

**Praktische Erfahrungen bei der Vorhersage
verfahrenstechnischer Messwerte mit Hilfe
vertrauenswürdiger, deterministischer KI in
Zusammenarbeit mit der betrieblichen Leittechnik**

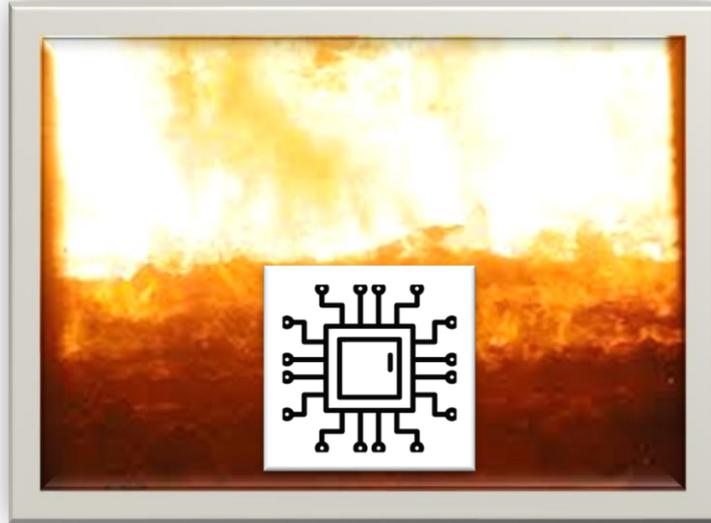
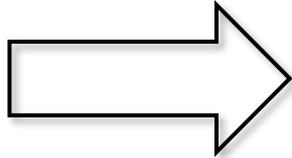
NeuronalNetworks! GmbH - Kurzübersicht

30+	14	~ 3 Mio.€	3
Jahre Erfahrung	Projekte**	Entwicklung	Produkte
Anlagen-Engineering:	Deutschland*	~ 20.000 Mann-Stunden Entwicklungsarbeit	AI-Prediction*
- Elektro- und Leittechnik	Niederlande*	mit ursprünglich ca. 9 Teammitgliedern	AI-Assistant
- Thermische Verfahrenstechnik	Österreich	Ausgründung von Uniper SE 2023	AI-Operator
- Regenerative Energien	Niederlande		
	England		

Inhalt des heutigen Vortrages

- **Einleitung** in den Vortrag /Schwerpunkte
- NNW - **Anwendungen** von deterministischer KI
- KI-**Interaktionen** mit der Leittechnik
- **Vorhersage** verfahrenstechnischer Größen in MVA's
- 10 praktische **Arbeits-Schritte** für eine deterministische KI
- **Anwendungsfälle**

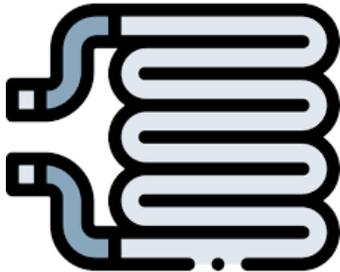
Einleitung in den Vortrag / Schwerpunkte 1v3



- KI
 - vertrauenswürdig
 - deterministisch
- Verfahrenstechnische Anlagen
 - hier speziell **Müllverbrennungsanlagen**
 - mit konventioneller Steuerung

Einleitung in den Vortrag / Schwerpunkte 2v3

- NeuronalNetworks! GmbH (NNW) ist zurzeit spezialisiert auf die Vorhersage verfahrenstechnischer Größen wie zum Beispiel:
 - Dampfproduktion
 - NO_x/NH₃ im Rauchgas



