

Dynamische Untersuchung von Pulslichtbogen mit 6-Kanal Spektrometer

Projekt:

**Gepulste Lichtbogenfügeprozesse
(Optispek)**

AiF- Vorhaben Nr.: 14607 BG

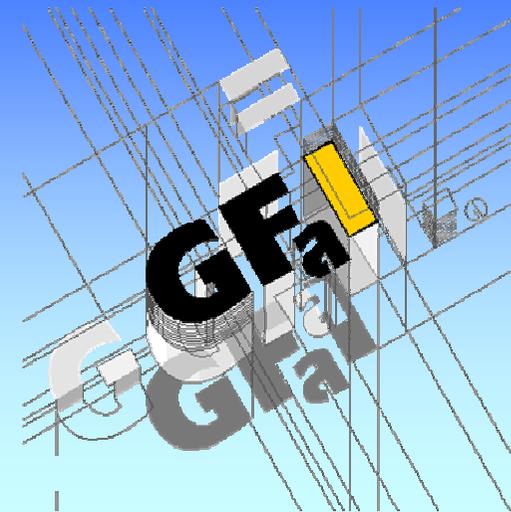
01.02.2006 bis 31.07.2007

TU Berlin (IWF) / INP Greifswald / GFaI

GFaI-Bericht 2007_01_17

mit Ergänzung Kap. 6 und 7 vom 30.1.2007

Dr. Gerd Heinz, GFaI



Dr. G. Heinz, GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de

05.05.2009

©GFaI

1



Inhalt

Präzisierte Aufgabenstellung

1 Aufbau des Spektrometers

- dRec192 mit DC_SCI010
- dRec192 DC_SCI010 Pinbelegung
- dRec192 DC_SCI010 Interne Jumper
- 6-Kanal Spektrometer
- Schaltplan (Prinzip)
- Kanalzuordnung und Aufnahmeparameter
- Schaltung gesamt
- Schaltung Vorverstärkerkanalpaar
- Besonderheiten
- Diskussion der Schaltung

b.w.



Inhalt

2 Zielspektren

- Zielspektren Argon
- Zielspektren Metalle
- Zielspektren im Überblick
- Breitband-Sensorik

3 Implementierte Sensoren

- Überblick
- MCS3-AS
- AG38
- BPW34
- BP104



Inhalt

4 Transferverhalten der Kanäle

- Testschaltung
- Transferverhalten Kanal 1
- Transferverhalten Kanal 2
- Transferverhalten Kanal 3
- Transferverhalten Kanal 4
- Transferverhalten Kanal 5
- Transferverhalten Kanal 6
- Auswertung

5 Erste Meßergebnisse

- Parameter
- Erste Aufnahme
- Erste Aufnahme gezoomt



Inhalt

6 Komparierung

- Plotprogramm für Differenzbildung
- Nullpunktkorrektur
- Pulsvielfalt
- Mit Komparator
- Mit optimierter Schwelle

7 Statistische Probe

- Rot-Grün
- Blau-Grün
- Rot-Blau
- IR - UV

8 Diskussion

Kontakt



Präzisierte Aufgabenstellung

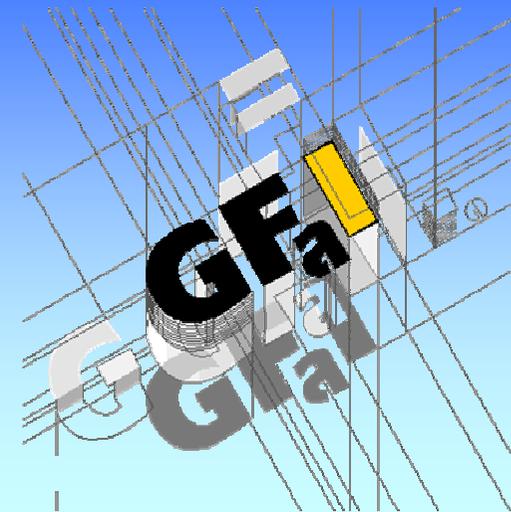
- Mit dem dargestellten Verfahren soll der Zeitverlauf breitbandiger und schmalbandiger, optischer Spektren mit 192 kS/s auf sechs unabhängigen, optischen Kanälen von Infrarot (IR) bis Ultraviolett (UV) beobachtbar werden
- Subjektive Betrachtung von Hochgeschwindigkeits-Farbfilmern zeigt, daß Argon- Emissionen stets rötlich leuchten, während Metaldampf grell weiss bis blau-grünlich leuchtet
- Schmalbandfilter sind umso teurer und umso lichtschwächer, je schmaler deren Bandbreite ist; der Verstärkungsbereich des hier vorgestellten 6-Kanal Spektrometers ist so ausgelegt, daß sowohl breitbandige, als auch schmalbandige Messungen mit Zusatzfilter möglich werden
- In der angestrebten Industrieapplikation sind verschiedenste Materialien zu schweißen. Es ist nicht möglich, auf das Vorhandensein bestimmter Werkstoffe oder deren Linien zu vertrauen: Mit dem 6-Kanal Spektrometer sollen vorrangig Möglichkeiten einer breitbandigen Trennung untersucht werden in der Hoffnung, Metallemissionen vorrangig im UV-Bereich und Argon-Emissionen vorwiegend im IR-Bereich anzutreffen
- Sollten sich breitbandige Spektren als nicht zielführend erweisen, können mit der Technik auch schmalbandige Spektren untersucht werden



1 Aufbau des Spektrometers

- dRec192 mit DC_SCI010
- dRec192 DC_SCI010 Pinbelegung
- dRec192 DC_SCI010 Interne Jumper
- 6-Kanal Spektrometer
- Schaltplan (Prinzip)
- Kanalzuordnung und Aufnahmeparameter
- Schaltung gesamt
- Schaltung Vorverstärkerkanalpaar
- Besonderheiten
- Diskussion der Schaltung

[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)



