

# FLEXIBILISIERUNGSPOTENZIALE AUFSPÜREN UND HEBEN - Net-Zero Energy Factory am Beispiel „arteMöbel“

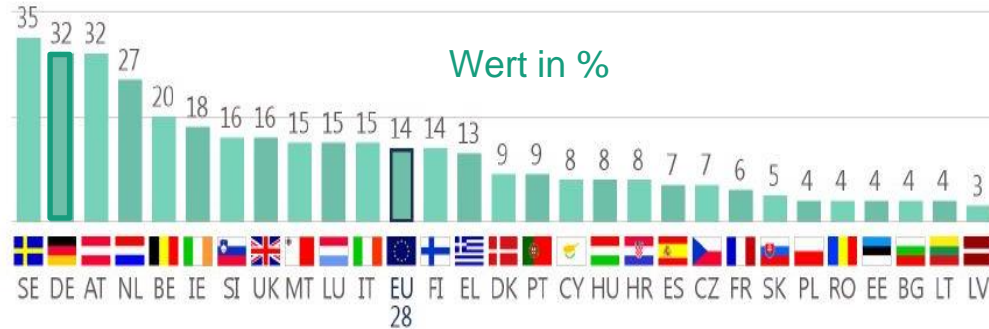
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg

18. Juli 2022. Dr. B. Arendarski, Dr. M. Richter, Dr. P. Lombardi



# Motivation

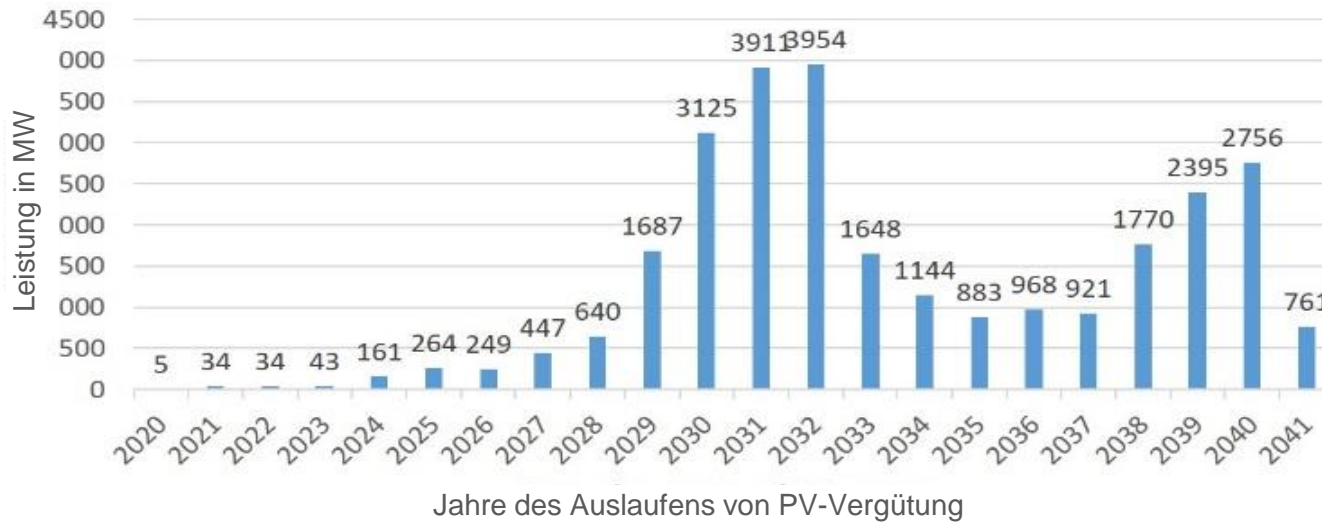
## Nutzung von EE durch Unternehmen



Quelle: European Commission „Flash Eurobarometer 456“



## Entwicklung der auslaufenden EEG-Vergütung

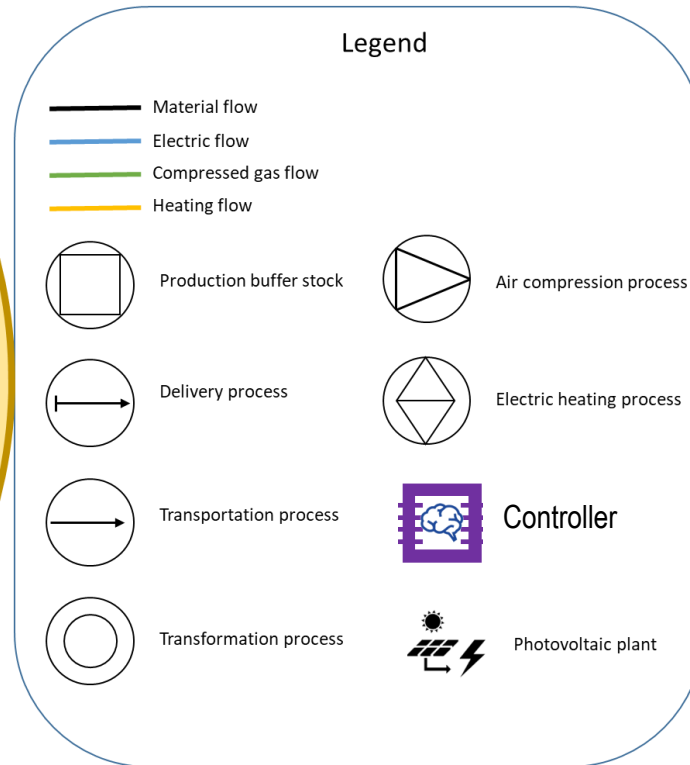
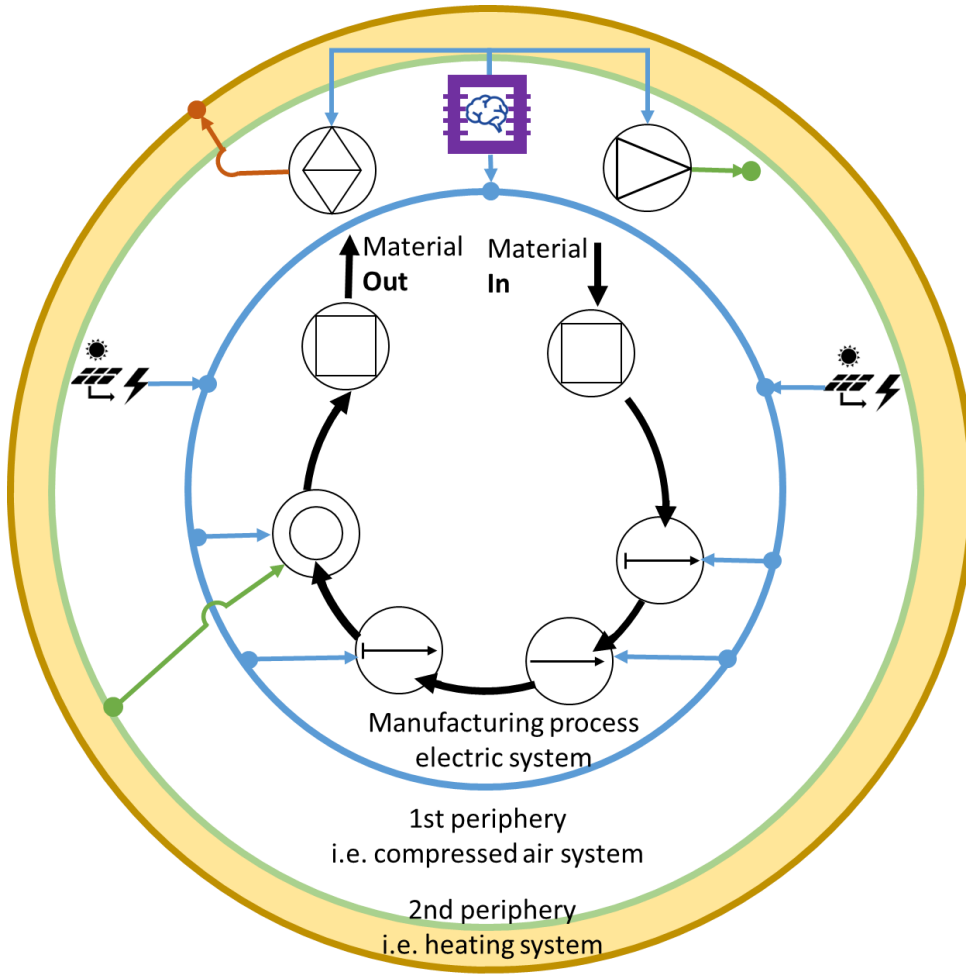


Quelle: Bundesnetzagentur – Marktstammdatenregister

### EEG-Ablauf

- 10,6 GW bis 2031
- 27,8 GW bis 2041
- 142 Mio. PV-Module

# Definition: Net-Zero Energy Factory



## Definition

Net-zero Energy Factory: der aus volatilen erneuerbaren Energiequellen erzeugte Strom wird nicht ins Netz eingespeist, sondern in das Produktionssystem integriert.

