

Energie- und Flexibilitätsprognosen der Zelle

Bereitstellung von Prognosediensten¹ für die Vorhersage² des Energieertrags von PV Anlage(n) bzw. der Energienutzung von Verbrauchern

International Solar Energy Research Center (ISC) Konstanz e. V.
Rudolf-Diesel-Straße 15
78467 Konstanz

Gefördert durch:



1 Energie- und Flexibilitätsprognosen der Zelle – Bereitstellung von Prognosediensten

2 In der konkreten Anwendung müssen die Daten für Erzeugung und Verbrauch detailliert und gesondert behandelt werden. Soweit es nur die Bereitstellung von (liegenschafts-) externen Wetterprognose Daten betrifft kann man diesen Dienst einheitlich für Verbrauch und Erzeugung behandeln.

Abstract

English

Statement of the used prognosis of the offered and demanded energy and power, respectively, and its flexibility prognosis therein for the given smallest relevant unit, i. e. a cell.

In order to be able to provide flexibility, it is necessary to predict the generation and consumption in the best possible way, both qualitatively and quantitatively. For this purpose, the generation, consumption and weather data currently measured on site at the cells as well as those as recorded in the past can be used. These data serve as input for appropriate, i. e. to predict forecast models tailored to the individual cell for the expected generation and consumption of electrical and thermal energy and power. The forecasts can be created by the cell's own energy management system or a service provider takes over this task. The energy and flexibility forecasts of individual cells developed in C/sells are based on stochastic or deterministic simulations or are borrowed from AI research. Among the latter are e.g. to grasp trained neural network applications. By means of this procedure, which is individually adapted to the cells, generation and consumption can be determined correspondingly precisely for a given time horizon in order to thus free, i.e. provide both positive (excess) and negative (deficiency) energy and performance, as appropriate flexibility. The forecasts serve as cross-sectional applications for optimizing the power and energy flows of a property for maximum benefit for operators and users. They are therefore necessary as a basic service for the digitization of the energy transition.

Deutsch

Prognosen von angebotenen (positiven) und nachgefragten (negativen) (Regel-) Energien bzw. Leistungen und deren zugrundeliegenden Flexibilitätsprognosen für die kleinste relevante Einheit, d. h. hier, einer Zelle.

Damit Zellen Flexibilität bereitstellen können ist es notwendig, Erzeugung und Verbrauch sowohl qualitativ als auch quantitativ bestmöglich vorherzusagen. Dafür können sowohl die vor Ort in den Zellen aktuell gemessenen, aber auch die in der Vergangenheit aufgezeichneten Erzeugungs-, Verbrauchs- und Wetterdaten genutzt werden. Diese Daten dienen als Eingabe um geeignete, d. h. auf die individuelle Zelle zugeschnittene, Prognosemodelle für die zu erwartende Erzeugung und den zukünftigen Verbrauch von elektrischer und thermischer Energie und Leistung vorherzusagen. Die Prognosen können sowohl vom zelleigenen Energiemanagementsystem erstellt werden oder

ein Dienstleister übernimmt diese Aufgabe. Die in C/sells entwickelten Energie- und Flexibilitätsprognosen einzelner Zellen basieren auf stochastischen bzw. deterministischen Simulationen oder sind aus der KI-Forschung entlehnt. Unter letztere sind z.B. trainierte neuronale Netzanwendungen zu fassen. Durch diese auf die Zellen individuell angepasste Vorgehensweise kann entsprechend genau Erzeugung und Verbrauch für einen vorgegebenen Zeithorizont ermittelt werden um somit freie, d. h. sowohl positive (Überschuss) als auch negative (Mangel) Energie und Leistung, als entsprechende Flexibilität bereitzustellen. Die Prognosen dienen als Querschnittsanwendungen für die Optimierung der Leistungs- und Energieflüsse einer Liegenschaft zum maximalen Nutzen für Betreiber und Nutzer. Sie sind daher notwendig als Basisdienst für die Digitalisierung der Energiewende.

Kurzfassung

Um Prosumenten und Zellbetreiber in ein zelluläres Energiesystem zu integrieren, sind hinreichend verlässliche Informationen über elektrischen Verbrauch und Erzeugung der Zelle nötig. Hierzu müssen Daten aus unterschiedlichen Quellen gesammelt und in geeigneter Weise für eine Zelle ausgewertet und für die Prognosebereitstellung weiterverarbeitet werden. Deren hohe Wertigkeit erkennt man durchaus in der Tatsache, dass im C/sell-Buch das Wort Prognose über 100-fach Erwähnung findet und auch in der C/sells Leitidee sieben Mal angesprochen wird.

Hierzu gehören die Daten der Zelle, d. h. historische, aktuelle und prognostizierte Last- und Erzeugungsdaten, die auf den Stammdaten der in der Zelle integrierten Anlagen basieren.

Darüber hinaus müssen Informationen externer Marktteilnehmer an Prosumenten und/oder Zellbetreiber kommuniziert werden. Hierzu gehören Prognosen externer Dienstleister, insbesondere Prognoseanbieter und Abrechnungs-, sowie Tarif-Informationen von Lieferanten (Erzeugern, Netzbetreibern, etc.) und einem Aggregator oder mehreren.

So ergibt sich die Möglichkeit iterativ über externe und interne Daten und bereits vorhandenen Betriebsprognosen der integrierten Anlagen zukünftige Datenprognosen der Zelle für Energie und einer Flexibilitätsbereitstellung zu erstellen.

Ein Prognose-Bezug kann an nahezu allen elf HLUCs von TP 5 festgestellt werden. Prognosen basieren direkt für die Erzeugung und indirekt für den Verbrauch stark auf Wetterprognosedaten und werden weiterführend für verschiedene Zwecke genutzt. Allgemein zur informativen Darstellung, für direkte PV-Ertragsabschätzungen, für indirekte allgemeine Ertragsabschätzungen und für die Bedarfsabschätzung von Wärme, Kälte, Elektromobilität und stationären elektrischen Verbrauch. Die Thematik Wetterdaten ist in AP 3.4 Hochrechnung, Prognose und Bilanzierung unter der Leitung des ZSW integriert. Ein wichtiger Punkt ist dabei das Datenformat für eine direkte Datennutzung und Einbindung, Dafür müssen Daten in ein adäquates Format „entpackt“ und umformatiert werden. Das ZSW hat eine Software zum „Entpacken“ von z. B. Daten vom DWD zur Nutzeranwendung entwickelt und bereitgestellt. Dabei werden die Daten mit einer 15-Minuten-Auflösung erhoben und bereitgestellt.

Die Bereitstellung von Prognosediensten und der Zusammenhang zwischen Prognose - Bereitstellung / Quantifizierung – Aggregation von Energie und Flexibilität ist bereits strukturell quasi „bottom-up“ in den verbundenen HLUCs A – B – D – E/F bearbeitet und dokumentiert worden. Es werden Prognosen von Verbrauch und Erzeugung erstellt, sowie die mögliche Flexibilitätsbereitstellung einer Zelle kann ermittelt und kommuniziert werden.

Für eine der Leitidee im Sinne von **zellulär, partizipativ, vielfältig** entsprechenden Flexibilitätsbereitstellung ist es notwendig die „Zukunft“ qualitativ als auch quantitativ, sowohl für die Erzeugung als auch für den Verbrauch, bestmöglich vorherzusagen, d. h. zu prognostizieren, um die Flexibilitätsbereitstellung so realitätsnah wie möglich „abschätzen“ und bestens bestimmen zu können.

Die hier behandelten Energie- und Flexibilitätsprognosen einzelner Zellen sind Querschnittsanwendung und notwendig als Basisdienst für die „Digitalisierung der Energiewende“

Grundsätzliche Vorgehensweise zur Prognoseerstellung kann aufgeteilt werden wie folgend:

Aus Erfahrung mit historischen Daten (statisch)

Selbstlernende Systeme (dynamisch)

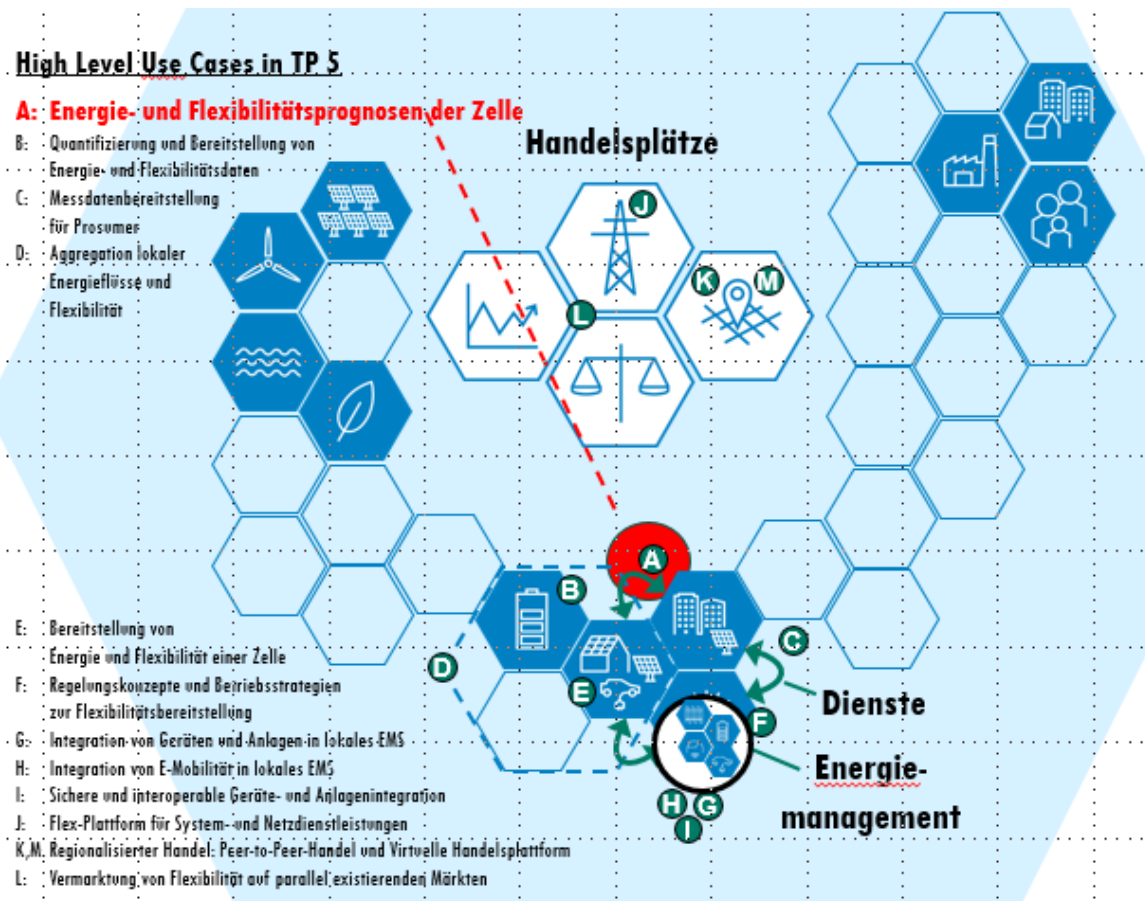
Kombination aus beiden (trainiert an historische Daten für die dynamische Vorhersage)

Im Rahmen von C/sells werden Anwendungsfälle (Use Cases (UC)) realisiert. In diesen Demonstrationen als mögliche Blaupausen für den Einsatz zur Energiewende finden Prognosemodelle für die Energie- und Flexibilitätsbereitstellung bzw. Anforderung Anwendung.³

Das AP3.4 Hochrechnung, Prognose und Bilanzierung stellt innerhalb von C/sells das Fundament des hier behandelten HLUC050A da. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist der optimale, das heißt adäquate, Einsatz von Prognosetechniken zur Ergebnisoptimierung, für die Reduktion der (Standard-, mittleren, maximalen, etc.) Abweichung zwischen dem quantifizierten Wert der Prognose und der wirklich eingetretenen und dadurch gemessenen (Daten-) Realität.

Einordnung und Abgrenzung innerhalb der AP5.3 und allen weiteren TP5 HLUCs ist graphisch in der folgenden Darstellung verortet:

³ Direkte Eingabe kommt von den Projektpartnern ISC/Ehoch4 bzgl. dem Anwendungsfall UAP 7.9.1 IKT-Siedlung Hohentengen, indirekter Input von AP 3.4 durch eine Umfrage über dessen Koordinator Jann Binder unter den AP3.4 Partnern zu den Prognosen und einer Dokumentation von 29+ Prognosevarianten zum Projektanfang. Aufforderung an die Partner: Input an den aktuellen HLUC Koordinator zu senden, wo und welche Prognose in welchem HLUC verwendet wird. Diese Rückmeldungen innerhalb von AP 5.3 flossen mit ein und wurden referenziell aufgenommen unter Verweisen auf die HLUCs, wo diese verwendeten Prognosen beschrieben werden.



Die Quantifizierung und Bereitstellung der Flexibilitätsdaten (HLUC050B) sowie die Bereitstellung von Messdaten für Prosumer (HLUC050C) sind für die praktische Umsetzung und Demonstration der in diesem HLUC erarbeiteten Konzepte unabdinglich. In diesem.