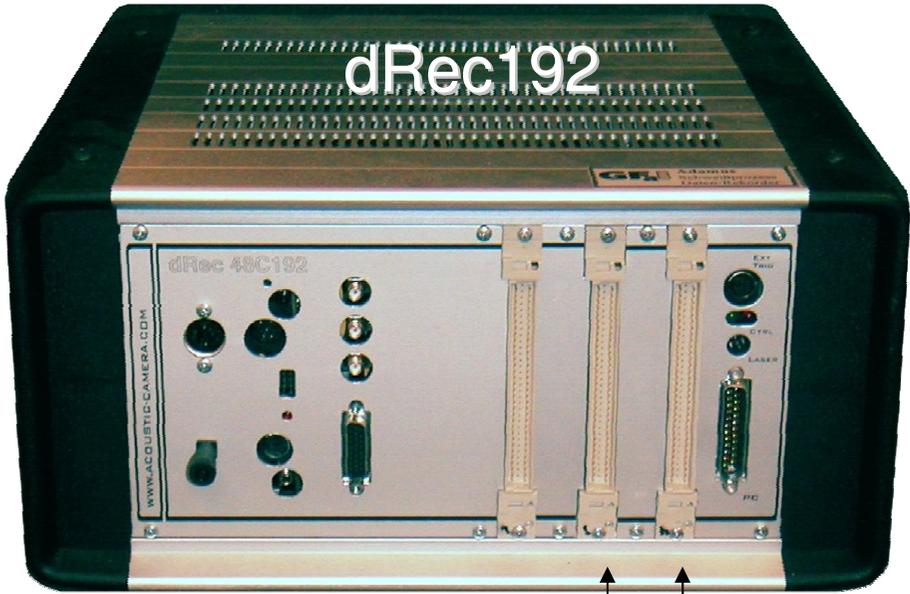
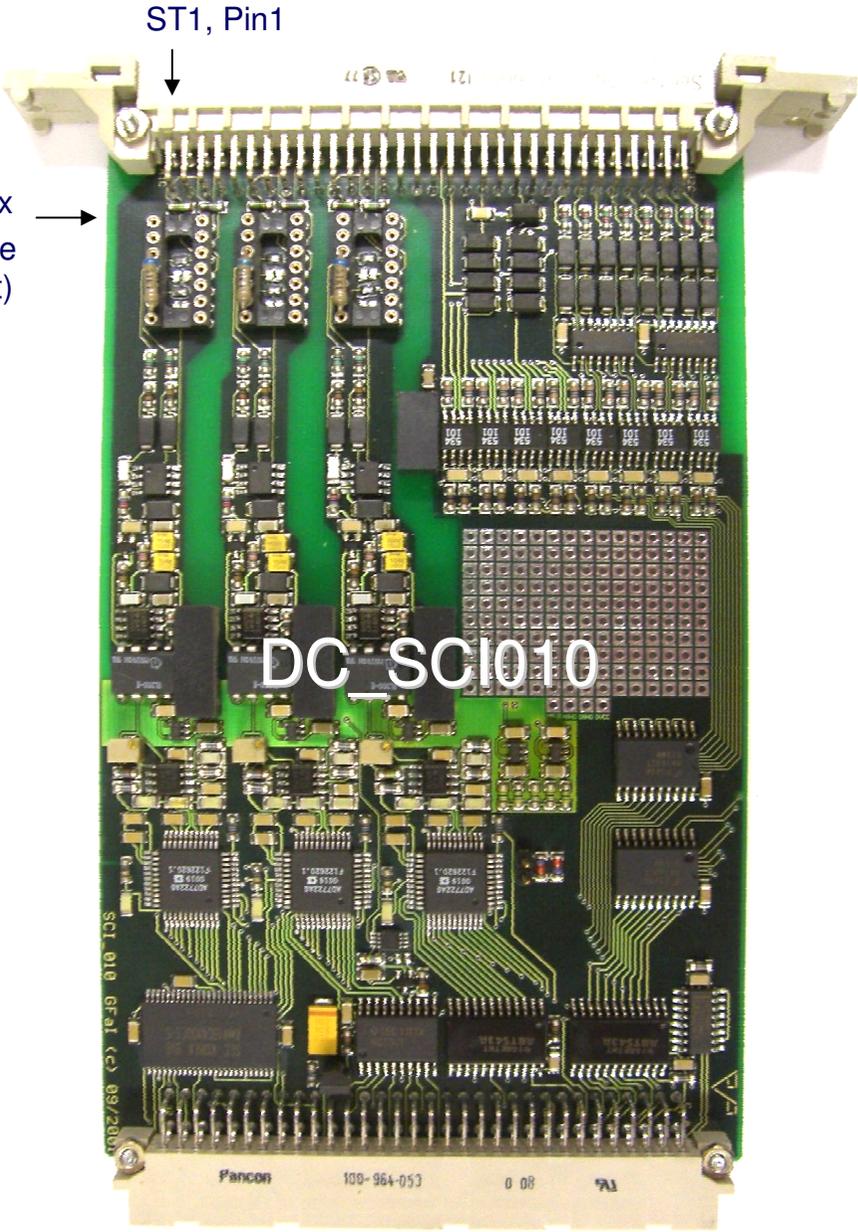
Dr. G. Heinz, GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de



dRec192 mit DC_SCI010



J4xx, J3xx, J1xx
(alle Widerstände
wurden entfernt)



heinz@gfai.de

www.gfai.de/~heinz



K1-5 K4-6

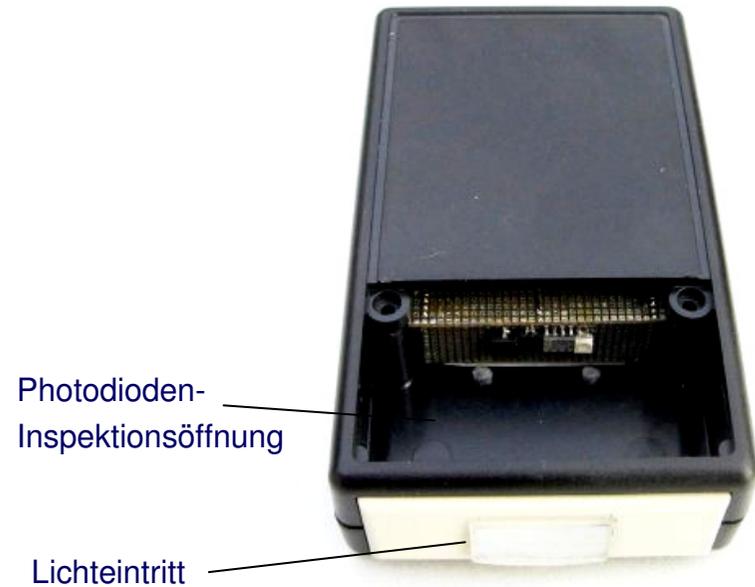
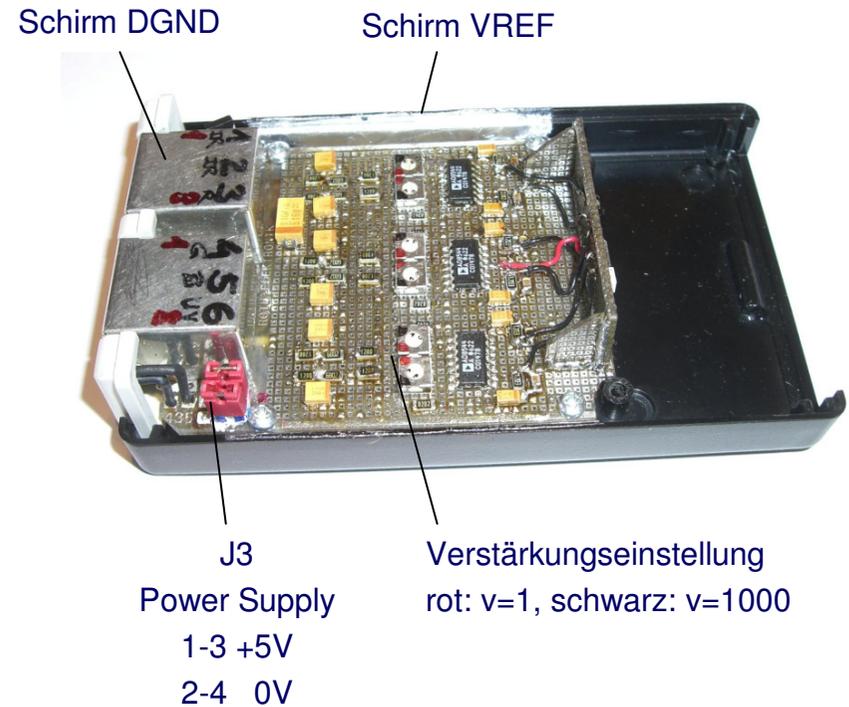
6-Kanal Spektrometer