# Methodik zur Identifizierung, Quantifizierung und Nutzung der Flexibilität

Beschreibung des Herstellungsprozesses

Messung des Stromverbrauchs

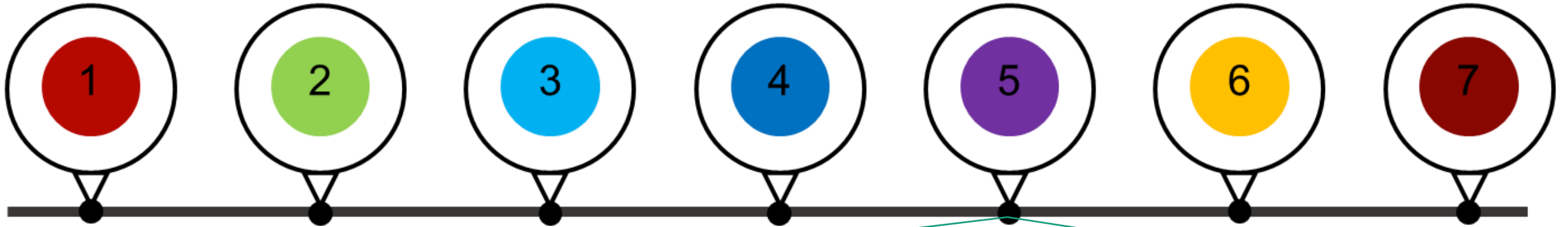
Qualitative Analyse der gemessenen Daten

Klassifizierung der steuerbaren und nicht steuerbaren Lasten

Auswertung der Flexibilitätsdauerkurven

Energieprognose (15 min - 1h) für Last und Erzeugung

Neues Scheduling von steuerbaren Prozessen basierend auf Entscheidungsbaum-Algorithmen



Auswertung der Differenz zwischen  $P_{\text{kon}}$  and  $P_{\text{n-kon}}$  für jedes Zeitintervall  $t_j$

Sortierung der berechneten positiven Werte in absteigender Reihenfolge und der negativen Werte in aufsteigender Reihenfolge

Die Flexibilität kann identifiziert und quantifiziert werden, indem der gleiche Lastverbrauch an verschiedenen Tagen erfasst wird. Wenn die Lastmuster der gleichen Last nie identisch sind, ist die potenzielle Flexibilität vorhanden.

