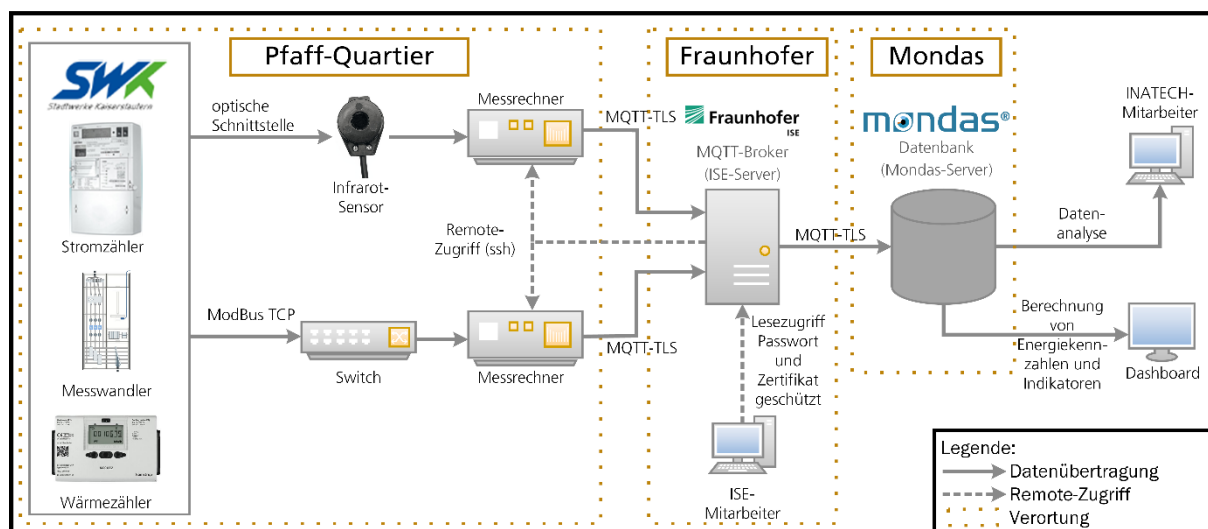


Monitoringkonzept für das Pfaff-Quartier

Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts
zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff
„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“



Monitoringkonzept für das Pfaff-Quartier

Themenbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum
Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern - Integrierte
Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung
im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere“

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „Fraunhofer EnergieIKT“

Förderndes Ministerium: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Projektträger: Forschungszentrum Jülich GmbH

Förderkennzeichen: 03SBE112D

Projektlaufzeit: 01.10.2017 – 31.12.2024

Autoren: Philipp Fleischmann, Gerhard Stryi-Hipp

Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstr. 2, 79100 Freiburg

Veröffentlicht: August 2025

Die Verantwortung der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Das Verbundprojekt EnStadt:Pfaff wurde von 8 Partnern durchgeführt und als Leuchtturmprojekt gemeinsam gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Titelbild: Schema der Datenerfassung und -übertragung für das Monitoring im Pfaff-Quartier,
Quelle: Fraunhofer ISE, Bilder von Lackmann und Kamstrup

Weitere Informationen zu EnStadt:Pfaff: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

Zusammenfassung

EnStadt:Pfaff wurde von 2017 bis 2024 durchgeführt, um zu demonstrieren, wie ein klimaneutrales Quartier konzipiert und umgesetzt werden kann. Hierzu wurden Energie-, Mobilitäts- und Digitalisierungskonzepte erstellt und verschiedene innovative Technologien demonstriert, die zur Erreichung der Klimaneutralität hilfreich sind. Dies sind z.B. farbige Photovoltaikmodule, bauteilintegrierte Lüftungsgeräte und Ladeinfrastruktur zum bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen.

Im anschließenden Monitoring- und Transfervorhaben EnStadtPfaff 2, das von 2025 bis 2027 durchgeführt wird, erfolgt ein wissenschaftliches Monitoring, bei dem die wichtigsten Energieströme im Quartier erfasst und ausgewertet werden, um zu überprüfen, ob die Erwartungen der Planungen erreicht werden und ob sich das Quartier erfolgreich auf dem Weg zur Klimaneutralität befindet. Weiter werden die demonstrierten Technologien im Einsatz überwacht, um deren Performance zu ermitteln. Bei Bedarf sollen Empfehlungen für Verbesserungen der Betriebsweise ausgearbeitet werden.

Im Rahmen des Erstvorhabens wurde das Monitoringsystem konzipiert, mit den Beteiligten, insbesondere dem Energieversorger und Messstellenbetreiber SWK (Stadtwerke Kaiserslautern), abgestimmt und weitestgehend implementiert. Allerdings konnte das Monitoringsystem erst im Laufe des Jahres 2025 fertiggestellt und in Betrieb genommen werden, da ein großer Teil der Zähler erst zu einem späten Zeitpunkt installiert oder mit einer Kommunikationsschnittstelle versehen wurde.

Zur Datenerfassung werden in der Regel die vorhandenen Zähler der SWK genutzt, die entweder über Modbus oder über einen IR-Sensor ausgelesen werden. Eine entsprechende Vereinbarung wurde mit der SWK getroffen. Erfasst werden elektrische und Wärmeströme und im Einzelfall auch Kälteströme. Darüber hinaus werden einzelne Klimadaten erfasst. Die Daten werden in den vermessenen Gebäuden an einen Messrechner geleitet, der sie per Internet an die cloudbasierte Monitoring-Datenbank sendet. Von dort können sie zur Auswertung oder zur Darstellung abgerufen werden.

Ein wichtiger Aspekt beim Monitoring ist der Datenschutz und die Datensicherheit. Das Ziel des Monitorings ist es, die Quartiersentwicklung zu bewerten; deshalb werden nur die Gesamtenergieverbräuche der einzelnen Gebäude erfasst und auf die Messung von Energieverbräuchen einzelner Nutzungseinheiten (Wohnungen, Büros etc.) verzichtet. Somit wird die Erfassung von personenbezogenen Daten vermieden, was den Datenschutzaufwand deutlich reduziert. Trotzdem findet die Übertragung der Daten nur verschlüsselt statt und nur Berechtigte haben einen passwortgeschützten Zugang zu den Daten.