Der HLUC050D Aggregation lokaler Energieflüsse und Flexibilität basiert stark auf den Ergebnissen der Prognosen einer Zelle zur Energie und Flexibilitätsbereitstellung und stellt so die Schnittstelle zu den Märkten, indem Potenziale von aggregierten Anlagenverbänden ermittelt werden

Wie denn solch aggregierte flexibilisiert Energie bzw. Leistung bereitgestellt wird, insbesondere komplexer Zellen mit ihren vielfältigen energietechnischen Anlagen und internen Eigenschaften und Wechselwirkungen untereinander wird in HLUC050E dokumentiert.

Ziel ist es hierbei, die Flexibilität lediglich am Übergabepunkt, also dem Netzanschlusspunkt der Zelle, nach außen zu kommunizieren und hierfür neu entwickelte, generische Flexibilitätsdatenmodelle zu verwenden.

Die immer präsenter werdende Block Chain Technology hinsichtlich Anwendungen mit Mehrwert in partizipativ-zellulären Systemen wird in HLUC050K/L/M verfolgt und bietet für Prognosebereitstellung eine gute Basis insbesondere hinsichtlich der Verifikation von Eingabe

Daten und Parametern wie in der Poster-Präsentation „Blockchain-Eignung eines partizipativen und zellulären Energiesystems“⁴ dargelegt wird.

Abgrenzung zu AP5.2: Die Vermarktung auch über neuartige Geschäftsmodelle wird in diesem AP erarbeitet und greift dafür auf technische Voraussetzungen aus dem AP 5.3.

Abgrenzung zu AP5.4: Das EMS dient als Werkzeug zur (zell-)internen Optimierungen und bietet daher eine softwarebasierte Grundlage für bidirektionale Dienste.

Abgrenzung zu AP5.5: Es werden hierfür die HW-technischen Voraussetzungen für die Steuerung und Datenerhebung geschaffen.

⁴Blockchain-Eignung eines zellulären und partizipativen Energiesystems, Michel ZADE (1), Andreas ZEISELMAIR (2), Alexander BOGENSPERGER (2), Thomas BRENNER (3), Ole LANGNIß (3), Peter TZSCHEUTSCHLER (1), (1) Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, Technische Universität München, (2) Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., (3) Oli Systems GmbH

Inhaltsverzeichnis

Abstract	ii
Kurzfassung.....	iv
Inhaltsverzeichnis.....	viii
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xii
1 Allgemeine Einführung und Verortung High Level Use Case „Energie- und Flexibilitätsprognosen der Zelle“	1
1.1 Geltungsbereich und Kurzbeschreibung des HLUC Energie – und Flexibilitätsprognosen der Zelle	1
1.1.1 Geltungsbereich und Ziele	1
1.1.2 Illustration zur Bereitstellung von Prognosediensten	2
1.1.3 Kurzbeschreibung	2
1.2 Beispiele aus der Anwendung AP5.3	2
1.2.1 Eine Auswahl	2
1.2.2 Wetterprognose als Basisprognose	3
1.2.3 Ein Beispiel zu: Modelprädiktive Regelung	4
1.2.4 Abfrage unter den AP5.3 Partnern	6
1.3 Beispiele aus der Anwendung TP5	8
1.4 Die Relevanz der anderen TP5 HLUCs auf HLUC050A	8
1.4.1 HLUC050B Quantifizierung und Bereitstellung Energie- und Flexibilitätsdaten	8
1.4.2 HLUC050C Messdaten Bereitstellung für Prosumer	9
1.4.3 HLUC050D Aggregation lokaler Energieflüsse und Flexibilität	9
1.4.4 HLUC050E: Bereitstellung von Energie und Flexibilität einer Zelle	9
1.4.5 HLUC050F: Regelungskonzepte / Betriebsstrategien zur Flexibilitätsbereitstellung	9
1.4.6 HLUC050G/I Integration von Geräten/Anlagen mit EMG in lokales EMS, Markt und Netz / HAN / CLS-Nutzung	10
1.4.7 HLUC050H Integration von E-Mobilität in lokales EMS, Markt und Netz	10
1.4.8 HLUC050J Flex-Plattform für System-/Netzdienstleistungen	11
1.4.9 HLUC050K Direkthandels-umgebungen (Peer-to-Peer)	11
1.4.10 HLUC050L: Vermarktung von Flexibilität auf Parallel existierenden Märkten	11
1.4.11 HLUC050M: Virtuelle Handelsplattform	11
1.5 Wechselwirkung mit AP3.4 Hochrechnung, Prognose und Bilanzierung	12

1.5.1	Prognosen – Optimale Abschätzung von Energie und Flexibilität	12
1.5.2	Der Prognosedienst (siehe 1,5° C/selsius Seite 32ff)	12
1.5.3	Vorausschauende Planung für Zellen	13
1.5.4	Bedarf an vielfältigen Hochrechnungen und Prognosen	13
1.5.5	Wie verlässlich sind Prognosen?	14
1.6	Allgemeine Bemerkungen	15
2	Arbeitsinhalte der Partner	16
2.1	ISC KN e. V als aktiver AP5.3 Partner	16
2.2	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)	17
2.3	Vorhersage der Flexibilität von Elektrofahrzeugen (FZI)	18
2.4	Fallstudie „Leitwarte Schwäbisch Hall“, intelligentes Verteilnetz Schwäbisch Hall(SWH)	21
2.5	Fallstudie „Prognose der Flexibilität und des externen Leistungsbezugs für Energiesysteme“ (IAO)	22
2.6	Lösungsansatz und durchgeführte Arbeiten in Quartierszelle FRANKLIN (MVV)	23
2.7	Befragungen der Projektpartner	24
2.7.1	Input via AP3.4 Treffen der Partner am 16.05.2018 (ZSW)	24
2.7.2	Umfrage via ZSW unter den AP3.4 Mitgliedern Mitte 2019	26
2.7.2.1	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	26
2.7.2.2	Dr. Langniß Energie & Analyse (OLI)	26
2.7.2.3	Hochschule Offenburg (HSO)	26
2.7.2.4	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V (FFE)	27
2.8	Bemerkung zu weiteren TP5 Partnern	29
3	Partnerspezifische Use Cases	30
3.1	ISC KN e. V.	30
3.1.1	Verbindungen unter den TP5 HLUC bzgl. UAP7.9.1	30
3.1.2	Anlagenspezifisch optimiertes PV Energie-Prognosemodell aus Wettervorhersagen	31
3.1.3	Erweiterung der modellprädiktiven Optimierung spartenübergreifender Heizungsanlagen auf Anreizsysteme	32
3.2	Ehoch4 GmbH	32
3.3	FhG IEE	33
4	Zusammenfassung und Ausblick	33
Anhang A	34
A.1	Rollen und formale Abläufe	34
A.2	Sonstiges	36
Literaturverzeichnis	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Diagramm zur Anwendung für bereits realisierter Partner-Anwendungsbeispiele, d. h. sogenannte „Use Cases“	2
Abbildung 2 Diagramm zur allgemeinen Illustration für die Flexibilitätsbereitstellung	3
Abbildung 3 Diagramm zur Illustration Optimierung Wetterdatenprognose.....	4
Abbildung 4 Kreuz-Validierung und deren Eintreten bezogen auf Testvorgaben verschiedener Prognosen, die anhand der Pinball-Bewertung ausgewertet wurden.	20
Abbildung 5 Ausschnitt aus der Präsentation „2020-10-21_6_Umsetzung_Netz-Markt_STWSHA_Schulze_Breuning“ von Katja Schulz gehalten am 21.10.2020 zur Life-Demonstration C/sells Demo: Systemsicherheit Baden-Württemberg.	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Abfrage unter allen AP5.3 Partnern zur Mitwirkung bzgl. Eingabeparameter im HLUC zum Thema: „Eingaben für die Prognose“.....	7
Tabelle 2 Auszug aus dem TP 5 Treffen vom 13.09.2018 am IKT in Karlsruhe zu den Prognosebedürfnissen der auf Postern präsentierten Anwendungsfälle (Use Cases) Verantwortlicher Partner in Rot markiert und in Übersichtsbeiträgen, verantwortlicher Partner in Grün markiert.....	8
Tabelle 3 Liste der vorhergesagten Variablen sowie der Standort- und Eingabefunktionen.....	19
Tabelle 4 Anwendungsfälle und deren Kurzbeschreibung vom 16.Mai 2018.....	25

1 Allgemeine Einführung und Verortung High Level Use Case „Energie- und Flexibilitätsprognosen der Zelle“

1.1 Geltungsbereich und Kurzbeschreibung des HLUC Energie – und Flexibilitätsprognosen der Zelle

1.1.1 Geltungsbereich und Ziele

Verbesserte energetische Ertragsvorhersage von PV-Anlagen über anlagenspezifische Wetterprognosen. Simulationsmodelle unter Berücksichtigung bereits gemessener Ertragsdaten zur Optimierung der Vorhersage. Durch eine systemadaptive Prognose und der Vernetzung der Erzeugung individueller PV- Anlagen der Liegenschaft und dem Verbrauch der Liegenschaft, kann so ein netzdienlicher Betrieb mit Bereitstellung von Flexibilität für außerhalb der Liegenschaft(en) ermöglicht werden.

Zielvorgabe ist es, den Quotient zwischen prognostiziertem Ertrag und tatsächlich erzieltm Ertrag (durch Messung) gegen 1 zu trimmen.

Ergänzend können auch die weiteren nicht fluktuierende Energie direkt bereitstellenden Einheiten Blockheizkraftwerk (BHKW), Brennstoffzelle (BSZ), etc. und indirekt Energie bereitstellenden Einheiten wie elektrische und thermische Speicher und Wärmepumpe (WP) in die Prognose einbezogen werden.

Für den Energieverbrauch kann analog vorgegangen werden. Über Verbrauchsprognosen werden sogenannte Energieverbrauchsfahrpläne erarbeitet.

Die prognostizierte Flexibilität ergibt sich über die prognostizierte zeitabhängige Differenz von Erzeugungs- und Verbrauchswerten.

1.1.2 Illustration zur Bereitstellung von Prognosediensten

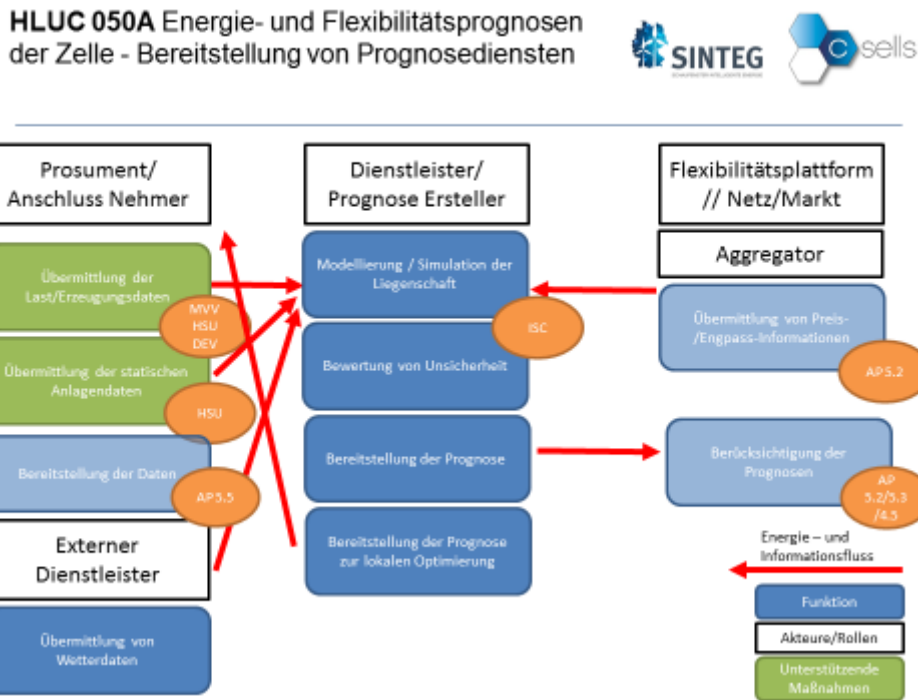


Abbildung 1 Diagramm zur Anwendung für bereits realisierter Partner-Anwendungsbeispiele, d. h. sogenannte „Use Cases“.

1.1.3 Kurzbeschreibung

Bereits in der Planungsphase werden PV-Anlagen, Verbraucher und EE-Ladeinfrastrukturen in Liegenschaften so dimensioniert, dass damit eine erwünschte Flexibilität, d. h. ein netzdienlicher Betrieb in Einklang mit einem ökonomisch/ökologischen Betrieb der Liegenschaft gewährleistet werden kann und zusätzlich eine Flexibilitätsbereitstellung in Form von positiver und negativer Regelernergie angeboten werden kann.

1.2 Beispiele aus der Anwendung AP5.3

1.2.1 Eine Auswahl

1.2 Beispiele aus der Anwendung AP5.3

Welche Anwendungen bidirektionaler Dienste für und von Prosumenten kann man nun einsetzen für die Prognosebereitstellung und deren Nutzung? Geben und nehmen von Information bzgl. Ertrag, Verbrauch, bezogen auf einen Zeit- und Kostenrahmen.

