

MSG Lichtbogenschweißen für den Ultraleichtbau

Ergebnispräsentation des Forschungsprojektes ChopArc

GFaI-Teilprojekt: Adaptive MultiSensorik und Analyse zur Erfassung und Optimierung der Prozessqualität (ADAMUS)

Echtzeitregelung des modifizierten Kurzlichtbogens

Dr. Michael Langula, GFaI e.V.

- Reduktion des Energieeintrags weit unter bisherige MSG-Prozessgrenzen
- Steuerung der Schmelzbaderstarrung
- Optimierung der Prozessqualität in Echtzeit

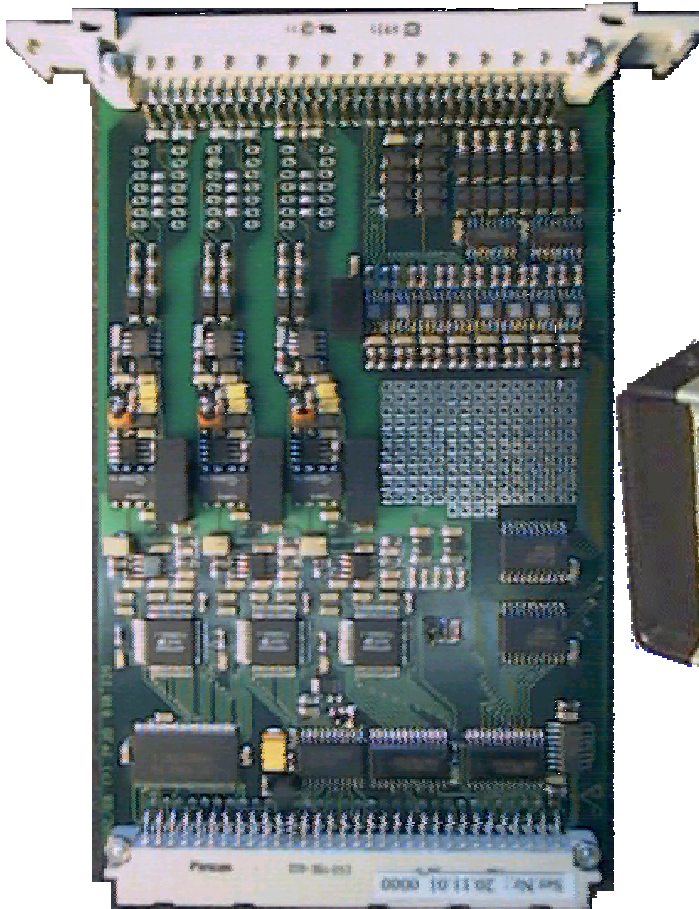
- Anpassung des Datenrekorders der akustischen Kamera zur Schweißdatenerfassung
- Merkmalsanalyse und Extraktion
- Prototyp RISC-Steuerung
- Erarbeiten einer Regelstrategie
- Funktionsmuster der ADAMUS-Steuerung



Erfasste Schweißparameter

- Schweißstrom
- Schweißspannung am Brenner und der Stromquelle
- RGB-Farbinformation des Lichtbogens (DC/AC)
- Lichtbogen-Akustik
- Drahtgeschwindigkeit (Inkrementalgeber)
- Push-/Pullmotorspannung
- Triggerzeitpunkt Highspeed-Kamera
- Lasertakt
- Führungsgröße Sollstrom
- Systemzustand des Steuerprozessors



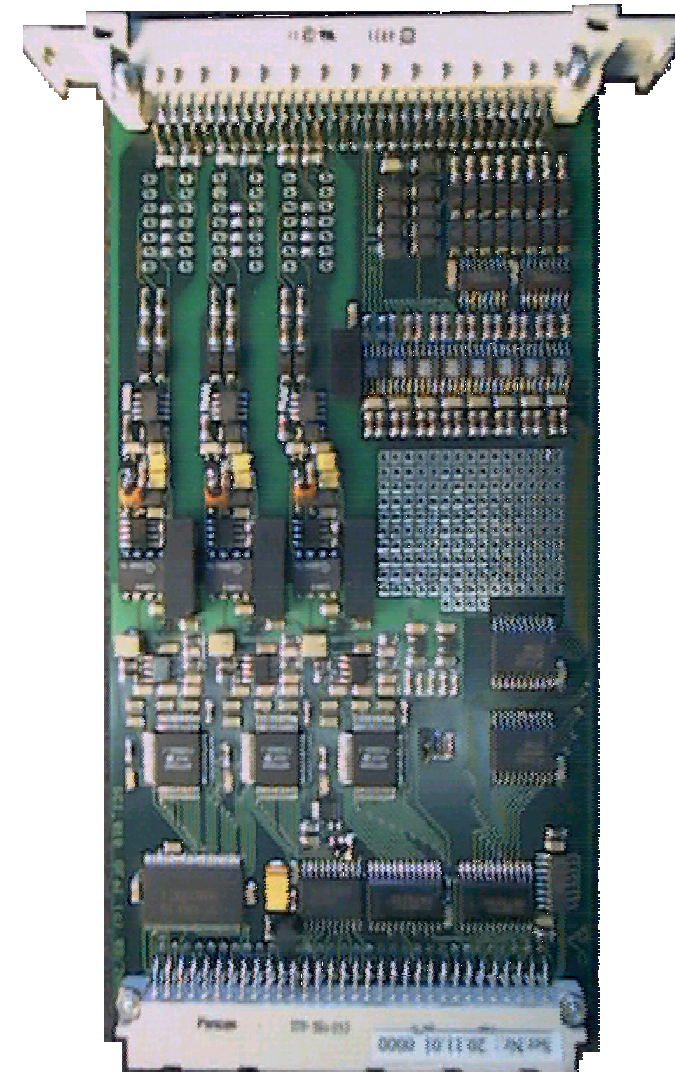


DC SCI 010



DC SCP 010

- 8 Bit galvanisch entkoppelte Digital-Input-Schnitt-stelle mit erhöhter Störfestigkeit und elektrischer Kompatibilität zu folgenden Schnittstellen: TTL, CMOS, RS232, RS422
- DC/DC-Wandler zur Spannungsversorgung eines angeschlossenen Sensors
- 3 analoge Kanäle zur Erfassung von DC- und AC-Signalen
- Galvanische Trennung der Signaleingänge von der Systemelektronik
- Anschlussmöglichkeit von Sensoren mit U- und I-Ausgang
- Je Kanal 3 fest einstellbare



Verstärkungsfaktoren

Samplerate 12...192 kS/s

Buffer 64 MBit (87...5,5 sec)

analog IN 3 x 16 Bit, digital IN 16 Bit

- Analog Input Mode

- AC differentiell Spannung (+/- 1.25 V)

- AC Strom (+/- 1.25 mA)