In diesem Themenbericht wird erläutert, wie das Monitoringsystem aufgebaut ist, wie die Datenkommunikation umgesetzt wurde, welche Maßnahmen zum Datenschutz und zur Datensicherheit ergriffen wurden und wie die Daten genutzt werden.

Inhalt

Zusammenfassung	3
Abkürzungen.....	5
Abbildungen.....	6
Tabellen	6
1 Einführung	7
1.1 Übersicht des Monitoring-Gebiets.....	7
1.2 Ziele des Monitorings	8
1.3 Am Monitoring beteiligte Akteure	9
2 Messkonzept	10
2.1 Messgrößen.....	10
2.1.1 Strom-Messung	10
2.1.2 Wärme- und Kälte-Messung	11
2.1.3 Klima-, Raumluft- und Mobilitätsdaten	12
2.1.4 Messintervalle	12
2.2 Messdatenerfassung	12
2.2.1 Schema der Erfassung und Übertragung der Daten.....	12
2.2.2 Messrechner	13
2.2.3 Datenübertragung vom Messrechner zur Datenbank	14
2.3 Messdatenspeicherung und Zugriffsberechtigung.....	15
2.3.1 Mondas-Datenbank	15
2.3.2 ISE-Server und Messrechner.....	15
2.4 Messdatennutzung.....	16
2.4.1 Datenanalyse durch INATECH	16
2.4.2 Datendarstellung durch Fraunhofer ISE	16
3 Datenschutz und Datensicherheit.....	17
4 Messstellen-Liste	17
5 Literatur	19

Abkürzungen

A	Ampere (Einheit der Stromstärke)
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
DC	Gleichstrom (Direct Current)
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EZ	Energiezentrale
Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)
IR	Infrarot
ISMS	Informationssicherheits-Managementsystem
JSON	JavaScript Object Notation (Datenformat)
kW	Kilowatt (Einheit der Leistung)
kWh _{el, th}	Kilowattstunde elektrisch, thermisch (Einheit der Energiemenge)
MQTT	Nachrichtenprotokoll (Message Queuing Telemetry Transport)
MVZ	Medizinisches Versorgungszentrum
PV	Photovoltaik
SSH	Secure Shell
SWK	Stadtwerke Kaiserslautern
V	Volt (Einheit der Spannung)
WMZ	Wärmemengenzähler

Abbildungen

Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Bebauungsplan für das Pfaff-Gelände mit den zu monitorenden Einrichtungen.....	7
Abbildung 2: Lackmann MT681 Drehstromzähler mit IR-Schnittstelle (links), Kamstrup Multical® 603 Wärmemengenzähler (Mitte) und Innenraumsensor Air.Q science (rechts), Quelle: Lackmann, Kamstrup, Air-Q	12
Abbildung 3 Schema der Datenerfassung und -übertragung für das Monitoring im Pfaff-Quartier, Quelle: Fraunhofer ISE, Bilder von Lackmann und Kamstrup	13
Abbildung 4 Messrechner APU.4D4	13
Abbildung 5: Beispiel einer Message im JSON-Format, die vom Messrechner an die Datenbank gesendet wird	15

Tabellen

Tabelle 1: Messgrößen von Stromzählern	11
Tabelle 2: Beispiele für Stromzähler und Datenschnittstellen in den verschiedenen Gebäuden.....	11
Tabelle 3: Messgrößen von Wärmemengenzählern.....	11
Tabelle 4: Eingesetzte Wärme- und Kältezähler in den Gebäuden	12
Tabelle 5 Im JSON-Format übertragene Werte zwischen Messrechner und MQTT-Broker.....	14
Tabelle 6: Konfiguration der Datenübertragung vom Messrechner zur Datenplattform	15
Tabelle 7: Auszug aus der Messstellen-Liste für das Monitoring des Pfaff-Quartiers	17

1 Einführung

In diesem Themenbericht wird der Aufbau des Monitoringsystems für das Pfaff-Quartier vorgestellt. In den folgenden Kapiteln werden hierzu die Erfassung, Verarbeitung, Auswertung und Nutzung der Messdaten erläutert. Im Anhang werden die ausgelesenen Messstellen und Datenpunkte aufgelistet. Das Monitoring des Pfaff-Quartiers baut auf den Erfahrungen anderer wissenschaftlicher Monitoringvorhaben auf, die z.B. im Messleitfaden der wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN zusammengefasst sind [1]. Weiter konnte auf die umfangreichen Erfahrungen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE mit der Durchführung von Monitoringvorhaben von Anlagen und Gebäuden zurückgegriffen werden [2].

1.1 Übersicht des Monitoring-Gebiets

Die Stadt Kaiserslautern entwickelt das ehemalige Fabrikgelände des Nähmaschinenherstellers Pfaff zu einem klimaneutralen Quartier. Die Quartiersentwicklung wurde begleitet durch das Forschungsprojekt EnStadt:Pfaff, in dem von 2017 bis 2024 acht Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft unter der Leitung der Stadt Kaiserslautern innovative Konzepte zur Erreichung der Klimaneutralität erforscht und demonstriert haben.