Einleitung in den Vortrag / Schwerpunkte 3v3

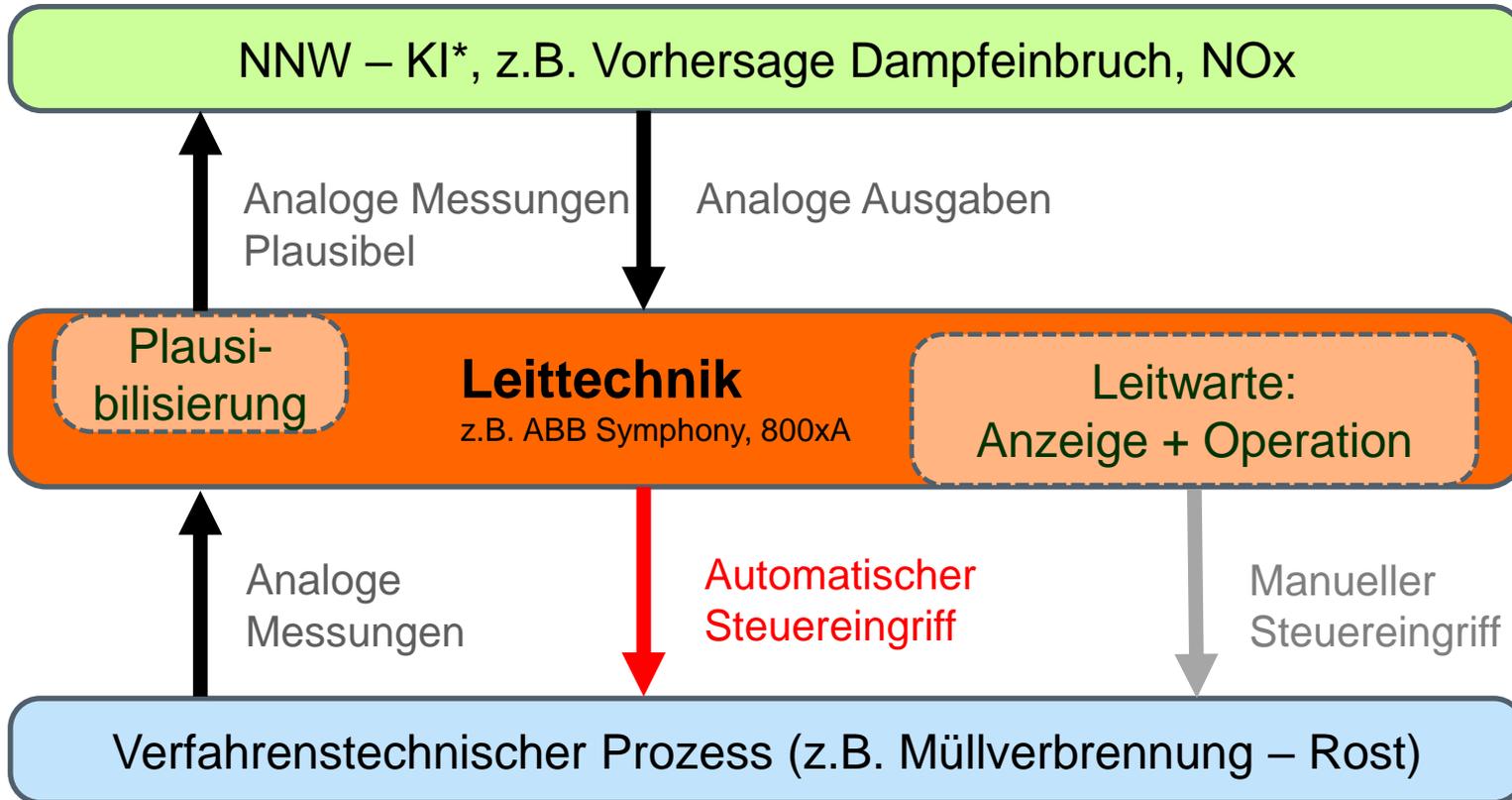
- Darstellung des Signalweges von der Messung bis zur Auswertung im Leitsystem
- Lernalgorithmus in Python Tensor Flow oder Cuda-C (NVIDIA)
- Focus Learning ©
- KI – Tools zur Optimierung während des laufenden Betriebes:
 - Optimierung und Anpassung des KI-Lernalgorithmus
 - Binäre Verknüpfungslogik im Leitsystem

NNW - Anwendungen von deterministischer KI

- **Deterministische KI** aus Sicht NNW
 - Vorhersagbarkeit
 - Reproduzierbarkeit
 - Fehlerbehebung und Debugging
 - Einfache Implementierung und Wartung
 - in z.B. verfahrenstechnischen (thermischen) Anlagen

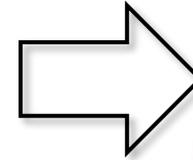
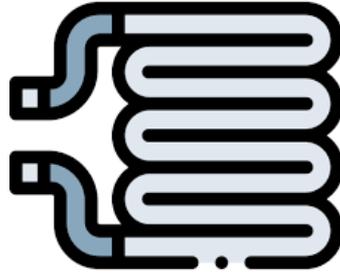
- **NNW - Anwendungen**
 - Vorhersage verfahrenstechnischer Größen (Schwerpunkt des Vortrages)
 - Steuerung von (Teil-) Anlagen

KI-Interaktionen mit der Leittechnik



Vorhersage verfahrenstechnischer Größen in MVA's

- Dampfproduktion
 - Einsparung fossiler Brennstoffe
 - CO2 Einsparung



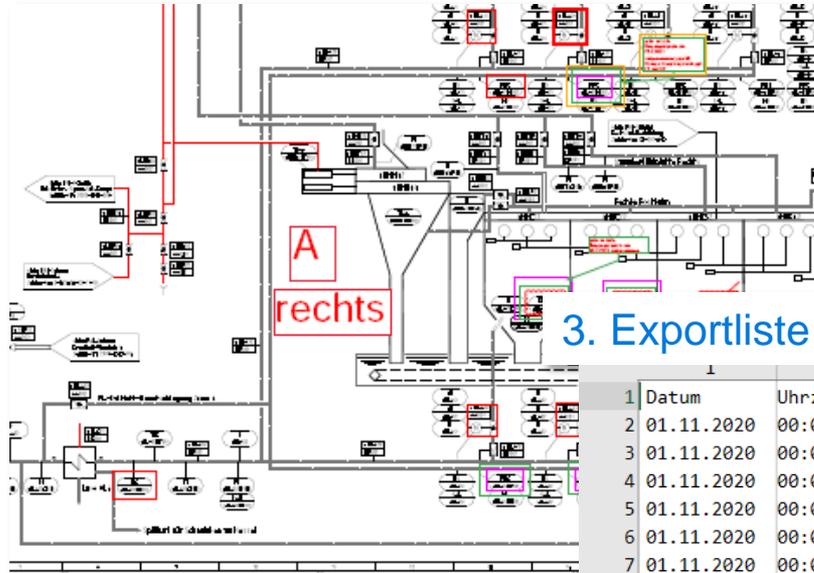
- NOx/NH3 im Rauchgas
 - Einsparung kostenintensives Ammoniak