- Vorhersage des Energieertrags einzelner PV Anlagen und Gruppen
- Vorhersage des Energiebedarfs jeweiliger Gebäude und Liegenschaften
- Vorhersage des Energieertrags einzelner PV Anlage(n) z. B. durch pvforecast und spezifische Optimierung auf Basis gemessener Ertragsdaten
- Erfassung möglicher Anpassungen des Strompreises und Vergütungen und deren Vorhersagen durch bidirektionale Dienste
- ...

1.2.2 Wetterprognose als Basisprognose

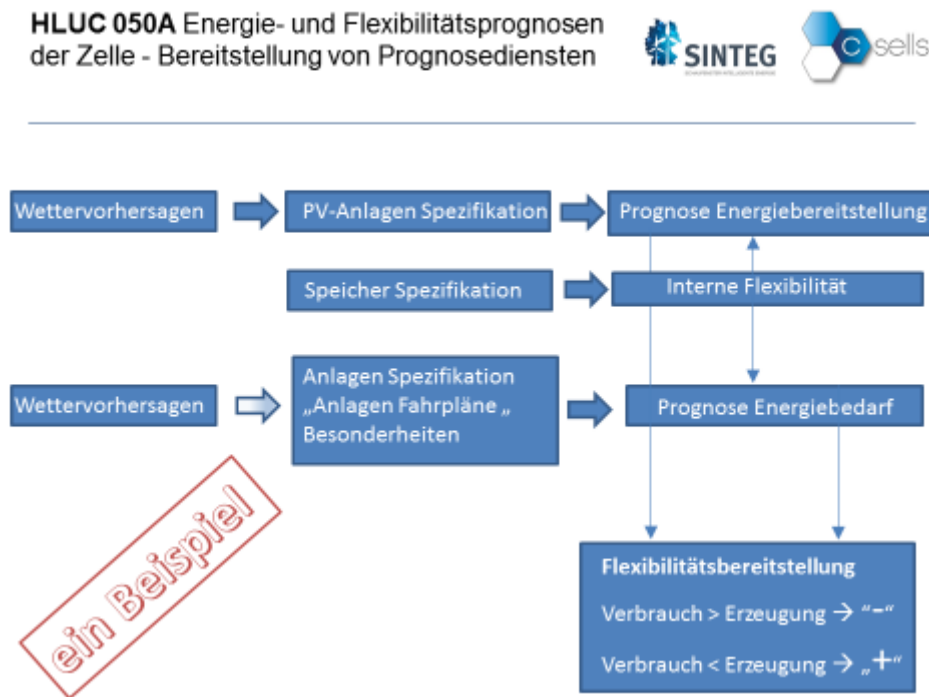


Abbildung 2 Diagramm zur allgemeinen Illustration für die Flexibilitätsbereitstellung

Der entsprechende Verlauf kann folgendermaßen beschrieben werden:

Rekursive Bestimmung der Ertrags- und Verbrauchsprognosen und kontinuierlicher Vergleich zwischen den prognostizierten und erzielten Erträgen über die gewonnenen Messwerte und deren Wertung. Dadurch werden sozusagen die Messdaten der Anlagen mit den Prognosedaten verschränkt.

Bereitstellung von Wetterprognosedaten in entsprechender Formatierung für die Übergabe an das anlagenspezifische Simulations-SW-Werkzeug für die Bestimmung von Verbrauch und Erzeugung, d. h.:

Bereitstellung Wetter Daten → Formatieren → Übergabe → Formatieren → Lokale Ertrags Simulation

Prognose von zeitlich variabel verlaufender Leistung $P(t)$ und Energie $E(t)$ bis zu einem gegebenen Zeitpunkt T .

Vergleich der Werte von Prognose und Messung.

Rückkopplung der gewichteten Prognosewahrscheinlichkeiten für einen nächsten Simulationslauf.

Es folgt nun ein einfaches Aktivitäten-Diagramm zum Vorgang der Simulationsoptimierung

Inputdaten + Metadaten → Prognosedaten → Kriterium ok → fertig
→ Kriterium nicht ok → Modifikation

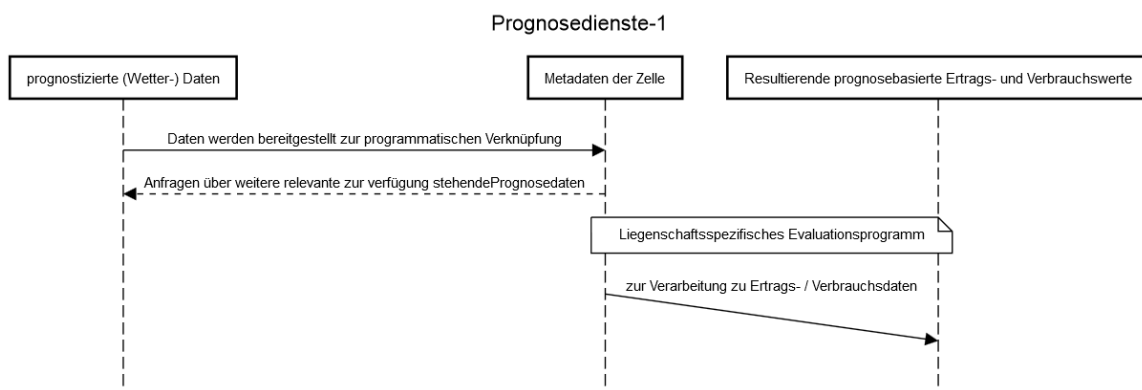


Abbildung 3 Diagramm zur Illustration Optimierung Wetterdatenprognose.

1.2.3 Ein Beispiel zu: Modelprädiktive Regelung

Eine große Herausforderung im IT-Bereich ist die Bereitstellung und die entsprechende Verarbeitung der abgerufenen Wetterdaten, um zum Beispiel Photovoltaik-Erträge vorhersagen zu können. In Verbindung mit erlerntem Nutzerverhalten zum Verbrauch müssen die richtigen Entscheidungen getroffen werden (z.B. bei einer aufziehenden Kaltfront wird ein Wärmespeicher gefüllt und bei einer aufziehenden Regenfront ein adäquater Batteriespeicher beladen). Die dafür

1.2 Beispiele aus der Anwendung AP5.3

erforderlichen Algorithmen sind anspruchsvoll und können bei einer unzutreffenden Einschätzung bzw. Verarbeitung der Daten zu Störung oder gar Ausfall der Versorgung führen – im weniger schweren Fall zumindest den Wirkungsgrad und somit die Rentabilität und die Amortisation der Energie-Anlage reduzieren.

Das Konzept der Berücksichtigung von Wetter- und Verbrauchsvorhersagen und einer einhergehenden möglichen Antizipation der Auswirkungen bestimmter Schaltvorgänge nennt sich modellprädiktive Regelung (engl. *Model Predictive Control*, kurz MPC). Dabei lässt sich auch der Zeitpunkt des vorhergesagten Schaltvorgangs optimieren und somit präventive Maßnahmen treffen. Bei der MPC wird meist ein zeitdiskretes, dynamisches Modell des zu regelnden Systems aufgestellt, um den zukünftigen Zustand des Systems in Abhängigkeit definierter Eingangssignale berechnen zu können. Dies ermöglicht die Optimierung des Steuersignales über einen bestimmten Zeithorizont, unter Berücksichtigung definierter Eingangs- und Zustandsbedingungen. Während das Modellverhalten bis zu einem gewissen Zeithorizont vorhergesagt werden kann, wird in der Regel nur das Eingangssignal für den nächsten Zeitschritt verwendet und danach die Optimierung mit dem aktuell (gemessenen) Zustand wiederholt, was die Berücksichtigung von Störungen ermöglicht, aber auch eine erhebliche Rechenleistung erfordert. Hierbei kann es sich auch um Zustände von netzstabilisierenden Maßnahmen handeln, abhängig von den Energieflüssen sowohl des vorhergesagten Verbrauchs als auch der Erzeugung der erneuerbaren Energie.

Modellprädiktive Regler sind aufwändige Regelungsverfahren und werden aufgrund ihrer Robustheit und Fähigkeit, Beschränkungen explizit zu berücksichtigen, bereits seit den 1980er Jahren verwendet. Bevorzugt werden MPCs hierbei in verfahrenstechnischen Prozessen genutzt, in welchen klassische Regler (P-, D-, PID-Regler) und Fuzzy-Regler eine nicht ausreichende Regelgüte erzielen. Traditionell werden MPC Algorithmen hierbei in Kombination mit klassischen Reglern verwendet, um in trägen Systemen für einen langen Zeithorizont die Zielwerte für z. B. PID-Regler bereitzustellen. Diese Zielwerte werden über einen Zentralrechner, welcher die rechenintensive MPC durchführt, bereitgestellt. Die fortschreitende Entwicklung der Halbleitertechnik eröffnet jedoch derzeit die Möglichkeit, diese komplexen, modellprädiktiven Regelungsverfahren nicht nur auf Zentralrechnern in Prozessanlagen, sondern auch auf immer günstiger werdenden, kleineren Anlagen zu berechnen, um die zunehmend dezentrale Energieversorgung trotzdem stabil bereitzustellen.

Das Leistungsvermögen eines solchen Optimierungsalgorithmus im Energiesektor korreliert folglich jedoch maßgeblich von der gewünschten Vorhersagegenauigkeit ab. Lastprognosen hängen von einer Vielzahl von Nichtlinearitäten, wie dem Nutzerverhalten, oder auch indirekt von den Wettergeschehnisse, ab. Zu diesem Zweck wurden vom ISC Konstanz rekursive

1.2 Beispiele aus der Anwendung AP5.3

Zeitreihenvorhersagen durch spezifisch antrainierte KNNs für diesen Zweck erprobt. Deren Genauigkeit lässt sich weiterhin verbessern, wenn Lichtverhältnisse, d.h. z. B. Beschattung und Temperaturen durch die Zusammenarbeit mit Wettervorhersagediensten berücksichtigt werden können.

Eine Weiterentwicklung wird kontinuierlich vorangetrieben, um die resultierenden Verbrauchs- und Erzeugungsvorhersagen durch den Einsatz von MPC-Algorithmen durch das ISC Konstanz, in die Handlungsempfehlungen des KNN-Reglers fließen, und es besteht so die Option präventive Handlungsempfehlungen zu studieren.

1.2.4 Abfrage unter den AP5.3 Partnern

Die Partner sind im Folgenden: THU, KIT, ISC, IEE, OLI=LEA, FZI, IER, MVV, EAM, DEV, FST.

Partner →	FZI	KIT	MVV	ENM	HSU	IER	D E V	L E A	IEE / Autonomi elab Leimen	ISC / Ehoch4
Arbeitspunkt ↓										
Prognose direkter PV-Erzeugung	nein	nein	Trading	ja	Diskussion für Feldtest als Echtzeitsimulation	ja	ja	ja	kein PV	Ja
Prognose allg. RES Erzeugung	nein	nein	PV	ja	Solardachkataster für Ulm, zukünftig ganzes Ulmer-Gebiet	ja	ja	ja	evtl.	Ja
Prognose der Bedarfsabschätzung	nein	nein	Reststrommengen für Betrieb P2H Anlage ohne PV-Anlage	ja	Interpolation historischer Daten	ja	ja	ja	evtl.	Ja

1 Allgemeine Einführung und Verortung High Level Use Case „Energie- und Flexibilitätsprognosen der Zelle“

1.2 Beispiele aus der Anwendung AP5.3

Datenquellen und Formate	alles keine Echtzeitdaten) Deutsches Mobilitätspanel Deutscher Kraftwerkspark ,ENTSO-E kraftwerksspez. Erzeugung, Wetter DWD CVS, JSON	DWD CSV	CSV für PV-Prognose Quelle: Energiehandel		Tabellen CSV Messdaten, Laserscandaten Befliegung , Gebäudegründrisse Ulm	-	-	-	N.N.	MeteoBlue, DWD, W3Data ; im IIS via ZSW-Meteocontrol CVS, JSON
Aufbereitung der Daten	direkt	Von 10' auf 15'	Quartiers-EMS v. ABB	-	In Python				N.N.	direkt
Modelle	KNN, Quantils-Regression, Kerndichteschätzer	MILP	?	-	keine	-	-	-	N.N.	z.B. MPC - MILP
Prognose PV Schnee	-	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein	Ja
Prognose PV-Nebel	-	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein	Ja
Haushalts Wärmebedarf	-	nein	nein	ja	nein	ja	ja	ja	gerne	ja
Marginale CO2 Emissionsfaktoren in Deutschland	ja	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Standzeiten an Ladestationen	ja	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energiebedarfe an Ladestationen	ja	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weitere Prognosen	-	Wärmebedarf im Netz Wir bestimmen Flexibilität und damit mögliche Fahrpläne für Regelleistung	-	-	Nein	-	-	-	-	-

Tabelle 1 Abfrage unter allen AP5.3 Partnern zur Mitwirkung bzgl. Eingabeparameter im HLUC zum Thema: „Eingaben für die Prognose“.

