



# Verbrauchsdisaggregation mittels künstlicher Intelligenz basierend auf 15-minütigen Smart-Meter-Daten

Dr. Jan Marckhoff | [jan.marckhoff@enerlytica.com](mailto:jan.marckhoff@enerlytica.com) | +49 89 210 938 31 | +41 44 515 61 51

© Enerlytica 2025

Spin-off

**ETH** zürich



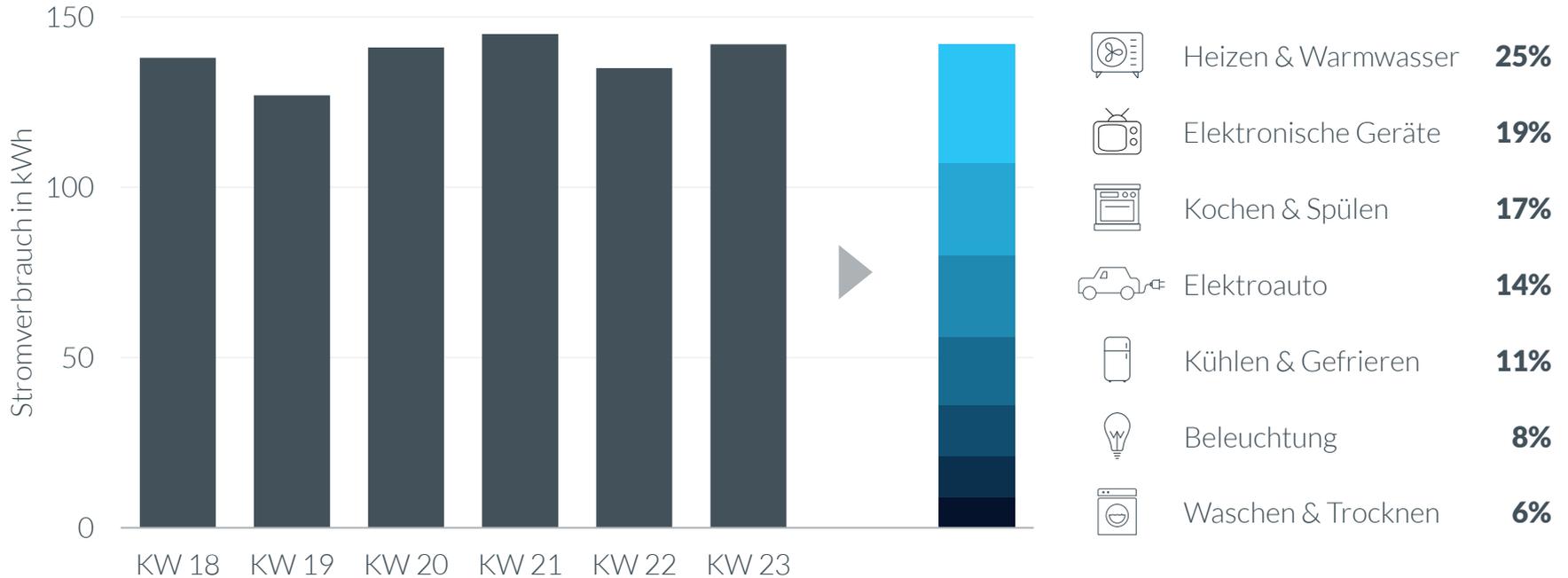
swiss made software

**Dieses Dokument stellt die Verbrauchsdisaggregation von Enerlytica vor,**  
basierend auf 15-minütigen Smart-Meter-Daten.

Unter Verbrauchsdisaggregation (engl. Non-Intrusive Load Monitoring, kurz NILM) verstehen wir den gesamten Prozess (inklusive aller Modelle aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz), bei dem der Gesamtstromverbrauch eines Haushalts in die Anteile einzelner Geräte oder Verbrauchsgruppen zerlegt wird, ohne dass zusätzliche Sensoren oder Messgeräte an einzelnen Geräten installiert werden müssen.