10 praktische Arbeits-Schritte für eine deterministische KI

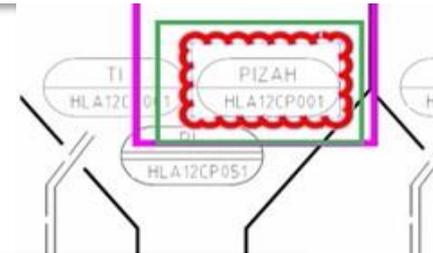
1. Export von ca. relevanten 50 Messungen aus der Verfahrenstechnik
2. Korrelationsanalyse* von den Messungen zu den Vorhersagen
3. Auswahl der Messungen mit den höchsten Korrelationen
4. Nutzung der NNW-KI-Tools © zur Aufbereitung der Lernmuster
5. Anlernen des neuronalen Netzes mit NNW Cuda-C Lern-Algorithmus ©
6. Auswertung der Ausgänge mit binärer Verknüpfungslogik © im Leitsystem
7. „Offline-Commissioning“* mit Lern- und Testmustern
8. Optimierung des Lern-Algorithmus mit NNW Cuda-C Focus-Learning ©
9. Laden der Skalierungsdatei und der Wissensbasis in die Automatisierung
10. Start der deterministischen KI

1. Export von ca. relevanten 50 Messungen

1. Kennzeichnung der Messungen im R&I



2. Details zur Messung



3. Exportliste der Messungen

	1	2	3	4	5	6
1	Datum	Uhrzeit	xHLA21CP001.X1	xHLA11AA001.A1	xHLA11CP001.X1	xHLA21AA001
2	01.11.2020	00:00:00	15,29	104,03	18,44	99,8
3	01.11.2020	00:00:30	14,94	104,03	18	99,8
4	01.11.2020	00:01:00	15,34	104,03	18	99,8
5	01.11.2020	00:01:30	14,73	104,03	17,56	99,8
6	01.11.2020	00:02:00	16,53	104,03	19,27	99,8
7	01.11.2020	00:02:30	16,24	104,03	18,78	99,8
8	01.11.2020	00:03:00	16,89	104,03	19,3	99,98
9	01.11.2020	00:03:30	16,68	104,03	19,25	100
10	01.11.2020	00:04:00	16,37	104,03	18,88	100
11	01.11.2020	00:04:30	15,98	104,03	18,51	99,86
12	01.11.2020	00:05:00	15,54	104,03	18,06	99,93
13	01.11.2020	00:05:30	15,31	104,03	17,75	100

2. und 3. Korrelationsanalyse (Data Science)

	A	B	C	D	E	F	
			12HTA10C Q954Q01# 4#Nox ende kessel >		12HTA10C Q954Q01# 4#Nox ende kessel < -		12HTA10C Q00 5#Nox ende kessel
1	Stamm-KKS steht für 21 Derivate!	Text	0,3	max	0,3	min	0,3
2	10LBA50CF041Q02	Dampf Regeler ausgang	WAHR	0,32	FALSCH		FALSCH
3	12HTA10CQ002Q01	O2 ende kessel	WAHR	0,64	WAHR	-0,46	FALSCH
4	12HTA10CQ003Q01	CO ende kessel	FALSCH		WAHR	-0,53	FALSCH
5	12HTA10CQ007Q01	SO2 messung nach e-Filter	WAHR	0,41	WAHR	-0,49	FALSCH
6	10HBK01CT043Q01	Temperatur rost 3	WAHR	0,63	FALSCH		FALSCH
7	10HBK01CT044Q01	Temperatur T4 Feurraum 12 meter	WAHR	0,62	FALSCH		FALSCH
8	10HBK01CT045Q01	Temperatur T5 (dach temperatur kessel)	WAHR	0,32	WAHR	-0,39	FALSCH
9	10HHL14CP001Q01	Druck OW zone 4	WAHR	0,38	FALSCH		FALSCH
10	10HHQ22CP001Q01	Druck SW zone 2	WAHR	0,35	WAHR	-0,32	FALSCH
11	10HFB10DS001Q01	Rest 1 %	WAHR	0,35	FALSCH		FALSCH