- Verstärkungseinstellung in 7dB Schritten
von -28-+84 dB

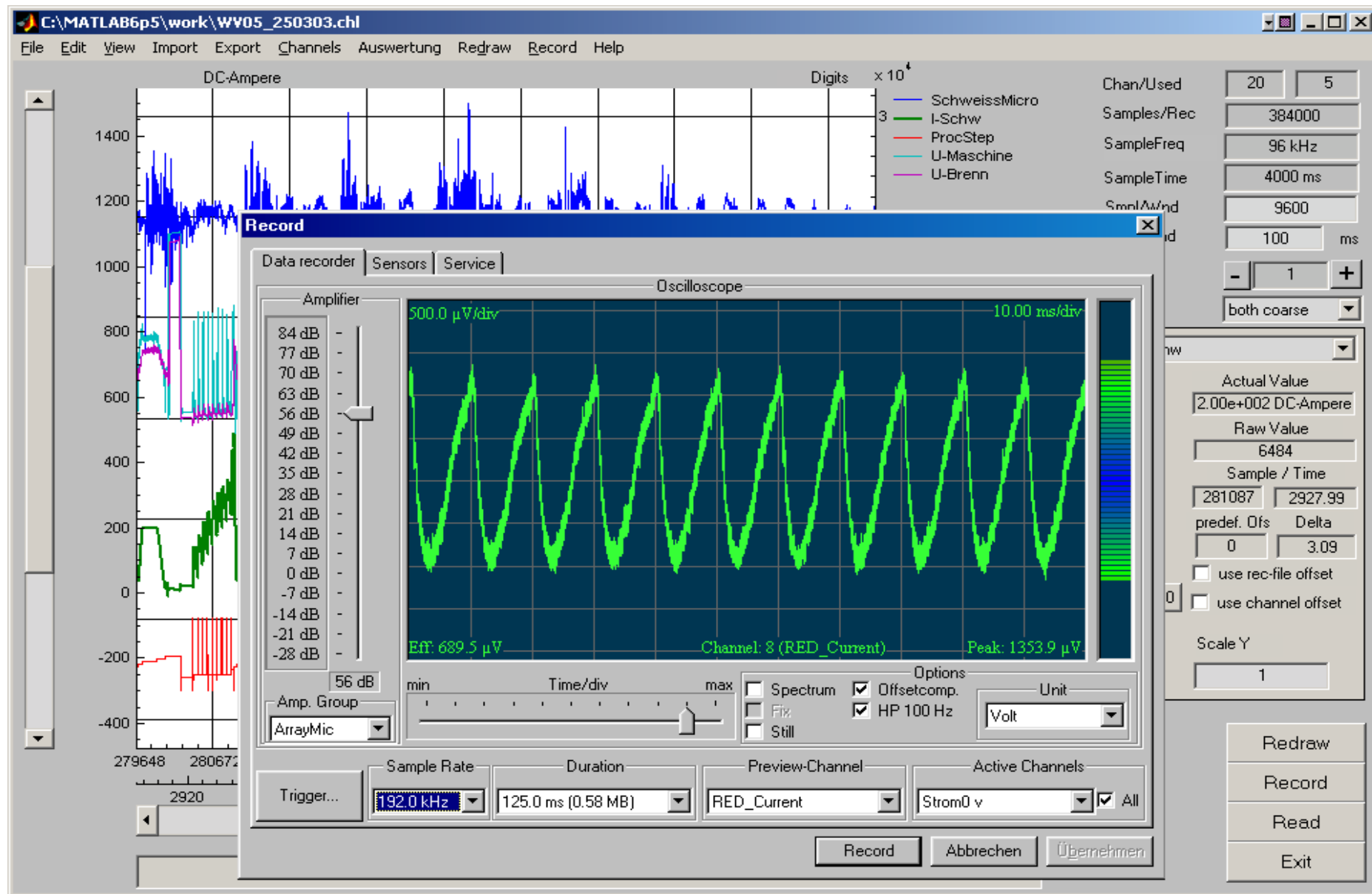
Digital Input Mode 16 Kanäle binär:

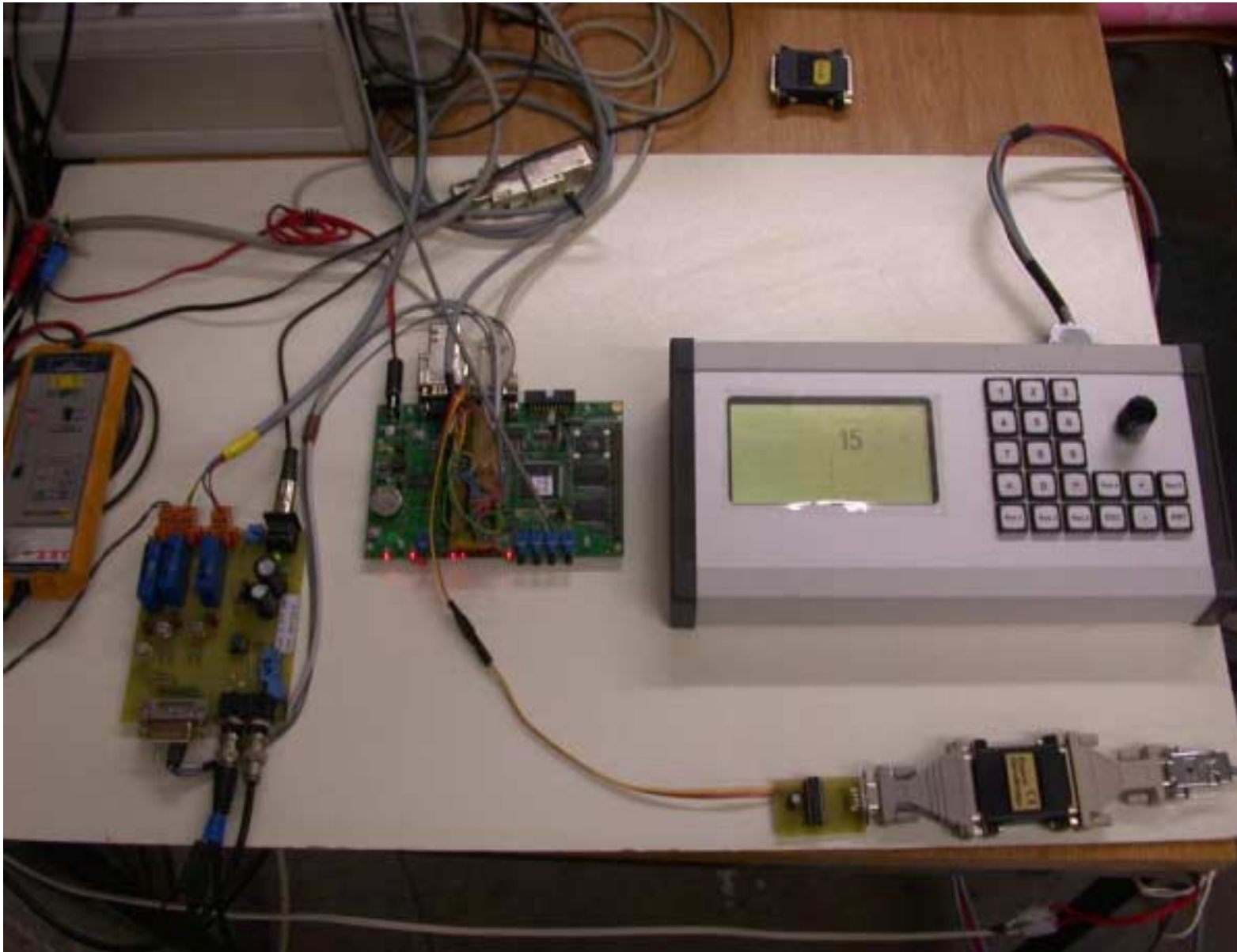
- 4 Kanäle hexadezimal

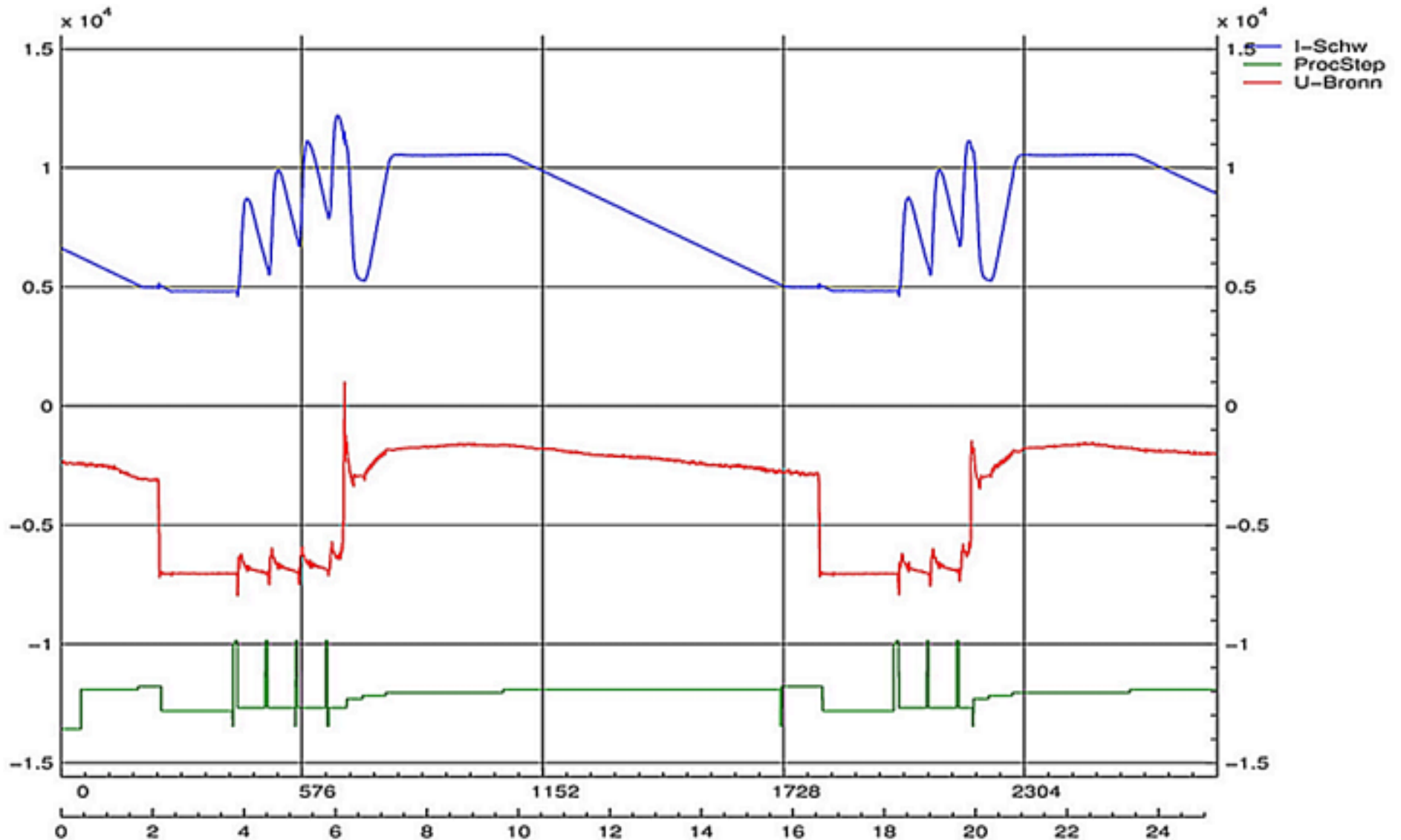
- 2 Kanäle int*8 oder IGR

- 1 Kanal int*16









Prozessparameter	Merkmal
Spritzer	Auftreten und Dauer von Notaufschmelzimpulsen
Werkstoffübergang (Schmelztemperatur und Tropfenübergang)	Dauer Zündphase
Energieeintrag	Frequenz, Δf und Auftreten Notaufschmelzimpulse
Nahtüberhöhung	U_{LB} , Hochstromphase, Niederstromphase, v_{Draht}
Zinkabdampfung	U_{LB} Abfall, ΔU , spektrale Veränderung
Nahtunterbrechung	ΔU , spektrale Veränderung, evtl. Lichtbogenspannungsänderung
Schwankungen des Drahtvorschubes	Δf , Auftreten Notaufschmelzimpulsen
Spaltbreite der Naht	ΔU
Verunreinigungen der Oberfläche	Eventuell ähnlich der Zinkabdampfung
Diskontinuitäten in der Gasversorgung	Kurzzeitige oder über mehrer Pulse verteilte Änderung des Plasmas (ΔU , Δf , Notaufschmelzimpulsen, Auftreten der Leerlaufspannung)

Grundsätzlich gilt für den modifizierten KLB/ChopArc:

- Der Prozess ist bisher nicht mit vertretbarem Aufwand analytisch beschreibbar.

- Der Merkmalsraum ist hochdimensional:

Es gibt mehr als 60 Eingangsparameter für den Prozessablauf

Für die Prozessbewertung können ebenfalls mehr als 10 Parameter betrachtet werden

- Eine Bewertung möglicher Auswerteverfahren setzt eine große Datenbasis voraus

Für eine automatisierte Prozesssteuerung geeignete Merkmale sollten aus dem Prozesszustand einfach erfassbar sein, z.B.:

- Anzahl der „Sägeimpulse“
- Dauer der Lichtbogenbrennphase
- Unvollständige Zyklen
- Lichtbogen-Spannung in der Hochstromphase

Und daraus abgeleitet:

- Statistische Informationen über die Historie der Zyklen
- Tendenz der Veränderungen gemessener Zustandsgrößen

Warum Evolutionsstrategien (ES) ?

- Konventionelle (deterministische) Optimierungsverfahren benötigen meist analytisch vorliegende Gütefunktionen
- ES ermöglichen modellfreies Optimieren bei Vorliegen eines messbaren Gütekriteriums (Nachteil: hoher Versuchsaufwand)

Warum keinen genetischen Algorithmus (GA) ?

- GA erfordern eine geschickte Kodierung der Problemstellung in eine entsprechende binäre Datenrepräsentation, diese ist i.a. aufwendig und schwierig
- Es existieren kaum theoretisch begründete Verfahren zur internen Adaption von Strategieparametern

Allgemeine Eigenschaften:

- Im Gegensatz zu "blinden" stochastischen Suchverfahren (Monte-Carlo-Methoden) lernen ES aus Erfolg und Misserfolg
 - ↳ systematische Suche (stochastische Gradientenverfahren)
- ES sind eher für eine robuste lokale Optimierung, GA mehr für globale Optimierung geeignet (dafür sind GA weniger stark kausal)

Spezielle Eigenschaften moderner Algorithmen:

- Einsatz adaptiver Verfahren zur Schrittweitensteuerung
- Automatische Anpassung an lokale Topologie der Gütefunktion (CMA – Covariance Matrix Adaptation [Hansen/Ostermeier '96, 2001])

Evolutionsstrategie zur Untersuchung des Merkmalraumes und der Wirkung von Parameteränderungen

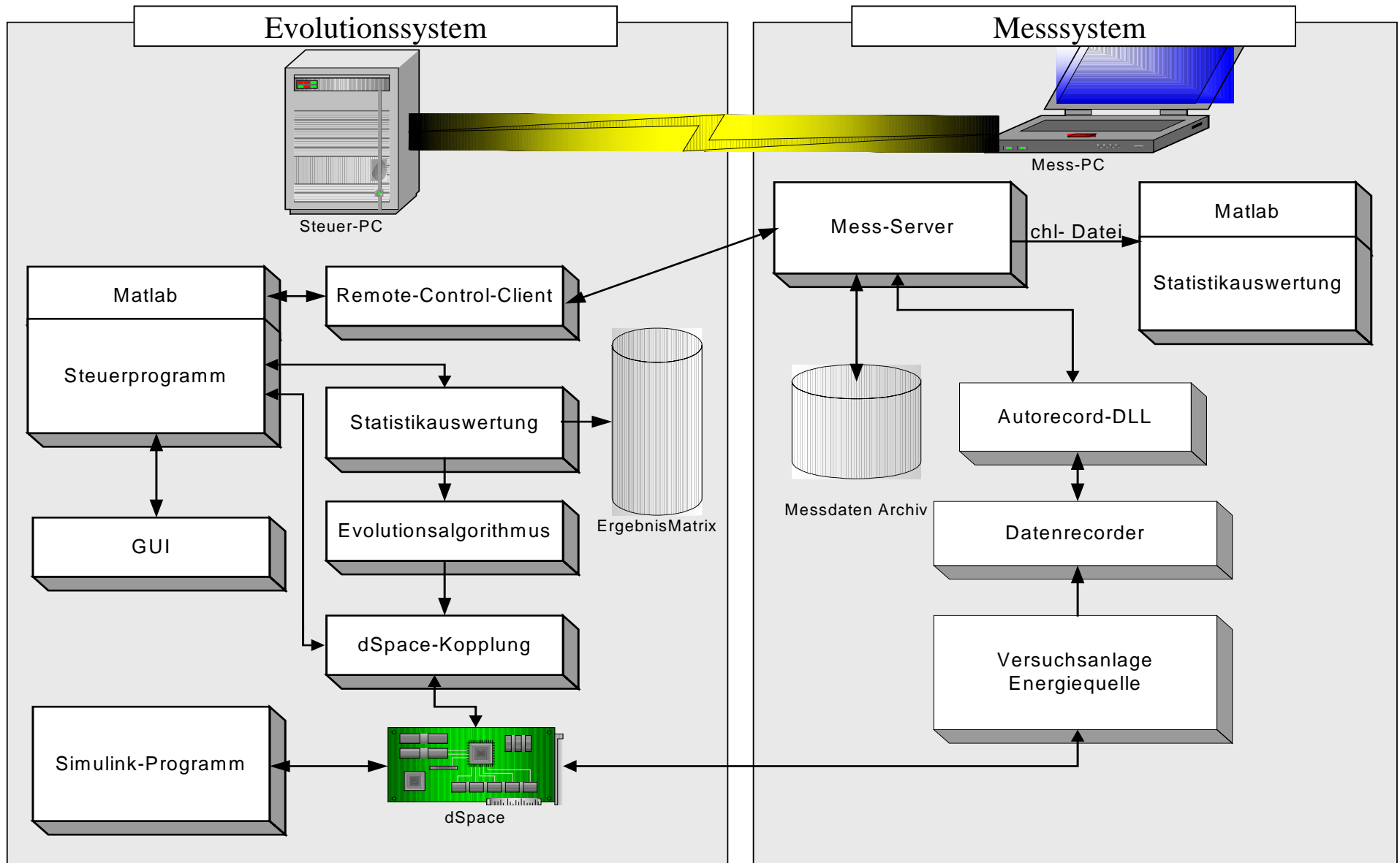
- Einsatz eines adaptiven Verfahrens zur Schrittweitensteuerung
- Vorversuche zur Ermittlung eines geeigneten aussagekräftigen Qualitätsfaktors
- Festlegung der individuellen Gewichtungsfaktoren für die Prozessmerkmale