# VERBRAUCHSDISAGGREGATION VON ENERLYTICA

Aufteilung des Gesamtstromverbrauchs eines Haushalts in einzelne Geräte oder Verbrauchsgruppen



# GRUNDSÄTZE DER DISAGGREGATION

Die Disaggregation basiert auf einer eigens von Enerlytica entwickelten künstlichen Intelligenz (KI)



Der Prozess und die Methodik zur Disaggregation von Enerlytica basieren auf einer eigens **von Enerlytica für den Energiemarkt entwickelten künstlichen Intelligenz (KI)**



Die von Enerlytica entwickelte Methodik wird **fortlaufend weiterentwickelt** – auch unterstützt durch die ETH Zürich, das Bundesamt für Energie und Innosuisse – **und auf grösstenteils Schweizer Datensätzen trainiert**



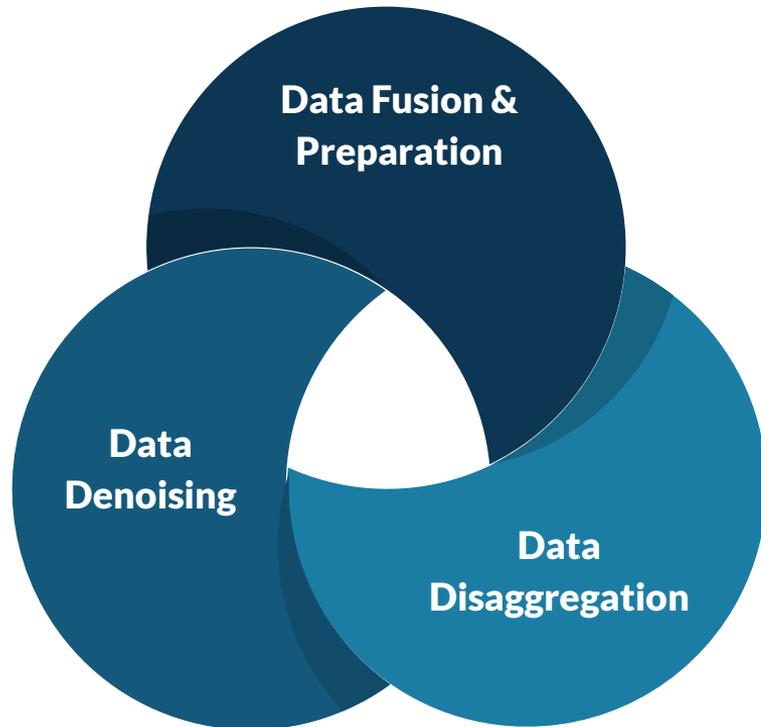
Bei der **Methodik zur Disaggregation handelt es sich um ein Ensemble-Modell**, d. h. sie basiert auf einer Vielzahl serieller Modelle, welche eine spezifische Aufgabe erfüllen, wobei Modelle in absteigender Genauigkeit gereiht sind



Die Methodik schliesst ab mit einem heuristischen Sanity-Check, kombiniert mit einem Experten-System, um **die Modelle fortlaufend zu optimieren und die Vorhersage zu verbessern**

# BEREICHE DER DISAGGREGATION

Unsere Disaggregation umfasst neben der eigentlichen Disaggregation weitere Prozessschritte



## Data Fusion & Preparation

Ziel ist eine **verbesserte Datenqualität** sowie eine ganzheitliche Sichtweise. Neben der Integration verschiedener Datenquellen erfolgt ebenfalls eine **Bereinigung, Normalisierung** und **Harmonisierung** der verwendeten Datensätze.