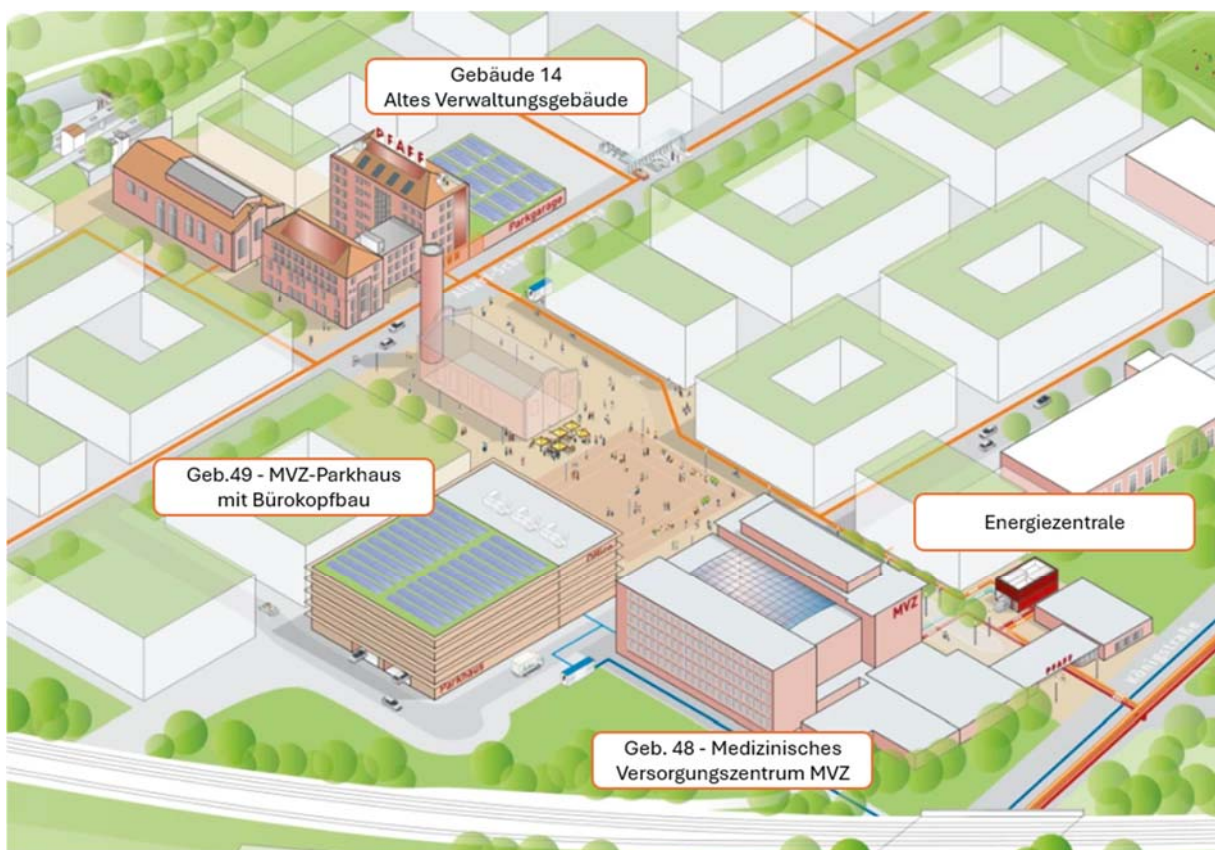


Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Bebauungsplan für das Pfaff-Gelände mit den zu monitorierenden Einrichtungen

Abbildung 1 zeigt die Gebäude, die im Rahmen des Forschungsvorhabens EnStadt:Pfaff saniert oder neu errichtet wurden und zu Beginn in das Monitoring aufgenommen wurden. Gebäude 48, das ehemalige

Neue Verwaltungsgebäude, das unter Denkmalschutz steht, wurde zu einem Medizinischen Versorgungszentrum (MVZ) im KfW 70-Standard umgebaut. Zur Erreichung des Standards wurden u.a. vierfach verglaste Fenster, eine Glasüberdachung des Atriums und eine Innendämmung mit Holzfaserdämmplatten umgesetzt. Nebenan wurde das MVZ-Parkhaus mit Bürokopfbau (Gebäude 49) neu errichtet, das u.a. mit PV-Anlagen auf dem Dach und in der Fassade sowie E-Mobil-Ladestationen ausgestattet ist. Das MVZ und die MVZ-Parkgarage mit Kopfbau bilden gemeinsam eine Kundenanlage nach § 3 Nr.24a EnWG (Energiewirtschaftsgesetz) [3].

Das Alte Verwaltungsgebäude (Gebäude 14) wird als Büro- und Wohngebäude genutzt; in ihm ist auch das Reallabor-Zentrum untergebracht. In der Sanierung wurde der KfW 55-Standard für den Wohnbereich und KfW 40-Standard für den Gewerbebereich erreicht. Im Rahmen von EnStadt:Pfaff wurden farbige PV-Module auf dem Dach und in die Fassade sowie semitransparente PV-Module auf dem Gründach installiert. Weiter wurden bauteilintegrierte Lüftungsgeräte und Smart Home Technik demonstriert.

Die Energiezentrale („EZ“) wurde neu errichtet und dient als Heizzentrale für den Betrieb des Nieder temperatur-Nahwärmenetzes im Quartier, das aus dem Rücklauf der städtischen Fernwärme versorgt wird. Auf dem Dach sind Kältemaschinen zur Lieferung von Kälte an das MVZ installiert, deren Abwärme in der Heizzentrale ins Nahwärmenetz eingespeist wird. Im zweiten Raum beherbergt die Energiezentrale das E-Mobil- und Batterie-Labor, in dem Untersuchungen zu DC-Hausnetzen gekoppelt mit Batterien und E-Mobil-Ladesäulen und dem bidirektionalen Laden von Elektroautos durchgeführt werden können. In der Fassade sind rote PV-Module mit der innovativen Beschichtungstechnologie MorphoColor® installiert.

In der Lina-Pfaff-Achse zwischen Energiezentrale und MVZ sind Smarte Lichtmasten aufgestellt zur Demonstration einer intelligenten Außenbeleuchtung. Die Leuchten sind dimmbar und ihre Farbtemperatur ist einstellbar. In zwei Stelen sind Kameras installiert, um das Verkehrsaufkommen zu erfassen. Auch Umweltsensoren könnten in der Straßenbeleuchtung installiert werden, aus Praktikabilitätsgründen wurden diese jedoch auf dem Dach der benachbarten Energiezentrale installiert.

1.2 Ziele des Monitorings

Im Rahmen des Forschungsvorhabens EnStadt:Pfaff wurde ein Monitoringsystem aufgebaut, das in diesem Bericht beschrieben ist. Mit diesem werden im Rahmen des anschließenden, von 2025 bis 2027 dauernden Monitoring- und Transfervorhabens EnStadtPfaff_2 die Energieströme im Pfaff-Quartier von den im Betrieb befindlichen Gebäude gemessen und ausgewertet. Das Ziel des Monitorings ist es, die Effizienz und Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität im Quartier nachzuweisen und zu überprüfen, inwieweit die Planungen sich in der Praxis bewähren. Dabei sollen neue Gebäude im Quartier in das Monitoringsystem mit aufgenommen werden, sobald sie in Betrieb gegangen sind. Ein Monitoring der Prozesse ist nicht vorgesehen. Allerdings soll das Monitoringkonzept auf Basis der gemachten Erfahrungen weiterentwickelt werden.