# Net-Zero Energy Factory: aRTE Möbel GmbH Demonstrator



**01. Systemintegration**  
(49,6 %) Eigenverbrauch

**02. Energiebedarf**  
(50,4 %) Strombezug vom Netz

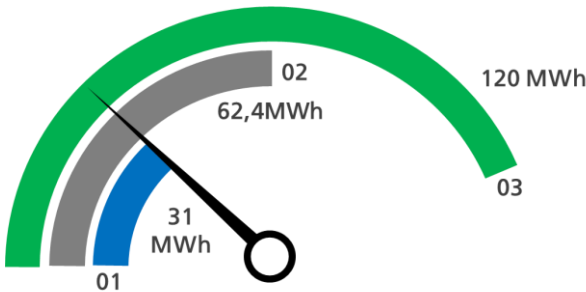
**03. PV-Erzeugung**  
(74,2 %) Einspeisung



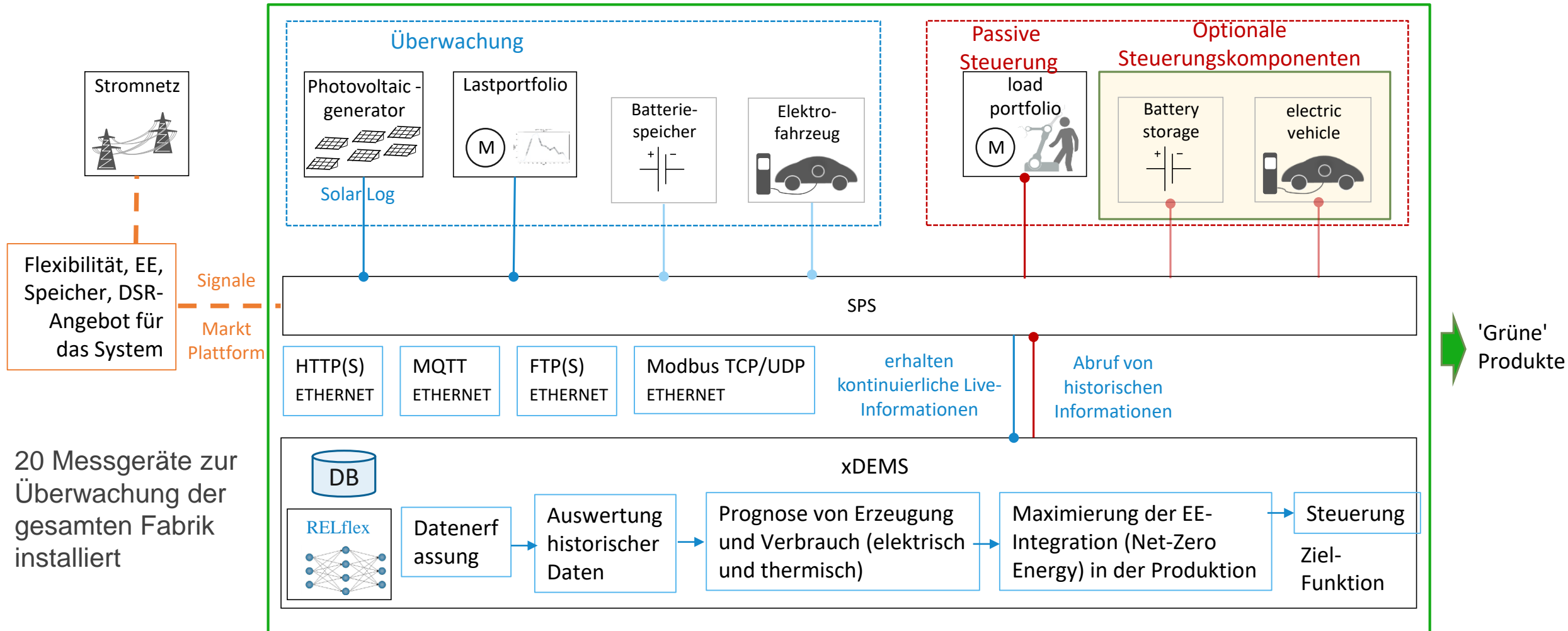
Tischlerei-  
Prozess



129 kWp installierte PV-Leistung



# IKT-Architektur für Net-Zero Energy Factory



# Net-Zero Energy Factory: aRTE Möbel GmbH Demonstrator

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
541,3497	2580,05	268,1664	5946,136	30,21678	188,2341	0	0,579764	18,01385	0,55169	22,97536	0,141611	0,097014	0,000491	587,1124	0	6032,708	0,56	587,7251	0,485344
793,4975	1495,328	99,05937	5948,39	29,44604	24,56832	0	0,724517	17,51744	0,451262	22,71525	0,144872	0,114615	0,000631	185,1685	0	6029,456	0,56	172,6875	2,925759
708,8217	7055,692	337,1326	6360,88	29,73134	258,1464	0,001218	0,015128	16,65766	0,079509	21,63796	0,080314	0,075678	0,002102	8083,294	0	6412,141	0,56	1067,06	6920,2
1008,303	11891,31	627,3878	6533,868	30,26197	548,8583	0	0,008797	16,9431	0,178245	21,91075	0,055464	0,126686	0,003254	3946,846	0	6612,46	0,56	2147,359	1808,019
5424,24	14628,28	593,8827	6594,684	29,77356	517,2562	0	0,552126	16,74114	0,227106	21,43787	0,229606	0,117598	0,011457	3884,859	0	6649,188	0,56	2786,048	1094,327
1191,025	16493,86	1884,403	7333,217	1457,701	400,6771	1,768173	0,036483	15,29153	0,004833	21,44501	1,128998	0,08998	0,00279	5151,168	0	7387,682	0,56	2482,894	2637,812
1083,651	12377,03	3074,977	7538,702	2332,668	860,3697	3,448	0,126667	15,28049	127,1155	21,954	2,364314	0,026157	0,005569	28086,62	0	7519,473	0,56	698,6122	27148,32
1096,108	10753,73	2220,959	8039,311	2266,747	26,72811	2,787466	0,081218	15,08686	593,8405	23,87637	3,121375	0,105069	0,000491	19610,82	0	7533,187	0,56	84,9134	14601,84
1124,743	8843,298	2628,922	7443,306	2322,611	371,4316	2,818841	0,081179	15,26521	79,95984	22,01224	2,301591	0,041945	0,001984	17112,48	0	7460,905	0,56	81,65245	6255,744
3011,569	17138,31	2719,551	8072,323	2342,923	424,3675	2,136863	0,51549	15,00629	1069,135	25,83002	0,090804	0,172392	0,00049	14745,47	40,79741	7122,367	0,56	81,35455	3964,884
3156,72	10268,93	2743,387	6776,196	2326,288	475,1165	2,669094	1,156161	15,47654	0	22,14059	1,949803	0,037461	0,000768	16638,64	243,308	6593,268	0,56	81,73065	5853,909
1805,256	487,5947	192,9134	6307,366	150,5933	25,05707	0,192672	0,407171	16,15552	0,14998	22,12752	0,301139	0,118193	0,019194	5071,555	242,8723	6113,785	0,56	85,11479	3850,654
1363,726	162,2613	97,69459	6271,42	31,0362	24,98361	0,002255	0,141431	16,45104	0,07998	22,12359	0,147431	0,081667	0,002431	6296,609	243,4271	6068,177	0,56	84,7479	3828,478
