



Sparen meine Kunden Strom?

Anwendungsbeispiel zur Berechnung eines möglichen Mehr- oder Minderverbrauchs von Kundinnen und Kunden

EINLEITUNG

Inhalt und Ziele dieser Präsentation

- ▶ «Strom sparen» als bewusstes Reduzieren des Stromverbrauchs – z. B. aufgrund von Energieeffizienzmassnahmen – ist nur mittels eines experimentellen Setups möglich, was in der Praxis im grossen Massstab nicht möglich bzw. sinnvoll ist
- ▶ Vielmehr sehen sich Energieversorger der Frage gegenübergestellt, ob ihre Kundinnen und Kunden mehr oder weniger verbrauchen als in der Vergangenheit und damit der Frage nach der Bestimmung eines Mehr- oder Minderverbrauchs
- ▶ Diese kurze Präsentation stellt verschiedene Ansätze zur Berechnung von möglichen Mehr- oder Minderverbräuchen im Strommarkt vor – und zwar in Fällen, in denen ein «experimentelles Setup» nicht möglich ist
- ▶ Hierbei erhebt diese Präsentation keinen Anspruch auf Vollständigkeit – es handelt sich um Ansätze, die wir in den vergangenen Monaten beobachtet oder selbst begleitet haben und welche in der Praxis eingesetzt werden

ANSÄTZE ZUR BESTIMMUNG EINES MEHR-/MINDERVERBRAUCHS

Es wird grundsätzlich zwischen einem Top-down- und einem Bottom-up-Ansatz unterschieden



TOP-DOWN

Ausgehend vom Gesamtverbrauch
auf Netzebene

BOTTOM-UP

Ausgehend von Smart-Meter-Daten
einzelner Kundinnen und Kunden



Top-down-Ansatz

VORGEHEN IM TOP-DOWN-ANSATZ

Drei Phasen der Bestimmung der Entwicklung eines Mehr-/Minderverbrauchs

Gesamtverbrauch

Ausgangspunkt für die Bestimmung der Stromverbrauchsentwicklung ist der gesamte, im Netz gemessene, Stromverbrauch

Modellierung

Modellierung des Stromverbrauchs und Bereinigung der Stromverbrauchsdaten

Vergleich

Bestimmung des Mehr- oder Minderverbrauchs durch Vergleich mit einer entsprechenden «Benchmark» und Beurteilung der «Signifikanz»

TOP-DOWN: VARIANTE I

Kategoriale Berechnung (Beispiel der Kalenderwoche 13 für die Jahre 2023 vs. 2022)

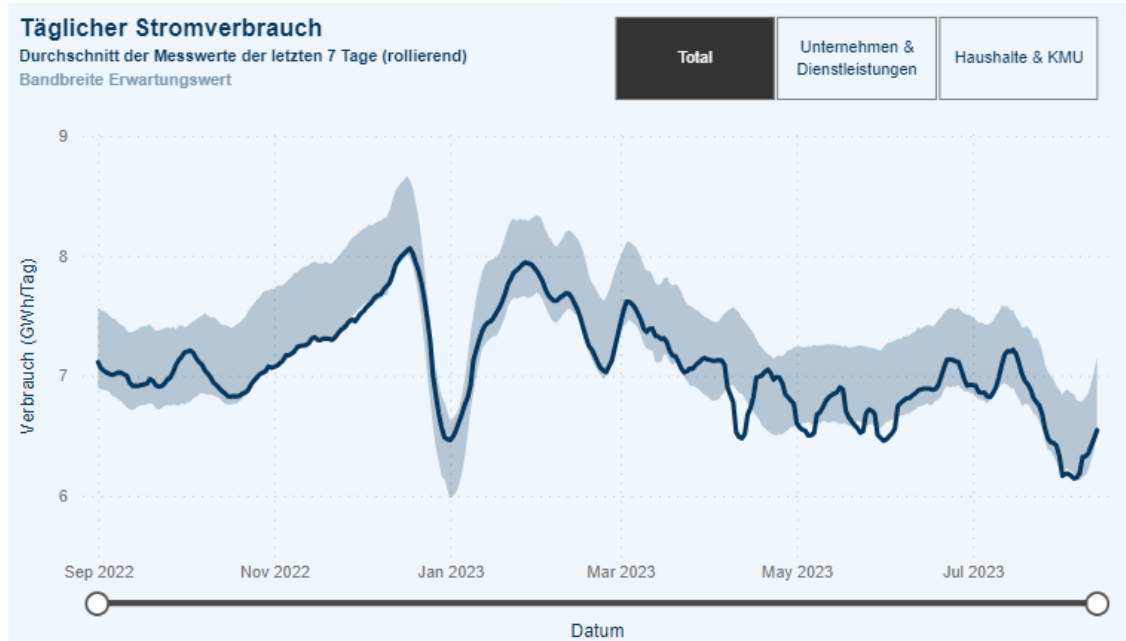
Alle Werte in GWh	2022	2023
Gesamtverbrauch	3.3	3.4
Bereinigungen (Eigenverbrauch, Werkzeuge, Temperatur)	-	+0.3
+/- neue Anlagen	-	-0.2
+/- elektrische Heizungen	-	-0.4
+/- Elektromobilität	-	-0.1
Bereinigung um einen Trend	-	+0.1
Bereinigter Verbrauch	3.3	3.1

