



LASTDIRIGENT · REFERANS ÇALIŞMASI

Kanıt dosyası

Uçtan uca kurulmuş bir enerji sisteminin kanıtı

Baştan sona kendi kurduğum bir enerji sistemi — veri toplamadan fiyat tahmini ve yük optimizasyonuna, oradan yerel yapay zekâ brifingine kadar. Bu dosya bir referans çalışmasının yöntemini ve kanıtlarını belgeler.

PRÜFSTAND NO.

c3badce30b4aca78

GÖZLEM PENCERESİ

2184 sa · 91 gün

TESİS (MODEL)

Referenz-Kühlhaus München (Modell)

DURUM: 2 NİSAN 2026 – 1 TEMMUZ 2026

Kısa bulgu

Dinamik elektrik tarifeleri, tüketimin zamanını bir maliyet kaldıracına çevirir. Isıl depo olarak işletilen bir soğuk hava deposu modeli üzerinden bu çalışma, yükün ucuz saatlere nasıl kaydırılabileceğini gösterir. Tüm sayılar dondurulmuş, sürümlenmiş bir veri kümesinden gelir.

ELEKTRİK MALİYETİ

-18,4 %

249,75 € şu süre boyunca: 89 gün salt termostat kontrolüne kıyasla

TAHMİN HATASI

16,77

MAE €/MWh · day-ahead, walk-forward — yaklaşık 3× düz temel çizgiden daha keskin (51,91).

NEGATİF FİYATLAR

249 sa

pencerede saptandı (11,5 %) · korelasyon: yenilenebilir payı ↔ fiyat -0,78

YAPAY ZEKÂ BRİFİNGİ

yerel

Qwen 3.6 kendi donanımında — veriler makineyi terk etmez (GDPR)

BULGU

Tek bir serbest çalışan, zincirin tamamını — veri mühendisliği, makine öğrenmesi, matematiksel optimizasyon, yerel yapay zekâ ve otomasyon — tek bir yeniden üretilebilir sistem olarak kurdu ve kanıtladı. Derleme deterministiktir: aynı ham veriden bayt bayt aynı dosya çıkar.

Model bir soğuk hava deposu üzerinde referans çalışması (Münih), müşteri kurulumu değil. Amaç: teknik derinliğin kanıtı. Sınırlar ve varsayımlar ekte açıkça belirtilmiştir.

Görev

2025'ten beri dinamik elektrik tarifeleri zorunlu — borsa fiyatı saatlik dalgalanıyor, zaman zaman sıfırın altına iniyor. Böylece tüketimin zamanı bir maliyet kaldıracına dönüşüyor.

Soğuk hava deposunun ısı ataleti vardır: önceden soğutabilir ve soğuğu depolayabilir. Isıl batarya olarak işletildiğinde yükünü ucuz saatlere kaydırmak mümkün olur — soğuk zinciri tehlikeye atmadan.

Bu çalışmanın görevi: yarının fiyatını tahmin eden, yükü maliyet açısından optimal planlayan ve işletmeyi anlaşılır biçimde bilgilendiren bir sistem — veri toplamadan otomasyona, tek elden.

Dinamik tarifeler 2025'ten beri zorunlu · saatlik borsa fiyatı, zaman zaman negatif

Kaynaklar

Bu dosyadaki her ifade, kamuya açık biçimde doğrulanabilir verilere dayanır — toplanmış, birleştirilmiş ve köken kanıtıyla dondurulmuş.

Fiyatlar, üretim bileşimi ve hava verisi bir zaman serisi veritabanında (TimescaleDB) birleştirilir ve sürümlenmiş bir anlık görüntü olarak sabitlenir. Örüntü daha burada görünür: yenilenebilir payı ile fiyat ters yönde ilerler.