3644,624	10327,49	97,92039	8510,741	29,98089	25,93028	0,005689	0,099902	15,76835	0,014055	21,3789	0,105335	0,157913	0,000453	8837,155	2084,359	6502,208	0,56	353,178	3811,378
1696,879	13276,85	2710,594	7471,599	1931,573	863,1494	2,503772	0,013379	15,74212	0,015933	21,70271	1,362122	0,033124	0,002436	9890,677	288,5468	7183,681	0,56	749,1392	3784,654
1434,638	18965,77	2501,635	7313,34	2269,294	331,0715	3,260217	0,004213	15,03307	0	21,8723	1,694232	0,020276	0,000295	12105,06	285,6983	7049,748	0,56	3005,649	3703,176
1248,441	22406,04	1422,322	8794,065	507,6364	899,6375	0,738686	0,140333	15,41773	2,530569	19,85641	0,183745	0,033137	0,002745	8436,481	285,7776	8509,102	0,56	3013,28	3711,828
1340,396	20142,25	249,4702	7997,798	29,09706	179,4757	0,000489	0,014481	15,41049	183,659	20,63904	0,173483	0,041742	0,004012	7423,362	284,8167	7530,553	0,56	2874,51	4514,173
4577,159	9369,137	96,23159	6799,174	29,174	25,40925	0,001181	0,863031	15,79535	0,017953	21,22474	0,059291	0,066673	0,001909	7927,113	286,9264	6553,072	0,56	1514,01	6308,856
2134,515	8830,249	184,8834	6906,086	30,69957	108,3287	0,026444	0,040864	14,60234	0,005737	21,08175	0,001768	0,260472	0,000825	4892,407	285,8168	6663,555	0,56	1217,097	3653,991
2296,456	17017,07	879,3678	8089,673	29,16869	806,0287	0	0,148569	14,95806	0,002294	20,0528	0,000902	0,106392	0,000373	5831,76	285,9283	7822,273	0,56	2163,065	3635,106
1772,042	19641,39	272,769	8515,285	29,53684	169,0325	0,009725	0,038	41,88716	235,779	21,07257	0,248686	0,151961	0,000412	6461,954	284,6499	8090,189	0,56	2806,056	3601,803
1174,023	17561,51	424,9014	7777,145	29,6462	347,4951	0	0	14,71683	367,2685	22,26679	0,696476	0,18311	0,002933	4271,228	285,7812	7201,459	0,56	1291,961	2960,382
1141,955	17803,44	228,5507	7763,115	28,90466	156,953	0	0,024735	15,0864	256,8462	21,8353	0,407132	0,113261	0	2243,207	285,2493	7227,112	0,56	2227,389	24,10701

Herstellungsprozesse	Maximale Betriebsleistung in kW	Mindest-Betriebsleistung in kW	Mittlere Betriebsleistung in kW
Sägen	11.5	3.9	5.8
Fräsen	13.3	4.6	6.2
Bohren	12.1	4	5.9
Luftkompression	38.4	0.6	6.1
Luftabsaugung	29.6	2.6	14.3
Büro- und andere Lasten	53.5	2.8	21.6

Flexibilitätsindex

$$\phi = \frac{[P_{con}(t) - P_{ncon}(t)]}{\max[P_{con} + P_{ncon}]} * 100; t \in [t_{ip}, t_{fp}]$$

Fabrik-Eigenverbrauchsindex

$$FSCI = \frac{\int_{t_i}^{t_f} \min\{P_d(t), P_g(t)\} dt}{\int_{t_i}^{t_f} P_g(t) dt}$$

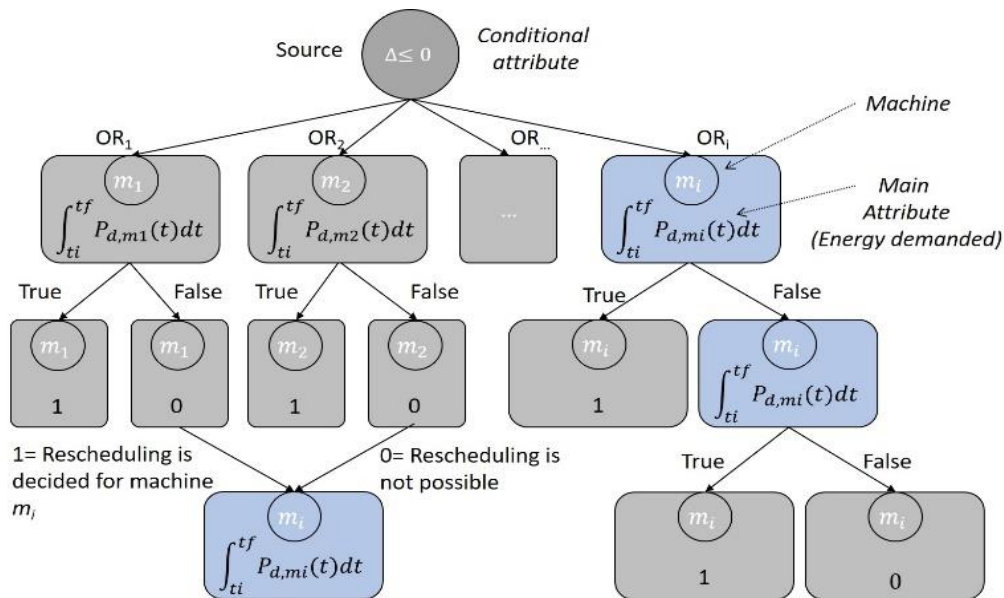
Matching-Effekt für NZEF

$$ME_{NZEF} = \frac{\int_{t_i}^{t_f} P_g(t) dt}{\int_{t_i}^{t_f} P_d(t) dt}, P_d(t) > 0 \cup P_g(t) \geq 0$$