Minderverbrauch
von ca. 6 %

- Der Verbrauch wird für 2023 so korrigiert, dass er mit den Zahlen von 2022 «vergleichbar» ist
- Eine erhöhte Anzahl elektrischer Heizungen in 2023 führt z. B. zu einer negativen Korrektur, um den Effekt «mehr Heizungsstrom» gegenüber 2022 auszugleichen
- Die einzelnen Werte beruhen oft auf Statistiken und Annahmen und selten auf separaten Modellen

TOP-DOWN: VARIANTE II

Statistische Modellierung des Stromverbrauchs (Beispiel Regressionsmodell)



- Ein alternativer Ansatz ist die statistische Modellierung des Stromverbrauchs
- Hierbei wird z. B. ein (nicht-lineares) Regressionsmodell genutzt, um ex-post zu berechnen, was der erwartete Verbrauch war (ex-post, weil damit die Umweltparameter beobachtbar sind)
- Anschliessend wird der erwartete mit dem Ist-Verbrauch verglichen

Quelle: <https://www.ewz.ch/de/ueber-ewz/newsroom/aus-aktuellem-anlass/strommangellage/energieverbrauch-stadt-zuerich.html>

TOP-DOWN: VARIANTE II

Statistische Modellierung des Stromverbrauchs (Beispiel Regressionsmodell)

Dieses Beispiel ist **nicht** das Modell, welches der Darstellung auf der vorherigen Seite zugrunde liegt, sondern eine starke Vereinfachung.

- Beispiel lineare Regression:

$$SV = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \dots + \varepsilon, \text{ wobei}$$