- Zweistufig mit AC-Kopplung
- Erste Stufe: I/U-Wandler, invert.
- Zweite Stufe: Verstärkung 1...1000
- Ausgabe: +/- 2.5 Volt
- Kabel: 2x RJ45 4-paarig (Patch)
- Je 3 Paare Signal, 1 Paar Supply

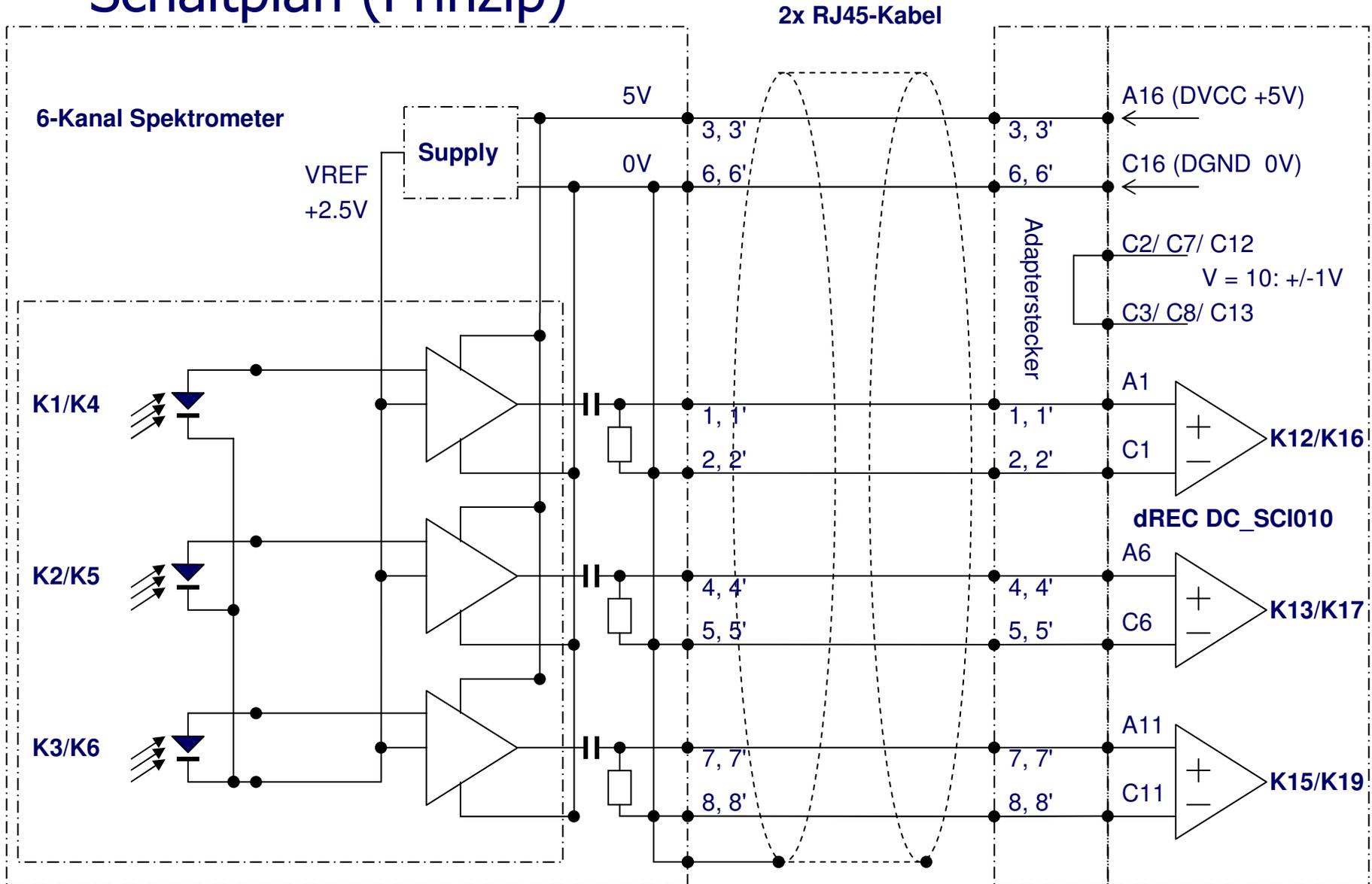


heinz@gfai.de

www.gfai.de/~heinz



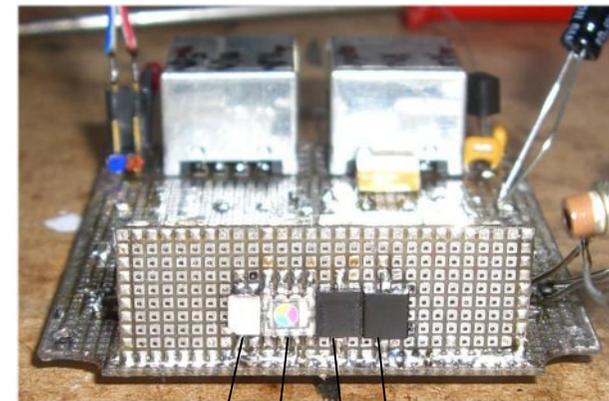
Schaltplan (Prinzip)



Kanalzuordnung und Aufnahmeparameter

Kanal	dRec	Diode	Lambda max.	Testquelle	Gain	R_IU ^{o*}
K1	K12	BP104	950	LED-IR**	1*	8k ^{*o}
K2	K13	BPW34	930	LED-IR**	1*	8k ^{*o}
K3	K15	MCS3-AS Rot	630	LED-weiß	1	15k
K4	K16	MCS3-AS Grün	550	LED-weiß	4 -> 300	10k
K5	K17	MCS3-AS Blau	470	LED-Blau	4 -> 1	10k
K6	K19	AG38	360	LED-Blau***	300 -> 700	100k ^{*'}