Das übergeordnete Ziel des Monitorings ist:

- **Erbringung des Nachweises, dass sich das Pfaff-Quartier erfolgreich auf dem Weg zum klimaneutralen Quartier befindet** auf Basis der umgesetzten bzw. geplanten Infrastruktur und den u.a. im Bebauungsplan festgesetzten Rahmenbedingungen. Weiter soll ermittelt werden, welche Beiträge die in EnStadt:Pfaff demonstrierten Innovationen zur Klimaneutralität leisten können.

Daraus leiten sich folgende Aufgabenstellungen für das wissenschaftliche Monitoring ab:

1. **Erhebung der relevanten Energieflüsse im Quartier** zur Erstellung einer Quartiersenergiebilanz und zur Ermittlung von Energie- und Klimakennzahlen für das Quartier sowie Bereitstellung der aktuellen Daten über ein Dashboard und der Ergebnisse in Monitoringberichten. Das Monitoring konzentriert sich dabei auf die Quartiersebene; ein detailliertes Monitoring des Betriebsverhaltens der einzelnen Gebäude und seiner verschiedenen Verbraucher ist nicht vorgesehen.
2. **Verifizierung des Erreichens der Zielsetzungen in Bezug auf die demonstrierten Innovationen**, wie z.B. die Effizienz der Abwärmenutzung aus den Kälteanlagen, die Effizienz der Solarstromanlagen oder der Effizienzstandard der Gebäude.
3. **Entwicklung von Optimierungsvorschlägen** für den Betrieb derjenigen gemonitorten Energieanlagen und -systeme, die Ineffizienzen aufweisen, durch Analyse ihres Betriebsverhaltens.
4. **Weiterentwicklung von Konzepten zum Energiemonitoring von Quartieren**, die noch im Aufbau sind. Da sich die Bezugsgrößen des Monitorings immer wieder ändern, wenn neue Gebäude hinzukommen, und da die Quartiersinfrastruktur in der Ausbauphase und damit in Teillast eine geringere Effizienz aufweist, sind die Bewertungsmethoden entsprechend anzupassen.

1.3 Am Monitoring beteiligte Akteure

Das Monitoring der Energieflüsse ist fokussiert auf die Quartiersebene, d.h. gemessen wird jeweils der Gesamtenergieverbrauch der einzelnen Gebäude. In den Gebäuden werden nur einzelne Erzeugungs- oder Versorgungsanlagen (z.B. PV-Anlagen, E-Mobil-Ladesäulen) gemonitort, vor allem die Anlagen, die im Rahmen von EnStadt:Pfaff erstellt wurden. Die Erfassung von Verbräuchen einzelner Verbraucher ist nicht vorgesehen. Da nur Energieverbräuche der Gesamtgebäude gemessen werden, werden keine personenbezogenen Daten erfasst, was die datenschutzrechtlichen Erfordernisse limitiert und die Zahl der einzubeziehenden Akteure eingrenzt.

Im Vorhaben EnStadt:Pfaff war das Fraunhofer ISE für die Entwicklung und Umsetzung des Monitoringkonzeptes verantwortlich. Dabei wurde mit dem Projektpartner Palatina Wohnbau, der im Vorhaben die beiden Demonstratorgebäude Altes Verwaltungsgebäude und MVZ betreute, der Stadt Kaiserslautern, die als Projektpartner die Energiezentrale erstellt hat, und dem Energieversorger und Messstellenbetreiber, den Stadtwerken Kaiserslautern (SWK) zusammengearbeitet. Im anschließenden Monitoring- und Transfervorhaben ist die Universität Freiburg für die Auswertung der Daten zuständig.

Zur Messung der Energiedaten (Strom, Wärme, Kälte) wird vor allem auf die vorhandenen Zähler der SWK zugegriffen. Hierzu wurde von Fraunhofer ISE in Vertretung von EnStadt:Pfaff eine Vereinbarung mit der SWK getroffen. Der Zugriff erfolgt über unterschiedliche Schnittstellen. Die Daten werden pro Gebäude in einem Messrechner zusammengeführt, der die Messdaten per Internet an die cloudbasierte

Datenbank der Firma Mondas sendet. Mondas stellt die Rohdaten strukturiert zur Auswertung durch die Uni Freiburg und zur Darstellung in einem Dashboard durch Fraunhofer ISE zur Verfügung.

Die SWK sind als Messstellenbetreiber für die Bereitstellung und Messung abrechnungsrelevanter Energieflüsse zuständig und installieren und betreiben Strom- und Wärmemengenzähler. Die ausgelesenen Zählerdaten werden nach gesetzlichen Vorgaben nur dem jeweiligen Netzbetreiber und ggf. dem Verbraucher zur Verfügung gestellt. Es ist zwar möglich, mit diesen Vereinbarungen zu treffen, um die im IT-System der Messstellenbetreiber erfassten Werte weitergeleitet zu bekommen. Allerdings erschien dieser Weg aufwändiger zu sein als die gewählte Lösung. Deshalb wurde mit der SWK eine Vereinbarung getroffen, dass das Fraunhofer ISE direkt am Stromzähler die Zählerwerte zusätzlich zur SWK elektronisch per Modbus-Schnittstelle oder optisch per IR (Infrarot)-Sensor ausliest. Voraussetzung war dabei, dass keine personenbezogenen Daten erfasst werden.

Die Rollenverteilung beim Monitoring im Folgeprojekt EnStadtPfaff_2 ist wie folgt: Die Stadtwerke Kaiserslautern stellen die nötigen Zähler zur Verfügung und sorgen dafür, dass diese im vorgesehenen Betriebsfall genutzt werden können. Dies bezieht sich vor allem auf die Aufstockung der Zähler um die zusätzlich notwendigen Messmodule, Kabelführungen und Spannungsversorgungen, da bei den geforderten höheren Ausleseraten ein Batteriebetrieb nicht mehr möglich ist. Das Fraunhofer ISE stellt alle darüber hinaus benötigte Hardware und deren Vernetzung sowie die notwendige Software zur Verfügung. Mondas sorgt für die strukturierte Bereitstellung der Messdaten in ihrer Datenbank in der Cloud und die Universität Freiburg wird im Rahmen des Monitoringvorhabens diese Daten zur Auswertung nutzen. Die Partner Palatina Wohnbau und Stadt Kaiserslautern haben die Konzeption des Monitorings unterstützt und Informationen über die zu messenden Energieanlagen und -systeme bereitgestellt. Dabei konnte auch auf das Messkonzept für die Gebäude 14, 48 und 49 aufgebaut werden, das von der Christian Persohn Ingenieur- und Gutachtergesellschaft mbH im Auftrag von Palatina Wohnbau erstellt worden war [4].