SV = Stromverbrauch

β = zu schätzende Regressionsparameter

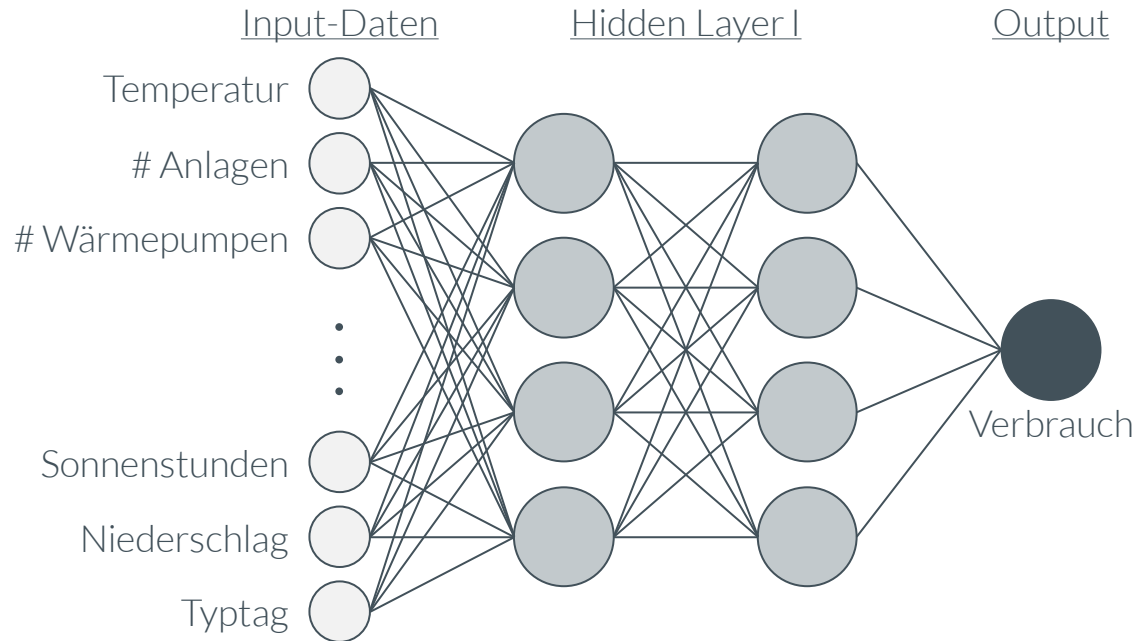
X = beobachtbare Einflussfaktoren

ε = (stochastisches) Residuum

- Der Stromverbrauch ist somit eine (hier lineare) Funktion von beliebig vielen beobachtbaren Faktoren, z. B. Temperatur, andere Wetterdaten, Typtag (Werktag, Vorfeiertag, Feiertag), Verbrauch der vorherigen Zeitscheibe, Vortagesverbrauchs, Anzahl Messpunkten, Anzahl Wärmepumpen, Anzahl Elektroautos, Time of day, Time of year, Betriebsferien, Produktionsrückgänge, Schulferien, Anwesenheiten, Anzahl PV-Anlagen
- Abschliessend Bestimmung des Konfidenzintervalls zur Beurteilung des «erwarteten» Verbrauchs

TOP-DOWN: VARIANTE II

Statistische Modellierung des Stromverbrauchs (Beispiel Künstliches Neuronales Netz, KNN)

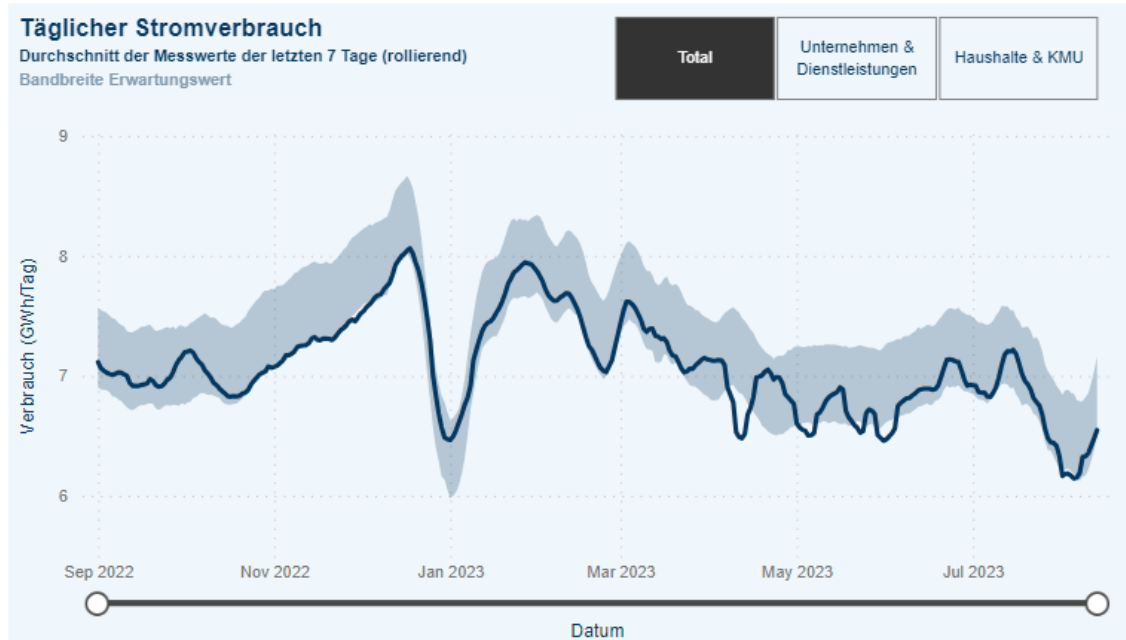


- Die Modellierung des erwarteten Stromverbrauchs muss selbstverständlich nicht als Regression (linear oder nicht-linear) erfolgen
- Modelle, wie z. B. ein klassisches KNN (hier schematisch dargestellt) sind hierfür ebenfalls möglich
- In der Forschung werden aktuell auch sogenannte «Transformer Modelle» implementiert und als vielversprechend erachtet*