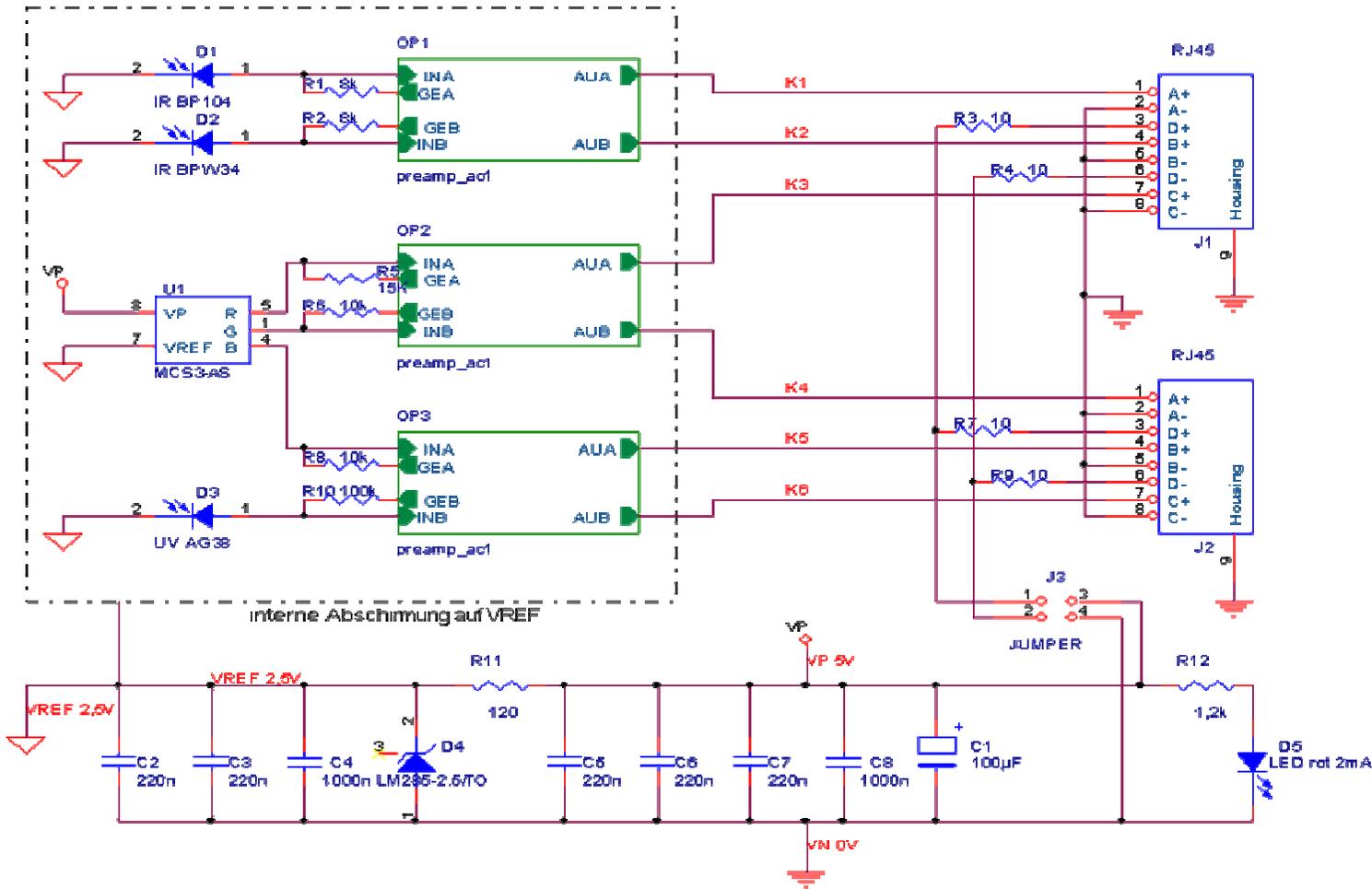
- * Im Meßabstand 30 cm übersteuert. Abhilfe: Alu-Folie über Sensor
- ** im Schweißbetrieb mit aufgeklebter Alu-Folie bedämpft. Licht von Halogenlampen stört
- *** Energiesparlampen stören
- *o nicht kleiner möglich, da Rückwirkung über Betriebsspannung (2.5V)
- o* R_IU: Gegenkoppelwiderstand im I/U-Wandler (erste Stufe)
- *' eingeschränkte Dynamik, siehe Transferverhalten Kanal 6. Verkleinerung unmöglich, da Diode zu schwach



K6, K5-3, K2, K1



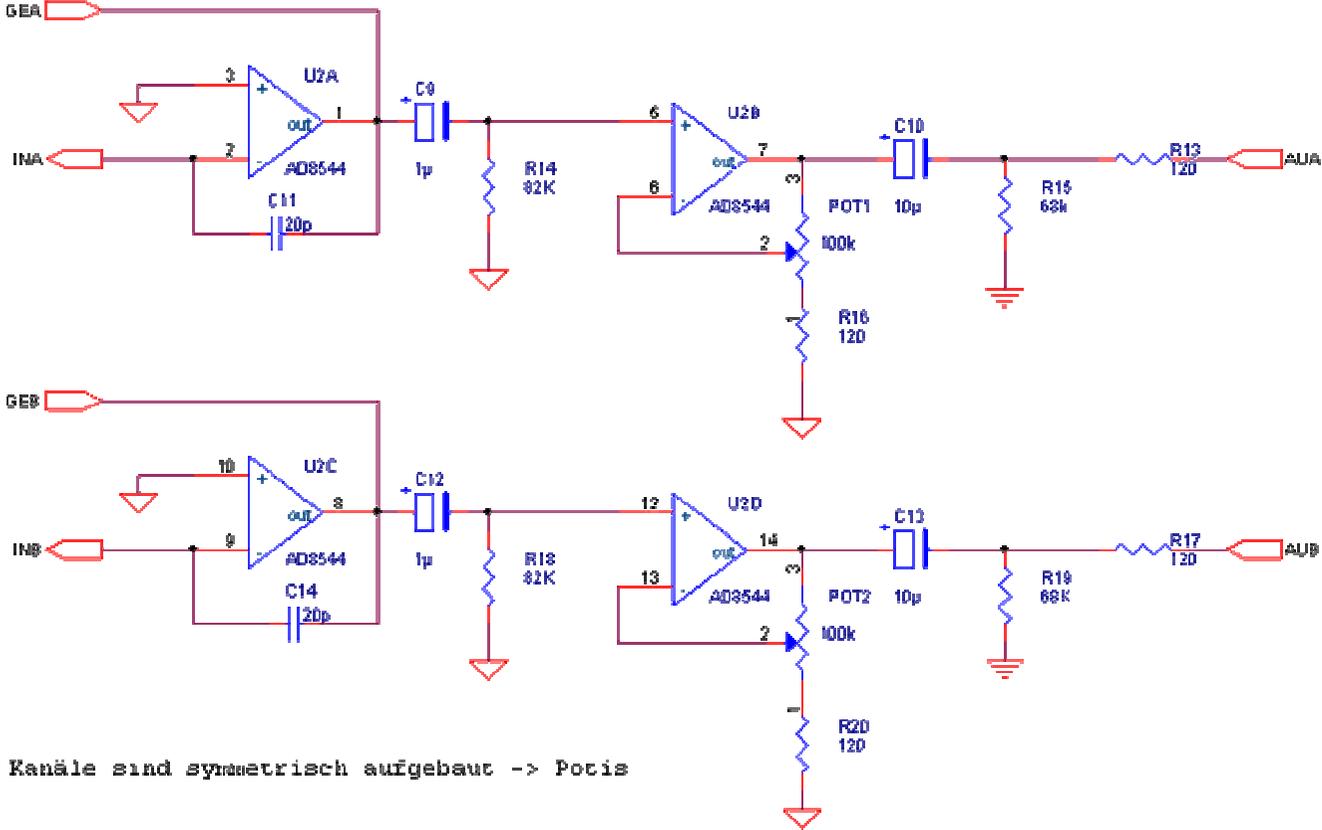
Schaltung gesamt



Title		6 Channel Spectrometer Amplifier G. Heinz heinz@gfai.de	
Size	Document Number	12	
A	spectrometer_6k_ac	Rev	0
Date:	Monday, January 22, 2007	Sheet	1 of 4