## Data Denoising

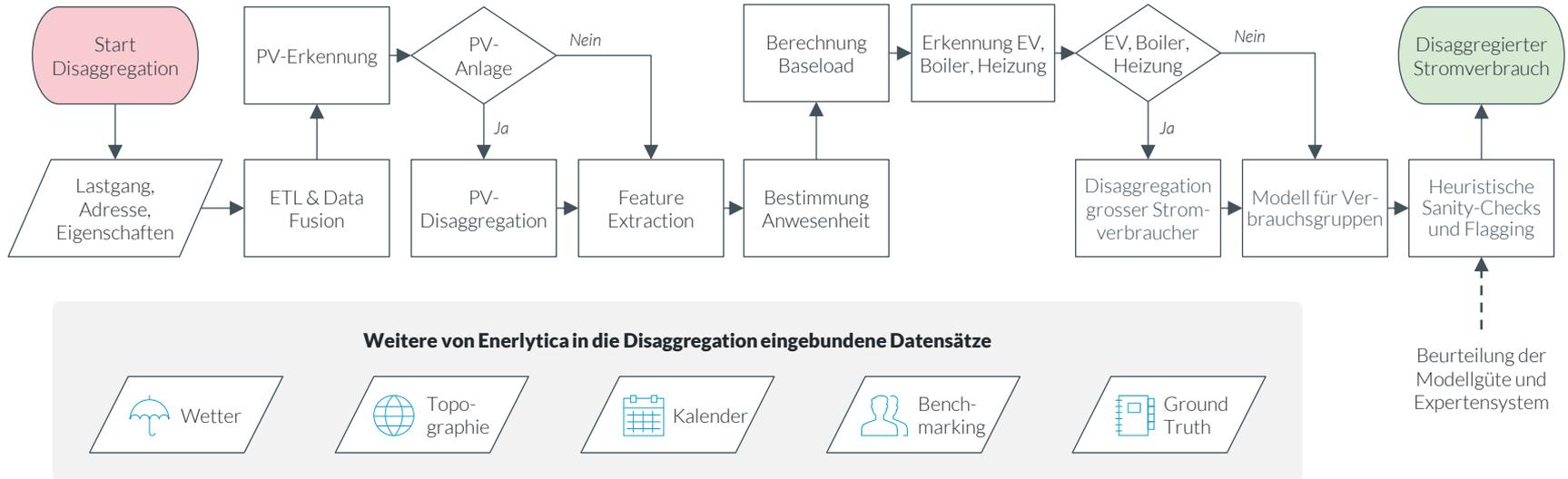
Ziel ist die Beschreibung der Lastgangdaten in einer für die folgende Disaggregation verarbeitbarer Form. Neben eines eigenen KI-Modells für die mögliche **Bereinigung der Lastgänge um PV-Produktion** werden **deskriptive Feature, Baseload** und **Anwesenheit** bestimmt.

## Data Disaggregation

Ziel ist die Aufschlüsselung des Stromverbrauchs in seine wesentlichen Komponenten. Hierbei werden **KI-Modelle für die Disaggregation grosser Verbraucher** sowie ein **eigenes KI-Modell für die Bestimmung der Verbrauchskategorien** genutzt.

# PROZESS DER DISAGGREGATION

Der Prozess von den Daten hin zur Disaggregation umfasst ein Ensemble an Daten, Modellen und Analysen



○ Start/Ende   ▭ Input   □ Prozess   ◇ Entscheidung

# GROUND TRUTH UND TRAININGSDATEN

Unsere Algorithmen sind mit umfassenden, einzigartigen Ground-Truth-Daten trainiert

## Ground-Truth-Daten von Enerlytica aus DACH

---

- ECO-Datensatz des Bits to Energy Lab der ETH Zürich (Electricity Consumption & Occupancy)
- Smart-Meter-Daten mit 15-minütigen Lastgängen über mehrere Jahre angereichert mit Haushaltseigenschaften von über 50'000 Haushalten
- 1'000 detaillierte Beratungsprotokolle zu durchgeführten Beratungsgesprächen vor Ort zur Heizungsoptimierung, inklusive zugehöriger Smart-Meter-Daten (15-minütig)
- Lastgangdaten (15-minütig) von über 2'000 separat gemessenen Wärmepumpen und Boilern
- Lastgangdaten (15-minütig) von über 1'000 separat gemessenen PV-Anlagen

## Öffentliche Datensätze von Enerlytica genutzt

---

- Irland Datensatz – Irish Commission for Energy Regulation (4'200 Haushalte und 2'000 Unternehmen, 30-minütige Auflösung über 1.5 Jahre, umfassende Ground-Truth-Daten insb. zu Haushaltsausstattung und -grösse, Einkommen, PV)
- Pecanstreet Inc. Dataport Datensatz (über 600 Haushalte über drei Jahre mit Energie-Audits und Umfragedaten; Auflösung von 1 Messwert pro Minute und Wetterdaten)
- Weitere Smart-Meter-Datensätze aus dem Ausland sind in grossem Umfang frei verfügbar und können bei Bedarf hinzugezogen werden