* Siehe z. B. ein Paper aus dem Bits to Energy Lab von E. Giacomazzi, F. Haag, K. Hopf: «Short-Term Electricity Load Forecasting Using the Temporal Fusion Transformer: Effect of Grid Hierarchies and Data Sources» (The 14th ACM International Conference on Future Energy Systems (e-Energy '23), June 20–23, 2023, Orlando, FL, USA)

TOP-DOWN: VARIANTE II

Beurteilung eines signifikanten Mehr- oder Minderverbrauchs



- Das Konfidenzintervall (oft mit Konfidenzkoeffizient von 95 % angezeigt) erlaubt eine Aussage zur statistischen Signifikanz der Abweichung
- Umgangssprachlich: Werte innerhalb des Bandes sind mit 95%iger Wahrscheinlichkeit nicht vom Erwartungswert verschieden
- Die Signifikanz erlaubt keine Aussage zur Höhe der Abweichung

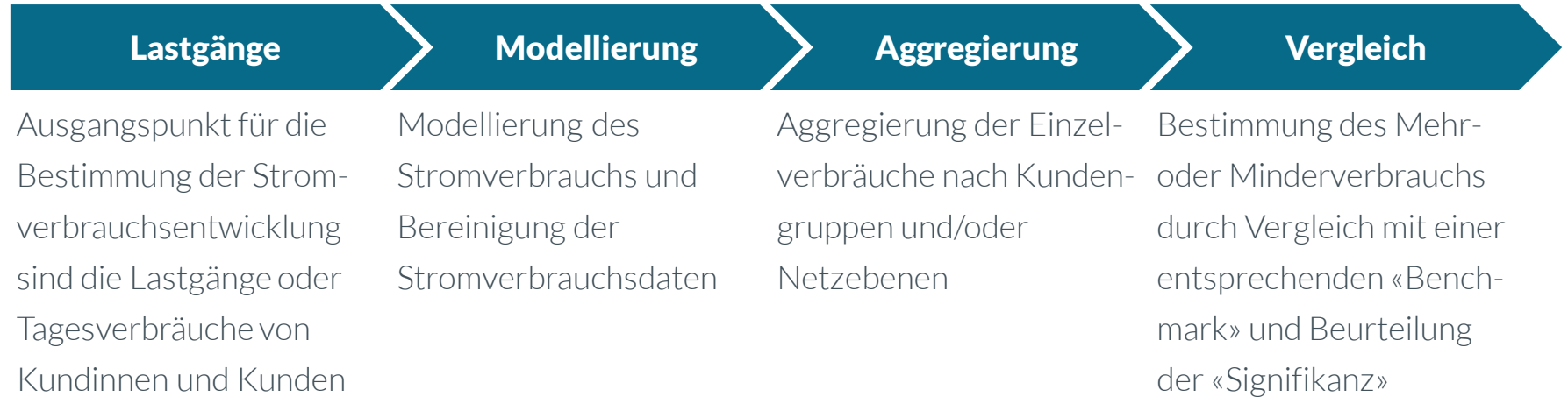
Quelle: <https://www.ewz.ch/de/ueber-ewz/newsroom/aus-aktuellem-anlass/strommangellage/energieverbrauch-stadt-zuerich.html>