4. Aufbereitung der Lernmuster

1. Daten in definiertes Format mit Berechnung der Derivate

1	2	3	4	5	6
KKS	Eingang	Ausgang	Timestamp	Messwert [Messwert]	Gradient [Messwert]
12HTA10CQ954Q01	1	0	01.11.2023-03:12:36	98,19725800	2,81074524
12HTA10CQ009Q01	1	0	01.11.2023-03:12:36	1,24984741	-0,03890991
10LBA50CT041Q01	1	0	01.11.2023-03:12:36	400,00781250	1,00000000
10LBA50CF041Q02	1	0			
12HTA10CQ002Q01	1	0			
12HTA10CQ003Q01	1	0			
12HTA10CQ007Q01	1	0			
12HTA10CQ954Q01.X1	0	1			
12HTA10CQ954Q01.X2	0	1			
12HTA10CQ954Q01.X3	0	1			

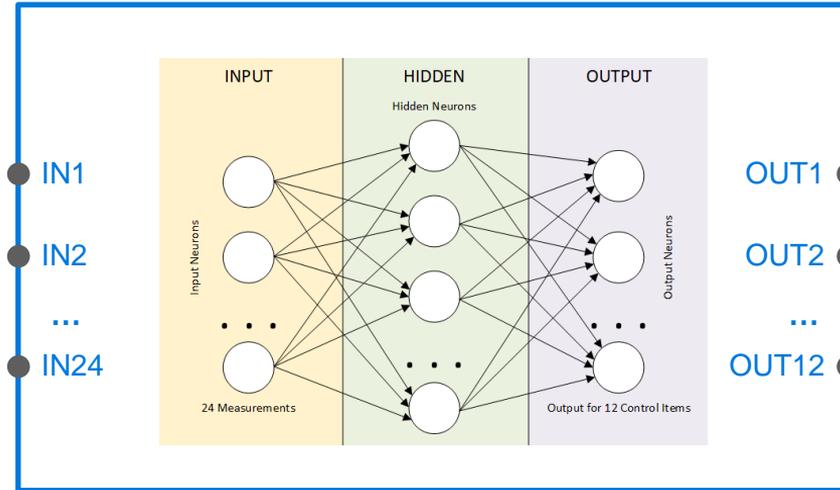
2. Transformation der Daten in den Zahlenbereich [0;1]

01-PG_23022024-153653_pattern.pat
1 0.15117043 0.49952223 0.66505734 0.23002498 0.20409163
2 0.47094495 0.48392035 0.49769980 0.48928447 0.37511619
3 0.15117043 0.49946687 0.66496932 0.23010526 0.20413817
4 0.47091336 0.48388655 0.49766705 0.48926124 0.37508642
5 0.15139004 0.49960015 0.66505795 0.23029857 0.20444890
6 0.47082159 0.48372643 0.49752189 0.48924739 0.37503003
7 0.15139004 0.49961478 0.66512000 0.23027736 0.20451720

5-1. Anlernen des neuronalen Netzes mit Cuda-C

Eingänge: 24 Messwerte

- Ergebnis der Korrelationsanalyse
- Historie
- Derivate: abgeleitete Werte, z.B. Gradient und Krümmung und Totzeiten



Ausgänge: 12

- Vorherzusagende Größen
- Mehrere Zeitvorhersagen möglich: z.B. 5 min bis 30 min in die Zukunft
- KI kann mit Totzeiten umgehen



versus



- In der Regel höhere Rechengeschwindigkeit
- Viele Eingriffs- und Optimierungsmöglichkeiten

5-2 Anlernen des neuronalen Netzes mit Cuda-C

```
E:\Akquise_E\Speicher\7_Training>batchnet_short_MVA_CUDA_V-22-0_210726_16-19_MK2-M1024-Pages_{ON-063-R-Thread-240222-16-5
6E-11 -A1E-12 -m0.01 -G8E-11 -b1.03 -H1.03 -I0.95 -J3 -L4 -N0.8 -U0 -Q0.0 -z0.999 -O1.2 -x0.0 -V0.4 -T0.0 -Y0.0 -S0.0 -C1
fig_MVA.txt
batchnet_short_MVA_CUDA, F. Gebhardt, Version: 220301: 01.03.2022 15:30
*****
batchnet_short_MVA_CUDA_V-22-2_210905_03-35_MK2-M1024-Pages.cu
GPU spezifiziert: 0

Muster= 36864; Pages= 36 No weightstop, normal learning with all neurons!
No Actor shape, normal learning with all actors!

Training...
Lade GPU ... GPU geladen
Start Iterationsschleife

2 E *1.00579E-06 dF +1.006E-06 ZdF 0 6.00E-11 ETA 9.50E-09 F_ETA -5.0E-02 F4 1.00579E-06 1.00579E-06 0.00000E+00
4 E *1.00576E-06 dF -2.660E-11 ZdF 0 6.02E-11 ETA 1.05E-08 F_ETA +5.0E-02 F2 1.00576E-06 1.00576E-06 0.00000E+00
6 E *1.00573E-06 dF -3.251E-11 ZdF 0 6.04E-11 ETA 1.15E-08 F_ETA +5.0E-02 F2 1.00573E-06 1.00573E-06 0.00000E+00
8 E *1.00572E-06 dF -8.185E-12 ZdF 0 6.09E-11 ETA 1.27E-08 F_ETA +5.0E-02 F2 1.00572E-06 1.00572E-06 0.00000E+00
10 E *1.00585E-06 dF +1.286E-10 ZdF 1 6.09E-11 ETA 1.15E-08 F_ETA -5.0E-02 F4 1.00585E-06 1.00585E-06 0.00000E+00
```