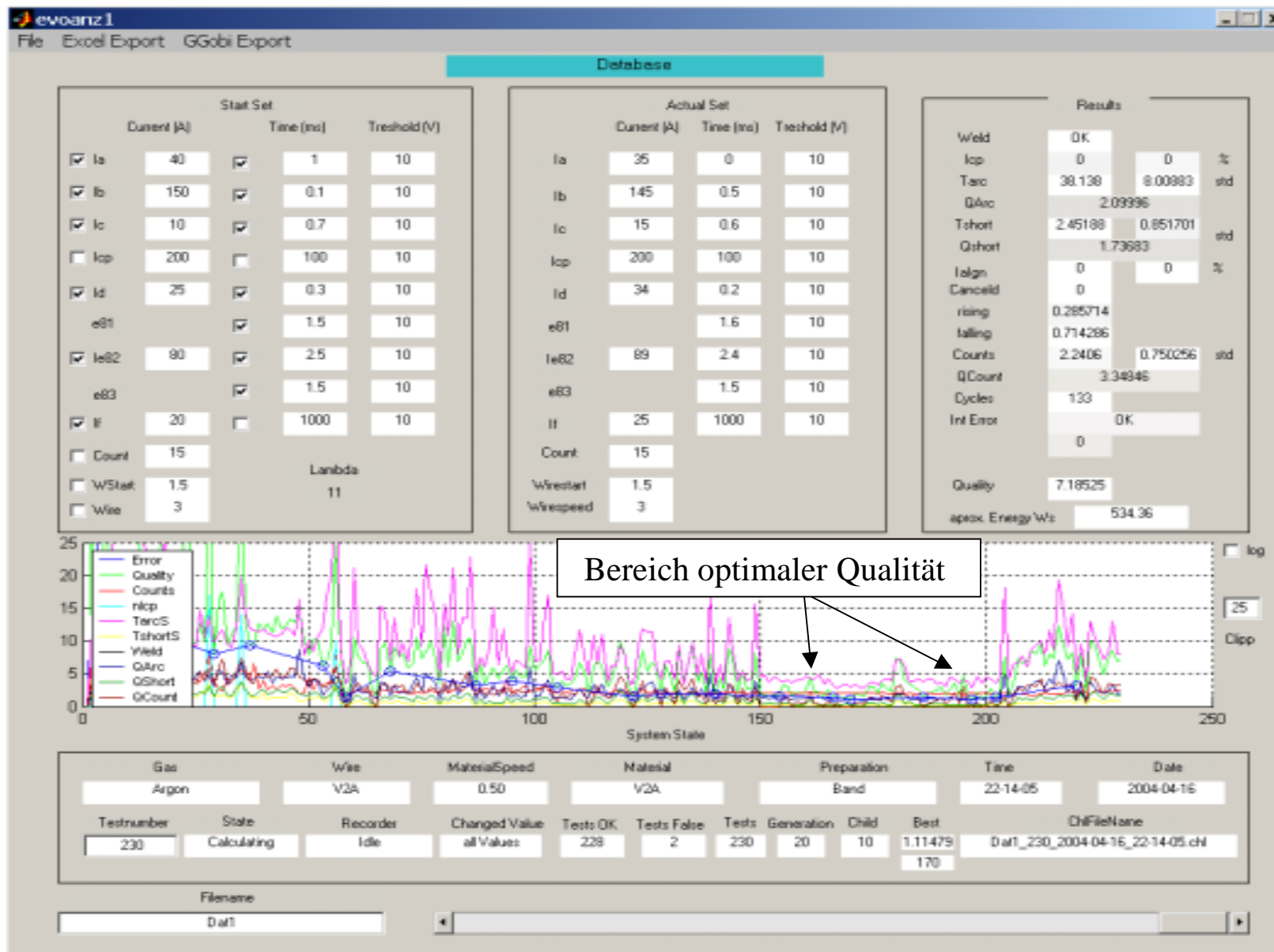
Ziel: Gewinnung eines Merkmalsraumes mit ableitbaren Tendenzen der Parameterabhängigkeit zum Entwurf einer Regelstrategie

- Auswahl der Einzelkriterien für die multikriterielle Optimierung
- Behandlung binärer Kriterien (Ja/Nein-Entscheidungen)
- Festlegung der individuellen Wichtungsfaktoren
- Reduktion der Dimension des Eingangsvariablenraumes durch subjektive Vorauswahl der technologischen Prozesssteuerparameter
- Festlegen der Parametergrenzen und der Start-Schrittweiten
- Behandlung von unzulässigen Eingangseinstellungen



Festlegen einer optimalen Gütefunktion





Versuchsbedingung

Auftragsnaht

50*0,5mm CrNi Band

0,5m/min

Draht:

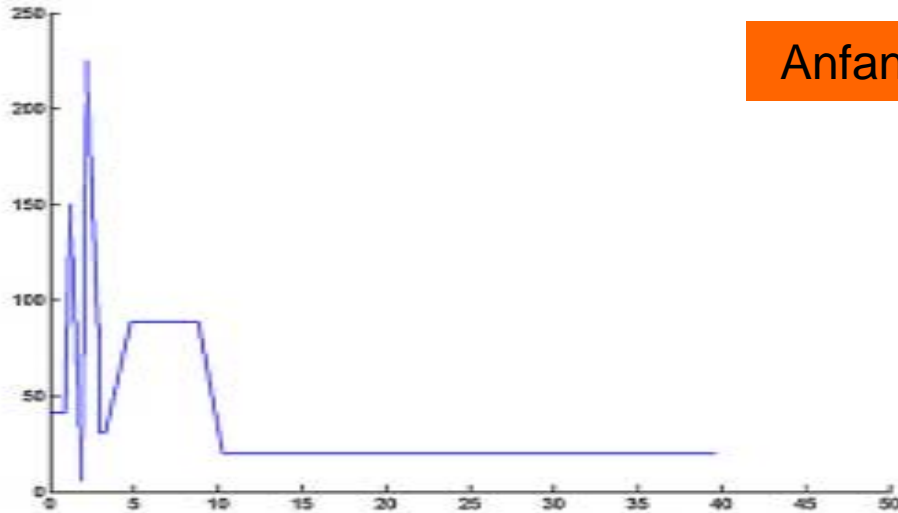
0,8mm CrNi

3m/min

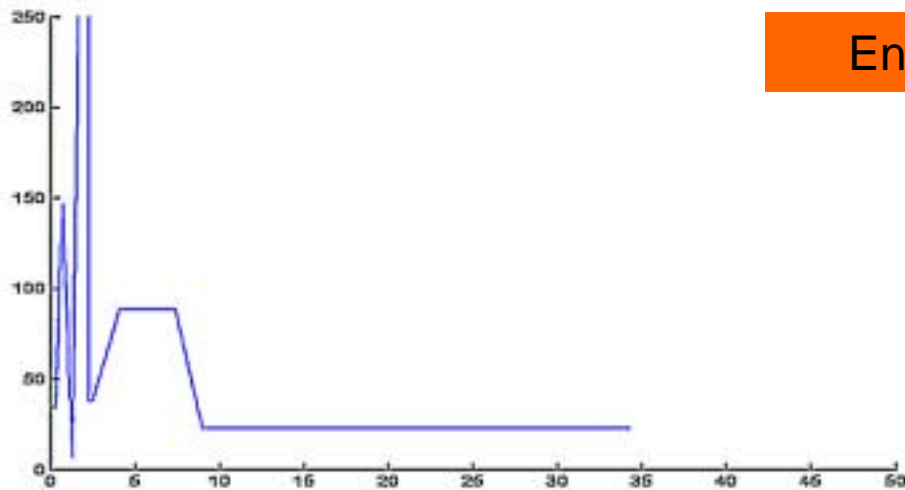
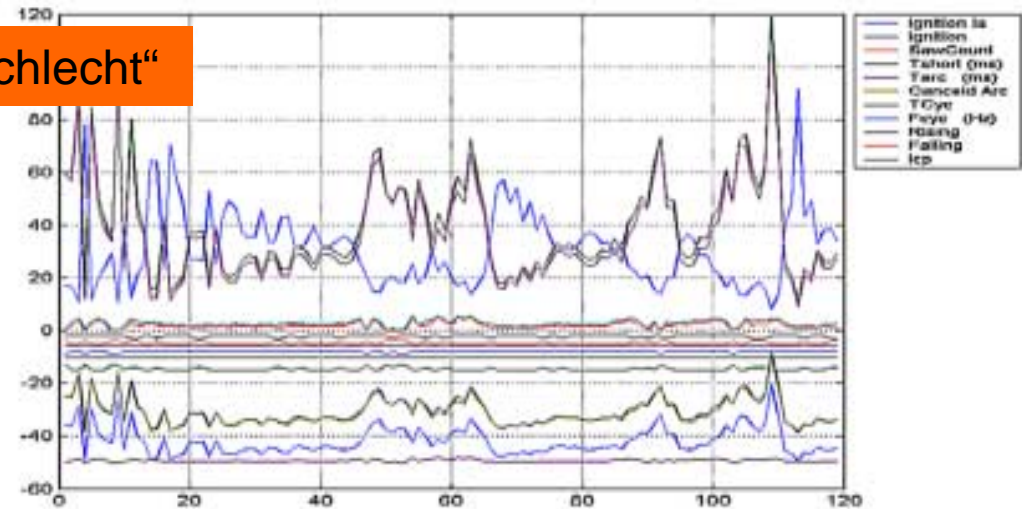
Schutzgas:

Argon

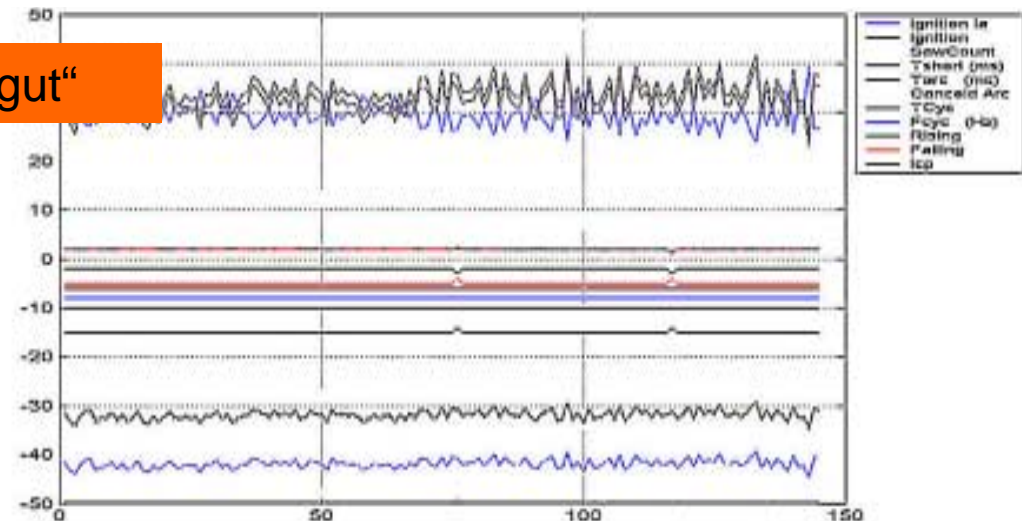
15l/min



Anfang: „schlecht“



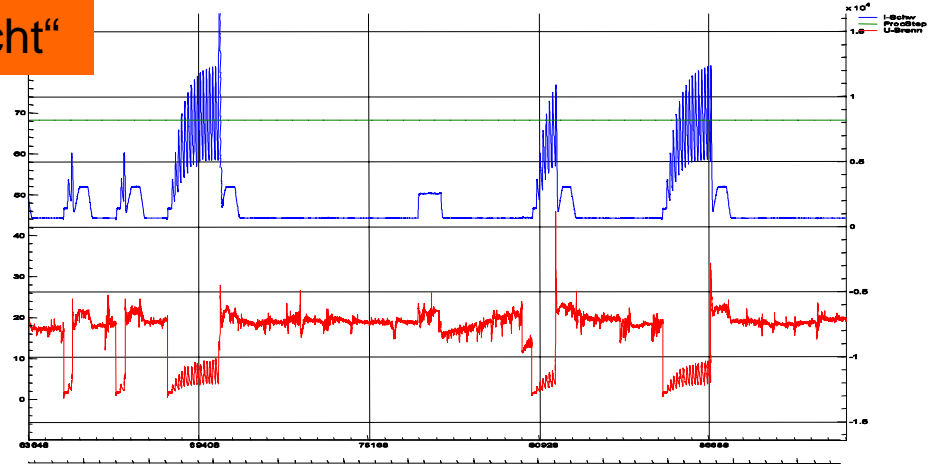
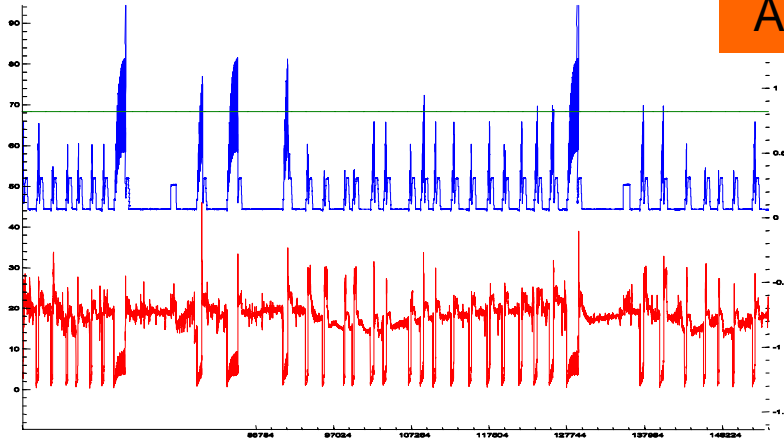
Ende: „gut“



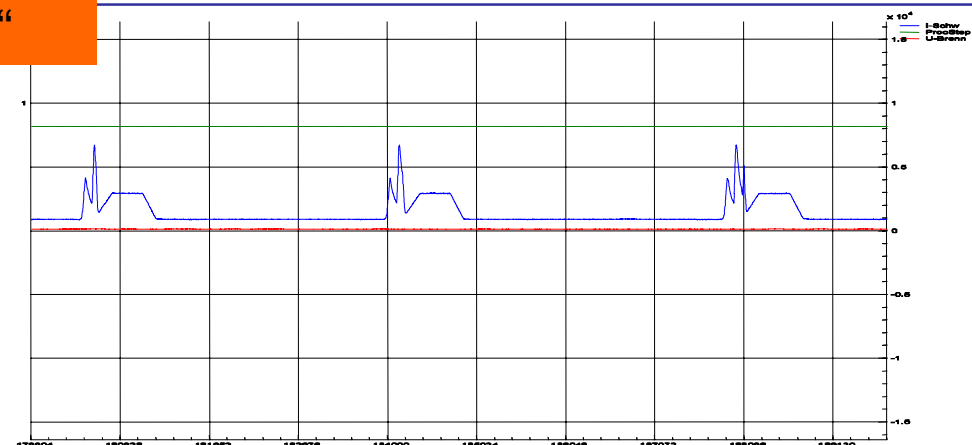
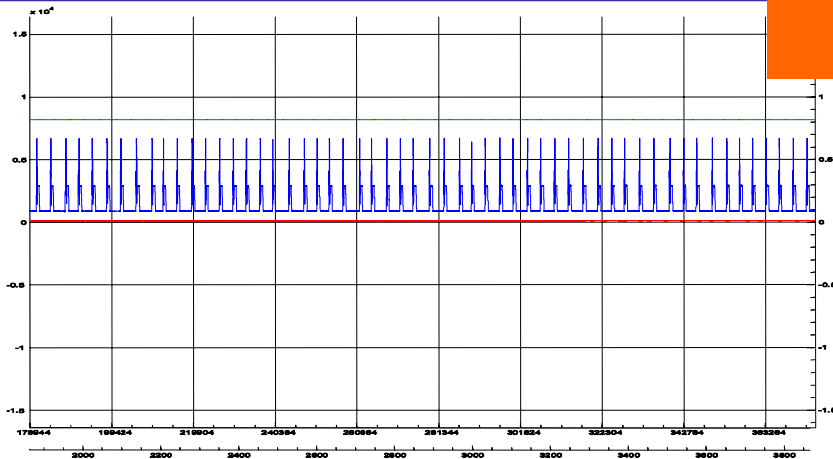
Durchschnittliche Impulsform