1.3 Beispiele aus der Anwendung TP5

Poster Referenzen bzgl. Prognosen

Prognosebedarf und deren Anwendung in „fast“ allen Posterbeiträgen, indirekt auch in den Übersichtsbeiträgen.



1. Energiemanagement in Liegenschaften **IEE**
2. Peer-2-Peer Transaktionen mittels Blockchain **LEA**
3. Ermittlungen der Potentiale von Flexibilitätsoptionen im Stadtgebiet Augsburg **SWA**
4. Flexibilitätspotenzial & Altdorfer Flexmarkt **FIE**
5. **IER UniS** zu Arbeitsstand in TP5: Aggregation HLUC-D, FlexPlattform HLUC-J
6. Grundlegende Konzepte zum Management flexibler dezentraler Energieanlagen **KIT_IAI**
7. SEMA – Flexibilitätsbereitstellung mittels eines Social Energy Management Systems **FhG IEE**
8. **FhG IAO** Lastanalysen und Prognosen (Prognosen von Energieflüssen durch Elektrofahrzeuge)
9. **FhG IAT** Lastprofilgenerator Elektromobilität
10. C/sells-Aktivitäten der **TenneT** TP 5: HLUC 050J comax → Flex-Gebote
11. Assessment of Operational Flexibility Options Quantification and Evaluation **UniFr**
12. Aggregation und (Direkt) Vermarktung in der „csells-Welt“ **Next Kraftwerke** HLUC L+J
13. IKT-Siedlung Hohentengen **ISC, Ehoch4, FhG IEE**
14. IKT Infrastrukturkonzept für Quartiere und Liegenschaften **PPC**
15. Intelligente Wärme München (UAP7.4.1) **SWiM**
16. District Modell Intersektorale regionale Energiesystem Analyse **FhG-ISE**
17. HEMS-2-Flex Flexibilitätsbereitstellung von Liegenschaften **TUM**
18. Was erreichen wir in C/sells? –Konzept zur Evaluation **LEA/FhG-ISE**
19. Lokaler Ausgleich durch Sektorkopplung **Quartier Franklin**
20. Prosumer Dienst, lokale PHH zur Unterstützung des Niederspannungsnetz **HSU** (Heizstab hat hohe Flexibilität)
21. Service-Oriented Modular Design for Energy Data Management **FZI**
22. Arbeitsstand TP5 Reale Daten-Auswertung **WOLFF & MÜLLER ENERGY GMBH**
23. Analyse von Smart regional energy markets **EnergieDienst**
24. Konnektivität von Stromzählern und Wechselrichtern an eine Blockchain **OLI Systems GmbH**
25. HAN/CLS Nutzung für EMS HLUC050I **devolo**

Tabelle 2 Auszug aus dem TP 5 Treffen vom 13.09.2018 am IKT in Karlsruhe zu den Prognosebedürfnissen der auf Postern präsentierten Anwendungsfälle (Use Cases)
Verantwortlicher Partner in Rot markiert und in Übersichtsbeiträgen, verantwortlicher Partner in Grün markiert.

1.4 Die Relevanz der anderen TP5 HLUCs auf HLUC050A

1.4.1 HLUC050B Quantifizierung und Bereitstellung Energie- und Flexibilitätsdaten

Für die Prognosebereitstellung sind die bereitgestellten Daten grundsätzlich notwendig von hoher Relevanz. Insbesondere mit Fokus auf die zeitliche und räumliche Auflösung, der physikalisch/technischen Genauigkeit der Daten und unter welchem Datenformat sie bereitgestellt werden.

1.4 Die Relevanz der anderen TP5 HLUCs auf HLUC050A

1.4.2 HLUC050C Messdaten Bereitstellung für Prosumer

Über den indirekten oder auch historischen Vergleich zwischen den erstellten Prognosen und den tatsächlich erhaltenen und gemessenen Daten von Interesse für eine Bewertung der Zuverlässigkeit der gemachten Prognosen und können wirksam über graphische Nutzeroberflächen dargestellt und mit den Daten aus Messungen verglichen werden. Zudem können durch die Prognosen von marginalen CO₂ Emissionsfaktoren die Emissionen des lokalen Energiebedarfs und die Potentiale einer Lastverschiebung bewertet werden (Huber et al. 2020b).

1.4.3 HLUC050D Aggregation lokaler Energieflüsse und Flexibilität

Aufbauend auf den beiden vorgenannten HLUCs „B“ und „C“ eine Weiterführung und Aufarbeitung der Ergebnisse. Eine entscheidende Fragestellung ist was ist Flexibilität in einem zellulär geprägten Energiesystem und welche unterschiedliche Auffassungen und Interpretationen lassen sich unterscheiden für eine mögliche Klassifikation?

1.4.4 HLUC050E: Bereitstellung von Energie und Flexibilität einer Zelle

Dieser befasst sich unter der Voraussetzung von Prognosen mit der Bereitstellung von Energie, bzw. Leistung und Flexibilität einer Zelle und der Bewertung der Flexibilitätpotentiale von Liegenschaften von Prosumer.

1.4.5 HLUC050F: Regelungskonzepte / Betriebsstrategien zur Flexibilitätsbereitstellung

Anhand von Wetterprognosen, Flexibilitätsbedarfsprognosen, etc., die auch von externen Prognoseanbietern bereitgestellt werden, des Ist-Zustands der Anlagen (Erzeugung, Verbrauch, Speicherladung, etc.) und Vorgaben durch den Prosumer, werden zunächst Lastprognosen des

*1.4 Die Relevanz der anderen TP5 HLUCs auf
HLUC050A*

Strom-, Wärme- und Kältebedarfs der Liegenschaft erstellt. Dazu werden auch gespeicherte Daten aus der Vergangenheit herangezogen. In Abschnitt 2.3 des HLUC050F, Bereitstellen von Prognosen von Last und Erzeugung, wird das Thema ausführlich behandelt unter den Aspekten:

- Wetterprognosen
- Prognose des thermischen Lastgangs einer Liegenschaft
- Prognose des elektrischen Erzeugungsgangs einer PV-Anlage
- Prognose von Strom- und Gaspreisen
- Prognose der Lade-/Entlademöglichkeiten für ein Elektrofahrzeug
- Prognose des elektrischen Lastgangs für „sonstige Verbraucher“

1.4.6 HLUC050G/I Integration von Geräten/Anlagen mit EMG in lokales EMS, Markt und Netz / HAN / CLS-Nutzung

Hier werden die technischen und sicherheitstechnischen Voraussetzungen bearbeitet um Prognosen nutzen zu können. Über die HAN/CLS Schnittstelle werden die Vergleichsdaten gemessen und bereitgestellt.

1.4.7 HLUC050H Integration von E-Mobilität in lokales EMS, Markt und Netz

Prognosen zum Lademanagement, d. h. der Energie- und Leistungsbereitstellung und der Ladedynamik sowohl lokal als auch im Verbund und Wechselspiel von Netz und Markt sind hier von hoher Relevanz, d. h. Informationen und Prognosen über Position, Energieinhalt und Leistungsbedarf der Elektrofahrzeuge: Es wurden Modelle und Schnittstellen für Fahrzeug-, Energie- und Positionsdaten mit KI-basierter Prognose und einer Kartendarstellung zur Informationsbereitstellung für EMS und Markt entwickelt und prototypisch umgesetzt. Zudem wurden in UAP 7.8 Methoden entwickelt die Ladeflexibilität einzelner Ladeprozesse vorherzusagen (Huber et al. 2020a). Die HLUC050 J/K/L/M thematisieren Dienstleistung und Handel von den und für die Produkte, die auf Basis der vorangestellt behandelten High Level Use Cases und ihren Ergebnissen entstanden sind, hängen also mittelbar mit HLUC050A zusammen.

1.4 Die Relevanz der anderen TP5 HLUCs auf HLUC050A

Die HLUC050 J/K/L/M thematisieren Dienstleistung und Handel von den und für die Produkte, die auf Basis der vorangestellt behandelten High Level Use Cases und ihren Ergebnissen entstanden sind, hängen also mittelbar mit HLUC050A zusammen.

1.4.8 HLUC050J Flex-Plattform für System-/Netzdienstleistungen

Konzeption und Implementierung einer Plattform, die Flexibilitätsangebot für Netzbetreiber sichtbar macht und einen Koordinierten Abruf unter Berücksichtigung der Netzrestriktionen aller betroffenen Netzbetreiber ermöglicht. Dazu werden Prognosen eingebunden.

1.4.9 HLUC050K Direkthandels-umgebungen (Peer-to-Peer)

Dazu werden in „Direkthandelsumgebungen – Peer-to-Peer-Märkte“ regionale, hochaufgelöste Handels- und Vermarktungsmöglichkeiten für dezentrale Erzeugungsanlagen und kleinteilige Flexibilitäten erarbeitet und demonstriert. Prognosen fließen dazu ein.

1.4.10 HLUC050L: Vermarktung von Flexibilität auf Parallel existierenden Märkten

Anhand von Prognosen der Flexibilität einzelner Verbrauchsprozesse, können diese in einem Flexibilitätsportfolio zusammengefasst und für Aggregatoren nutzbar gemacht werden. Im HLUC050L wird beispielsweise die Standzeit und der Energiebedarf von Elektrofahrzeugen vorausgesagt. Durch diese Voraussage ist der Aggregator in der Lage dazu die Ladungen der Fahrzeugzeuge in einer Reihenfolge zu unterbrechen, die die Wahrscheinlichkeit minimiert, dass ein Fahrzeugnutzer zum Abfahrtszeitpunkt unzureichend Energie verfügt, um sein Ziel zu erreichen.

1.4.11 HLUC050M: Virtuelle Handelsplattform

Über das Konzept „Virtuelle Handelsplattform“ werden für den regionalen Stromhandel zwischen Stromerzeugern und -verbrauchern neue Handelswege erarbeitet. Prognosen werden dazu benötigt.

1.5 Wechselwirkung mit AP3.4 Hochrechnung, Prognose und Bilanzierung

Die Unterscheidung im „Alltagsgebrauch“ zwischen einer Prognose und Hochrechnung kann verdeutlicht werden im Sachverhalt bei der Anwendung für Wahlen:

Im Gegensatz zur Prognose, die auf den Befragungen von Wählerinnen und Wählern beruht, basieren die im weiteren Verlauf eines Wahlabends veröffentlichten Hochrechnungen auf den amtlichen Auszählungen in zufällig ausgewählten Stimmbezirken, oder auf amtlichen Ergebnissen in Wahlkreisen oder Gemeinden. Im Laufe des Wahlabends stehen immer mehr amtliche Teilergebnisse zur Verfügung, damit kann schrittweise immer exakter das Wahlergebnis hochgerechnet werden.

Im hier verwendeten Kontext bezeichnen Prognosen Vorhersagen in die Zukunft, die auf historischen und aktuellen Messwerten mit Hilfe von rechnergestützten Vorhersageverfahren getroffen werden.

1.5.1 Prognosen – Optimale Abschätzung von Energie und Flexibilität

Für eine der Leitidee im Sinne von „zellulär, partizipativ und vielfältig“ entsprechenden Flexibilitätsbereitstellung ist es notwendig, Erzeugung und Verbrauch qualitativ als auch quantitativ bestmöglich vorherzusagen. Die hier behandelten Energie- und Flexibilitätsprognosen einzelner Zellen sind Querschnittsanwendung und notwendig als Basisdienst für die „Digitalisierung der Energiewende“.⁵

1.5.2 Der Prognosedienst (siehe 1,5° C/sellsius Seite 32ff)⁶

⁵ Das wird z. B. explizit in der Anwendung zu Flexprognosen Emob in UAP 7.8.1 eingesetzt und dokumentiert

⁶ Im bald öffentlich zugänglichen C/sells-Buch: 1,5° C/sellsius Energiewende vielfältig – partizipativ – zellulär umgesetzt, wird ab ca. Seite 30 in vielfältiger Weise die Prognosethematik von den wissenschaftlich-technischen Grundlagen bis zur Anwendung beschrieben und aufgezeigt.

*1.5 Wechselwirkung mit AP3.4 Hochrechnung,
Prognose und Bilanzierung*

Der Prognosedienst ist ein Service, der allen Akteuren in C/sells und darüber hinaus zur Verfügung steht. Akteure, die Interesse an Wetter- oder PV-Ertragsprognosen haben, können sich anmelden und erhalten dann den Zugriff auf eine kontinuierlich aktualisierte Datenbank. Diese Prognosedatenbank enthält auf die Standorte des Nutzers zugeschnittene Wetterinformationen und PV-Ertragsprognosen in viertelstündlicher Auflösung. Zellen- und Anlagenbetreiber nutzen diese, um den Ertrag von PV-Anlagen in einem Netzgebiet vorherzusagen oder um Flexibilitätsmärkte optimal zu betreiben.

1.5.3 Vorausschauende Planung für Zellen

Hochrechnungen und Prognosen spielen nicht nur für Verteilnetzbetreiber eine wichtige Rolle, sie ermöglichen auch einen effizienten Betrieb aller Arten von Zellen, von Prosumer-Haushalten und Microgrids über ganze Quartiere, oder allgemein gesprochen von dezentralen über das Verteilnetz verbundenen Stromerzeugungseinheiten, sogenannten virtuelle Kraftwerke bis hin zu Übertragungsnetzen. Die Betreiber können mit Hilfe von Prognosen und Hochrechnungen den Einsatz ihrer Anlagen vorausschauend planen und am Markt teilnehmen. Sie können damit Flexibilitätsoptionen identifizieren. Langfristig können sie den Betrieb der Anlagen optimieren.