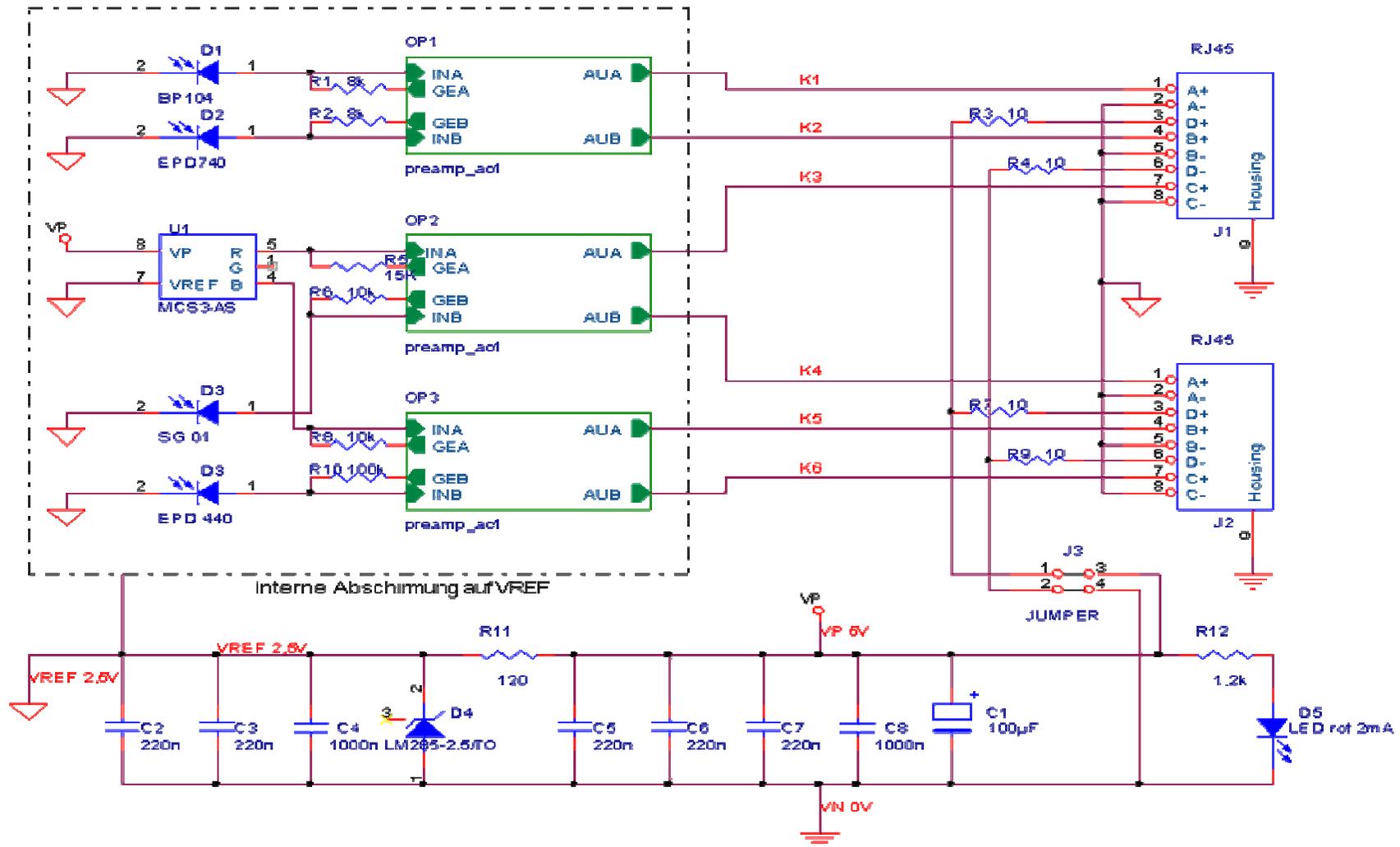
Schaltung Vorverstärkerpaar



Title		
PREAMP_AC_1 G. Heinz heinz@gfai.de		13
Size A	Document Number preamp_ac_1	Rev 0
Date: Monday, January 22, 2007	Sheet 2 of 4	



Schaltung neu (21.2.07)



Gegenüber Version 1 werden auf VREF bezogene Signale ausgegeben, die Ausgangselkos entfielen.