# Net-Zero Energy Factory: aRTE Möbel GmbH Demonstrator

## Entscheidungsbaum-Algorithmus

Decision Tree

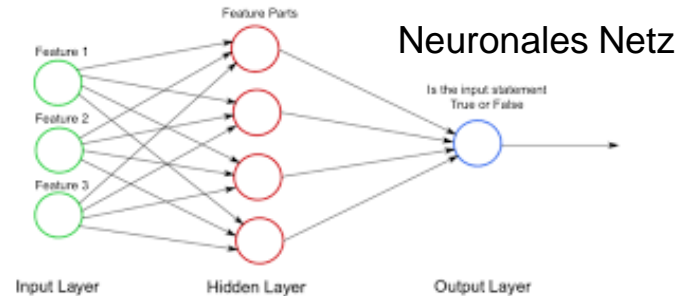


- Entscheidungsbäume machen Vorhersagen, indem sie an jedem Knoten des Baums eine Reihe von Entscheidungen treffen
- Mit einer ausreichenden Datenmenge kann der Entscheidungsbaum die Regeln des Modells lernen und diese individuelle Regel wird als Knoten im Entscheidungsbaum gespeichert
- Teil des Entscheidungsbaums sind die Vorhersagen über Erzeugung und Lasten

Bedingt Attribut

$$\Delta = \int_{t_i}^{t_f} [P_g(t) - P_{con}(t)] dt$$

Vorhersage PV-Leistung      Steuerbare Last



```

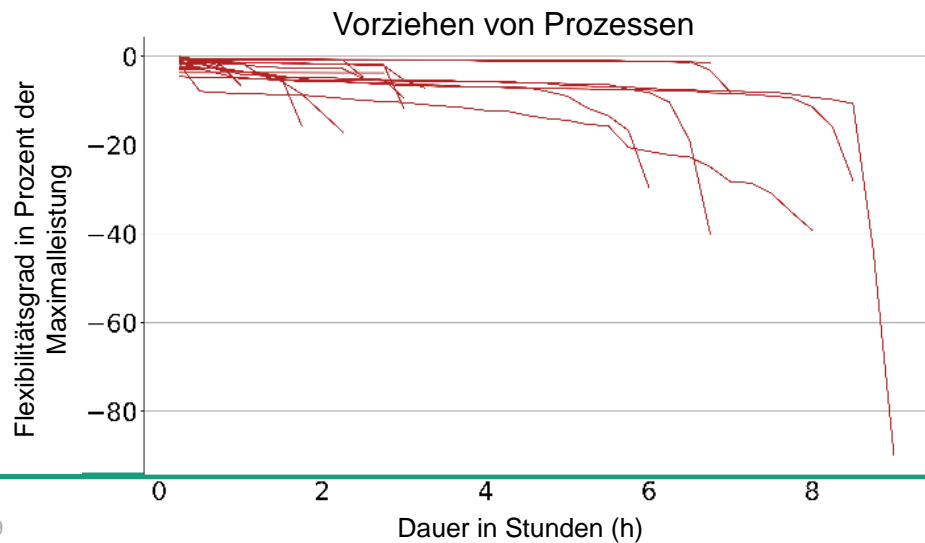
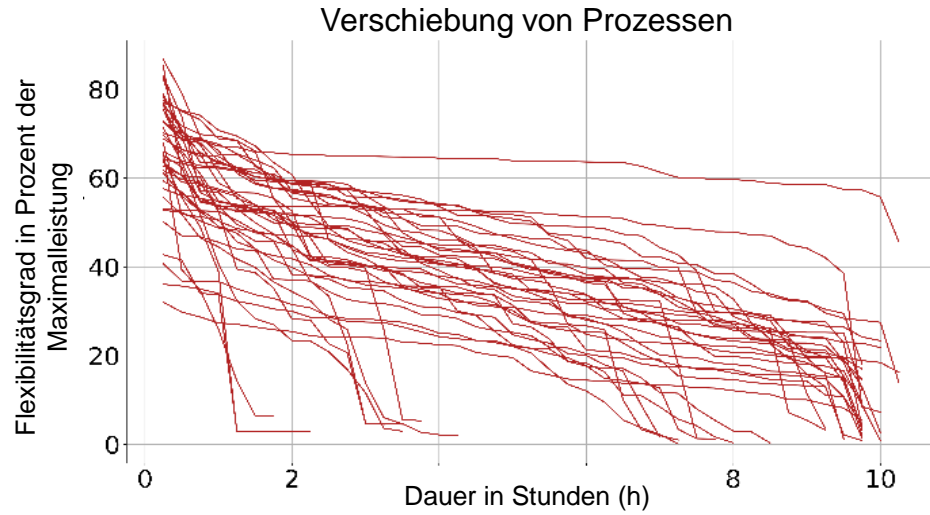
--- feature_1 <= 209.50
  --- feature_1 <= 75.50
    --- feature_1 <= 40.50
      --- feature_1 <= 13.50
        --- feature_1 <= 2.50
          --- feature_4 <= 80.50
            --- feature_0 <= 45000.00
              --- feature_4 <= 59.50
                --- feature_2 <= 2.97
                  |--- value: [6.64]
                  --- feature_2 > 2.97
                    |--- value: [6.59]
                    --- feature_4 > 59.50
                      --- feature_3 <= 94.50
                        |--- value: [6.97]
                        --- feature_3 > 94.50
                          |--- value: [7.10]
                          --- feature_0 > 45000.00
                            |--- value: [4.98]
                            --- feature_4 > 80.50
                              --- feature_4 <= 95.50
                                --- feature_3 <= 69.00
                                  |--- value: [2.22]
                                  --- feature_3 > 69.00