Die Ansprüche an die Prognosen sind dabei ebenso vielfältig wie die Zellen, die sie beziehen. So sind Hochrechnungen der PV-Einspeisung beispielsweise entscheidend, wenn in einer Gemeinde bereits viele kleine private PV-Anlagen installiert sind. Die Einspeisung lässt sich dann auch ohne Messungen an jeder einzelnen Kleinanlage flächendeckend abschätzen, um auf die Netzauslastung schließen zu können.

1.5.4 Bedarf an vielfältigen Hochrechnungen und Prognosen

Im Projekt C/sells wurden unter anderem die Anforderungen und der Bedarf an Hochrechnungen und Prognosen von Erzeugung und Last für verschiedene Energiemarktteilnehmer ermittelt. Diese können nun über einen Prognosedienst im IIS Zugriff auf PV-Prognosen erhalten.

Prognosen werden mittels unterschiedlicher Verfahren, auf Basis zahlreicher Daten und mit auf den jeweiligen Nutzer zugeschnittenen zeitlichen Horizonten und räumlichen Auflösungen erzeugt und zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe von Wolkenkameras lassen sich beispielsweise kurzfristig die Einstrahlung und der Ertrag für einen Solarpark in nächster Nähe für die kommenden Minuten prognostizieren. Aus Satellitenbildern lässt sich hingegen flächendeckend, aber mit geringerer

zeitlicher Auflösung die solare Einstrahlung bestimmen und je nach Wetterlage mit einem Zeithorizont von wenigen Stunden vorhersagen.

Für Prognosehorizonte von mehreren Stunden bis Tagen werden üblicherweise Wettervorhersagen als Grundlage der Prognosen herangezogen. Auf Basis von historischen Wetterdaten und gemessenen historischen Ertragsdaten von PV-Anlagen kann beispielsweise mit Hilfe maschinellen Lernens ein Zusammenhang zwischen Wetter und PV-Erzeugung ermittelt werden. Dieser kann dann im automatisierten Live-Prognosebetrieb genutzt werden, um die Erzeugung einzelner Solarparks oder ganzer Regionen vorherzusagen.

Beim maschinellen Lernen werden u. a. Neuronale Netze eingesetzt. Diese ermöglichen es, Zusammenhänge zwischen Wetter und Energieerzeugung in großen Datensätzen weitaus besser zu erkennen, als es Menschen in gleicher Zeit möglich wäre. Mit diesem Werkzeug lassen sich auch Wind- und Wasserkrafterträge sowie die Auslastungen von Netzen und Transformatorstationen, Flexibilitätsoptionen oder Marktentwicklungen prognostizieren.

1.5.5 Wie verlässlich sind Prognosen?

Keine Prognose ist exakt. Im Falle von PV-Prognosen kann zum Beispiel über die Stunden mit Tageslicht mit einem mittleren Fehler zwischen 9% und 12% gerechnet werden. Je weiter der Vorhersagezeitpunkt in der Zukunft liegt, desto geringer wird natürlich die Prognosegüte – man kennt das aus der Wettervorhersage.

Kann der Prognoseersteller hingegen Live-Daten von großen PV-Anlagen oder von intelligenten Messsystemen verwenden, lassen sich die Prognosefehler in den ersten Stunden des Prognosehorizonts nochmals um ein bis zwei Prozent senken.

Prognosen sind auch unter diesem Gesichtspunkt keine unmittelbare Handlungsaufforderung für Netzbetreiber, sondern ein mächtiges Hilfsmittel. Das IIS schafft die Datengrundlage, die Kommunikationsinfrastruktur und die Basisdienste, damit Prognosen erstellt und dorthin geliefert werden können, wo sie gebraucht werden. Zwar stecken in hochaufgelösten Prognosen viele relevante Informationen, und sie tragen maßgeblich zur Systemstabilität bei, am Ende muss aber der Mensch selbst die Entscheidungen auf Basis der aktuellsten Prognose treffen.

Hochaufgelöste Ertrags- und Leistungsprognosen, auch im Verteilnetz, bieten außerdem einen volkswirtschaftlichen Mehrwert. Können die vorhandenen Stromnetze auf Basis genauer Prognosen optimal ausgelastet werden, reduziert sich an vielen Stellen die Notwendigkeit eines

1.6 Allgemeine Bemerkungen

kostspieligen Netzausbaus, der letztlich von den Bürgerinnen und Bürgern finanziell mitgetragen wird.

1.6 Allgemeine Bemerkungen

Der bis jetzt hier verfasste Text erfasst bei weitem nicht die Fülle der verschiedensten Anwendungen von Prognosen und deren Erarbeitung zur Bereitstellung von Prognosen. Doch er gibt Hinweise wo detaillierte Beschreibungen und Ausarbeitungen zur Prognoseanwendung in AP3.4 eher allgemeiner Natur und in den Anwendungsfällen in TP6 und TP7 im Speziellen gefunden werden können.

Im Allgemeinen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass wohl jeder anvisierten Energie- bzw. Leistungsbereitstellung und jedem Energie- bzw. Leistungsbedarf eine Prognose bezüglich der Erfordernisse zu Grunde liegen mag.

2 Arbeitsinhalte der Partner

Prognosen sind wohl in „jedem“ Anwendungsfall präsent und bilden eine Grundlage seiner Durchführung. Deshalb müssen die Ausführungen in diesem Kapitel repräsentativ gesehen werden.

2.1 ISC KN e. V als aktiver AP5.3 Partner

Es finden sich formal keine (!) weiteren explizit herausgearbeiteten partnerspezifischen Use Cases für den HLUC050A in der tabellarischen Zusammenstellung “2019-09-26 - High Level Use Cases_v.34.xlsx“ als letzte aktuelle Version zu den ausgearbeiteten HLUC in TP5 von anderen C/sells-Partner, bis eben den einen, dem ISC zugeordneten: TA 5.3.2 Ableitung von Planungs-Heuristiken für spartenübergreifende Versorgungsstrukturen, Erfassung möglicher Anforderungen zur Bereitstellung oder Abnahme von Energie durch bidirektionale Dienste.

Als Grundlage hierfür dient eine verlässliche Verarbeitung von Prognosedaten und deren Anbindung an die lokalen Gegebenheiten von Erzeugung und Verbrauch.

Viele „Werkzeuge“ können unter idealen Bedingungen PV-Erträge „sehr“ genau vorhersagen. Aber Umwelteinflüsse wie Verschmutzung oder Abschattung, die die Effizienz stark beeinträchtigen, sind ohne detaillierte, oft schwer zu erfassende Informationen der Umgebung der jeweiligen PV-Anlage, nicht möglich.

Ziel ist es nun, ein neuronales Netzwerk (≤ 32 Eingabeparameter) zu entwickeln, das in der Lage ist PV-Erträge auf Basis von Wetterprognosedaten für bestimmte PV-Anlagen zu prognostizieren. Im Gegensatz zu einer deterministischen Simulation sollte das Netzwerk (gut trainiert) in der Lage sein, Umwelteinflüsse zu erkennen und dementsprechend sich anzupassen. Zusätzlich lernt das neuronale Netzwerk im laufenden Betrieb und bindet, wenn Messungen verfügbar sind, diese und vorhandenen Vorhersagen produktiv ein.

Eine ständige Überarbeitung des Netzwerks gewährleistet notwendige Backups im Fall von Fehlern oder ungültigen Daten, auch zu Berechnung und Vergleich der Prognose Genauigkeit

Um Anlagen zu dimensionieren wurde bereits der Regelungsalgorithmus entwickelt. Damit lassen sich anhand gemessener Verbrauchsdaten die Laufzeiten und Anforderungen von einzelnen

2.2 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)

Komponenten wie z. B. Blockheizkraftwerk (BHKW), Brennstoffzelle (BSZ), Wärmepumpe (WP) abschätzen.

Die Regelung wird übernommen von einer „Model Predictive Control“ MPC, die Anhand von Vorhersagemodellen zur Erzeugung von PV-Energie (PV-EE) und Lasten der Quartiereinheit eine optimale Ansteuerung der Komponenten errechnet.

Die MPC errechnet zum Beispiel viertelstündlich die optimale Ansteuerung der Eingänge anhand eines linear-algebraischen Modells

- Regelung der Anlagen durch lokal berechnete Model Predictive Control (MPC) mittels einer z. B. viertelstündlicher Neuberechnung auf Basis aktueller Messwerte
- Vorhersage der regenerativ erzeugten Energie
- Vorhersage des thermischen und elektrischen Verbrauchs
- Berechnung der optimalen Ansteuerung der Komponenten

Datenbereitstellung über FTP Server, bereitgestellte Wetterprognosedaten DWD/W3 Data/die erwartete PV-Leistung/Energie via Modelrechnungen prognostiziert.

Datenbereitstellung wird im geeigneten Format von meteoblue bereitgestellt

Nun für C/sells: → Wetterdaten via MySQL Datenbank zum Einfüttern ins selbstlernende Model Predictive Control (MPC) basierend auf Mixed Integer Linear Programming (MIPL) Technik zur Optimierung der Nutzung von Ressourcen und Energien.

2.2 Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)

Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) gehört zu den führenden Instituten für angewandte Forschung auf den Gebieten Photovoltaik, regenerative Kraftstoffe, Batterietechnik und Brennstoffzellen sowie Energiesystemanalyse. An den drei ZSW-Standorten Stuttgart, Ulm und Widderstall sind derzeit rund 280 Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker beschäftigt. Hinzu kommen rund 100 wissenschaftliche und studentische Hilfskräfte.

Als industrieorientiertes Forschungsinstitut ebnet das ZSW neuen Technologien den Weg in den Markt und leistet damit einen nachhaltigen Beitrag zum Gelingen der Energiewende. Von der Materialforschung über die Entwicklung von Prototypen und Produktionsverfahren bis hin zu

*2.3 Vorhersage der Flexibilität von
Elektrofahrzeugen (FZI)*

Anwendungssystemen, Qualitätstests und Marktanalysen deckt das ZSW die gesamte Wertschöpfungskette ab. Diese Expertise aus einer Hand ist für Partner aus der Wirtschaft ein wesentlicher Erfolgsfaktor.

In C/sells arbeitet das ZSW an hochauflösenden Erzeugungs- und Lastprognosen. Hierzu werden numerische Wetterdaten und historische Messzeitreihen von zu prognostizierenden Erzeugungsanlagen verwendet, um mit Hilfe maschinellen Lernens eine Korrelation zwischen Wetter und Erzeugung zu ermitteln. In aufwändigen Datenverarbeitungsverfahren werden damit im Netzgebiet der Stadtwerke Schwäbisch Hall die Erzeugungsleistungen aller Großanlagen > 100kW anlagenscharf prognostiziert und die Energieerzeugung von Kleinanlagen an den Ortsnetzstationen geclustert hochgerechnet. Weiterhin wird eine Residuallastprognose an der Übergabestelle ins Hochspannungsnetz erstellt.

Zudem stellt das ZSW PV-Ertragsprognosen für den Altdorfer Flexmarkt zur Verfügung und arbeitet an der Bereitstellung von Flexibilitäten in Microgrids. Das ZSW hat in C/sells die wissenschaftliche Leitung des Teilprojekts TP3 „Infrastruktur Informationssystem“ und die **Gesamtleitung des Arbeitspakets AP3.4 „Hochrechnung, Prognose und Bilanzierung“** inne.

2.3 Vorhersage der Flexibilität von Elektrofahrzeugen (FZI)

Das unkoordinierte Laden von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen kann eine Herausforderung für das Energiesystem darstellen. Eine Lösung namens Smart Charging basiert auf der Flexibilität innerhalb jedes Ladevorgangs und steuert den Ladevorgang, um verschiedene Ziele zu optimieren.

Ludwig et al 2017 unterscheiden zwischen zwei Arten von Flexibilität für das industrielle Nachfragemanagement: Energie- und Zeitflexibilität. Wir übertragen diese Idee auf den Ladeprozess von Elektrofahrzeugen: Energieflexibilität ist der Unterschied zwischen dem minimal erforderlichen Ladezustand (SoC: State of Charge) und einem vollgeladenen Akku. Wenn der BEV-Fahrer zum Beispiel davon überzeugt ist, dass der Energiebedarf seiner nächsten Fahrt keinen vollen SoC benötigt, kann er Energieflexibilität anbieten, indem er am Ende des Ladevorgangs auf einen vollen SoC verzichtet. Die Zeitflexibilität ergibt sich aus der Zeitdifferenz zwischen dem Zeitaufwand für das Erreichen des endgültigen SoC und der Parkdauer zwischen Ankunft und Abfahrt an der Ladestation. Eine höhere Flexibilität setzt der Optimierung des Ladevorgangs weitere Grenzen. So ermöglicht beispielsweise die Reduzierung der Ladeleistung, um über einen längeren Zeitraum den gleichen endgültigen SoC zu erreichen während Lastspitzen geglättet

2.3 Vorhersage der Flexibilität von Elektrofahrzeugen (FZI)

werden. Eine effektive intelligente Ladung basiert somit auf Prognosen des Energiebedarfs und der Parkdauer an der Ladestation.