*1.00576E-06

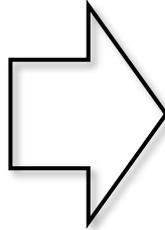
Gesamt-Fehler wird kleiner

dF -2.660E-11

Delta-Fehler negativ

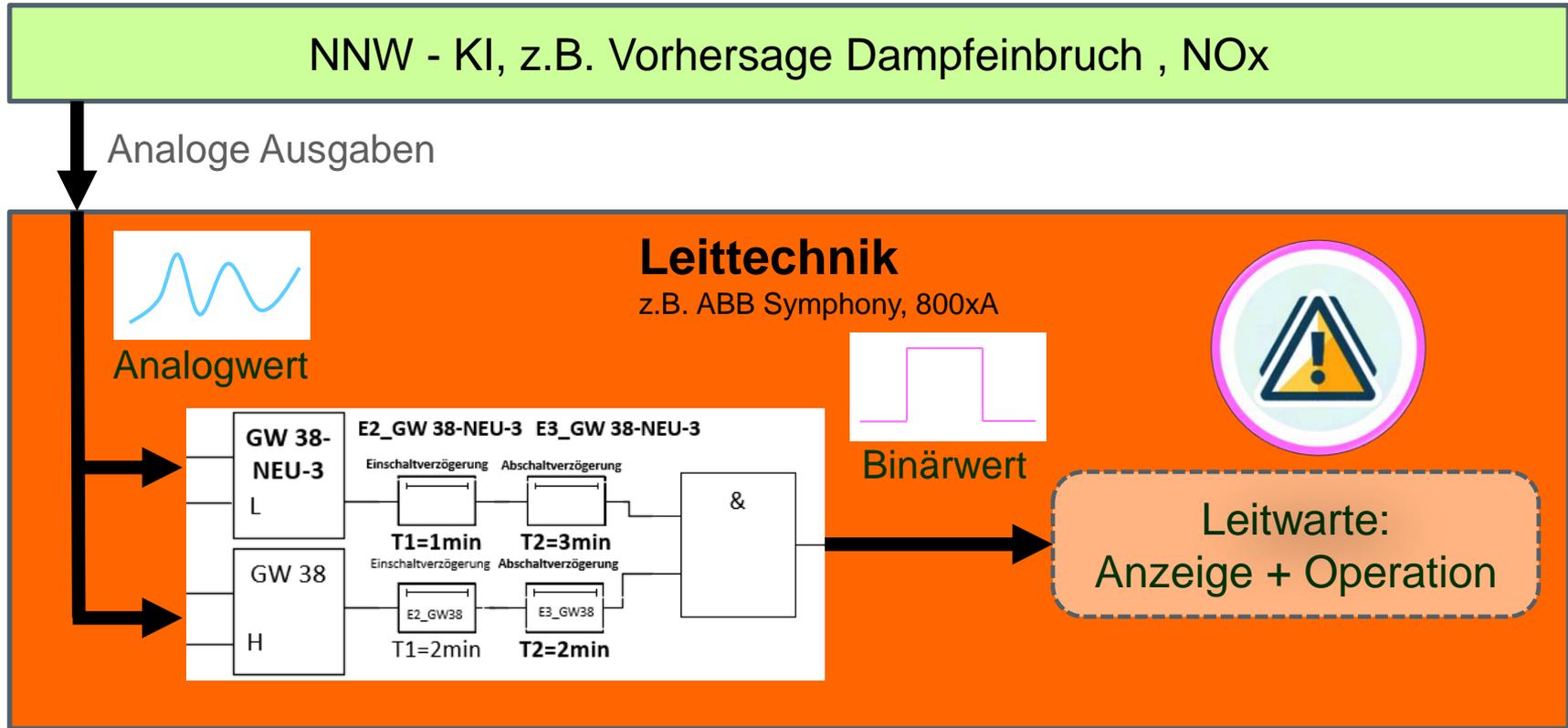
ZdF 0 6.02E-11

Sollwert:
| Delta-Fehler |

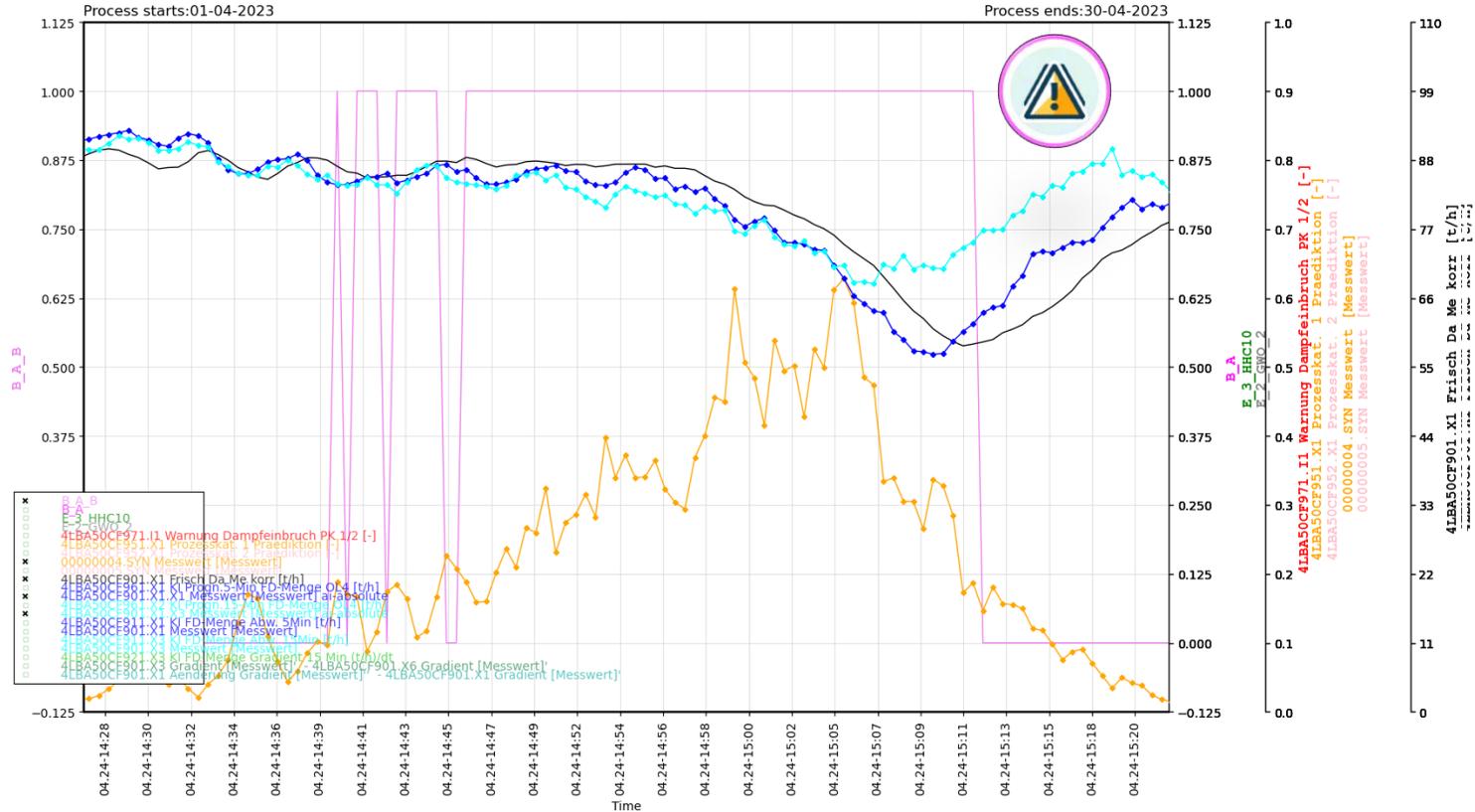


Fehler-Regelkreis für Backpropagation-Algorithmus

6. Auswertung Ausgänge mit binärer Verknüpfungslogik



7. Offline-Commissioning mit Lern- und Testmustern



8. Optimierung des Lern-Algorithmus mit Focus-Learning

```
E:\Akquise_E\Speicher\7_Training\2_mit-Focus-Learning\Cuda_NEU_210522_15-09_{ON-0231-R-Thread-221021-17-51}.exe -d1.0E-4 -e2 -k0.1 -F6E-9 -A1
1 -G8E-9 -b1.03 -H1.1 -I0.9999 -J3 -L4 -N0.8 -U0 -Q0.0 -z0.9999 -O1.1 -x0.1 -V0.95 -T0.0 -Y0.0 -S0.0 -C100 -P0.0 -W0.88 -R0.98 batchconfig_MV
batchnet_short_MVA_CUDA, F. Gebhardt, Version: 221021: 21.10.2022 16:26