```

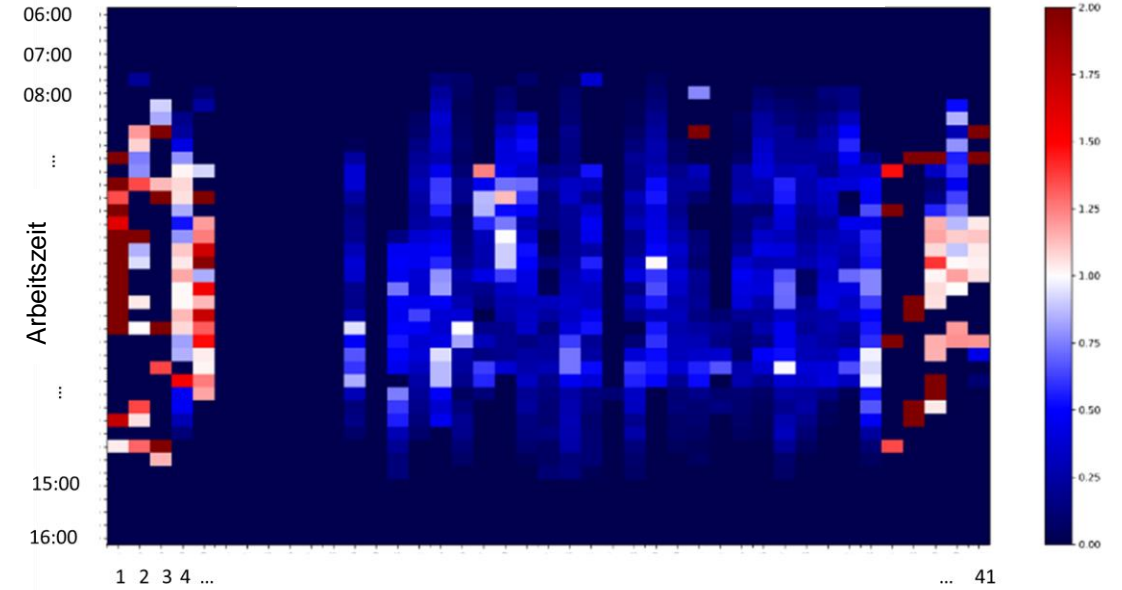


# Net-Zero Energy Factory: aRTE Möbel GmbH Demonstrator

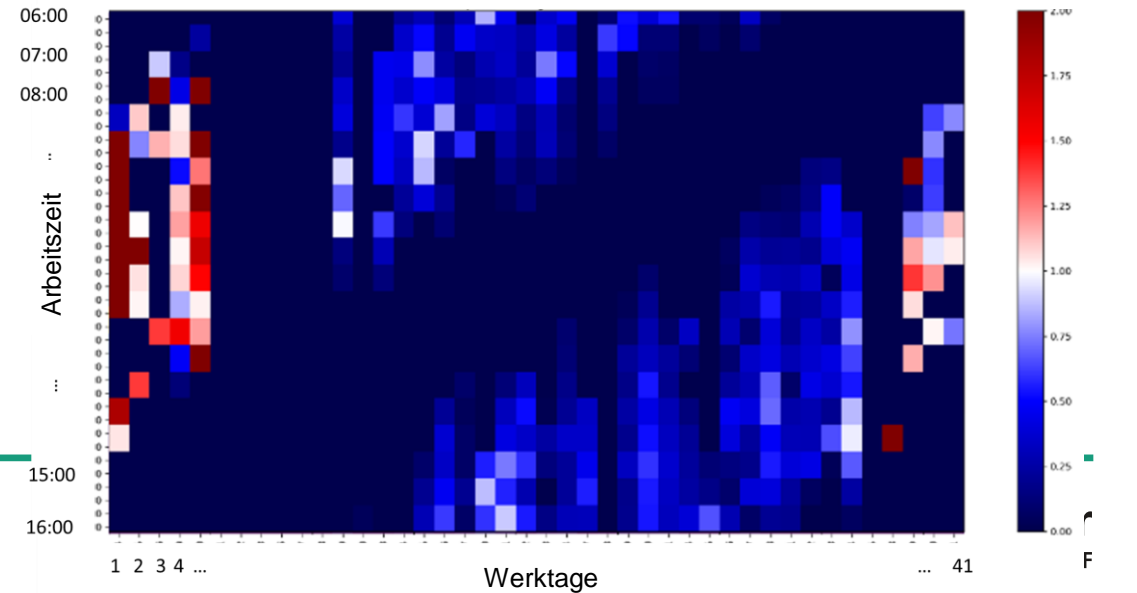
## Mobilisierung der Flexibilität



Heatmap der Anpassungswirkung für alle Lasten

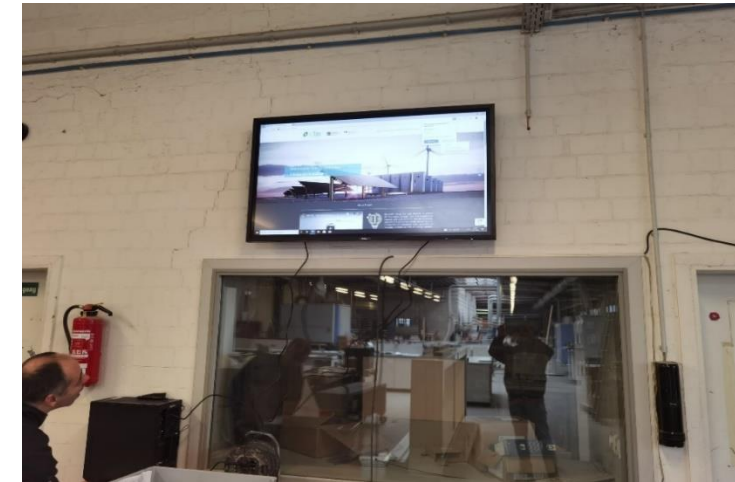
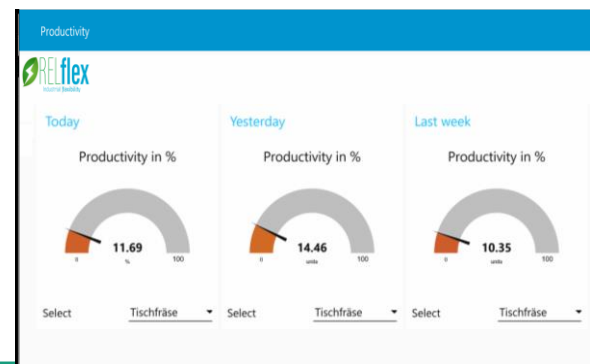
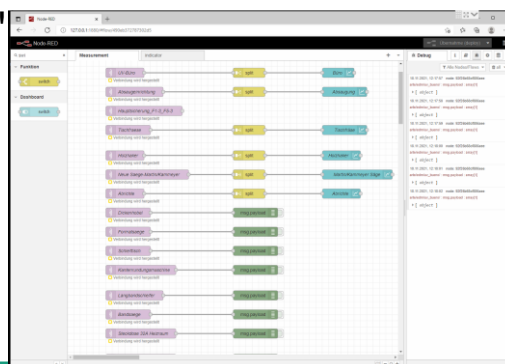
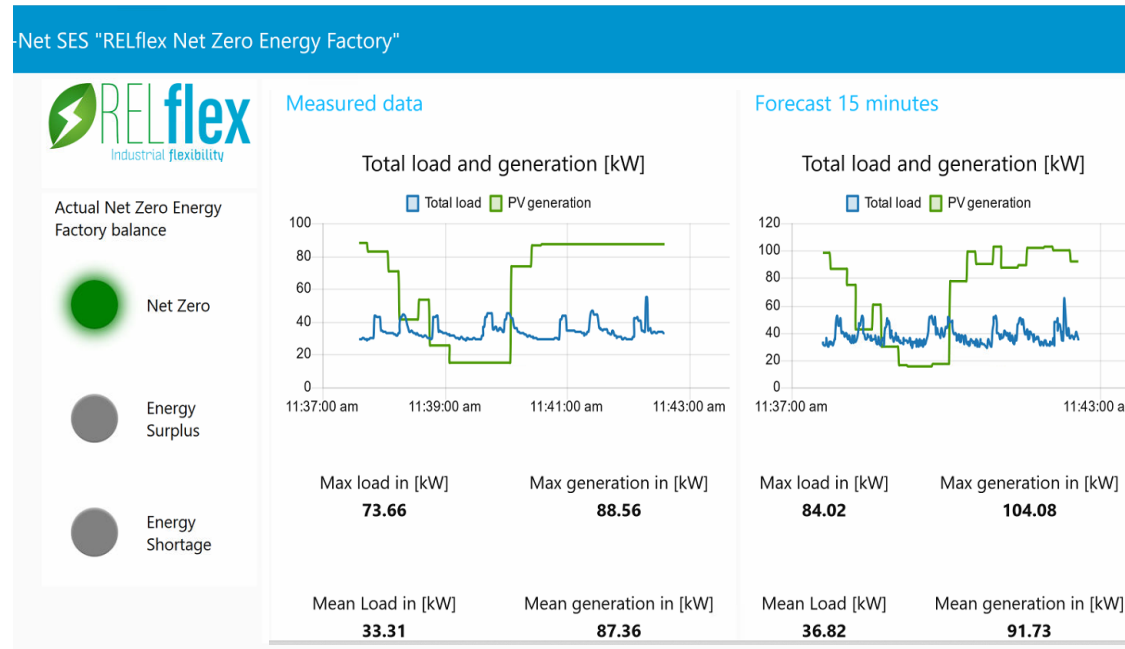


Heatmap der Matching-Effekt für alle Lasten unter Ausnutzung der ermittelten Flexibilität



# Energiemanagementsystem - Überwachung und Steuerung

- Analyse von Messdaten, PV-Prognose und Lastprognose
- Ampel für passive Laststeuerung
- Vorhersage der Arbeitsleistung
- Messung der "grünen" Produktion



# Zusammenfassung

- Methodik zur Identifizierung, Quantifizierung und Mobilisierung der Flexibilität innerhalb der Net-Zero Energy Factory
- Anforderung: Digitalisierung der industriellen Infrastruktur
- Unter Verwendung der entwickelten Methodik steigt der Anpassungseffekt zwischen PV-Erzeugung und industrieller Last auf bis zu 79 % (von 49 %).
- Die Investitionskosten für die Digitalisierung betragen ca. 20 k€
- Jährliche Kostenersparnis >3200 €
- Alternative nach Ablauf der PV-Einspeisevergütung
- „Grüne“ Produkte auf dem Markt
- Flexibilität für Systemdienstleistungen – neue Geschäftsmodelle

	Mess- geräte	Strom	Matching Effekt
Investition in €	20.000		
Preis in €/MWh		200	
EE-Integration in Prozesse %			79