Dabei können für die Prognose zwischen Input-Features unterschieden werden, die an der Ladestation erhoben ($\tau_{station}$) werden können und solchen, die Bewegungsdaten des Fahrzeuges voraussetzen (τ_{all}), siehe Tabelle 3.

Table 3: List of predicted variables and location and input features.

Feature	Unit	Description	τ_{all}	$\tau_{station}$
i		index of the parking event		
t_i^a	time	start of the parking event		
Trip distance	km	length of the next trip following the starting event	$\hat{\tau}_i, \tau_{all}$	$\hat{\tau}_i, \tau_{station}$
Parking duration	min	duration of the parking event	\hat{d}_i, τ_{all}	$\hat{d}_i, \tau_{station}$
Hour of arrival	[1, 24]	at start of the parking event	●	●
Weekday of arrival	[1, 7]	at start of the parking event	●	●
User	[1, 6465]	id of the user	●	●
User type	[1, 6]	occupation of the user: full-time, half-time, retiree, education, homekeeper, unemployed	●	●
Previous parking location	[1,7]	last destination before arriving at home (work, home, shopping, service, leisure, vacation, business trip)	●	
Previous trip duration	min	duration of the last drive to the parking position	●	
Previous trip distance	km	distance covered by the last drive to the parking position	●	
# Previous trips	1	number of previous drives of the calendar day	●	
\sum Previous trips duration	min	duration of all previous drives of the calendaric day	●	
\sum Previous trips distance	km	distance covered by all previous drives of the calendaric day	●	

Tabelle 3 Liste der vorhergesagten Variablen sowie der Standort- und Eingabefunktionen.

Wir verwenden Daten aus den Reisetagebüchern, um Wahrscheinlichkeits-Dichteprognosen über die Parkdauer und den Energiebedarf zu erstellen. Dieser wird durch die Länge der anstehenden Fahrstrecke approximiert. Für diese Aufgabe verwenden wir Quantilsregressionen, Neuronale Netze mit asymmetrischer Loss-Funktion und multivariate bedingte Kerneldichte-Schätzer.

2.3 Vorhersage der Flexibilität von Elektrofahrzeugen (FZI)

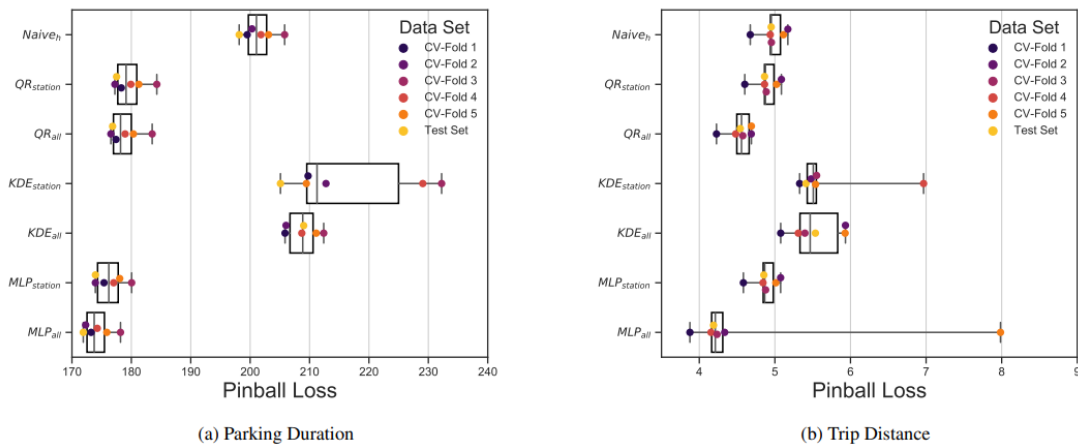


Figure 3: Cross-validation and test set performance of different forecasters evaluated using Pinball score.

Abbildung 4 Kreuz-Validierung und deren Eintreten bezogen auf Testvorgaben verschiedener Prognosen, die anhand der Pinball-Bewertung ausgewertet wurden.

Die Out-of-Sample-Auswertung zeigt, dass die Verwendung lokaler Informationen aus den Fahrdaten des Fahrzeugs die Prognosegenauigkeit um 13,7% für die Parkdauer und 0,56% für die Fahrstrecke gegenüber den nur an der Ladestation verfügbaren Daten verbessert. Die Analyse einer zusätzlichen Fallstudie zeigt, dass die Verwendung probabilistischer Prognosen die Unterbrechung von Ladevorgängen im Vergleich zu Punktprognosen effizienter steuern kann und führt zu relativen 6,9% weniger Unterbrechungen, die den Mobilitätsbedarf der Fahrer beeinträchtigen, siehe 2020-11-19_AP5_2_HLUC050L_Vermarktung_Flexibilität_auf_parallel_existierenden_Märkten_v30

Die Ergebnisse zeigen, dass Betreiber von Ladestationen von der Verwendung probabilistischer Prognosen und der Kenntnis des Fahrverhaltens von Elektrofahrzeugfahren nutzen, wenn die diese für die intelligente Ladung einsetzen. Die vorgeschlagenen Modelle als Benchmark-Modelle für die damit verbundenen Prognoseaufgaben verwenden können.

Der Fokus der Arbeit wie sie in diesem Abschnitt beschrieben wird ist Bestandteil der Dissertation von AP5.4 Leiter Dr. Julian Huber, wie Nutzer von Elektrofahrzeugen durch Bereitstellung von Ladeflexibilität motiviert werden können. Hierzu wurden in sogenannte „Feedbackfunktionen“ über CO₂-Vermeidungspotentiale, Prognosen zur Entscheidungsunterstützung und nicht-monetäre Anreize entwickelt und untersucht.

2.4 Fallstudie „Leitwarte Schwäbisch Hall“, intelligentes Verteilnetz Schwäbisch Hall(SWH)

Partner: Stadtwerke Schwäbisch Hall (SWH), IDS, ZSW, FhG IAO für UAP6.4.04

Ziel:

Prognose von PV Leistung für Großanlagen und die Gesamtheit der PV Anlagen im Netzgebiet – zur Einspeisung der Daten in die Netz-Leitwarte.

Vorgehensweise:

Für Großanlagen trainieren von Neuronalen Netzen mit historischen Erzeugungsdaten und Wetterprognosen (als Zeitreihen für > 1 Jahr mit Werten, die im 15 min Takt abgefragt werden.

Erzeugungsprognose auf der Basis von aktuellen Wetterprognosen (Schritt 1) und aktuellen Messwerten (Schritt 2) als verbessert Kurzfristprognose)

Resultat:

Prognose mit einer zeitlichen Auflösung von 15 min für Einzelanlagen mit einem Zeithorizont von 36 Stunden im Voraus; auffrischen der Prognose einmal pro Stunde für alle 3 Stunden

Für die Vielzahl von Kleinanlagen, die ca. 2/3 der Erzeugungsleistung im Netzgebiet ausmachen

Prognose anhand von Wetterprognosen mit hinterlegtem physikalischen Modell aus der Prognose der Daten für die Direkt- und Diffus-Strahlung, sowie Verbesserung des Ergebnisses durch Korrelation über antrainierte Neuronale Netze mit gemessenen Daten von ausgewählten Groß-Anlagen in der Nähe und entsprechende Datenaufbereitung und Zuordnung von Anlagen in der näheren Umgebung läuft bereits.

Resultat:

Prognosebereitstellung mit einer zeitlichen Auflösung von 15 min und für Cluster von Anlagen läuft. Die Prognose enthält Mittel-Maximal, Minimal-Werte je nach gewünschtem Konfidenzintervall.

Datenformate:

Daten, d. h. Monitoring Daten [input], aktuelle Prognosedaten [output]; Historie der Prognosewerte [Archiv] werden in einer SQL Datenbank gehalten am ZSW mit der Option von einer Datenbank pro Partner und Netzgebiet. Das Zugriffverfahren und der Datenaustausch sind abhängig von den Sicherheitsanforderungen der jeweiligen Nutzer.

2.5 Fallstudie „Prognose der Flexibilität und des externen Leistungsbezugs für Energiesysteme“ (IAO)

Im Rahmen einer Live-Demonstration wurde dies gezeigt am 21.10.2020 in Form von einer Umsetzung der Schnittstelle Netz-Markt in Schwäbisch Hall (Katja Schulze, SW Schwäbisch Hall) und Live-Demo der Verteilernetz-Schnittstelle der SW Schwäbisch Hall (Peter Breuning)

Prognose von ZSW

Aktueller Stand

- Das ZSW-Prognosesystem **GridSage** kann
 - Anlagenscharfe Prognosen für Erzeugungsanlagen mit $P \geq 100\text{kW}$: PV, Wind, Wasser, BHKW,
 - Berücksichtigung von PV-Eigenverbrauch
 - Integration von Fahrplandaten
 - Netzknotenscharfe Prognosen für alle Energieträger
 - Prognosen für industrielle Großverbraucher
 - Last- und Residuallastprognosen für Umspannwerke und Ortsnetzstationen
 - BDEW-konformer Umgang mit ungemessenen Anlagen sowie Meldung von Erzeugung & Last an Netzverknüpfungspunkten für übergelagerte Netzbetreiber → PowerObserver
 - Prognosen automatisiert erstellen und versenden
- Datenaustausch
 - Prognosen können jederzeit an Stadtwerke Schwäbisch Hall übermittelt werden
 - Weitere Schritte: Update VIVAVIS High Leit-Leitwarte in Schwäbisch Hall und Integration Lastflussrechnung
 - Anschließend: Integration von Live-Daten in Prognoseprozess, weitere Tests des Systems



Christian Tomschitz
christian.tomschitz@zsw-bw.de

Abbildung 5 Ausschnitt aus der Präsentation „2020-10-21_6_Umsetzung_Netz-Markt_STWSHA_Schulze_Breuning“ von Katja Schulz gehalten am 21.10.2020 zur Life-Demonstration C/sells Demo: Systemsicherheit Baden-Württemberg.

2.5 Fallstudie „Prognose der Flexibilität und des externen Leistungsbezugs für Energiesysteme“ (IAO)

Helen.Sawall@iao.fraunhofer.de Partner: Hochschule Offenburg, NEXT Kraftwerke, ZSW für UAP7.3.1)

Ziel:

Prognose der in einem Energiesystem enthaltenen Flexibilität und die darauf aufbauende Prognose des „optimalen“ externen Leistungsbezugs.

Werkzeug:

Optimierungsplattform für Energiesysteme „FlexOpti“

2.6 Lösungsansatz und durchgeführte Arbeiten
in Quartierszelle FRANKLIN (MVV)

Vorgehensweise:

- Zur Flexibilitätsprognose:

Modellierung aller Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen eines Energiesystems mit zugehörigen Randbedingungen mittels FlexOpti

Für einen zukünftigen Zeitraum werden Prognosen für „nicht steuerbare“ Anlagen wie etwa individuelle Haushalte, Energieverbrauch in Büros, etc. bzw. Erzeuger erneuerbarer Energie, wie etwa PV, Windkraft, etc. in einer Datenbank hinterlegt.

Resultat:

Energiesystemmodelle und entsprechende Flexibilitätsprognosen in Form eines Katalogs für, zum Beispiel für Prognosen des externen Leistungsbezugs von allen zulässigen Fahrplänen für einen zukünftigen gegebenen Zeitraum. Die Menge aller zulässigen Fahrpläne bildet den Lösungsraum für ein Optimierungsproblem.

Basierend auf dem unter „Flexibilitätsprognose“ modellierten Lösungsraum wird ein Optimierungsproblem gelöst. Dabei sind unterschiedliche Zielfunktionen möglich. Erstellung „Optimaler“ Fahrpläne für alle Anlagen des Energiesystems für ein zukünftiges Zeitintervall, unter anderem auch für den externen Leistungsbezug.

Allgemein gilt außerdem:

Optimierungsschrittweite und Optimierungszeithorizont sind flexibel.

Anwendung im Rahmen von C/sells: Microgrid der Hochschule Offenburg, Energiesystem des Flughafens Stuttgart

2.6 Lösungsansatz und durchgeführte Arbeiten in Quartierszelle FRANKLIN (MVV)

Die Bestimmung von Flexibilität im Stadtquartier FRANKLIN basiert auf drei Regelungsmechanismen

- Real-time Optimierung (RTO)
- Intraday Optimierung (IDO)
- Day-Ahead Optimierung (DAO)

die im Rahmen des Quartiers-Energiemanagementsystem von ABB die Funktion haben,

- das Nahwärmenetz zu optimieren,
- dabei den Einsatz Erneuerbarer Energie durch die Kopplung von PV-Anlagen und Power-to-Heat-Anlagen zu maximieren,
- Flexibilität zur Leistungsreduktion durch Gebäude oder Anlagen bei erhöhten Betriebsbedarf an den Ladesäulen bereitzustellen sowie
- zur verbleibenden Flexibilität über ein Infrastruktur-Informationssystem parallel Märkte zu adressieren.