Bottom-up-Ansatz

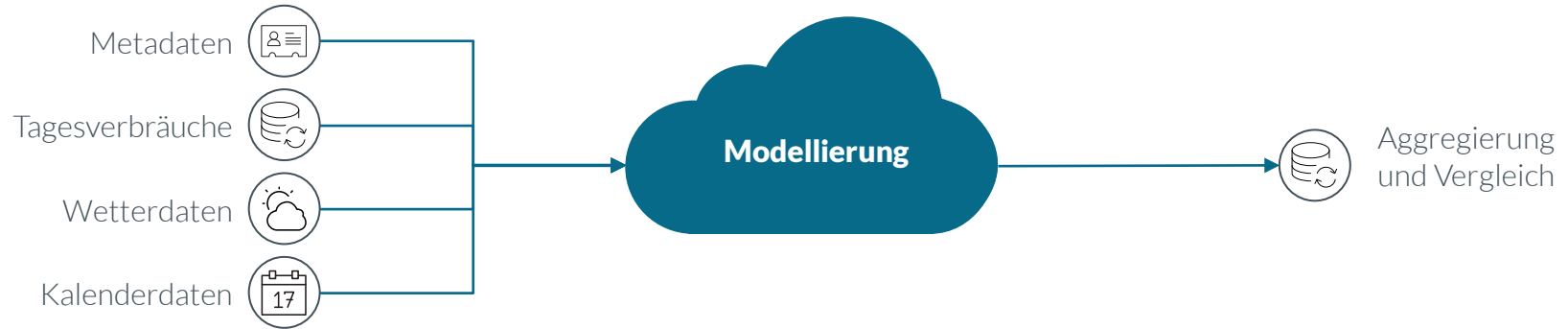
VORGEHEN IM **BOTTOM-UP-ANSATZ**

Vier Phasen der Bestimmung der Entwicklung eines Mehr-/Minderverbrauchs



BOTTOM-UP: PROZESS DER MODELLIERUNG

Die Daten werden je Kundin und Kunde modelliert und anschliessend aggregiert



Datenauswahl

Auswahl von geeigneten Kundinnen und Kunden (repräsentativ und gute Daten)

Modellierung

Bereinigung der Daten zur Herstellung der Vergleichbarkeit zum Vorjahr

Aggregation

Aggregation aller Daten und Vergleich mit Daten im Referenzzeitraum

↓
Drei Schritte der Datenbereinigung auf den nächsten Seiten beschrieben

BOTTOM-UP: PROZESS DER MODELLIERUNG

Modellierung: Bereinigung Eigenverbrauch

1 Eigenverbrauch

2 Typtage

3 Temperatur

- Berechnung des Eigenverbrauchs (EV) am Tag t :

$$EV_t = kWp \cdot \text{Sonnenstunden}_t \cdot UF_t \cdot EIQ, \text{ wobei}$$

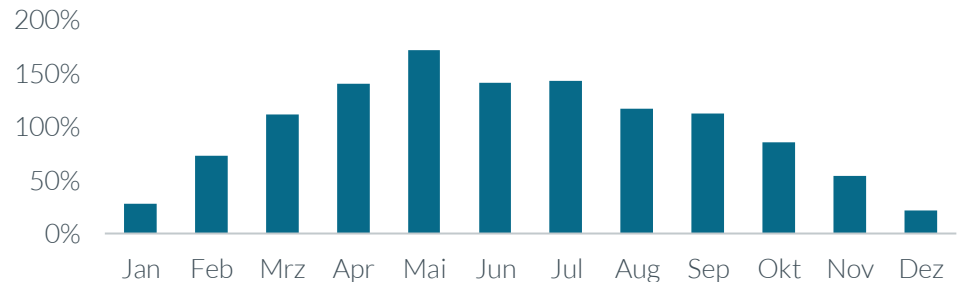
kWp = kWp

Sonnenstunden_t = Sonnenstunden am Tag t (extern verfügbar)

UF_t = Umrechnungsfaktor kWp \rightarrow kWh (für Tag t)

EIQ = Eigenverbrauchsquote

- Beispiel PV-Erzeugung je Sonnenstunden im Jahresverlauf



PV-Erzeugung in kWh je Sonnenstunde nach Monat (% zum Mittelwert)