## Ihre Ansprechperson



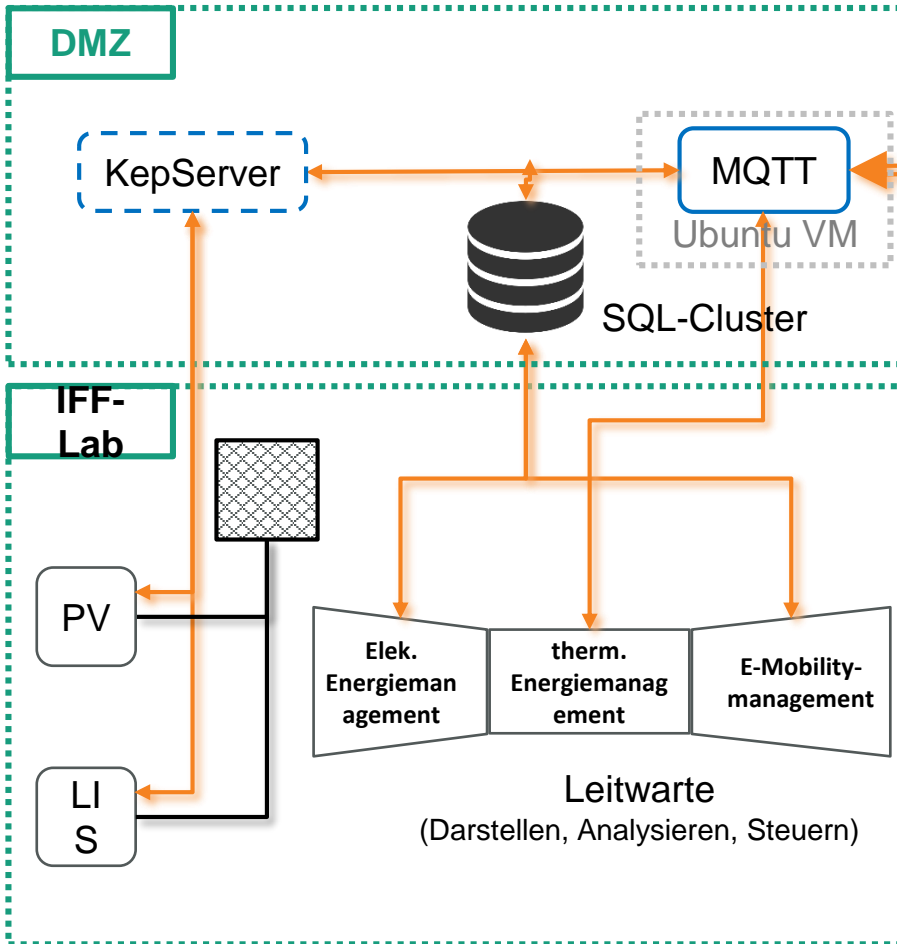
### **DR.-ING. BARTŁOMIEJ ARENDARSKI**

Phone +49 391 4090-145  
bartlomiej.arendrski@iff.fraunhofer.de

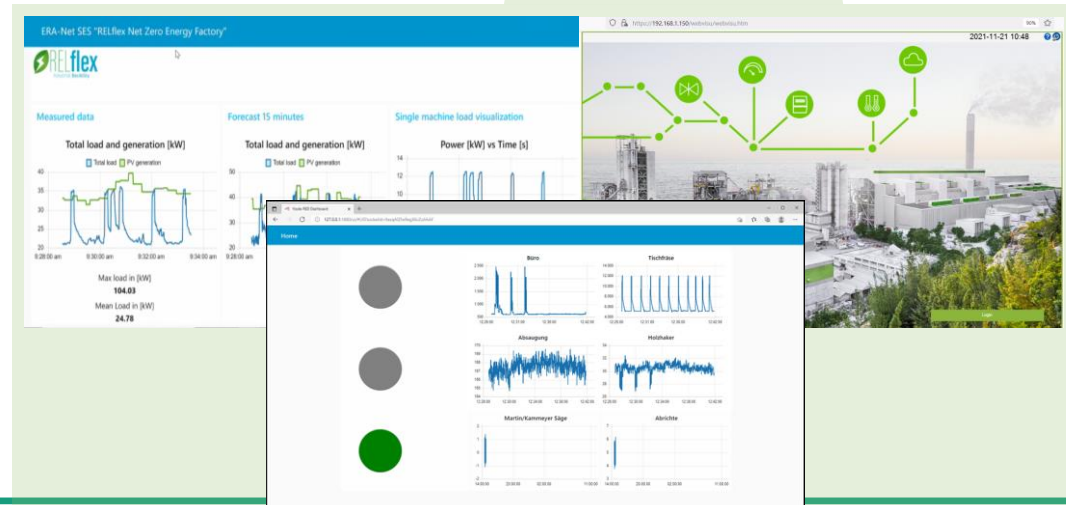
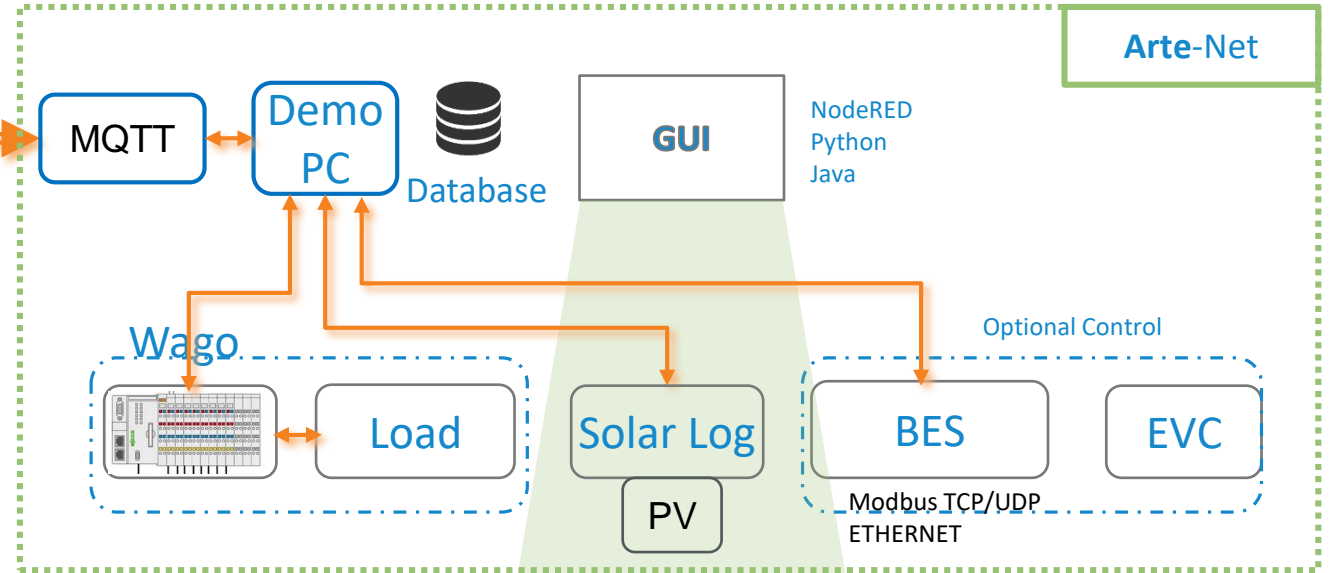
Fraunhofer IFF, Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg, Deutschland,  
[www.iff.fraunhofer.de](http://www.iff.fraunhofer.de)

# IKT-Architektur für NZEF

## Development Environment at Fraunhofer IFF



## Live system and demonstrator at SME aRTE Möbel



- Monitoring
- Passive control
- Active control
- Forecast
- Optimization