Interne Merkmale im Chop-Zyklus

Anfang: „schlecht“

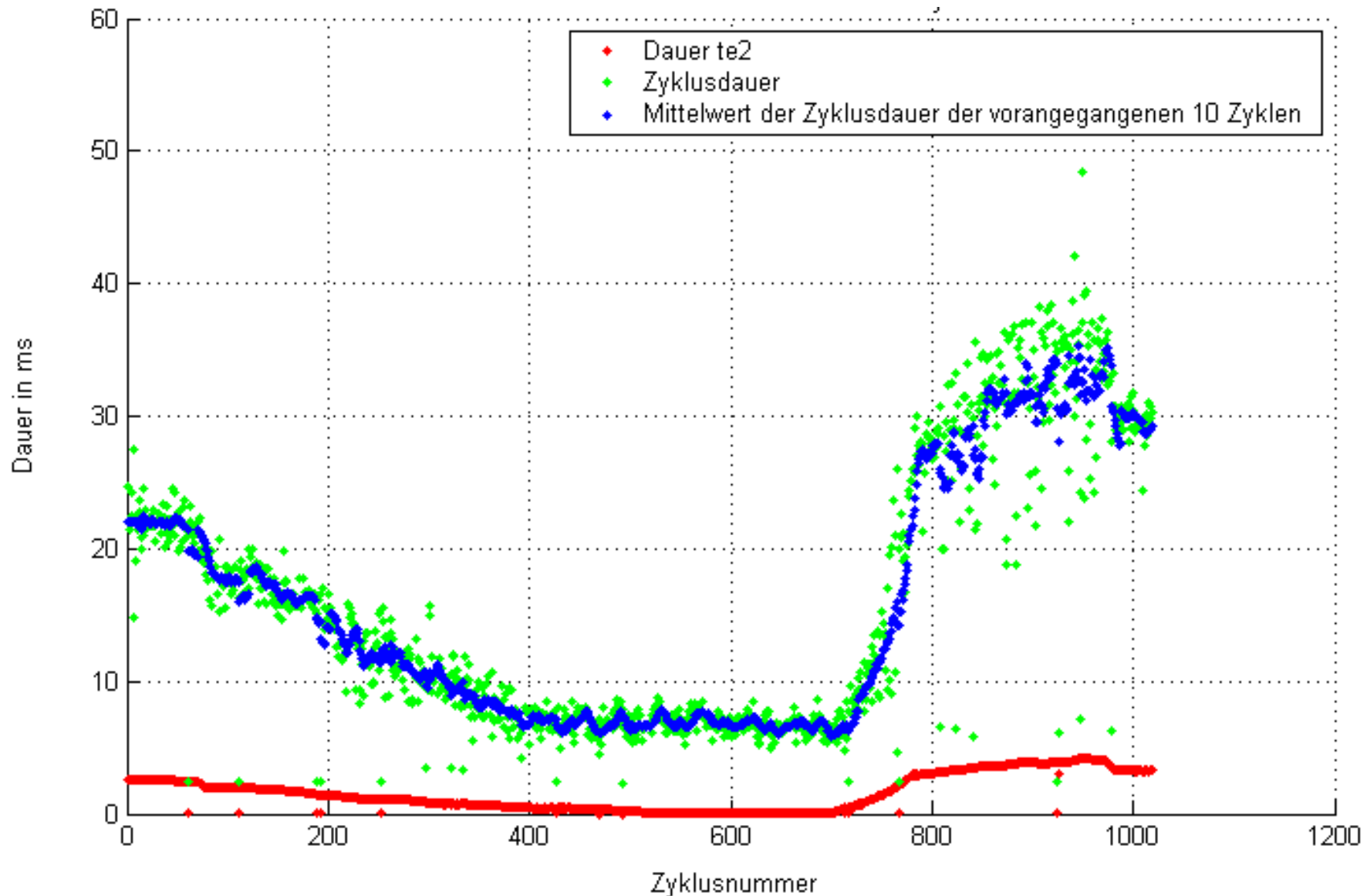


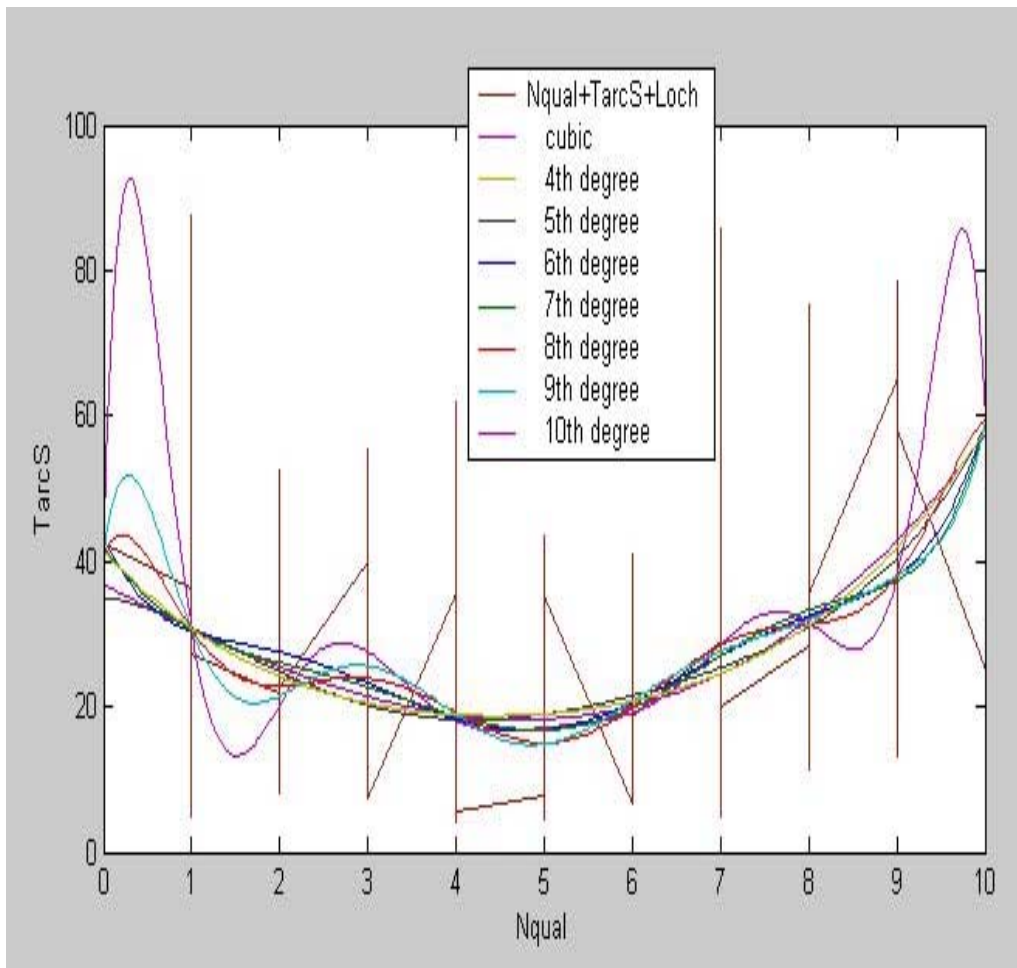
Ende: „gut“



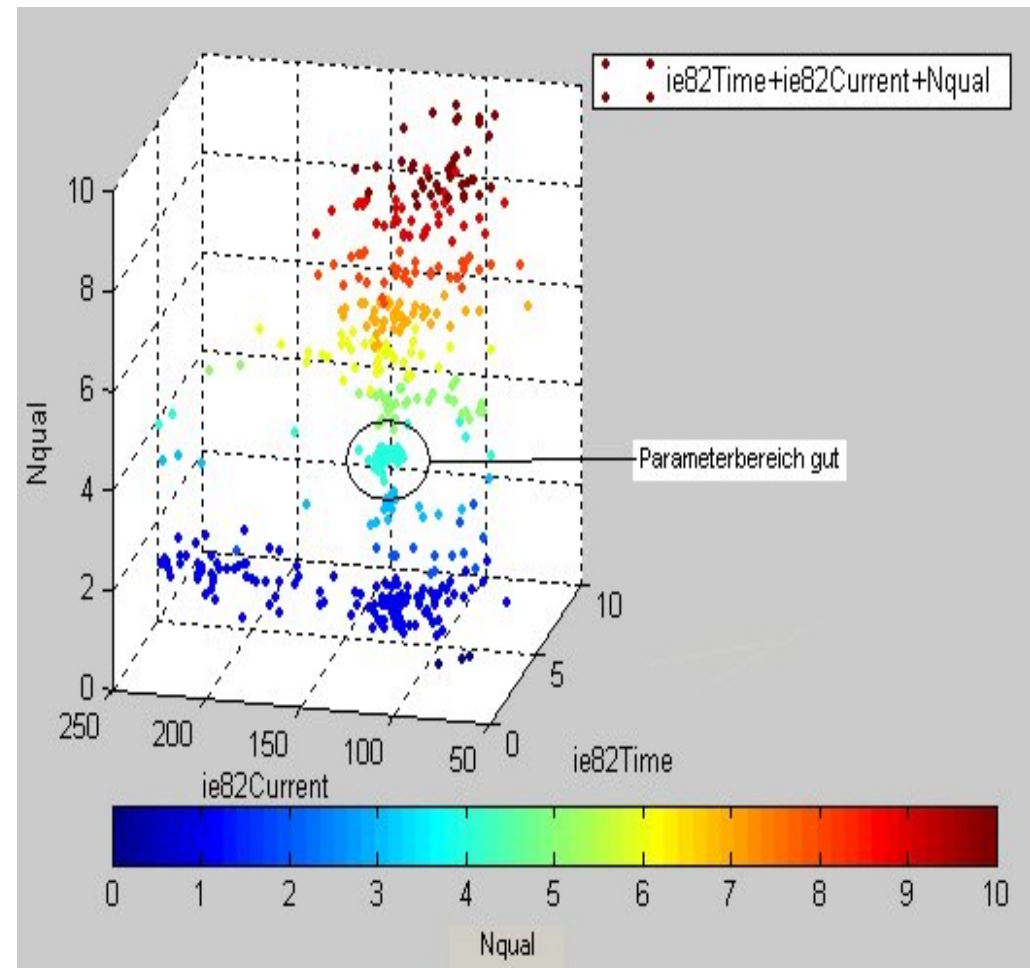
Qualität:

$$Q = w_1 \cdot n_{\text{ZündA}} + w_2 \cdot n_{\text{ZündCp}} + w_3 \frac{S_{t\text{Lichtbogen}}}{\bar{t}_{\text{Lichtbogen}}} + w_4 \frac{S_{t\text{Kurzschluss}}}{\bar{t}_{\text{Kurzschluss}}} + w_5 \frac{S_{n\text{Sägenzähne}}}{\bar{n}_{\text{Sägenzähne}}} + WF$$

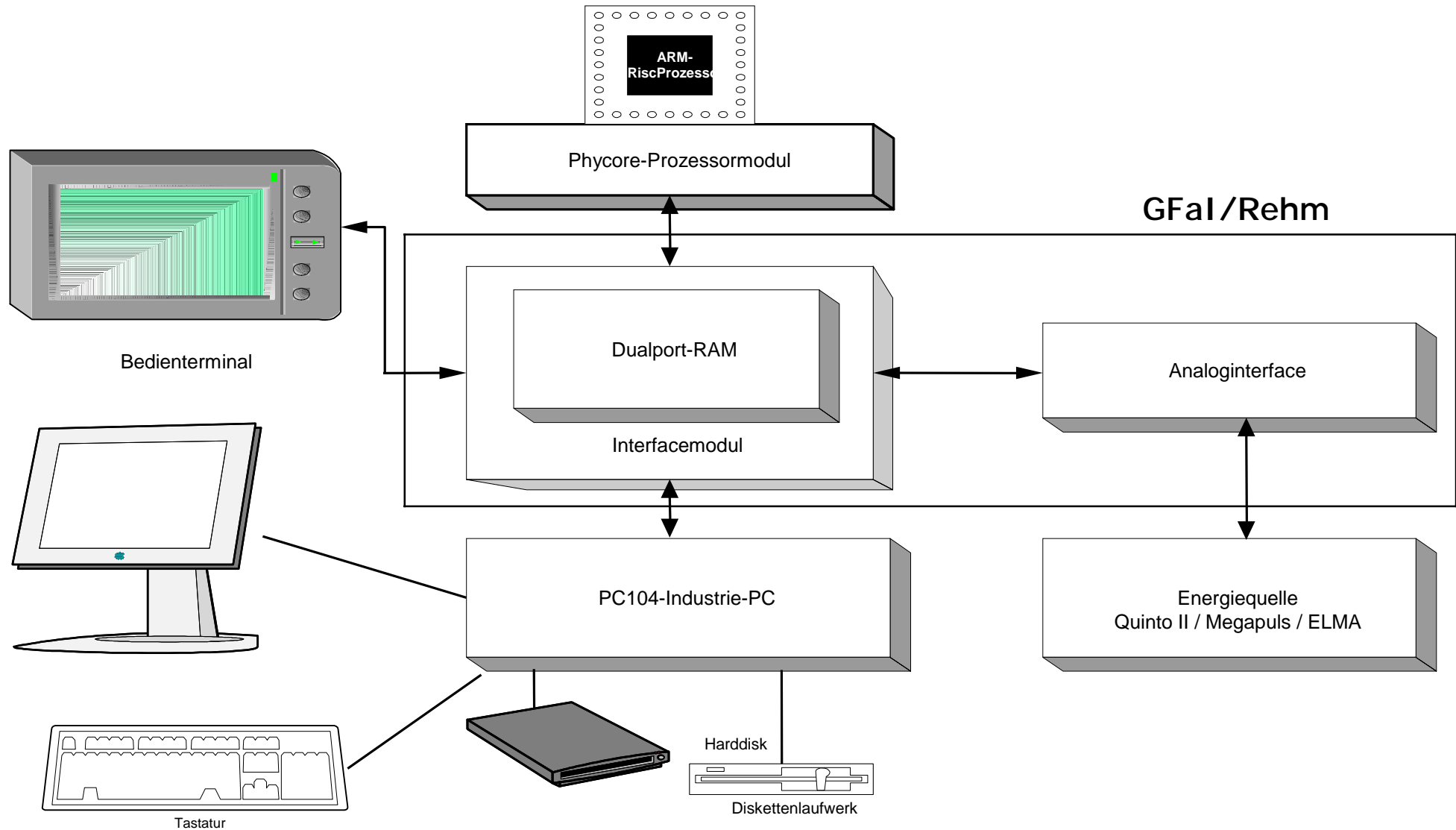




Nahtqualität und Gütekriterium TarcS



Optimaler Parameterbereich nach EVO



- gelernte und automatisch aktualisierte Datenbasis zur Optimierung der Startparameter
- Modifikation der Stellgrößen mittels Evolutionsstrategie
- Klassifikation der Prozessgeschichte in den Bereichen $x-n$, $x-2n$, $x-4n$, $x-8n$, ...
- Ableitung der Tendenz der Prozessgüte
- Erarbeitung eines Prognosemodells für die nächsten Impulse mit entsprechenden Merkmalsvektoren
- Erfassung der mittleren Leistung als Führungsgröße für eine Prozesskonstellation (Werkstoff / Gas / Fügebedingung), welche die untere sinnvolle Leistungsgrenze vorgibt.
- Ständige Aktualisierung der Datenbasis