BOTTOM-UP: PROZESS DER MODELLIERUNG

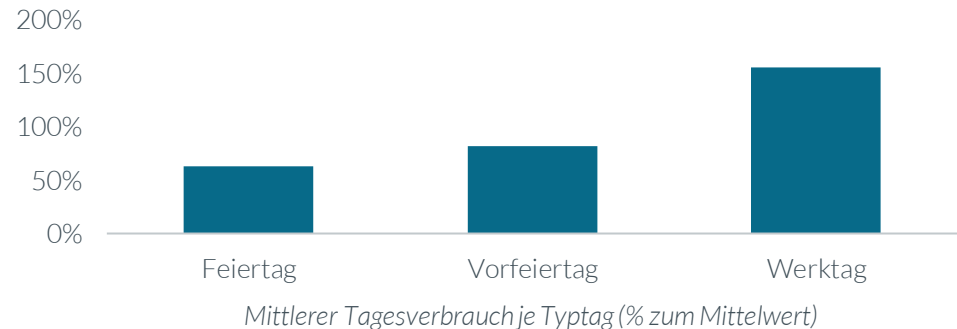
Modellierung: Bereinigung Typtage

1 **Eigenverbrauch**

2 **Typtage**

3 **Temperatur**

- Bereinigung um Typtage durch Angleichung der Typtage der zu betrachtenden Zeiträume (z. B. Kalenderwochen), d. h. Multiplikation der Typtagesverbräuche mit der historischen Verbrauchsrelation
- Unterscheidung von drei Typtagen: Werktag, Vorfeiertag (z. B. Samstag oder 24. Dez.) und Feiertag (z. B. Sonntage oder 25. Dez.)
- Separate Berechnung je Kunde oder Kundengruppe
- Beispiel: Verbrauch produzierendes Unternehmen je Typtag 2021



BOTTOM-UP: PROZESS DER MODELLIERUNG

Modellierung: Bereinigung Temperatur (1/3)

1 Eigenverbrauch

2 Typtage

3 Temperatur

- Die Bereinigung um Temperatureffekte erfolgt für besonders kalte Tage (HDD) oder heisse Tage (CDD)
- Vorgehen am Beispiel kalter Tage
 - Berechnung eines Kältemasses, z. B. Heizgradtag (HGT)

$$HGT = \begin{cases} 20 \text{ °C} - \varnothing Temp, & \text{wenn } \varnothing Temp \leq 15 \text{ °C} \\ 0, & \text{wenn } \varnothing Temp > 15 \text{ °C} \end{cases}$$

- Alternatives Mass ohne Sprünge BEN-Gradtag (BGT):
$$BGT = |\min(\varnothing Temp - 15 \text{ °C}; 0)|$$

- Beispiel HGT Stadt Zürich 2022*



* Quelle: <https://www.hev-schweiz.ch/vermieten/nebenkostenabrechnungen/heizgradtage>

BOTTOM-UP: PROZESS DER MODELLIERUNG

Modellierung: Bereinigung Temperatur (2/3)

1 **Eigenverbrauch**

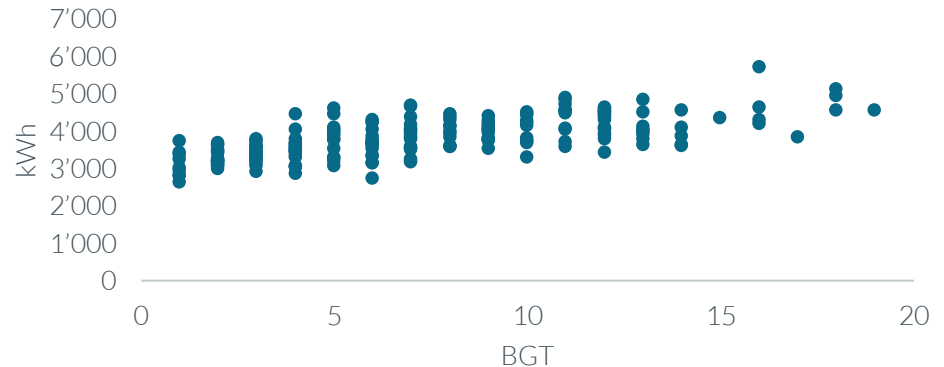
2 **Typtage**

3 **Temperatur**

- Im Anschluss Berechnung des Einflusses von Temperatur auf den Stromverbrauch mittels einer linearen Regression

$$SV = \beta_0 + \beta_1 BGT + \varepsilon$$

- β_1 wird anschliessend mit der Differenz der BGT der Vergleichszeiträume multipliziert zur Bereinigung um Temperatur
- Beispiel eines Hotels für BGT vs. Tagesstromverbrauch