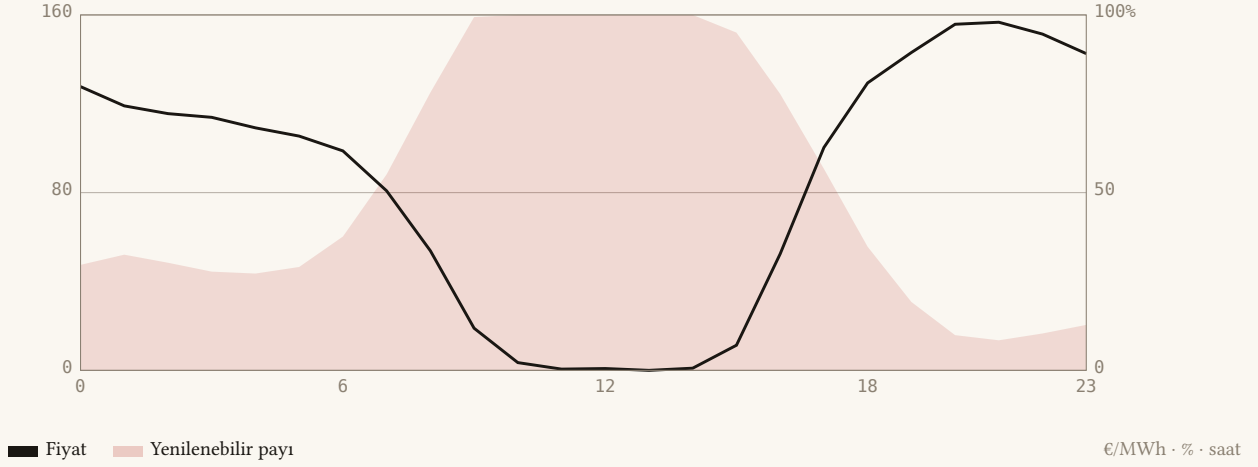
KAYNAK	İÇERİK	LİSANS
aWATTar	Day-ahead borsa fiyatı (EPEX)	public (EPEX day-ahead)
Bundesnetzagentur/SMARD	Üretim bileşimi — 9 kaynak, yük, artık yük	Bundesnetzagentur (open)
Bundesnetzagentur/SMARD (Preis)	Toptan fiyat DE-LU	Bundesnetzagentur (open)
Open-Meteo/DWD	Hava — sıcaklık, ışıınım, rüzgâr (Münih)	CC-BY 4.0

Pencere 91 gün · 2184 h · 4 kaynak · München

Örüntü

Öğle saatlerinde güneş enerjisi şebekeyi doldurur. Yenilenebilir payı yükselir, fiyat çöker — çoğu zaman sıfırın altına.

Bu »ördek« kaldıracın kendisidir: o saatte soğutan, en ucuza soğutur. Pencere boyunca fiyatlar düzenli olarak eksiye döndü — eğri, ilişkinin en net okunduğu örnek günü gösterir.



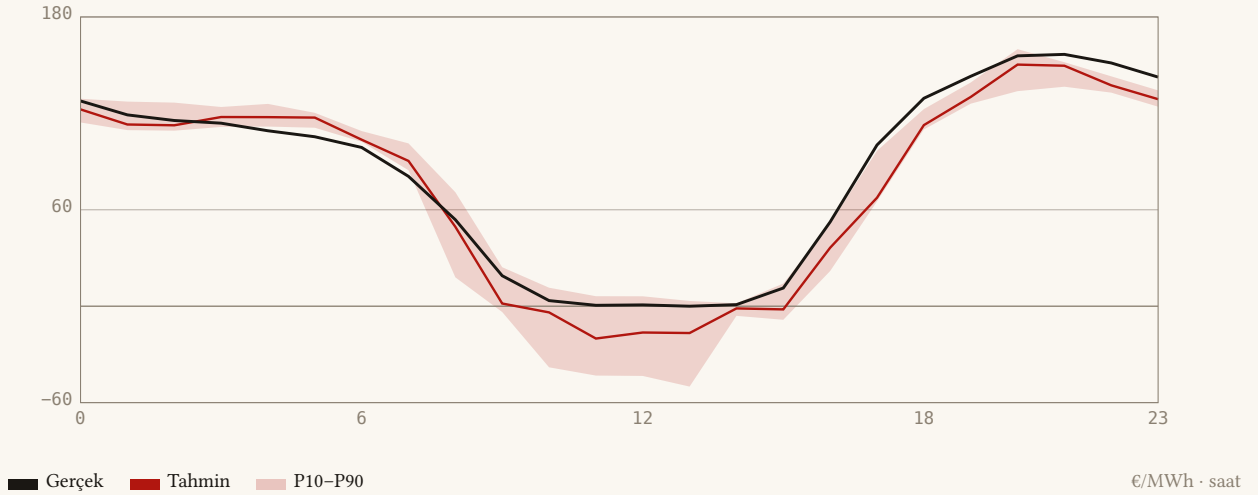
Negatif fiyatlar 249 h · 11,5 % · korelasyon: yenilenebilir payı ↔ fiyat -0,78