2 Messkonzept

2.1 Messgrößen

Im Rahmen des Monitorings des Pfaff-Quartiers werden im Wesentlichen Energieströme, d.h. Strom, Wärme und Kälte, erfasst. Zusätzlich werden noch einzelne Anlagen-, Raumklima- und Umweltdaten gemessen. Im Folgenden sind die Datentypen beschrieben.

2.1.1 Strom-Messung

Die elektrischen Energieflüsse werden mittels Stromzähler erfasst. Die möglichen Messgrößen pro Messstelle sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Messgrößen von Stromzählern

Art	Messgröße	Einheit
Messwerte erfasst	Elektrische Energiemenge (Zählerstand)	[kWh _{el}]
	Elektrische Leistung	[kW _{el}]
Messwerte optional	Phasenspannungen	[V]
	Phasenströme	[A]
	Netzfrequenz	[Hz]

Ausgelesen werden die Energiemenge (aktueller Zählerstand) und elektrische Leistung. Für die Auswertung der Energieflüsse sind die Spannungen, Ströme und Frequenzen nicht erforderlich. Die Zählmodelle wurden vom Messstellenbetreiber festgelegt. In den einzelnen Gebäuden sind die in Tabelle 2 dargestellten Zähler eingesetzt (siehe auch Abbildung 2).

Tabelle 2: Beispiele für Stromzähler und Datenschnittstellen in den verschiedenen Gebäuden

Gebäude	Modell Stromzähler	Datenschnittstelle
14 Reallabor-Zentrum	Lackmann Latronic L20	Optisch (IR)
14 Altes Verw.gebäude	Wandlermessung	Modbus
48 / 49 MVZ / mit Parkhaus	Lackmann MT 681	Optisch (IR)
Trafostation (48/49)	Wandlermessungen	Modbus
Energiezentrale	Iskra MT631	Optisch (IR)
Kältemaschine	Elster A1500	Optisch (IR)

Die Zähler werden über eine optische oder über eine Modbus-Datenschnittstelle ausgelesen. Der Zugriff auf die Zählerwerte über die Schnittstellen erfordert die Aktivierung mittels einer PIN oder eines Passworts durch die SWK.

2.1.2 Wärme- und Kälte-Messung

Die Erfassung der thermischen Energieflüsse erfolgt mit Wärmemengenzählern (WMZ), Tabelle 3 listet die erfassten Messgrößen auf.

Tabelle 3: Messgrößen von Wärmemengenzählern

Art	Messgröße	Einheit
Messwerte	Thermische Energie (Zählerstand)	[kWh _{th}]
	Thermische Leistung	[kW _{th}]
	Temperatur Vorlauf	[°C]
	Temperatur Rücklauf	[°C]

Durchflussmenge	[m ³ /s]
-----------------	---------------------

Die verwendeten Zähler sind in Tabelle 4 dargestellt (siehe auch Abbildung 2).

Tabelle 4: Eingesetzte Wärme- und Kältezähler in den Gebäuden

Gebäude	Modell	Schnittstelle
14 Altes Verw.gebäude	Kamstrup Multical® 603	Modbus
48 MVZ		
49 MVZ-Parkhaus		
Energiezentrale (2x)		

2.1.3 Klima-, Raumluft- und Mobilitätsdaten

In einzelnen Räumen, wie z.B. dem Reallabor-Zentrum, werden Daten zur Temperatur und Luftfeuchte, sowie CO₂, PM, Ozon, H₂S, NO₂ gemessen (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Lackmann MT681 Drehstromzähler mit IR-Schnittstelle (links), Kamstrup Multical® 603 Wärmemengenzähler (Mitte) und Innenraumsensor Air.Q science (rechts), Quelle: Lackmann, Kamstrup, Air-Q

2.1.4 Messintervalle

Die Messwerte werden in 1-Minuten-Intervallen erfasst, übermittelt und abgespeichert, um das dynamische Verhalten von Stromflüssen und Lastspitzen zu erfassen.

2.2 Messdatenerfassung

2.2.1 Schema der Erfassung und Übertragung der Daten

Die Messdatenerfassung gliedert sich in mehrere Schritte. Die Daten des Infrarotsensors, der die optische Schnittstelle der Stromzähler ausliest, werden an einen Messrechner geleitet. In jedem der vermessenen Gebäude ist ein Messrechner installiert. Werden die Messdaten über eine Modbus-Schnittstelle bereitgestellt, werden diese Daten über einen Switch vom Messrechner abgerufen. Die

Messrechner senden die Daten regelmäßig im Nachrichtenprotokoll MQTT an einen Broker, der auf einem Server von Fraunhofer ISE läuft und die Daten zur Mondas Datenbank in der Cloud weiterleitet. Dort werden sie zur Auswertung durch die Universität Freiburg bereitgestellt.

Abbildung 3 zeigt das Schema der Messdatenerfassung und -verarbeitung. Durchgezogene graue Linien bilden die Datenflüsse ab. Die gestrichelten grauen Linien deuten Zugriffsrechte an. Die Definitionen zu Schnittstellen, Protokollen und den einzelnen Geräten werden im Folgenden erläutert.

In der Regel werden die vorhandenen Zähler von der SWK genutzt, von EnStadt:Pfaff wurden alle weiteren Komponenten beschafft und installiert.