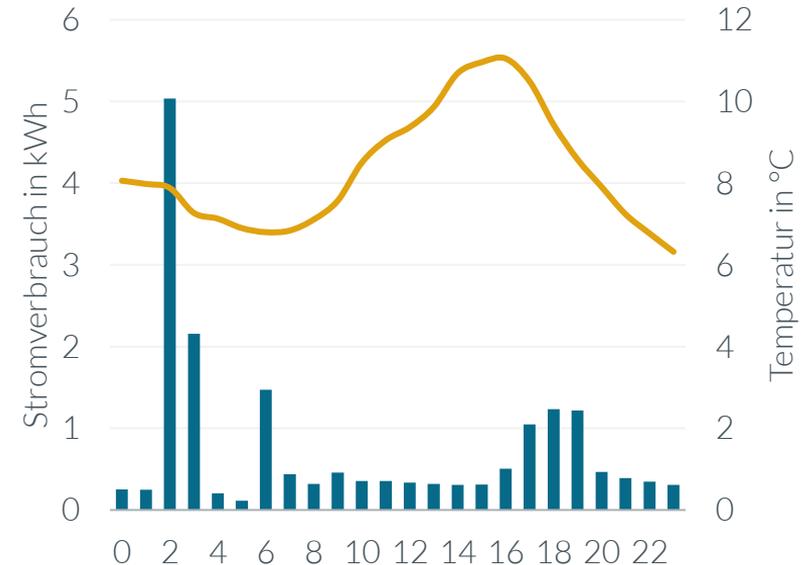
# FEATURE EXTRACTION

Feature simulieren eine Energieberater-Sicht auf den Lastgang für die KI

## Feature Extraction

- Feature sind statistischen Grössen eines Lastgangs
- Beispiele für solche Feature sind:
  - Lineare Korrelation zwischen der Temperatur in °C und dem Stromverbrauch in kWh des letzten Monats
  - Mittleres Minimum des HT-Stromverbrauchs innerhalb einer Viertelstunde während der letzten 7 Tage
  - Mittleres Verhältnis des Stromverbrauchs am Abend zum Stromverbrauch am Morgen an Werktagen
- Insgesamt berechnen wir über 100 solcher Feature
- Die Feature erlauben der KI den Blick eines Energieberaters auf den Lastgang

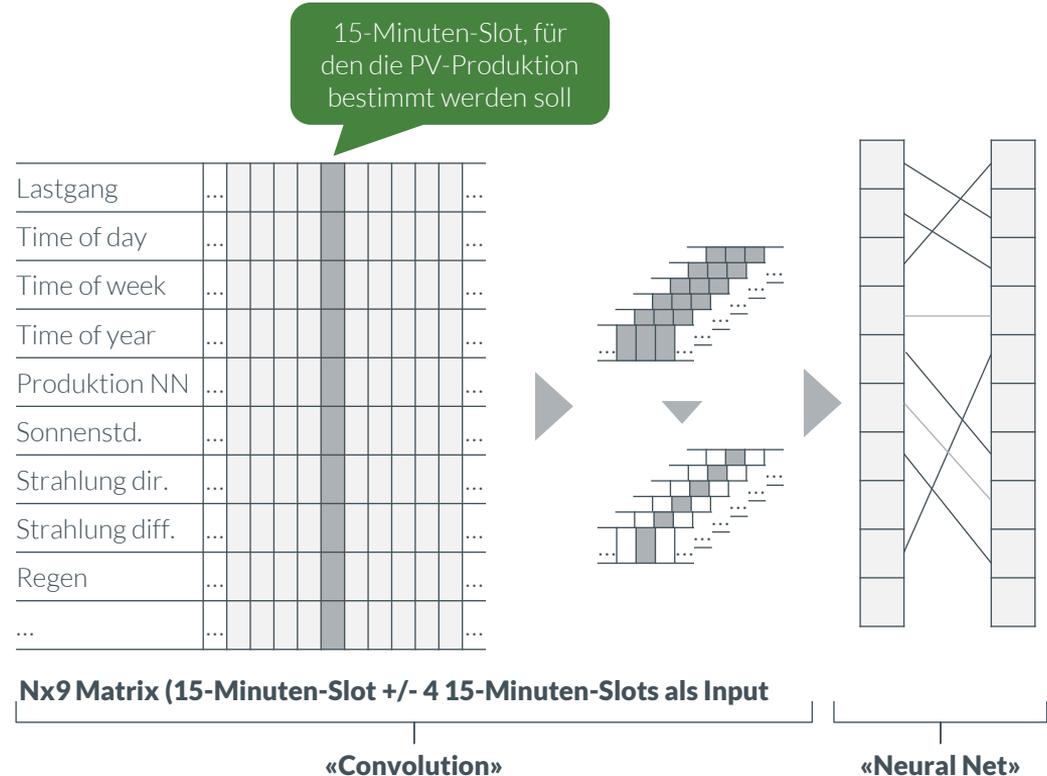
## Beispiel Lastgang & Temperatur im Tagesverlauf