IV Tahmin

Bir gün önceden işlem yapmak, yarının fiyatını bilmek demektir. Onu bir gradient boosting modeli tahmin eder — walk-forward, günlük yeniden eğitimle.

Belirleyici olan yalnızca nokta değeri değil, belirsizliktir: model P10/P50/P90 kuantillerini ve negatif fiyat olasılığını verir. Böylece plan kendi riskini bilir, sahte bir kesinliğe kanmak yerine.

Fiyatı hangi büyüklük sürüklüyor? Modelin kendisi buldu: yenilenebilir payı en önemli etken — artık yükün de önünde.



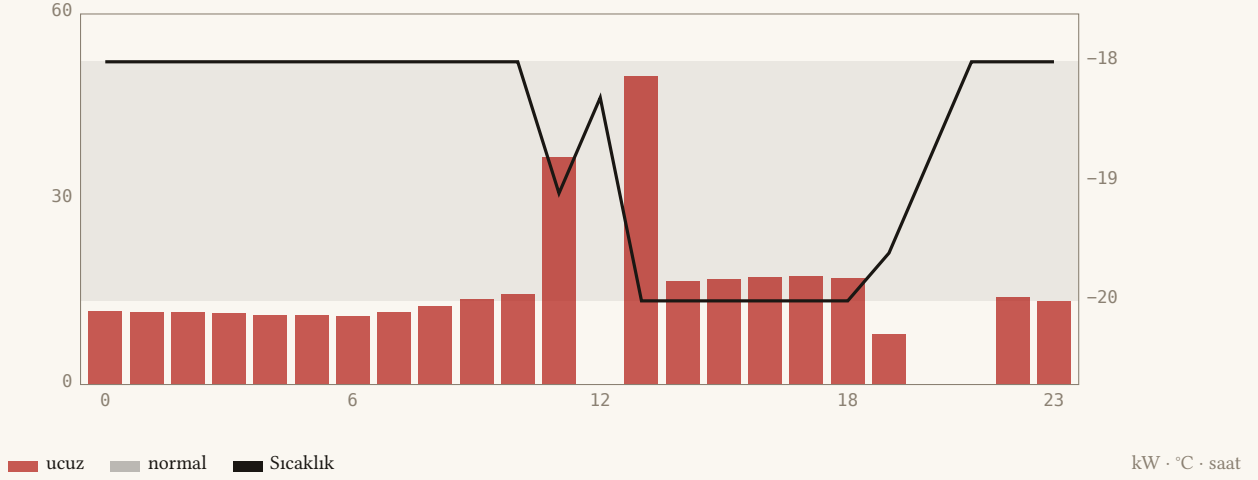
Tahmin hatası MAE 16,77 · Flat 51,91 · Kalıcılık 31,03 €/MWh · WAPE 15,7 %

V Yük planı

Soğuk hava deposu bataryaya dönüşür: soğuk depodur, sıcaklık bandı ise onun şarj durumudur.

Doğrusal bir optimizasyon programı soğutma gücünü güne yayar: elektrik maliyetini en aza indir, bandı koru, bağlantı gücünü asla aşma. Dürüst bir sınır koşulu, gün sonunda başlangıçtakiyle aynı sıcaklığı zorunlu kılar — böylece salt arbitraj kazancı ölçülür, odanın soğutulup bırakılması değil.

Sonuç: yük ucuz saatlere kayar, sıcaklık bandının üstünde ilerler.



Isıl batarya Bant $-20...-18$ °C · $P_{\max}$ 50 kW · COP 2,5

VI Brifing

Sayılardan bir eylem önerisi doğar — kendi donanımında yerel çalışan bir dil modeli tarafından yazılmış.