*****
batchnet_short_MVA_CUDA_V-22-2_210905_03-35_MK2-M1024-Pages.cu
GPU spezifiziert: 0

Muster= 72704; Pages= 71 No weightstop, normal learning with all neurons!
No Actor shape, normal learning with all actors!

Training...
Lade GPU ... GPU geladen
Start Iterationsschleife

2 E *1.49512E-03 dF +1.495E-03 ZdF 0 6.00E-09 ETA 9.00E-09 F_ETA -1.0E-01 F4 1.58457E-03 1.39290E-04 1.12194E-03 8.28368E-05 6.00025E-01
4 E *1.49503E-03 dF -9.150E-08 ZdF 0 5.40E-09 ETA 7.29E-09 F_ETA -1.0E-01 F1 1.58452E-03 1.39286E-04 1.12226E-03 8.28606E-05 6.00050E-01
6 E *1.49460E-03 dF -4.340E-07 ZdF 0 4.86E-09 ETA 5.90E-09 F_ETA -1.0E-01 F1 1.58428E-03 1.39265E-04 1.12412E-03 8.29977E-05 6.00074E-01
8 E *1.49347E-03 dF -1.129E-06 ZdF 0 4.37E-09 ETA 4.78E-09 F_ETA -1.0E-01 F1 1.58402E-03 1.39242E-04 1.13437E-03 8.37547E-05 6.00099E-01
```