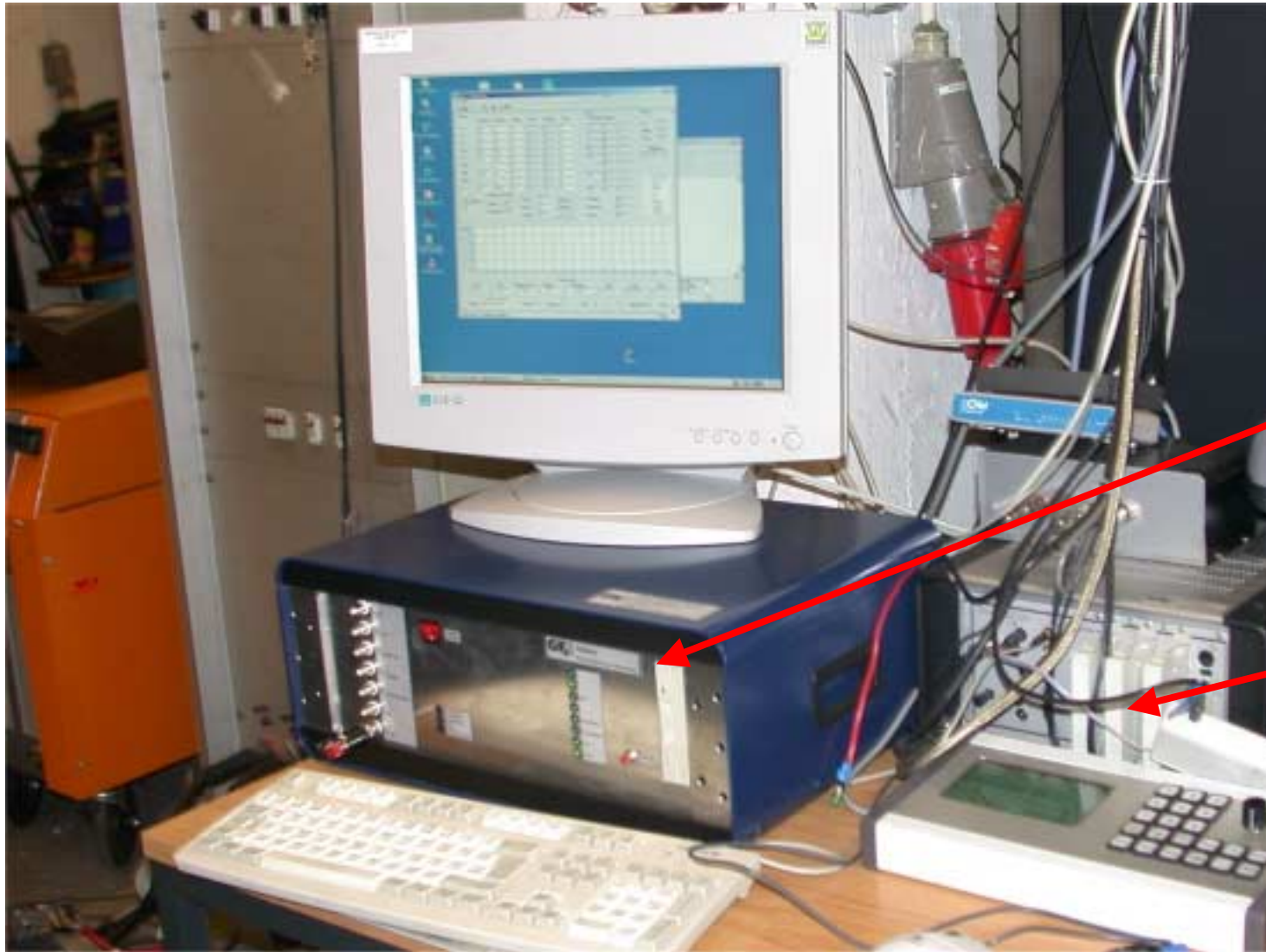
Anwendung der Evolutionsstrategie in 2 Stufen

- Lernvorgang:

20 Parameter (6 Hauptparameter) werden gleichzeitig in n-Versuchen modifiziert. Automatische Anpassung an die lokale Topologie der Gütefunktion (Kovarianz-Matrix: $(n^2+n)/2$ Parameter)

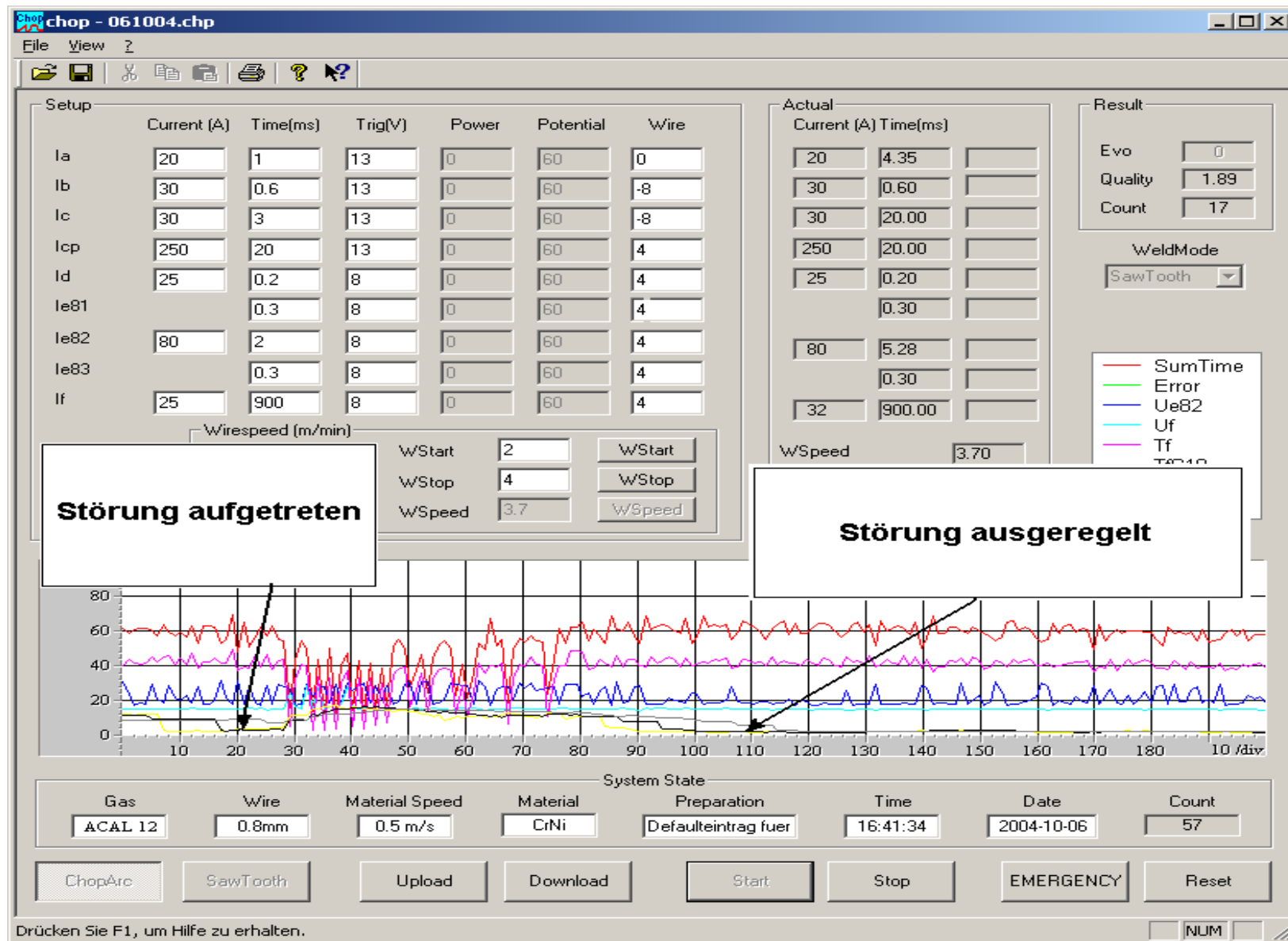
- Online-Regler:

2 bis n Parameter werden aufeinanderfolgend mit einer Adaption der Schrittweitensteuerung optimiert. Individuelle Schrittweitenadaption.



Steuerrechner

Datenrekorder



Auswertesystem IPC PC104/+ Cool Roadrunner 500MHz

- Berechnungszeit der Merkmale: < 1 ms (100ms MATLAB[®])
- Aktualisierungszeit Bildschirm: < 12 ms (150ms MATLAB[®])
- Die Auswertung erfolgt alle 50ms, entspricht 5 ChopArc-Zyklen bei 100Hz Arbeitsfrequenz
- Anzeige der Werte auf dem Bildschirm zur Visualisierung des Regelverhaltens alle 300 ms
- Resultierende Adaptionzeit ca. 1 s (20...10 Evolutionszyklen)
- Mindestens 20 Generationen (200...1000 Evolutionszyklen) sind zur Lernoptimierung notwendig

- Die Evolutionsstrategie ist eine geeignete Methode, um den Kurzlichtbogenprozess und ähnliche Aufgabenstellungen modellfrei zu optimieren
- Eine ausreichende Anzahl von Versuchen unter reproduzierbaren Bedingungen sind notwendig
- Die Integration des Verfahrens in ein regelbasiertes System wurde in einer Versuchssteuerung realisiert