Qwen 3.6 (35 B) brifingi Almanca üretir, günün göstergelerine dayanarak. Veriler makineyi terk etmez — bu, veri koruma açısından somut bir argümandır. Sunucu çökerse deterministik bir şablon devreye girer. Bir kez üretilen brifing dosyada dondurulur.

»Laden Sie die Kälteanlage in den günstigen Stunden 11 bis 14 auf, um 2 EUR (20 %) zu sparen. Nutzen Sie dabei den hohen VRE-Anteil von 53 % für eine effiziente Betriebsführung. System schlägt vor, der Mensch entscheidet.«

QWEN 3.6 · YEREL · ÖRNEK GÜN 17 MAYIS 2026

Yerel LLM veriler makineyi terk etmez · GDPR uyumlu

VII Otomasyon

Döngü her gün çalışır — elini kaldıraçtan çekmeyen insandır.

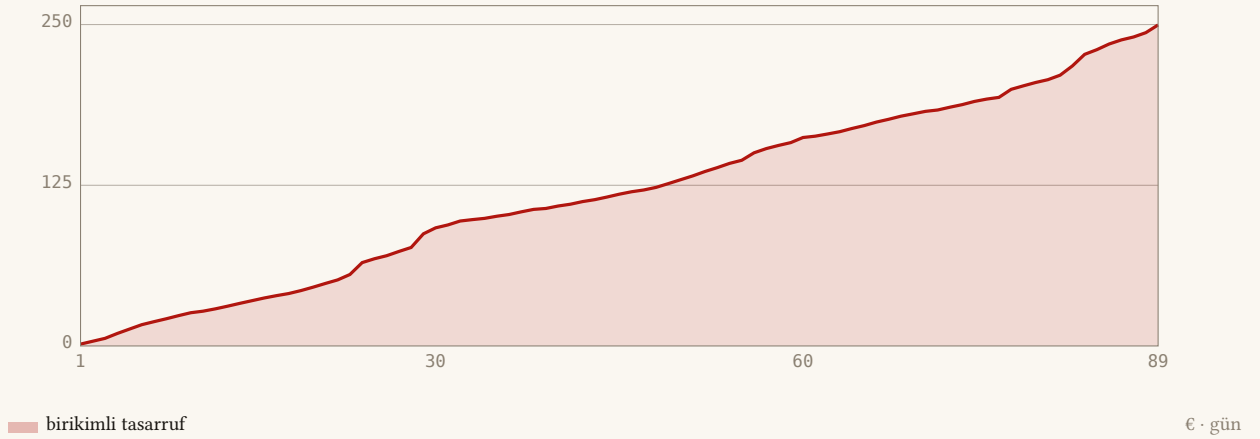
Day-ahead fiyatları yayımlanır yayımlanmaz sistem sabit bir zinciri izler. Sonda otomatik bir müdahale değil, bir öneri durur: sistem önerir, insan karar verir.

- 1 Fiyatlar**
day-ahead kurlarını çek (14:00)
- 2 Tahmin**
model fiyatı + belirsizliği kestirir
- 3 Plan**
LP soğutma gücünü dağıtır
- 4 Brifing**
yerel LLM öneriyi yazar
- 5 Onay**
insan karar verir — sonra alarm

VIII Kanıt

Tüm pencere boyunca plan elektrik maliyetini hissedilir ölçüde düşürür — ve kazanç tek seferlik bir etki değil, gün gün birikir.

Burada dondurulmuş bir referans çalışması olarak duran şey, aynı anlık görüntü üzerinden etkileşimli kumanda panosunda (texni.dev) izlenebilir.



Sonuç $-18,4\% \cdot 249,75 \text{ €} \cdot 89 \text{ gün} \cdot 1359,08 \text{ €} \rightarrow 1109,32 \text{ €}$

A Mimari

Derleme üç fazlı ve deterministiktir — aynı ham veriden bayt bayt aynı dosya çıkar.

Ağ erişimi ve dil modeli tam olarak bir kez çalışır ve dondurulmuş yan dosyalara yazılır. Hesaplayan kısım saat bilmez — ne duvar saati, ne tohumsuz bir rastgele kaynak. Yeniden derleme tüm makine öğrenmesini baştan hesaplar ve aynı paketi verir, bayt bayt (doğrulandı).