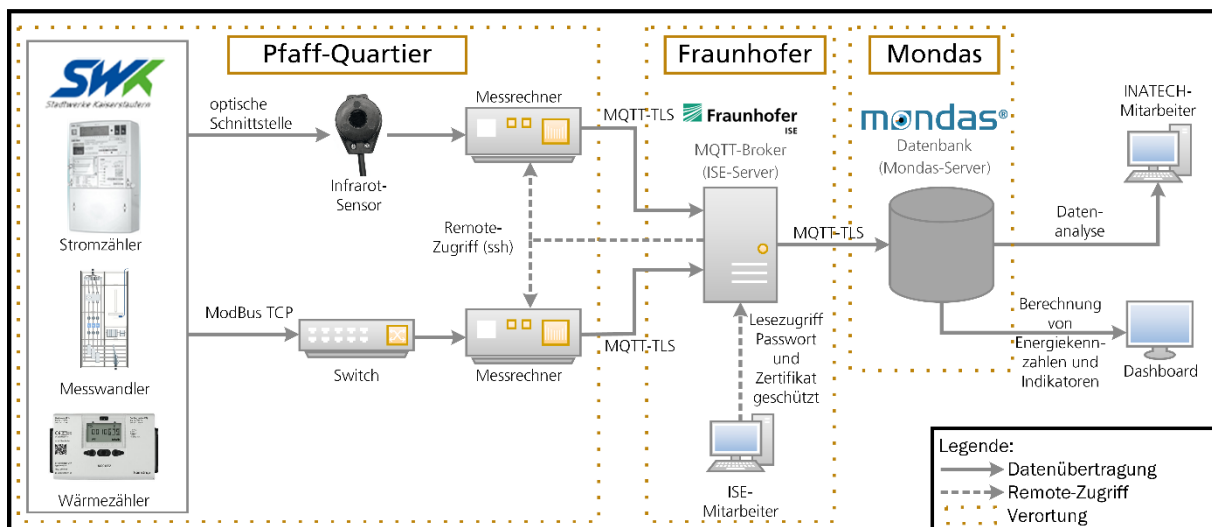


Abbildung 3 Schema der Datenerfassung und -übertragung für das Monitoring im Pfaff-Quartier,
Quelle: Fraunhofer ISE, Bilder von Lackmann und Kamstrup

2.2.2 Messrechner

Die Abfrage der Daten bei den Zählern und der Versand an die Datenbank erfolgt durch die Messrechner. In jedem vermessenen Gebäude ist ein Messrechner installiert (siehe Abbildung 4). Dabei handelt es sich um PC Engines APU.4D4 Boards [5], welche vom Fraunhofer ISE konfiguriert und bereitgestellt werden. Die Messrechner sind mit dem Internet verbunden über einen Glasfaseranschluss oder über eine Mobilfunk-Verbindung mittels LTE-Router, wenn kein Kabel zur Verfügung steht.



Abbildung 4 Messrechner APU.4D4

Die Messrechner lesen die Zähler aus, wandeln die Daten in Datenpakete im JSON-Format um und übertragen sie per gesicherter MQTT-Verbindung an die Mondas-Datenbank. Bei fehlender Internetverbindung werden die gelieferten Daten lokal zwischengespeichert und beim nächsten erfolgreichen Aufbau der Internetverbindung übermittelt. JSON (JavaScript Object Notation) ist ein kompaktes

Datenformat in Textform für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Geräten. Tabelle 5 listet die über MQTT übertragenen Informationen auf.

Die deviceId, d.h. die Bezeichnung des Zählers, wird beim Einrichten des Monitorings frei definiert, die zählereigene Identifikations- oder Seriennummer wird nicht genutzt. Mit dem Messstellenbetreiber SWK wurde vereinbart, in einem passwortgeschützten Dokument die Zuordnung der Zähler-Seriennummern und Monitoring-interne deviceIDs der Messstellen für Dokumentationszwecke festzuhalten. Das Dokument wird nur an Monitoring-Beteiligte weitergegeben, so dass ausschließlich diese die Verortung der einzelnen Messstellen nachvollziehen und kontrollieren können.

Tabelle 5 Im JSON-Format übertragene Werte zwischen Messrechner und MQTT-Broker

Bezeichnung	Beschreibung
Timestamp	Zeitstempel des Messwerts
Value	Wert des aufgenommenen Messwerts
deviceId	Bezeichnung des Zählers (Eigene Bezeichnung für das Monitoring, es werden keine Seriennummern der Zähler verwendet)
measurementIndex	Vorgesehen für mehrphasige (elektrische) Messwerte (Strom, Spannung, wird für die Gesamterfassung aller 3 Phasen nicht verwendet)
measurementID	Art des Messwerts (Zählerstand, Leistung, Temperatur oder Durchfluss)

2.2.3 Datenübertragung vom Messrechner zur Datenbank

Die Übertragung der Daten vom Messrechner zur Datenbank erfolgt über eine MQTT-Architektur, bestehend aus einem MQTT-Broker, Clients und einem Netzwerk. Das Netzwerkprotokoll MQTT ermöglicht eine bewährte und sichere Datenübertragung in eingeschränkten Netzwerken mit geringer Bandbreite. Zusätzlich wird eine Verschlüsselung über das TLS-Protokoll eingerichtet.

Der MQTT-Broker ist auf einem Server am Fraunhofer ISE eingerichtet und übernimmt die Vermittlung der Kommunikation zwischen den Messrechnern und der Datenbank. MQTT funktioniert nach einem Publish/Subscribe Prinzip. Publish/Subscribe ist eine Art von Messaging-Anwendung, bei der die Informationsanbieter (Publisher) keinen direkten Link zu bestimmten Konsumenten dieser Informationen (Subskribenten) haben, die Interaktionen zwischen Publishern und Subskribenten jedoch von Publish/Subscribe-Brokern gesteuert werden [6]. Die Messrechner werden über das Internet als Clients eingebunden und als Publisher beim MQTT-Broker definiert. Die Messrechner können dadurch Nachrichten („messages“) an den MQTT-Broker senden („publish“). Der Server der Mondas-Datenbank wird als Subscriber eingebunden und erhält damit die Fähigkeit, Nachrichten vom MQTT-Broker zu empfangen („subscribe“).

Der Messrechner sendet die ausgelesenen Daten als Message in einem einstellbaren Übertragungsintervall an den MQTT-Broker, im Pfaff-Quartier ist ein Intervall von 1 Minute eingestellt. Abbildung 5 zeigt beispielhaft den Aufbau einer Message für einen Datenpunkt.

```
[{"timestamp":1693315375000,"value":15.0,"deviceId":"Basiszaehler_Info_Schnittstelle","measurementIndex":1,"measurementId":"energy"}]]
```

Abbildung 5: Beispiel einer Message im JSON-Format, die vom Messrechner an die Datenbank gesendet wird

Tabelle 6 listet die Bedingungen für die Datenübertragung vom Messrechner zur Datenplattform auf.