1.58452E-03 1.39286E-04 1.12226E-03 8.28606E-05 6.00050E-01

LM =
Lernmuster

LM-1-Fehler
bezogen auf
LM-1

LM-1-Fehler
bezogen auf
LM-1+2

LM-2-Fehler
bezogen auf
LM-2

LM-2-Fehler
bezogen auf
LM-1+2

Focus-Learning
Verstärkung

9. Laden der Skalierungsdatei und der Wissensbasis

Skalierungsdatei

	1	2	3	4	5	6
1	KKS	Eingang	Ausgang	Timestamp	Messwert [Messwert]	Gradient [Messwert]
2	12HTA10CQ954Q01	1	0	Normierung	13727,08654785	22618,47808837
3	12HTA10CQ009Q01	1	0	Normierung	3,46650694	4,01620483
4	10LBA50CT041Q01	1	0	Normierung	68,28125000	19,98046875
5	10LBA50CF041Q02	1	0	Normierung	50,00000000	57,75244140
6	12HTA10CQ954Q01.X3	0	1	Offset	342,27263235	-598,57037176
7	12HTA10CQ954Q01.X4	0	1	Offset	473,17899514	-538,97923412
8	12HTA10CQ954Q01.X5	0	1	Offset	523,50098220	-55,40548248
9	12HTA10CQ954Q01.X6	0	1	Offset	521,41951332	-83,42909851
10	12HTA10CQ954Q01.X7	0	1	Offset	516,44993700	-103,35389551
11	12HTA10CQ954Q01.X8	0	1	Offset	512,80504594	-61,31913090
12	12HTA10CQ954Q01.X9	0	1	Offset	503,50470153	-28,66509823
13	12HTA10CQ954Q01.X10	0	1	Offset	488,75321453	-14,52390702
14	12HTA10CQ954Q01.X11	0	1	Offset	479,64187147	-8,84729732
15	12HTA10CQ954Q01.X12	0	1	Offset	464,56986933	-4,41302955
16						

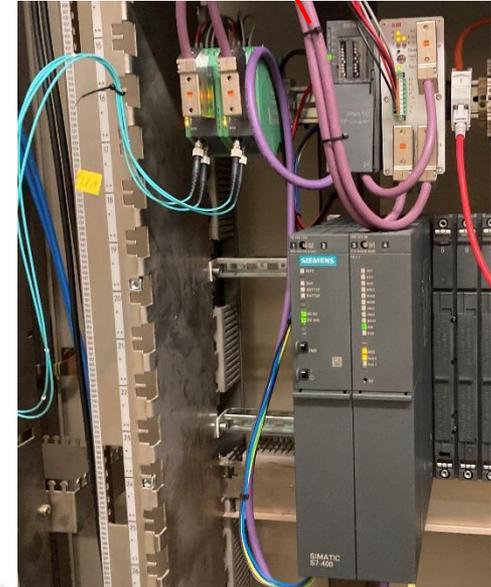
Wissensbasis

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.0902982	-0.0266183	-0.0237721	0.135282	0.290816	0.464677	1.13248	-0.0228517↓
2	-0.0162464	-0.00200132	-0.0289992	-0.0303384	-0.0367892	0.139287	-0.0135432	-0.0166638↓
3	0.105481	-0.0129044	-0.0171196	0.0607319	-0.0164786	0.0167556	-0.00326908	-0.0207121↓
4	-0.00410066	-0.0447829	-0.0628513	-0.0991695	0.0121915	0.0114647	0.0344496	-0.0107358↓
5	0.0121852	-0.0199961	-0.0248437	0.00354406	-0.00692499	-0.00858199	-0.0168383	-0.00268856↓
6	0.0102623	0.0105437	-0.000368899	-0.000857978	-0.00634213	-0.000953333	0.000187509	0.00777105↓
7	0.0109353	-0.0145499	-0.0472524	-0.061596	0.00301115	0.00540111	-0.0130176	-0.00193115↓
8	-0.0211925	-0.00256248	0.00192599	-0.0590336	-0.0340499	0.0126696	-0.0257017	-0.000583243↓
9	-0.029286	-0.0230175	0.00286816	0.00189301	0.00261959	0.0162652	-0.0283398	-0.00941911↓
10	-0.0235242	-0.0448099	-0.0261999	-0.0255154	0.00632806	-0.0209311	-0.0385397	-0.0068835↓
11	-0.0147283	-0.0158087	-0.00806398	-0.0245005	-0.126147	-0.0650257	-0.0350205	-0.104876↓
12	-0.0980237	-0.103073	-0.193693	-0.0602787	-0.0480052	-0.0381534	-0.0506605	-0.0647221↓

162848

NEURONALNETWORKS!