Die Beschreibung der Regelmechanismen erfolgt im Rahmen von [MVV; ABB, C/sells AP 7.8, EMS, (04/2020)], [MVV, C/sells AP 7.8, Lastenheft, (04/2020)] sowie [C/sells – HLUCs G-H-I, (05/2020)].

Dabei benötigte Prognosen – Wetterdaten, Erzeugungsprognosen PV-Anlagen, Wärmebedarf - werden von Backendsystemen der MVV an das Energiemanagementsystem der MVV geliefert. Auf Basis der Algorithmen des Energiemanagementsystems wird zyklisch die Prognose der Flexibilität bestimmt und an das Flexibilitätskataster mitgeteilt

2.7 Befragungen der Projektpartner

2.7.1 Input via AP3.4 Treffen der Partner am 16.05.2018 (ZSW)

AP3.4 reagiert auf Prognosebedarf und bietet Zusammenarbeit, offeriert aber allgemein nicht aktiv Prognosezusammenarbeit. In Zukunft werden jedoch Wetterprognosedaten via dem IIS für C/sells zur Verfügung stehen. Nachfolgend eine tabellarische Liste zu den Anwendungsfällen „Prognosen“ mit AP3.4 Beteiligung (Stand August 2018)

Anwendungsfall/Zelle	Kurzbeschreibung / Aufgabe
Stadtwerke Schwäbisch Hall	Prognose von PV- und Wind-Einspeisung zur Identifikation von zukünftigen Netzengpässen und Darstellung in einer Prognoseampel Ertragsprognose – Netzengpässe
Ulm	PV Hochrechnung zur verbesserten Netzzustandserfassung PV-Hochrechnung

2.7 Befragungen der Projektpartner

Altdorf	Ertragsprognosen (PV anlagenscharf, Wasserkraft, Wind, Verbrauch, Preise,...) als Input für Flexibilitätsplattform Ostbayern Ertragsprognose – Flexmarkt
TenneT	Ertragsprognosen- und Hochrechnungen zur Prognose der Residuallast an ausgewählten Netzknoten Ertragsprognose – Netzknoten
IAO Parkhaus & Microgrid Offenburg	Ertragsprognosen als Grundlage für Flex-Prognosen im Microgrid Ertragsprognose – Flexnutzung
TransnetBW	Quantilsprognose
Franklin	Sektorenkopplung
Weitere Themenfelder	Sensitivitätsanalysen, Preisprognosen, E-Mobilität, Wärme
„Neue Standardlastprofile“	Situationsabhängig parametrisierte „Standartlastprofile“: Verhalten von Prosumern (Eigenverbrauch), Marktstammdatenregister, Erzeugungsatlas,...

Tabelle 4 Anwendungsfälle und deren Kurzbeschreibung vom 16.Mai 2018

Eine Bestandsanalyse zu den zum Projektanfang vorhandenen Prognosebedürfnissen ist in der AP3.4 internen Tabelle „Ist-Analyse - Hochrechnung und Prognose AP3.4_gesamt“ zusammengefasst und werden nach deren Anwendungsfällen im Folgenden gelistet, siehe dazu: <https://fpm.fichtner.de/dmsf/files/27156/view> .

Im Rahmen der TP3 Ergebnisdokumentation gibt die Tabelle „2020-07-08 Csell TP3 Ergebnisdokumentation_v02“ eine Zusammenfassung unter https://fpm.fichtner.de/projects/tp3-fit/dmsf?folder_id=8351 zu den behandelten Teilaufgaben:

3.4.1 Stamm- und Bewegungsdaten (Energieflüsse, Meteodaten, Flexibilitäten verschiedener Geräte- und Anlagenklassen und deren Zustand (inkl. Elektromobilität und Hybrider Lasten Wärme/Strom und Wetterinformationen))

3.4.2 Verbesserung bestehender Prognose- und Hochrechnungssysteme und Profilservices

3.4.3 Einfluss des optimierten Einsatzes von Speichern und Flexibilität auf Profile und Bilanzausgleich.

3.4.4 Schnittstellen zwischen Hochrechnung, Prognose, Netzbetriebsführungen und Markt- bzw. Prosumersystemen

3.4.5 Daten für Handel und Netzanalysen aggregieren; Einfluss der Struktur des IIS auf HR und Prognose

3.4.6 Test der Prognose und Bilanzierungsalgorithmen an beispielhaften Teilsystemen des IIS

2.7.2 Umfrage via ZSW unter den AP3.4 Mitgliedern Mitte 2019

Da das AP3.4 Hochrechnung, Prognose und Bilanzierung das Ziel seiner Arbeit klar im Titel fokussiert, wurde eine Umfrage unter den AP3.4 Mitgliedern zu den verwendeten Software Instrumenten und Vorgehensweisen hinsichtlich Energie- und Flexibilitätsprognosen durchgeführt. Dabei stellt sich heraus, dass eine Reihe an Projektpartnern via ZSW die aufbereiteten DWD Wetterprognosedaten oder deren Software-Werkzeuge verwenden. Im Folgenden werden diese Beispiele kurz zusammenfassend unter 2.3.2.1-4 beschrieben oder ausführlicher in die Hauptpunkte von Kapitel 2 eingebunden

2.7.2.1 **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

emil.kraft@kit.edu, aktuell keine Prognoseverwendung

2.7.2.2 **Dr. Langniß Energie & Analyse (OLI)**

ole.langniss@my-oli.com, Erstellt keine Prognosen nutzen aber die Tools aus AP3.4

2.7.2.3 **Hochschule Offenburg (HSO)**

schmidt@hs-offenburg.de Institut für Energiesystemtechnik (INES) an der Hochschule Offenburg zusammen mit NEXT Kraftwerke

Ziel:

Optimierter Betrieb eines Microgrids auf Basis von Model-Predictive-Control-Algorithmen inklusive Bereitstellung von Flexibilität in Form von Regelleistung an übergeordnete Zellebenen

Verwendete Prognosen:

Für die Erzeugung:

2.7 Befragungen der Projektpartner

Day--Ahead-Wetterprognose von kommerziellem Service inklusive Einstrahlung und Temperatur. Daraus werden auf Basis von PV-System-Modellen (derzeit implementiert in Matlab) PV-Erzeugungsvorhersagen berechnet und ständig mit Ist-Messungen korrigiert

Für die Last:

Lastprognosen werden derzeit auf Basis von historischen Zeitreihen und aus einem anderen Projekt in Echtzeitbetrieb auf Basis von adaptiver multi-linearer Regression (AMLR) bereitgestellt

Für die Flexibilität:

Dies wird aus prognostizierten Fahrplänen und Systemzuständen abgeleitet werden und ist in der Phase der Implementierung.

Weiterhin wird an der Bereitstellung eines Sensornetzwerkes gearbeitet, das räumlich verteilte Einstrahlungsmessungen und die Aufnahme von Wolkenbildern erlaubt. Dies soll der schnellen Beurteilung und Validierung von lokalen Einstrahlungsprognosen dienen und perspektivisch die Datengrundlage für lokale Kurzfristprognosen auf Basis von Wolkenbildern liefern.

2.7.2.4 Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V (FFE)

AZeiselmair@FFE.DE; skoeppl@ffe.de; JReinhard@FFE.DE

Hier werden die Aktivitäten der FfE e. V. bzw. deren Zusammenarbeit mit dem ZSW kurz skizziert:

Im Rahmen der Entwicklung des Altdorfer Flexmarkts (ALF) nutzt die FfE die Prognosedienste des ZSW zum einen für die Erstellung von Flexibilitäts-Angeboten, zum anderen für die Bestimmung des Flexibilitätsbedarfs im Mittelspannungsnetz der Projektregion. Hierzu werden sowohl Temperaturprognosen zur Bestimmung der Verfügbarkeit elektrischer Wärmeerzeuger (Wärmepumpen, elektrische Speicherheizungen) über einen entwickelten Aggregationsmechanismus als auch normierte PV-Prognosen für die Projektregion genutzt.

Für den Feldversuch des Altdorfer Flexmarkts, siehe dazu auch:

(<https://www.ffe.de/publikationen/veroeffentlichungen/852-konzeptpapier-des-aldorfer-flexmarktes-alf>), wird mittels unserem FfE-Verteilnetzsimulationsmodell GridSim täglich eine Prognose des morgigen Flexibilitätsbedarfs in der MS- und NS-Ebene der Projektregion durchgeführt. Auftretende Engpässe werden an die Flexibilitätsplattform übermittelt, um dort über den Handel von Flexibilitätsbereitstellung kostenoptimal gelöst zu werden.

Für die Abschätzung der Last und Erzeugung bekommt die FfE vom ZSW Stuttgart Temperatur- und PV-Einspeisungsprognosen. Ansprechpartner beim ZSW: Ruben Rongstock und Jonas Petzschmann, Ansprechpartner an der FfE für die Modellierung in GridSim: Janis Reinhard

Ziel war die Prognose des Flexibilitätsbedarfs über folgende Vorgehensweise

Temperaturprognosen:

Abruf von stündlichen Werten für den nächsten Tag aus einer Datenbank des ZSW um den Raumwärmebedarf und die elektrische Last durch Speicherheizungen und Wärmepumpen in der Region in GridSim zu modellieren

PV-Einspeisegänge:

Fünf normierte Lastgänge, mit denen verschiedenen Anlagenausrichtungen abgebildet werden sollen, werden mittels physikalischem Modell am ZSW synthetisiert mit "Standard"-PV-Anlagen-Parametern

Bereitgestellt in einer Datenbanktabelle

Einspeisegänge bis dato in 60-minütiger Auflösung basierend auf der Einstrahlungsprognose aus dem ICON-Modell

Falls möglich zukünftig 15-Minütige Einspeisegänge basierend auf dem COSMO-EU-Modell für Einstrahlung

Berechnung des Flexibilitätsbedarfs mit GridSim:

Die Einspeise-Lastgänge werden mit den bekannten Anlageneigenschaften und deren Leistung (kWp) in dem MS- und NS-Netz der Projektregion skaliert um die Einspeisung in GridSim zu modellieren.

In GridSim wird täglich die Lastflussrechnung unter anderem basierend auf den beschriebenen Eingangsdaten abgeschätzt und prognostiziert und der Flexibilitätsbedarf pro Zeitschritt und Knoten/Betriebsmittel ermittelt

Der Flexibilitätsbedarf wird dann an die Flexibilitätsplattform ALF übergeben, auf der die prognostizierten Engpässe kostenoptimal durch Erbringung von Flexibilitätsbereitstellung gelöst werden

2.8 Bemerkung zu weiteren TP5 Partnern

Im AP 6.3⁷ werden mithilfe der Digitalisierung intelligente Lösungskonzepte und Geschäftsmodelle für Netzbetreiber und Stadtwerke zur effizienteren Behebung von Netzengpässen erarbeitet. Die Konzepte setzen dabei bei der sektorenübergreifenden Flexibilisierung von dezentralen Erzeugern, Speichern und Verbrauchern sowie dem Einsatz von zeitvariablen Tarifen an. Dabei werden in zwei Unterarbeitspaketen Konzepte zur möglichen Ausgestaltung des zukünftigen digitalen und dezentralen Energiesystems unter verschiedenen strukturellen Voraussetzungen erarbeitet und in der Praxis erprobt.

Im UAP 6.3.1 „Intelligente Flexibilitätsanreize Ostbayern“ wird der Einsatz intelligenter Lösungskonzepte unter Nutzung von Flexibilität wissenschaftlich konzipiert und in verschiedenen Feldversuchen in Bayern demonstriert. Darauf aufbauend wird das optimale netzdienliche Verhalten von Verbrauchs-, Erzeugungs- und Speichieranlagen bestimmt sowie dessen Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu anderen Maßnahmen und dessen Berücksichtigung in der Netzplanung bewertet.

Das UAP 6.3.2 „Übergeordneter Abgleich Bayern“ aggregiert die Ergebnisse der Demonstrationsvorhaben aus den bayerischen Zellen. Die Beteiligung aller bayerischen Partner ermöglicht den Wissenstransfer zwischen verschiedenen Akteuren.

2.8 Bemerkung zu weiteren TP5 Partnern

Als Fazit, nach der genaueren Projektanalyse bzgl. der Anwendungsbeispiele, kann man jedoch feststellen, dass sehr viele HLUCs, wenn nicht sogar alle, mit Prognosen arbeiten oder berücksichtigen. Deshalb werden die verschiedenen Anwendungen der Prognosen in den entsprechenden HLUCs zu finden sein, worauf hier nun freundlich verwiesen wird und es wird darauf verzichtet, invers dazu, in diesem HLUC050A alle Prognoseaktivitäten aus dem Kreis der verbleibenden HLUCs wiederholt und redundant zu listen!

Siehe auch Poster Referenzen in diesem Beitrag in Abschnitt 1.1., Tabelle 2 aus der Präsentation zum TP5 Treffen in Karlsruhe: „20180913_TP5__HLUC050A(ISC-hochgeladen).pptx“.

⁷ Siehe dazu auch: Die Use Case Dokumentation als Grundlage für den Abschlussbericht von UAP 6.3.1 und 6.3.2 und insbesondere a. a. O 4.3 Verfahren zur Hochrechnung und Prognose von Messdaten.