# PV-DISAGGREGATION

## Bestimmung der PV-Produktion basierend auf einem Convolutional Neural Net (CNN)

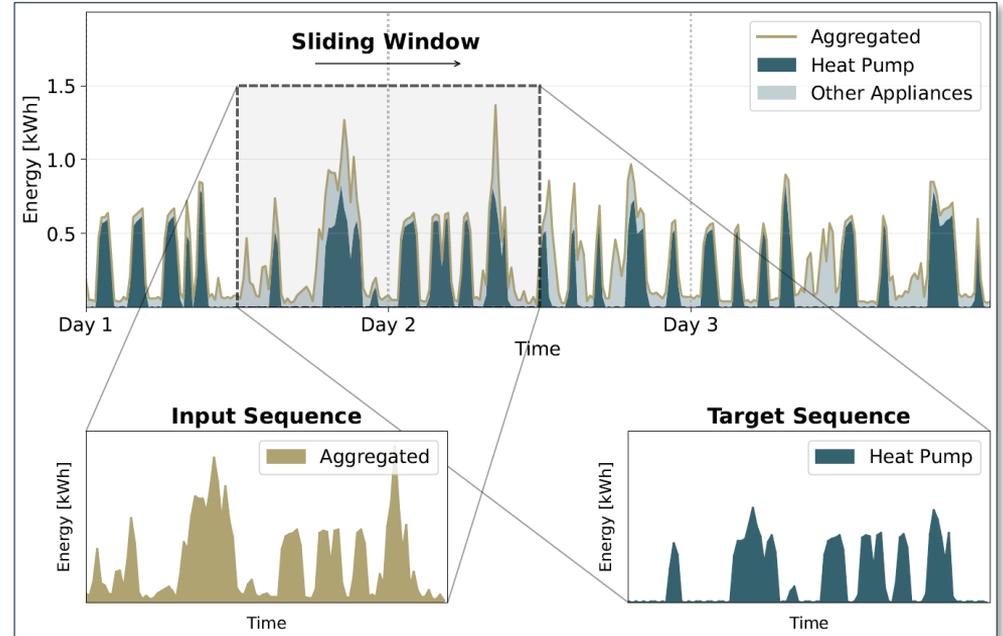
- Kernziel dieses Analyseschrittes ist die Disaggregation der PV-Produktion und somit die Bestimmung des Verbrauchs ohne PV-Anlage
- Nach der Erkennung des Vorhandenseins einer PV-Anlage wird die Disaggregation als ein Convolutional Neural Net (CNN) modelliert
- Zusätzlich zum Nettoprofil, werden folgende Datensätze eingebunden:
  - Separat gemessene PV-Anlagen
  - Wetterdaten
  - Zeit, abgebildet als Sinus- und Kosinus
- Ergebnis ist die Zeitreihe der separierten PV-Produktion, aus welcher der Verbrauch folgt



# DISAGGREGATION GROSSER STROMVERBRAUCHER

## Disaggregation des Stromverbrauchs von EV, Boiler und Wärmepumpe

- Kernziel dieses Analyseschrittes ist die Disaggregation des Stromverbrauchs grosser Stromverbraucher
- Die Disaggregation erfolgt in zwei Schritten:
  - Zuerst wird mittels eines Random-Forest-Modells das Vorhandensein des jeweiligen Verbrauchers bestimmt – dies dient als Input für Schritt zwei
  - Im zweiten Schritt wird ein künstliches neuronales Netz modelliert; zum Training wird der «Sliding Window»-Ansatz genutzt, bei dem sowohl die Fensterbreite als auch die Überlappung variiert wird (siehe Abbildung rechts)
- Beide Modelle in Reihe geschaltet erlauben eine sehr gute Ergebnisgüte des disaggregierten Verbrauchs