Tabelle 6: Konfiguration der Datenübertragung vom Messrechner zur Datenplattform

Protokoll:	MQTT (Messaging Queuing Telemetry Transport)
Datenverschlüsselung:	TLS (Transport Layer Security)
Übertragungssystem:	TCP/IP (Internet)

2.3 Messdatenspeicherung und Zugriffsberechtigung

2.3.1 Mondas-Datenbank

Die Speicherung und Weiterverarbeitung der ausgelesenen Energiedaten erfolgt in einer cloudbasierten IoT-Datenbank, welche von der Mondas GmbH¹ gehostet wird. Mondas bietet mit einer umfangreichen Toolbox die Speicherung, Filterung und Analyse von Messdaten an. Gespeichert werden die Daten auf Servern in Deutschland der Hetzner Online GmbH², konkret in deren Datacenter-Parks in Falkenstein und Nürnberg. Hetzner Online arbeitet auf Basis eines Informationssicherheits-Managementsystems (ISMS), welches von der FOX Certification GmbH nach ISO/IEC 27001 zertifiziert wurde [7].

Für das Projekt EnStadt:Pfaff wurde eine eigene Datenbank aufgesetzt. Der Zugang zur Datenbank ist passwortgeschützt. Die Berechtigungen für den Zugriff auf die Daten werden individuell für die einzelnen Nutzer im Projekt EnStadt:Pfaff vergeben. Der Zugriff jedes Nutzers kann pro Anzeige-Dashboard oder pro Datenpunkt eingeschränkt werden. So wird sichergestellt, dass nur berechtigte Personen Zugang zu den Daten haben und der Zugang der einzelnen Berechtigten auf deren tatsächlichen Bedarf limitiert wird.

Beim Empfang der Daten in der Mondas Datenbank werden diese vor der Speicherung hinsichtlich Wertebereich, Datenlücken und Zählerplausibilität geprüft. Mondas bietet umfangreiche automatisierte Auswertungsmöglichkeiten an, die von EnStadt:Pfaff allerdings nicht in Anspruch genommen werden.

2.3.2 ISE-Server und Messrechner

Der MQTT-Broker wurde auf Servern des Fraunhofer ISE eingerichtet, das ebenfalls ein am internationalen Standard ISO/IEC 27001 orientiertes ISMS aufgebaut hat. Durch Berücksichtigung der Norm ISO/IEC 27701, die sich als Erweiterung der ISO/IEC 27001 auf den Datenschutz konzentriert, werden die Anforderungen der DSGVO (Datenschutzgrundverordnung) und dem BDSG (Bundesdatenschutzgesetz) eingehalten.

¹ <https://mondas-iot.com/>

² <https://www.hetzner.com/de>

Der Zugriff auf die Server des ISE ist mit Passwort und Zertifikat geschützt. Einen Zugang erhalten nur ausgewählte Mitarbeiter des Fraunhofer ISE mit Projektbezug. Über den Zugang kann mittels SSH (Secure Shell), einem verschlüsselten Netzwerkprotokoll, das einen sicheren Fernzugriff auf Computer über ein ungesichertes Netzwerk ermöglicht, eine Remoteverknüpfung zu den Messrechnern im Pfaff-Quartier hergestellt werden. So können von Freiburg aus im Monitoringsystem in Pfaff-Quartier in Kaiserslautern Einstellungen vorgenommen und die Monitoring-Infrastruktur überwacht und gewartet werden. Die Server des Fraunhofer ISE dienen nur als MQTT-Broker, also als Übermittler der Daten aus dem Messrechner. Auf den Servern werden bei diesem Vorgang keine Daten gespeichert.

Auf den Messrechnern in den Gebäuden des Pfaff-Quartiers können die Messdaten bei Bedarf geloggt und in einer csv-Datei abgespeichert werden. So können bei Ausfall der Internetverbindung die Daten aus der csv-Datei als Backup genutzt werden.

2.4 Messdatennutzung

Die Monitoring-Messdaten werden im Rahmen des Vorhabens EnStadt:Pfaff zu wissenschaftlichen Zwecken von mehreren Parteien genutzt wie im Folgenden dargestellt.

2.4.1 Datenanalyse durch INATECH

Das Monitoring-System wurde weitgehend im Vorhaben EnStadt:Pfaff (2017 – 2024) konzipiert und aufgebaut. Die Auswertung der Daten erfolgt im anschließenden Monitoringvorhaben EnStadt:Pfaff 2 (2025 – 2027) durch das Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) der Albert-Ludwigs Universität Freiburg als unabhängige Institution, die im Ursprungsvorhaben nicht beteiligt war. INATECH erhält einen passwortgeschützten Zugriff auf alle Rohdaten auf der Mondas-Datenbank, um diese analysieren und auswerten zu können. Die Ergebnisse werden in einem jährlichen Monitoringbericht zusammengefasst.

Das INATECH hat die Aufgabe zu ermitteln, ob die umgesetzten Maßnahmen, die zur Klimaneutralität im Pfaff-Quartier beitragen sollen, die erwarteten Ergebnisse aufweisen und sich somit das Pfaff-Quartier erfolgreich auf dem Weg zur Klimaneutralität befindet. Insofern sich Defizite im Betrieb zeigen, sollen die Gründe identifiziert und Empfehlungen für deren Behebung erarbeitet werden. Dies ist insbesondere deshalb eine Herausforderung, weil der Ausbau des Quartiers erst begonnen hat und die Infrastruktur und die Gebäude erst nach und nach umgesetzt werden. Dabei ist davon auszugehen, dass die Infrastruktur, z.B. das Nahwärmenetz, in Teillast eine geringere Effizienz aufweist als im Endausbau. Mit dem Quartiersausbau kommen weitere Gebäude hinzu, wodurch sich die Bezugsgrößen des Monitorings dynamisch verändern. Um die Ergebnisse trotzdem vergleichen und die Fortschritte bewerten zu können, sind entsprechende Verfahren zu entwickeln. Neben den Energie- werden auch Treibhausgasbilanzen erstellt. Die Rohdaten aus dem Monitoring werden in Form von csv-Exports zur Verfügung gestellt.

2.4.2 Datendarstellung durch Fraunhofer ISE

Aktuelle Energiedaten des Quartiers, wie z.B. der Strom- und Wärmeverbrauch oder die Solarstromerzeugung sollen Interessierten auch kontinuierlich bereitgestellt werden. Hierzu erstellt und betreibt das

Fraunhofer ISE ein Dashboard auf der EnStadt:Pfaff-Webseite, das die Energiedaten über die Homepage oder auf einem Monitor im Reallabor-Zentrum darstellt. Hierzu greift das Dashboard auch auf die Mon-das-Datenbank zu.