3 Partnerspezifische Use Cases

3.1 ISC KN e. V.

3.1.1 Verbindungen unter den TP5 HLUC bzgl. UAP7.9.1

Siehe dazu auch die Zusammenstellungen in den entsprechenden Ergebnisberichten für den Anwendungsfall UAP7.9.1

Nachfolgend sind die HLUCs gelistet nach Bezeichnung, zugehörigem Arbeitspaket und Koordinator des HLUC und gewichten nach großer Einfluss (+), möglicher Einfluss (0) und kein Einfluss (-) für die Use Case Methodik in der Anwendung für UAP7.9.1:

HLUC 050...(A+, B+, C+, D+, E+, F0, G+, H+, I+, J-, K-, L-, M-)

„+“: relevant, „0“: möglicherweise relevant, „-“: nicht relevant

für den betrachteten Use Case (Anwendungsfall) IKT-Siedlung Hohentengen.

- HLUC 050A AP5.3: ISC

Energie- und Flexibilitätsprognosen der Zelle

- HLUC 050B AP 5.3: HSU

Quantifizierung und Bereitstellung Energie- und Flexibilitätsdaten

- HLUC 050C AP 5.3: IEE

Messdaten Bereitstellung für Prosumer

- HLUC 050D AP 5.3: KIT-IIP

Aggregation lokaler Energieflüsse und Flexibilität

- HLUC 050E AP 5.4: FZI/HSO

Bereitstellung von Energie und Flexibilität einer Zelle

- HLUC 050F AP 5.4: TUM

Regelungskonzepte / Betriebs-strategien zur Flexibilitätsbereitstellung

- HLUC 050G AP 5.4: MVV

Integration von Geräten/Anlagen mit EMG in lokales EMS, Markt und Netz

- HLUC 050H AP 5.4: IAO

Integration von E-Mobilität in lokales EMS, Markt und Netz

- HLUC 050I AP 5.5: Andreas Kießling

HAN / CLS-Nutzung

- HLUC 050J AP 5.2: TTG

Flex-Plattform für System-/Netzdienstleistungen

- HLUC 050K AP 5.2: LEA

Direkthandels-umgebungen (Peer-to-Peer)

- HLUC 050L AP 5.2: KIT-IIP

Vermarktung von Flexibilität auf parallel existierenden Märkten

- HLUC 050M AP 5.2: EDH

Virtuelle Handelsplattform

3.1.2 Anlagenspezifisch optimiertes PV Energie-Prognosemodell aus Wettervorhersagen

- ➔ [E 5.4.1] Energie-Prognosemodell aus Wettervorhersagemodellen

Extern bereitgestellte Wetterdaten werden zur Erzeugung von Prognosemodellen zur Erstellung von Wetterprognosedaten verwendet und im Selbstlernmodus (Konzept der „neuronalen Netze“) für die Energie- bzw. Leistungs-Prognose von Ertrag und Verbrauch optimiert. Die Wetter-Eingabedaten stammen z. B. von meteoblue AG, Basel, Schweiz, oder wie noch bis Mai 2018 von W3-Data bzw. DWD. Es wird angestrebt im Rahmen vom IIS Wetterprognosedaten (z. B. von DWD) C/sells intern bereitzustellen.

3.1.3 Erweiterung der modellprädiktiven Optimierung spartenübergreifender Heizungsanlagen auf Anreizsysteme

- ➔ [E 4.4.1] IKT-Konzept zur Steuerung der Energiesiedlung Hohentengen mittels Kombination aus BHKW und Wärmepumpe fertig für Pilotversuch.

Das Software Programm zur „Model Predictive Control“ (MPC) wird bereits eingesetzt und weiter angepasst und verbessert. Es wurde anfänglich mit statistischen Wetterprognosedaten und seit Juli 2018 mit reellen Wetterprognosedaten gefüttert und im „Selbstlernmodus“ betrieben.

Erster Ergebnisse zeigen die Abhängigkeit der Jahresbetriebsdaten von WP und BHKW in Abhängigkeit von gewählttem Betriebsmodus keine PV-Einspeisung ins Energienetz, kein Bezug aus dem Energienetz und Kombinationen daraus.

- Anforderungen an Regelungskonzepte und Betriebsstrategien für spartenübergreifendes Energiemanagement (MS 5.003 - 10/2017)

Das Konzept ist erarbeitet worden.

Die dominierende Strategie ergibt sich aus dem C/sells verfolgten Prinzip der Subsidiarität, d. h. es wird zuerst die Anlagen- und Liegenschaftsoptimierung verfolgt und dann die Bereitstellung von negativer und positiver Regelenergie bzw. Leistung als sogenannte zur Verfügung gestellter Flexibilität.

- Datenbereitstellung und Schnittstellenanforderungen (MS 5.007 - 06/2018)

Die gemessenen Daten stehen in den Datenformaten CSV und/oder Json via RPi und VPN Zugang zur Verfügung

An dieser Stelle wird die Beschreibung des Use Cases IKT-Siedlung Hohentengen nicht weiter ausgeführt, sondern auf das Dokument UAP7.9.1 Use Case Methodik verwiesen. Siehe: https://fpm.fichtner.de/projects/csells-fit/dmsf?folder_id=7716

3.2 Ehoch4 GmbH

Zusammen mit der HTWG KN als Unterauftragnehmer für Energieanalyse und Konzepte

Ist nicht in TP5 verortet, aber in AP4.4 und UAP7.9.1 und hat dadurch aktiv am Einsatz von Prognosen mitgewirkt.

3.3 FhG IEE

Zusammen mit den Projektpartnern ISC Konstanz und der Ehoch4 GmbH im UAP7.9.1 aktiv für die Gestaltung des lokalen EMS und der Anbindung an die „Open Source Plattform“ OGEMA zeichnend.

4 Zusammenfassung und Ausblick

das vorliegende Dokument beschreibt, wie Prognosen insbesondere für Liegenschaften als Zellen in vielfältiger Weise eingesetzt werden. Basierend auf Bereitstellungs- und Bedarfs-Prognosen kann dadurch auch energetische Flexibilität prognostiziert, anwendungsbezogen verstanden und erfolgreich eingesetzt werden als Fähigkeit Handlungen zeitlich variabel zu planen, auch in Kooperation mit den gegebenen lokalen Energiemanagements der Zellen.

In Kapitel 1 wird über die Relevanz dieses High Level Use Case in Bezug zu den anderen elf im TP5 verankerten HLUCs eingegangen und die entsprechende Vernetzung aufgezeigt. Weiterhin können unterschiedliche Prognose Anforderungen beispielhaft angesprochen und diskutiert werden, woraus sich auch unterschiedliche anwendungsbezogene Anforderungen für die Ermittlung von Flexibilität ergeben.

Einige Beispiele dafür werden in Kapitel 2 vorgestellt und zeigen, wie diese in Demonstratoren umgesetzt werden können.

Auf Grund der sehr hohen anwendungsbezogenen Vielfalt zu Erstellung Anpassung und Einsatz von Prognosen wird für Details auf die entsprechenden Berichte zu Anwendungsfällen, deren Musterlösungen und Pilottests und auf den Abschlussbericht AP3.4 Hochrechnung, Prognose und Bilanzierung verwiesen.

Anhang A

A.1 Rollen und formale Abläufe

Es folgt eine formale Darstellung des HLUC hinsichtlich der gegebenen Rollen, Akteure, etc. wie in den Unterpunkten benannt und näher spezifiziert.

A.1.1 Beteiligte Rollen und weitere Stakeholder

<i>Rollen / Stakeholder</i> <i>(Glossar)</i>	<i>Typ</i> <i>(Glossar)</i>	<i>Rollenbeschreibung</i>	<i>Weitere Informationen</i> <i>zum Use Case</i>
Marktnutzer	Prosument (Produzent und/oder Konsument von Energie)	Erzeugt in verteilten PV, BHKW, WP, etc. Anlagen elektrische und/oder thermische Energie, stellt sie extern zur Verfügung oder fordert zusätzlich welche an.	
Netznutzer	Anschlussnehmer (Inhaber eines Netzanschluss-punkts mit Zelle oder individuellem Energiewandler (Erzeuger, Speicher und Energienutzer)	Marktteilnehmer (EMT)	
Netzbetreiber	VNB	Externer und/oder zelleninterner Netzbetreiber	
Dienstleister	z. B. Stadtwerke	Könnte ein Messstellenbetreiber und/oder Nutzer sein	
Technologiehersteller	Hersteller von Energiewandlern (inkl. Elektrofahrzeuge) Hersteller von Komponenten zum Energiemanagement (EM)	Kann auch C/sells-interner Projektpartner sein.(für Prototypenlauf und angepasste Weiterentwicklung)	

4. Zusammenfassung und Ausblick

	Hersteller von Informations- und Kommunikationstechnologie		
Beeinflusser und Unterstützer	Forschung, Beratung, Finanzierung; Investment		
Anfragender... Auslösender... Anfordernder... Anbietender... Bereitstellender... Ausführender...			

A.1.2 Akteure: Individuen, Institutionen, Systeme, Applikationen, andere Stakeholder

<i>Akteure</i> <i>(Glossar)</i>	<i>Typ</i> <i>(Glossar)</i>	<i>Akteursbeschreibung</i>	<i>Weitere Informationen</i>
Liegenschaft	Prosument	Besitzt Erzeugung und Verbraucher	Kann Flexibilität einsetzen und anbieten
Interner Teilnehmer innerhalb der Liegenschaft		Kann Prosument aber auch „nur“ ein reiner Konsument oder Produzent sein	

A.1.3 Issues: Legal Contracts, Legal Regulations, Constraints and others

<i>Rahmenthemen</i>	<i>Wirkung des Themas auf den Anwendungsfall</i>	<i>Reference – Gesetz, Standard usw.</i>
Curtailement der Erträge von Erzeugung und Bereitstellung	Beschränkung der maximalen Einspeisung	

erneuerbarer Energien		
Prognosesicherheit beeinflusst Abrechnung	Geringer Überlapp zw. Prognose und eintretender Realität der Messwerte kann bei vorgegebenen verbrauchsabhängigen Preisprofilen zu (unerwarteten) Zusatzkosten aber auch zu Preisnachlässen führen	

A.1.4 Vorbedingungen, Annahmen, Nachbedingungen, Ereignisse

<i>Akteure, Systeme, Informationen, Verträge</i>	<i>Auslösungsereignis</i>	<i>Bedingungen</i>	<i>Annahmen</i>
Wetter Vorhersage Daten	Extern über vertragliche Regelung	Kontinuierliche Belieferung	Nutzbare Datenformat
Wetter Vorhersage Daten	Evtl. externe Daten via einem C/sells Projektpartner (z. B. meteocontrol)	Mit C/sells Partner erstellen	Nützlich aufbereitet

A.2 Sonstiges

A.2.1 Spezifische Anforderungen bzgl. AP5.3

Anforderungen an Kommunikation mit der Marktschnittstelle (Regelenergie, Intraday, neues Marktdesign)

Es entspricht der Tatsache, dass die Netzschnittstelle auch den Marktzugang bereitstellt. Es werden die nötigen Daten von Zelle und des Marktes bzw. des Netzes zusammengestellt.

Anforderungen an Kommunikation mit der Netzschnittstelle (Netzzustand, Leittechnik, gelbe Ampelphase)

Die notwendigen Informationen müssen in einem relevanten Zeitrahmen aktualisiert und zur Verfügung gestellt werden.

Anforderungen an Aggregationsmöglichkeiten dezentraler Flexibilitäten zur zentralen Vermarktung

Innerhalb der Liegenschaft wird aggregiert und eine Information nach außen ans (Verteil-)Netz und an den Markt zur Verfügung gestellt.

Spezifizierung der Interaktionsprozesse zwischen unterschiedlichen Liegenschaften, Märkten und den Netzen

Von der Liegenschaft über die (Orts-/Verteil-/Übertragungs- Netze zum Markt. Möglich sollte auch Liegenschaft zu Liegenschaft sein über eine Schnittstelle und 2-Richtungs Smart Meter.

Literaturverzeichnis

Ludwig, N., Waczowicz, S., Mikut, R., Hagenmeyer, V., Hoffmann, F., & Hüllermeier, E. (2017, November). Mining flexibility patterns in energy time series from industrial processes. In Proc., 27. Workshop Computational Intelligence, Dortmund (pp. 13-32).

2020-11-

19_AP5_2_HLUC050L_Vermarktung_Flexibilität_auf_parallel_existierenden_Märkten_v30

Becker, S., H. Koziolk & R. Reussner, 2009. The Palladio component model for modeldriven performance prediction. *Journal of Systems and Software*, January, 82(1), pp. 3-22.

Huber, J., Lohmann, K., Schmidt, M., & Weinhardt, C. (2020b). Carbon efficient Smart Charging using Forecasts of Marginal Emission Factors. *Journal of Cleaner Production*, 124766.

Huber, J., Dann, D., & Weinhardt, C. (2020a). Probabilistic forecasts of time and energy flexibility in battery electric vehicle charging. *Applied Energy*, 262, 114525.