- 1 **Ingest**
ağ, tek sefer → anlık görüntü + köken
- 2 **Compute**
saf: zaman serisi → öznitelik → ML → LP → Model Card
- 3 **AI-Capture**
Qwen, tek sefer → donduruldu
- 4 **Assemble**
saf → Kanıt dosyası (v0.2)

B Model Card

Dürüst göstergeler, açıkça belirtilmiş sınırlar — eksiksiz model kartı.

Hedef büyüklük: day-ahead elektrik fiyatı (€/MWh), bölge DE/DE-LU. Model: HistGradientBoosting (nokta + kuantiller) ve $P(\text{fiyat} < 0)$ için bir sınıflandırıcı. Geriye dönük test: walk-forward, genişleyen, günlük yeniden eğitime.

METRİKLER (GERİYE DÖNÜK TEST)

MAE	16,77 €/MWh
RMSE	29,97 €/MWh
WAPE	15,7 %
Temel çizgi düz	51,91 €/MWh
Temel çizgi kalıcılık-24 sa	31,03 €/MWh

PERMÜTASYON ÖNEMİ

vre_share		0,392
residual_load_mw		0,198
temperature_c		0,038
dow		0,014
lag_168		0,012
is_holiday		0,010

Sınırlar Portfolyo gösterimi, üretim sistemi değil. Tek bir model saha, sabit varsayımlar (COP, ideal ısıl model, fiyat alıcı). Aktarılabilirlik garantisi yoktur.

C Optimizasyon modeli

Kararın kalbi — doğrusal program olarak formüle edilmiş.

Karar değişkeni, saat başına soğutma gücüdür. Odanın termodinamiği, sıcaklık bandı ve bağlantı gücü altında elektrik maliyeti en aza indirilir. Terminal sınır koşulu, gerçek arbitraj kazancını yalnızca soğutup bırakmaktan ayırır.

AMAÇ FONKSİYONU

$$\min_u \sum_{h=0}^{23} p_h \cdot u_h / \eta$$

ODANIN TERMODİNAMİĞİ

$$T_{h+1} = T_h + (k(T_{\text{amb}} - T_h) - \eta u_h) \cdot \Delta t / C$$

SICAKLIK BANDI

$$T_{\min} \leq T_h \leq T_{\max}$$

BAĞLANTI GÜCÜ

$$0 \leq u_h \leq P_{\max}$$

TERMINAL — SALT ARBİTRAJ

$$T_{24} = T_0$$

u_h h saatindeki soğutma gücü (kW) · C = 20 kWh/°C · $P_{\max}$ = 50 kW · COP = 2,5 · Sıcaklık bandı –20...–18 °C · k = 0,5 kW/°C

scipy.linprog ile çözüldü. Terminal koşul gün sonunda başlangıç durumunu zorunlu kılar — ölçülen arbitrajdır, soğutup bırakmak değil.

D Yeniden üretilebilirlik ve sınırlar

Bu dosyanın kanıtladığı — ve kanıtlamadığı şeyler.

49 birim testi ve değer doğrulamalı kabul testleri zinciri güvence altına alır; yeniden derleme bayt bayt aynıdır. Tüm veri kaynakları lisansı ile birlikte belirtilmiştir (diğerlerinin yanında Open-Meteo/DWD CC-BY 4.0).

Sınırlar, açıkça adlandırılmış; bu, model bir soğuk hava deposu üzerinde referans çalışmasıdır, müşteri kurulumu değil. Model bir portfolyo gösterimidir. Sayılar gösterilen pencere ve yapılan varsayımlar için geçerlidir — yöntemin ve derinliğin kanıtıdır, belirli bir işletme için taahhüt değil.

Kolofon

ANLIK GÖRÜNTÜ

c3badce30b4aca78

ŞEMA

reise · v0.2.0

PENCERE

2026-04-02 – 2026-07-01 · 2184 h · 91 gün

ŞURADAN ÜRETİLDİ:

beweismappe.reise.json

Deterministik derleme — bayt bayt yeniden üretilebilir.

Dizgi: Typst · Yazı: Stack Sans Notch, Libertinus Serif · Çizimler: doğal vektör.

texni.dev · Tek operatör, tam yığın.