3 Datenschutz und Datensicherheit

Die Messdatenerfassung erfolgt auf Basis folgender Prinzipien, um einen hohen Datenschutz zu gewährleisten:

1. Es werden keine personenbezogenen Daten erfasst.
2. Die Messdaten werden mit Gesamtzählern pro Gebäude bzw. Zählern einzelner Anlagen erfasst; es findet keine Aggregation von einzelnen Zählern der Nutzereinheiten statt.
3. Beim Auslesen der Zähler werden keine Seriennummern der Messstellen übertragen.
4. Alle Daten werden verschlüsselt übertragen.
5. Nur berechtigte Personen haben Zugang zu den Messdaten. Der Zugang ist passwortgeschützt.

4 Messstellen-Liste

In einer Messstellen-Liste sind die Informationen aller Messstellen aufgelistet. Ein Auszug der Messstellen-Liste mit Zählern, die im Rahmen des Monitorings im Pfaff-Quartier ausgelesen werden, ist beispielhaft in Tabelle 7 dargestellt. Die Liste enthält u.a. Angaben zu den eingesetzten Zählern, zur Schnittstelle und damit der Art der Datenübertragung zum Messrechner, zu den gemessenen Parametern und der Bezeichnung des jeweiligen Messrechners. Die Liste wird ergänzt, wenn weitere Gebäude oder Anlagen während des Monitoringvorhabens errichtet werden. Die Systematik der Datenerfassung und -speicherung ermöglicht eine beliebige Erweiterung der erfassten Zähler.

Tabelle 7: Auszug aus der Messstellen-Liste für das Monitoring des Pfaff-Quartiers

Interne Bezeichnung Zähler	Beschreibung	Zählermodell	Schnittstelle	Messwerte	Bezeichnung Mess- rechner-
Energiezentrale					
EZ-WMZ-3-W	Wärme aus Hauptnetz (Rücklauf und Not-VL)	Kamstrup Multical® 603	Modbus	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	EZ-1
EZ-WMZ-1-WRG	Wärme aus WRG der Kälte- maschine	Kamstrup Multical® 603	Modbus	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	EZ-1
EZ-SZ-HZ	Stromver- brauch Heizzentrale	Iskra MT631	IR-Lesekopf, aktives USB-Kabel	Zählerstand, Leistung	EZ-1

EZ-SZ-Labor	Stromverbrauch Labor	Iskra MT631	IR-Lesekopf, aktives USB-Kabel	Zählerstand, Leistung	EZ-1
EZ-SZ-K	Stromverbrauch Kälteanlagen	Elster A1500	IR-Lesekopf, aktives USB-Kabel	Zählerstand, Leistung	EZ-1
Gebäude 14 (Altes Verwaltungsgebäude)					
14-WMZ-0-Ü-W	Wärme aus Nahwärmenetz	Kamstrup Multical® 603	Modbus	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	AV-1
14-WMZ-1-WP-W	Wärme aus Wärmepumpen		Energiemanagementsystem Gebäude 14	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	AV-1
14-WMZ-1-WP-K	Kälte aus Wärmepumpen		Energiemanagementsystem Gebäude 14	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	AV-1
14-SZ-1	Stromverbrauch Gebäude 14	Wandler	Modbus	Zählerstand, Leistung	AV-1
14-SZ-2	Stromverbrauch Reallabor-Zentrum	Lackmann Latronic L20	IR-Lesekopf	Zählerstand, Leistung	AV-1
Gebäude 48 (MVZ)					
48-WMZ-0-Ü-W	Wärme aus Netz	Kamstrup Multical® 603	Modbus	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	MVZ-3
48-WMZ-0-Ü-K	Kälte aus Kältemaschinen der EZ	Kamstrup Multical® 603	Modbus	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	MVZ-3
48-SZ-1	Strom	Wandler	Modbus	Zählerstand, Leistung	MVZ-3
Gebäude 49 (MVZ-Parkhaus)					
49-WMZ-0-Ü-W	Wärme aus Nahwärmenetz	Kamstrup Multical® 603	Modbus	Zählerstand, Leistung, Durchfluss, Temperatur Vorlauf und Rücklauf	Parkhaus-1
49-SZ-1	Strom	Wandler	Modbus	Zählerstand, Leistung	Parkhaus-1

5 Literatur

- [1] H. Erhorn-Kluttig *et al.*, "Messleitfaden für Demonstrationsvorhaben im Bereich „Energie in Gebäuden und Quartieren“: Update 29.09.2020," 2020. Zugriff am: 20. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.energiewendebauen.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewb-publications/C4DFA9FD15403D08E0537E695E869019/live/document/Messleitfaden_Update_2020_V2.pdf
- [2] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. "Messdatenbasierte Analyse von Anlagen und Gebäuden: Von der Planung der Sensoren über die Auswertung der Daten bis hin zur Visualisierung und Interpretation der Ergebnisse." Zugriff am: 20. Juni 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/klimaneutrale-waerme-und-gebaeude/betriebsfuehrung-von-gebaeuden-liegenschaften-industrie/monitoring-von-anlagen-und-gebaeuden.html>
- [3] Deutscher Bundestag, *Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung: Energiewirtschaftsgesetz - EnWG*, 2005. Zugriff am: 13. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/index.html
- [4] C. Persohn, "Pfaff 14 + 48 49 Messkonzept: Entwurf Messwertaufnahme für Monitoringvorhaben," Apr. 2023.
- [5] NRG Systems. "PC Engines APU.4D4 Board (4 GByte, 4xLAN) und APU4D4 Bundles." Zugriff am: 20. Juni 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.apu-board.de/produkte/apu4d4.html>
- [6] IBM. "Übersicht über Publish/Subscribe." Zugriff am: 20. Juni 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.ibm.com/docs/de/integration-bus/10.1.0?topic=applications-publishsubscribe-overview>
- [7] FOX Certification GmbH, Hg., "Zertifikat Hetzner: Informationssicherheitsmanagementsystems nach DIN EN ISO/IEC 27001:2017," 2024. Zugriff am: 20. Juni 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://docs.hetzner.com/de/general/others/certificates/>