Statistik der Regression: $R^2 = 0.49$ und $p\text{-Value} < 0.001$

BOTTOM-UP: PROZESS DER MODELLIERUNG

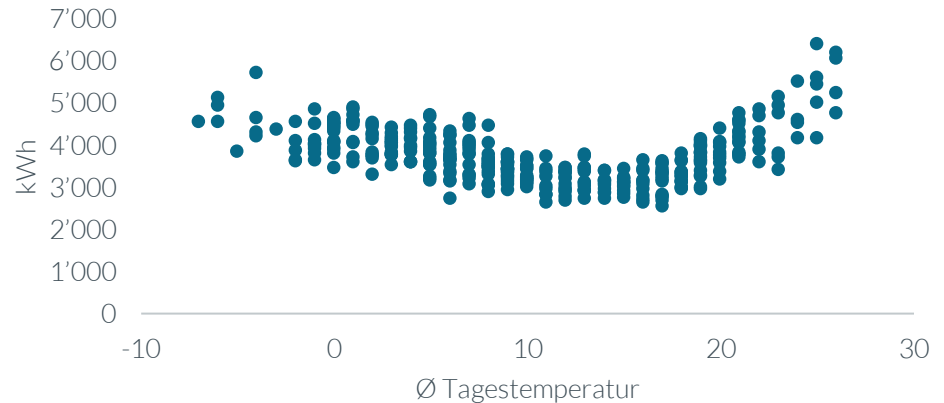
Modellierung: Bereinigung Temperatur (3/3)

1 **Eigenverbrauch**

2 **Typtage**

3 **Temperatur**

- Oft wird eine Bereinigung nur vorgenommen, wenn temperaturabhängige Lasten vorhanden sind; dies ist weniger relevant, wenn
 - eine Berechnung für jeden Kunden individuell durchgeführt wird
 - nur bereinigt wird, wenn der Zusammenhang signifikant ist
- Die Bereinigung für heiße Tage erfolgt analog
- Beispiel eines Hotels Stromverbrauch vs. Tagestemperatur





Zusammenfassung

VERGLEICH UND BEWERTUNG

Der Bottom-up-Ansatz erlaubt mehr Flexibilität, erfordert jedoch eine repräsentative Kundenauswahl

Top-down-Ansatz

Auf Basis Gesamtverbrauch

Einfach umsetzbar und erlaubt schnelle Ergebnisse in Bezug auf allgemeine Trends

Basiert auf sehr vielen Annahmen

Erlaubt wenig differenzierten Einblick in das Verhalten unterschiedlicher Gruppen

Erlaubt keine Aussage zum Mehr- oder Minderverbrauch

Bottom-up-Ansatz

In sich abgeschlossenes Set an Kundinnen und Kunden

Reduziert Annahmen und erlaubt Quantifizierung und Plausibilisierung einzelner Einflussfaktoren

Ermöglicht segmentspezifische Analysen (z. B. EFH vs. WHG oder KMU vs. PK)

Erlaubt Aussage zum Mehr- oder Minderverbrauch

Erfordert eine repräsentative Auswahl an Kundinnen und Kunden für generalisierbare Aussagen

ZUSAMMENFASSUNG

Es gibt kein absolutes «Richtig» oder «Falsch» – wichtig ist das Verstehen von Annahmen und Limitationen

▶ Die frühzeitige Bestimmung des Mehr- oder Minderverbrauchs von Kundinnen und Kunden ist insbesondere in der aktuellen Situation vor dem Hintergrund einer möglichen Stromverknappung für viele Energieversorger sehr relevant

▶ Zur Bestimmung des Mehr- oder Minderverbrauchs stehen unterschiedliche Ansätze zur Auswahl, sowohl in der Top-down- als auch Bottom-up-Modellierung – und jeder Ansatz hat eigene Stärken aber auch Limitationen

▶ Wichtig zur Auswahl und Umsetzung des eigenen Ansatzes ist das Verständnis darüber, dass es hierbei weniger ein grundsätzliches bzw. absolutes «Gut» vs. «Schlecht» oder «Richtig» vs. «Falsch» gibt

▶ Zentraler Punkt ist das Verstehen der Annahmen des Ansatzes und der Limitationen der Ergebnisinterpretation – und damit einhergehend eine interne Diskussion und Dokumentation des Vorgehens