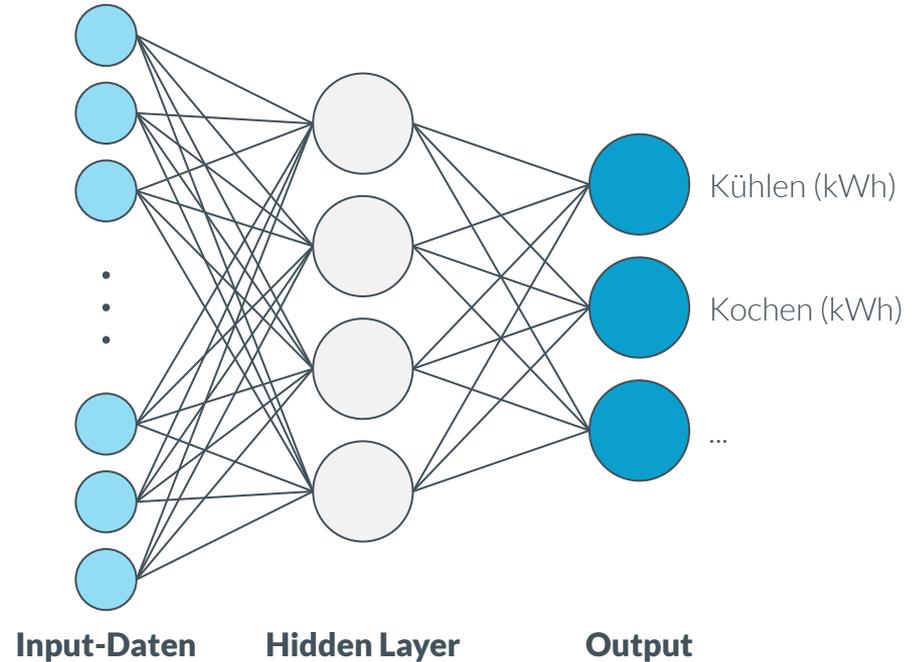


Darstellung des Ansatzes zum «Sliding Window» – das Modell wird sowohl auf die Fensterbreite sowie auf die Überlappung der jeweiligen Fenster (25 %, 50 % oder 75 %) optimiert bzw. trainiert

# KI FÜR DIE VERBRAUCHSGRUPPEN

Das Modell für die Identifikation der Verbrauchsgruppen basiert auf einem kNN

- Die KI für die Verbrauchsaufteilung basiert auf einem künstlichen Neuronales Netz (kNN) mit dem Ziel der Identifikation der Signatur der Verbrauchsgruppen
- Das kNN zielt auf die Identifikation der aggregierten «Signale» im Gesamtverbrauch und funktioniert wie ein reduzierter Auto-Encoder (und ähnelt damit konzeptionell einer Principal Component Analysis)
- Ergebnis des kNN ist ein Fingerabdruck (Finger-Printing), d. h. die Aufteilung des Gesamtverbrauchs in Gruppen
- Input ist der Lastgang als Zeitreihe, augmentiert um bereits berechnete Daten wie Feature, Anwesenheit und Wetter
- Trainiert wird das Modell auf einer Schweizer Ground Truth



# HEURISTISCHE SANITY-CHECKS UND FLAGGING

## Beurteilung der Modellgüte und Expertensystem

- Ergebnisse der KI-Modelle werden anhand heuristischer Daten auf ihre Glaubwürdigkeit bzw. ihre Richtigkeit hin automatisiert überprüft und ggf. geflaggt
- Die Überprüfung erfolgt auf Basis vorliegender Benchmarks und bezieht die jeweiligen Haushaltseigenschaften mit ein
- Flags werden in ein Experten-System gespielt (siehe Screenshot auf der rechten Seite) und von einem Experten manuell geprüft
- Nach menschlicher Begutachtung des Flags geben Experten das Ergebnis der Analyse entweder frei oder geben es zur weiteren Bearbeitung in ein Ticketing-System (z. B. zur Anpassung der Analysen)



# enerlytica

## **Enerlytica Schweiz**

BEN Energy AG  
Badenerstrasse 60  
8004 Zürich  
+41 44 515 61 50

## **Enerlytica Deutschland**

BEN Energy GmbH  
Pippinger Straße 51  
81245 München  
+49 89 380 304 80

[www.enerlytica.com](http://www.enerlytica.com)