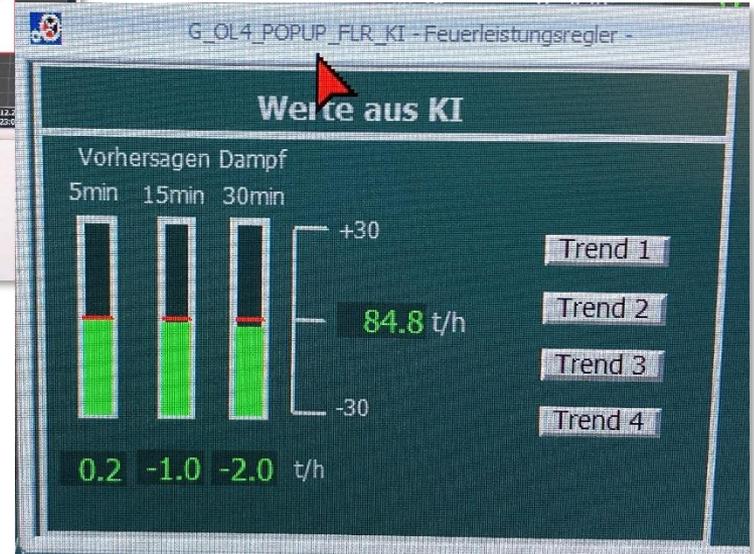
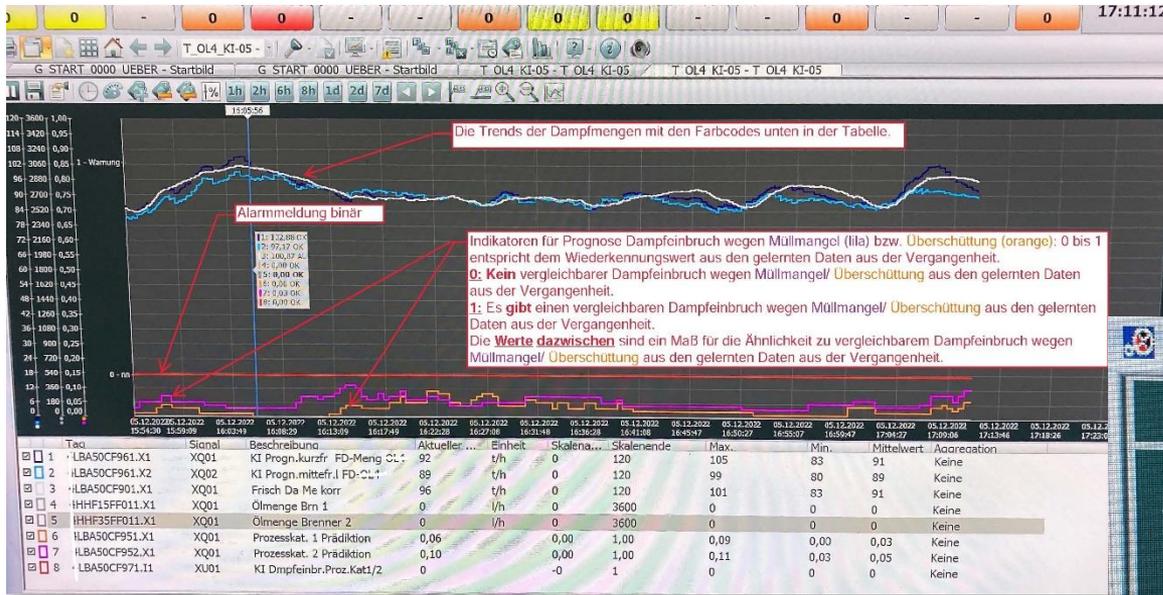
Profibus zur HLT



Simatic S7 für Laufzeit KI

HLT=Hauptleittechnik

10. Start der deterministischen KI



Wir haben unsere KI für unterschiedliche Anwendungsfälle entwickelt

Projekt Referenzen (Auszug)

Rostfeuerung: Müll / Biomasse

- Vorhersage Dampfeinbrüche*
- Vorhersage NOx- und NH3 Spitzen*
- Vorhersage CO-Spitzen*
- Reduzierung Emissionen und Steigerung Dampfproduktion und Mülldurchsatz durch **Optimierung Verbrennungsprozess***
- Verringerung Kesselverschmutzung / Verlängerung Reisezeit durch **Reduzierung Kesseltemperatur***

Wirbelschicht

- Steuerung Verbrennungsluft**

Gaskessel

- Steigerung maximaler Leistung durch Vertrimmung Verbrennungsluft (Gas-Kessel)**





NEURALNETWORKS!

Frank Gebhardt

Geschäftsführender Gesellschafter

Frank.Gebhardt@neuralnetworks.de

+49 177 611 5983