heinz@gfai.de

www.gfai.de/~heinz

Title
6 Channel Spectrometer Amplifier G. Heinz heinz@gfai.de

Size A Document Number
spectrometer_0k_ac

14

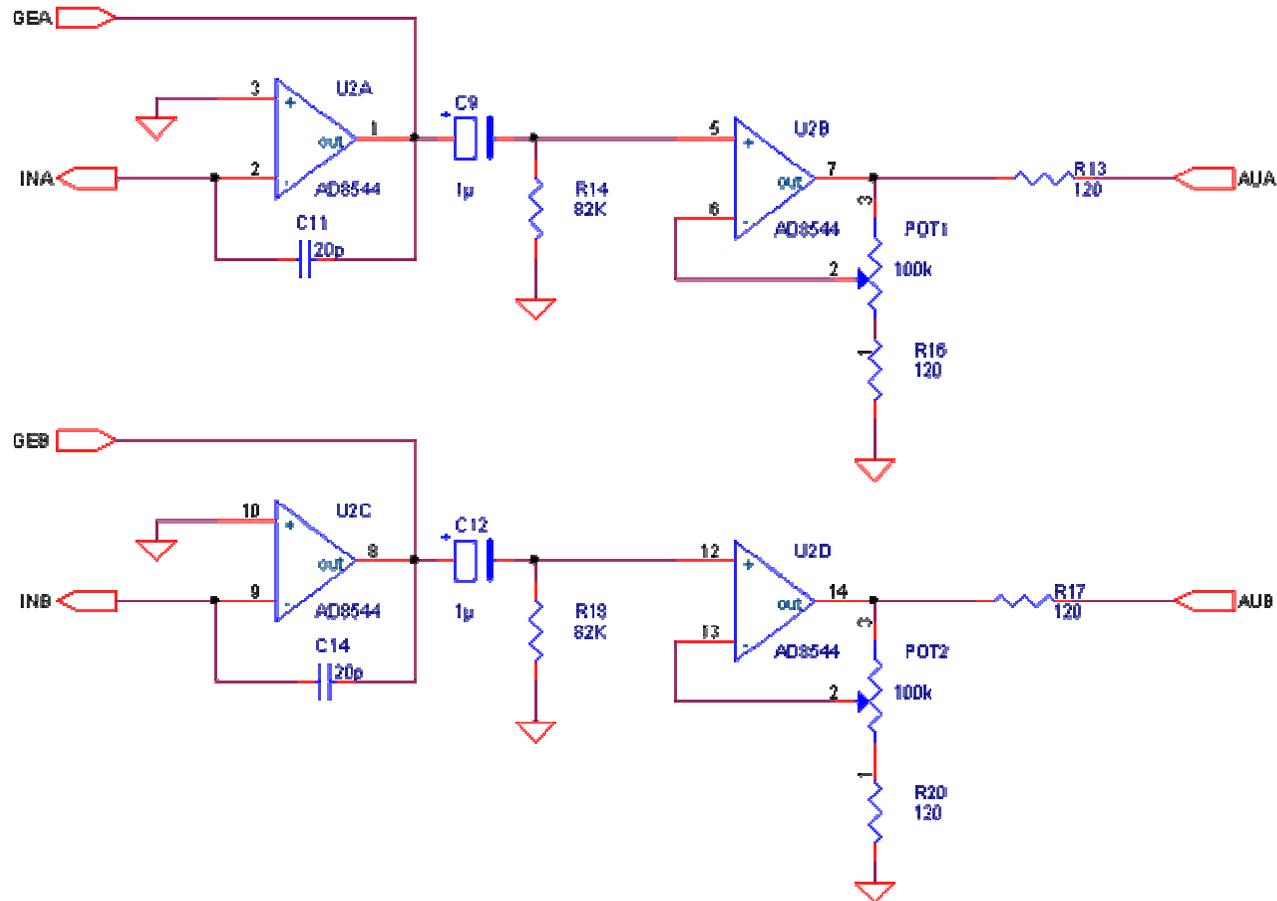
Rev 0

Date: Monday, March 05, 2007

Sheet 1 of 4



Schaltung Vorverstärkerpaar neu (21.2.07)



Achtung! Kanäle sind symmetrisch aufgebaut
 -> Potis sind gegenläufig zu drehen.
 roter Punkt: v_{max}

heinz@gfai.de

www.gfai.de/~heinz

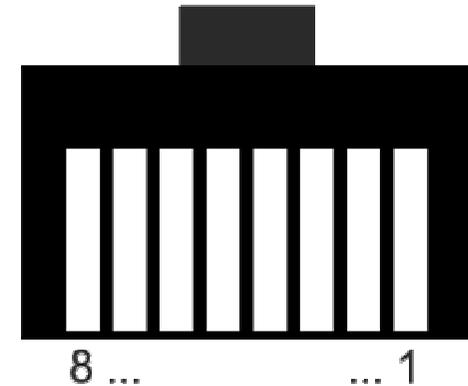


Title		
PREAMP_AC_2 G. Heinz heinz@gfai.de		
Site A	Document Number preamp_ac_1	Rev D
Date:	Monday, March 05, 2007	Sheet 2 of 4

Besonderheiten

- Als Verbindungskabel wird ein vierpaariges Standard- Patchkabel RJ45 verwendet. Dessen Adernpaare sind nicht linear den Pins zugeordnet, siehe Bild
- Interne Stromversorgung: ist Doppel-Jumper J3 gesetzt, erfolgt 5-Volt Versorgung über das RJ45-Kabel
- Für Tests kann Supply mit 5 Volt/ 20 mA über J3 erfolgen, rote LED muss brennen
- Potentiometer zur Verstärkungseinstellung sind symmetrisch angeordnet, roter Punkt: v=1, schwarzer Punkt v=1000
- Interne Abschirmung liegt auf VREF, Kabelschirm auf DGND (!)
- Gehäuse STRAPU 6934 / RoPRA 6034 BEV
- 1,27 mm Raster- PCB: Roth Elektronik 435

Aderpaarung nach
TIA 568 A und B
für RJ45- Kabel



TIA 568 A

- 1
- 2 grün
- 3
- 6 orange
- 4 blau
- 5
- 7
- 8 braun

TIA 568 B

- 1
- 2 orange
- 3
- 6 grün
- 4 blau
- 5
- 7
- 8 braun

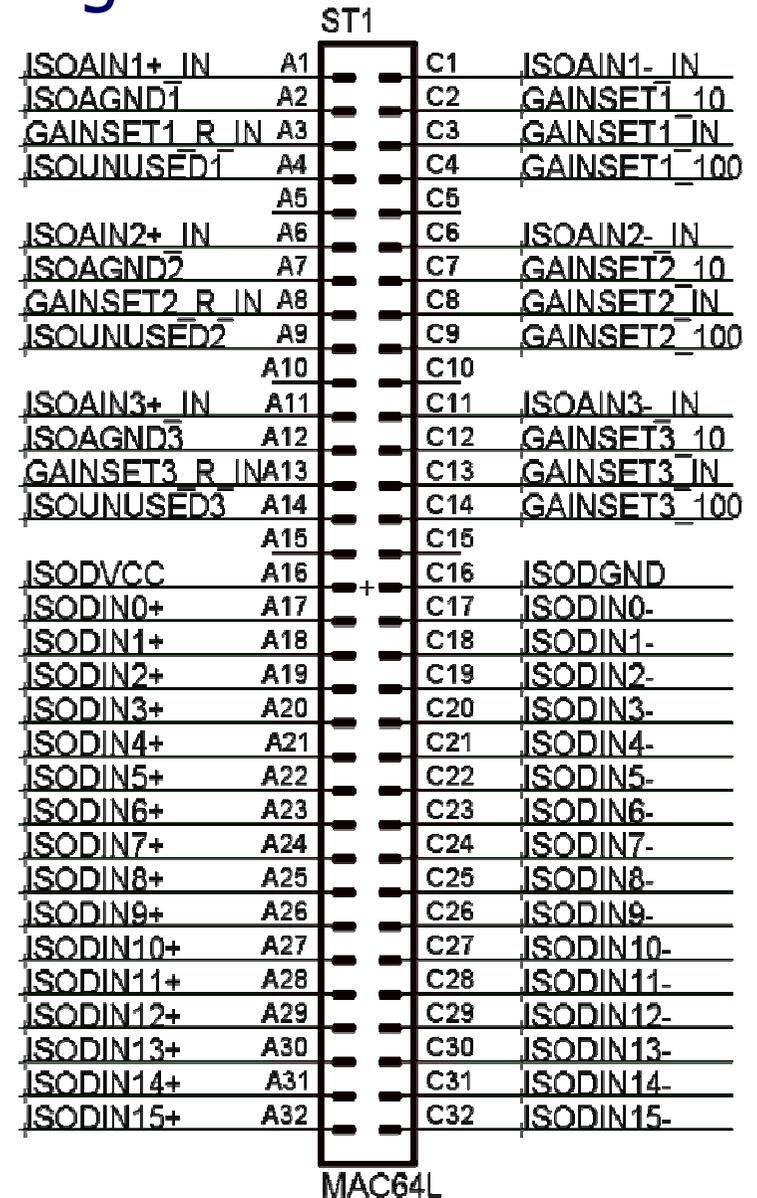


dRec192 DC_SCI010 Pinbelegung

- Versorgung externer Sensoren: ISODVCC Pin A16 (+5V ± 20%) gegen ISODGND Pin C16, max. I < 100mA, Spannung ist isoliert!
- GAINSET: Einstellung der Eingangsempfindlichkeit der Analogeingänge, ohne Verbindungen sind alle Eingänge auf ± 10V eingestellt.
- Um Eingang ISOAIN1 auf ±1V zu setzen, ist GAINSET1_IN mit GAINSET1_10 zu verbinden
- Um Eingang ISOAIN2 auf ±0.1V zu setzen, ist GAINSET2_IN mit GAINSET2_100 zu verbinden
- Um Eingang ISOAIN3 auf ±5V zu setzen, ist ein Widerstand 50 kOhm zwischen GAINSET3_IN und GAINSET3_R einzufügen
- Für andere Eingangsempfindlichkeiten berechnet sich der erforderliche Widerstand R nach folgender Formel:

$$R = 50 \text{ kOhm} / (10V / S - 1)$$

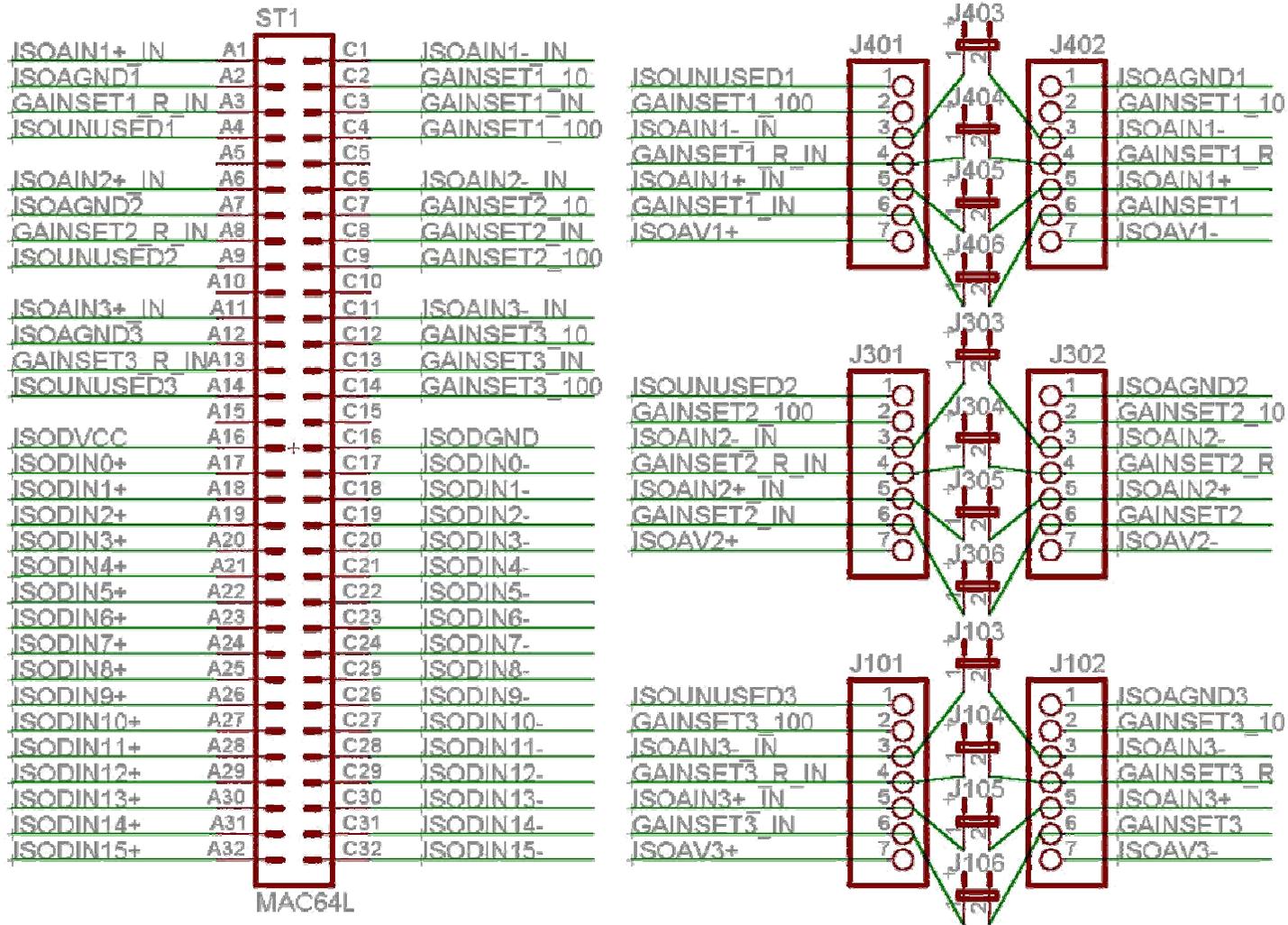
$$S = \text{positive Eingangsempfindlichkeit}$$



Sicht auf Adapter

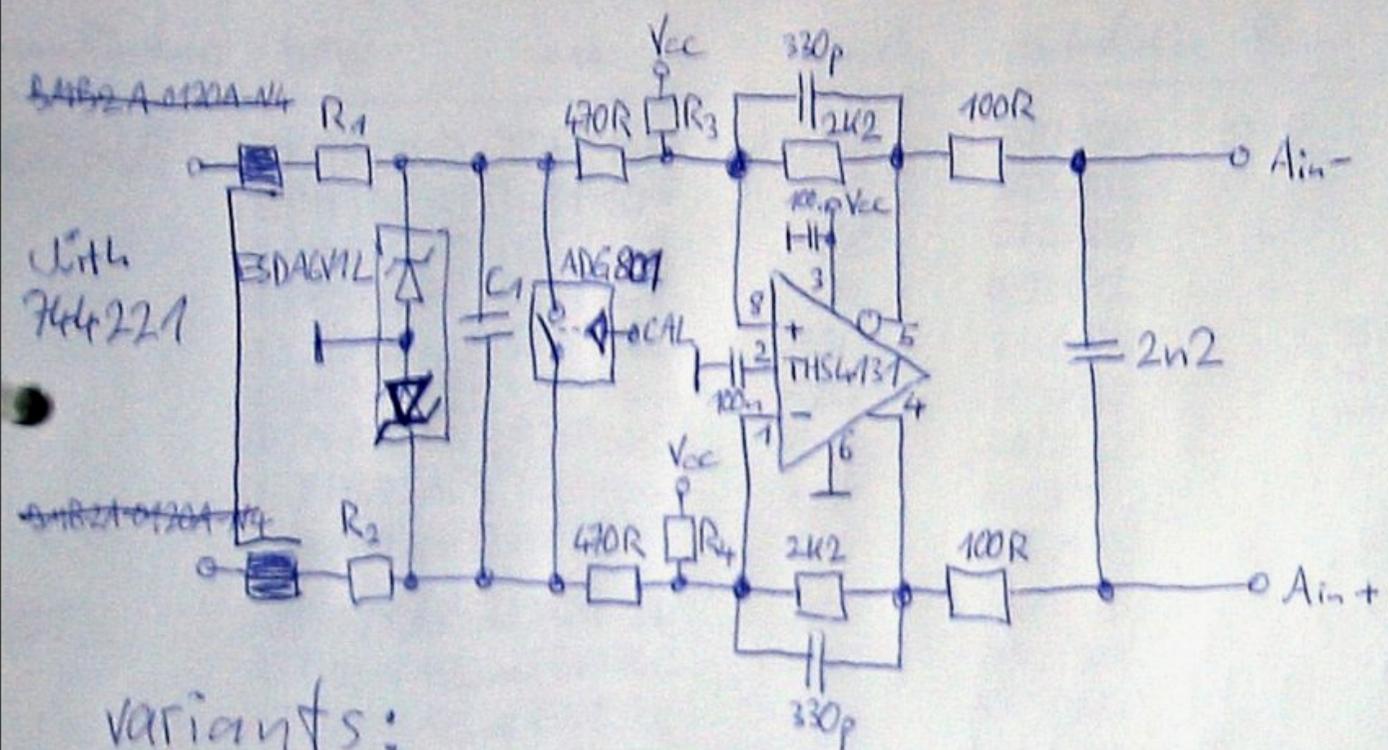


dRec192 DC_SCI010 Interne Jumper



dRec192 DC_SCI010

ADC Buffer with differential in/out



variants:

input voltage range	$R_1 + R_2$	$R_3 + R_4$	C_1
$2,5 \pm 1,0 V$	470R	n.c.	2n2
$\pm 1,0V$	470R	1K	2n2
$\pm 10V$	10K	n.c.	1n5
$\pm 100V$	100K	n.c.	1n5



Diskussion der Schaltung

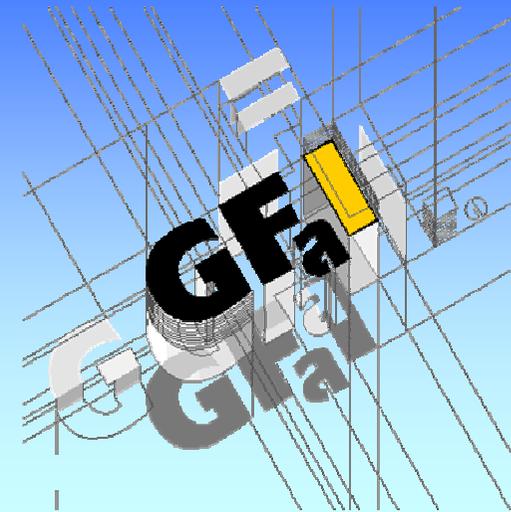
- Zeitkonstanten in verwendeter Wechselspannungskopplung sind kritisch: zu hohe C-Werte verzögern den ersten Impuls, zu geringe C-Werte führen zu Dachabfall, beide Phenomene stören
- Verstärkungswerte sind extrem verschieden zwischen UV- und IR-Bereich. Während IR-Dioden zugeklebt werden mussten, hat der UV Kanal eine Verstärkung von 200 bis 300 bei 30 cm Abstand zum Lichtbogen
- Realen Photodioden maßgebend, sollten die Kanäle verschieden dimensioniert sein:
 - UV- Kanal: hohe Verstärkung $v = 100 \dots 1000$
 - Blau/grün: kleine Verstärkung $v = 1 \dots 100$
 - Rot und IR- Kanal: Dämpfung $v = 1 \dots 1/100$
- Detailliertere Untersuchungen zu Charakteristika von Photodioden sind unumgänglich
- Untersuchungen zu Gleichspannungskopplung werden forciert



2 Zielspektren

- Argon
- Metalle
- Überblick
- Breitband-Sensorik

[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)



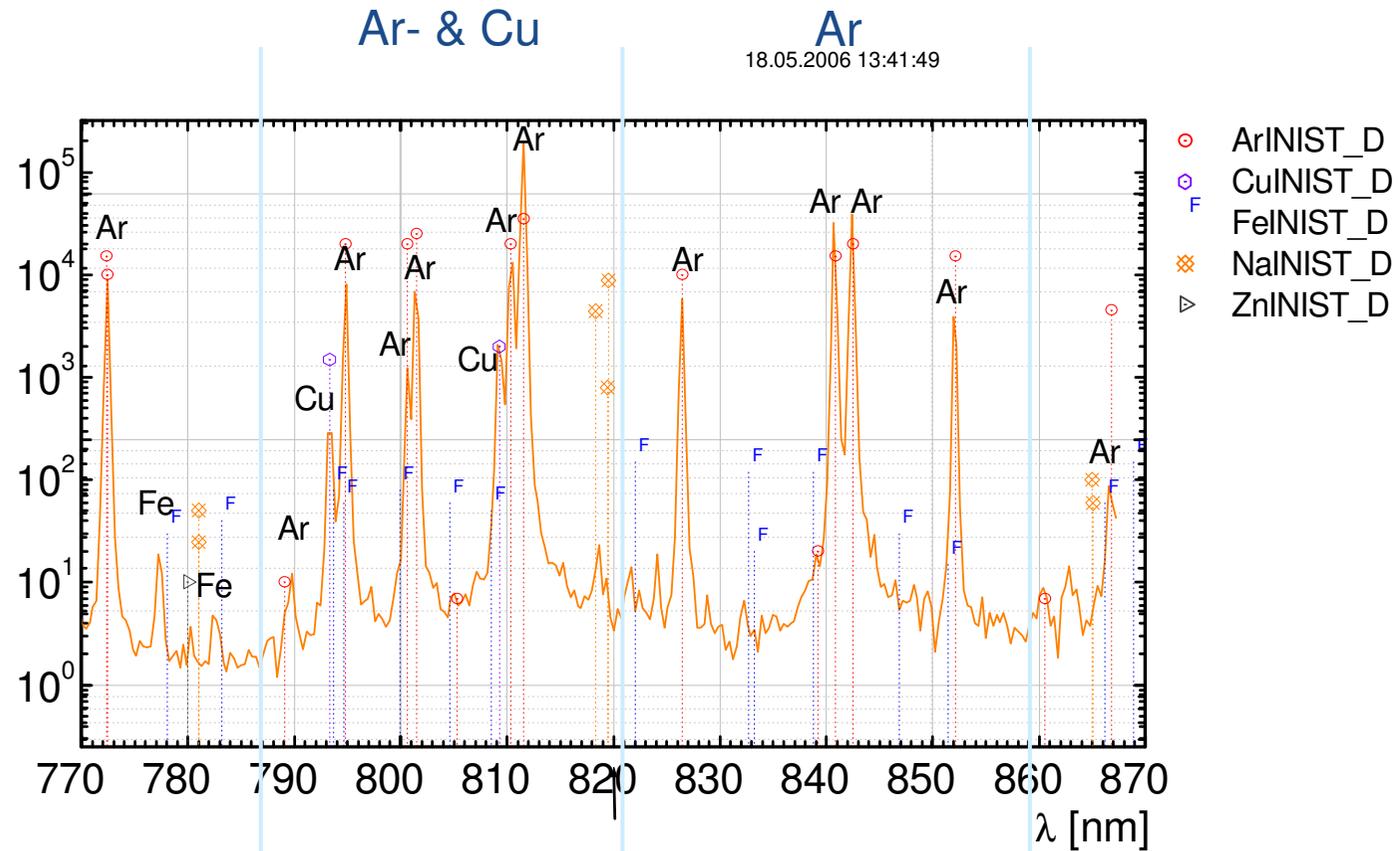
Dr. G. Heinz, GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de



Zielspektren Argon

Quelle: INP Greifswald

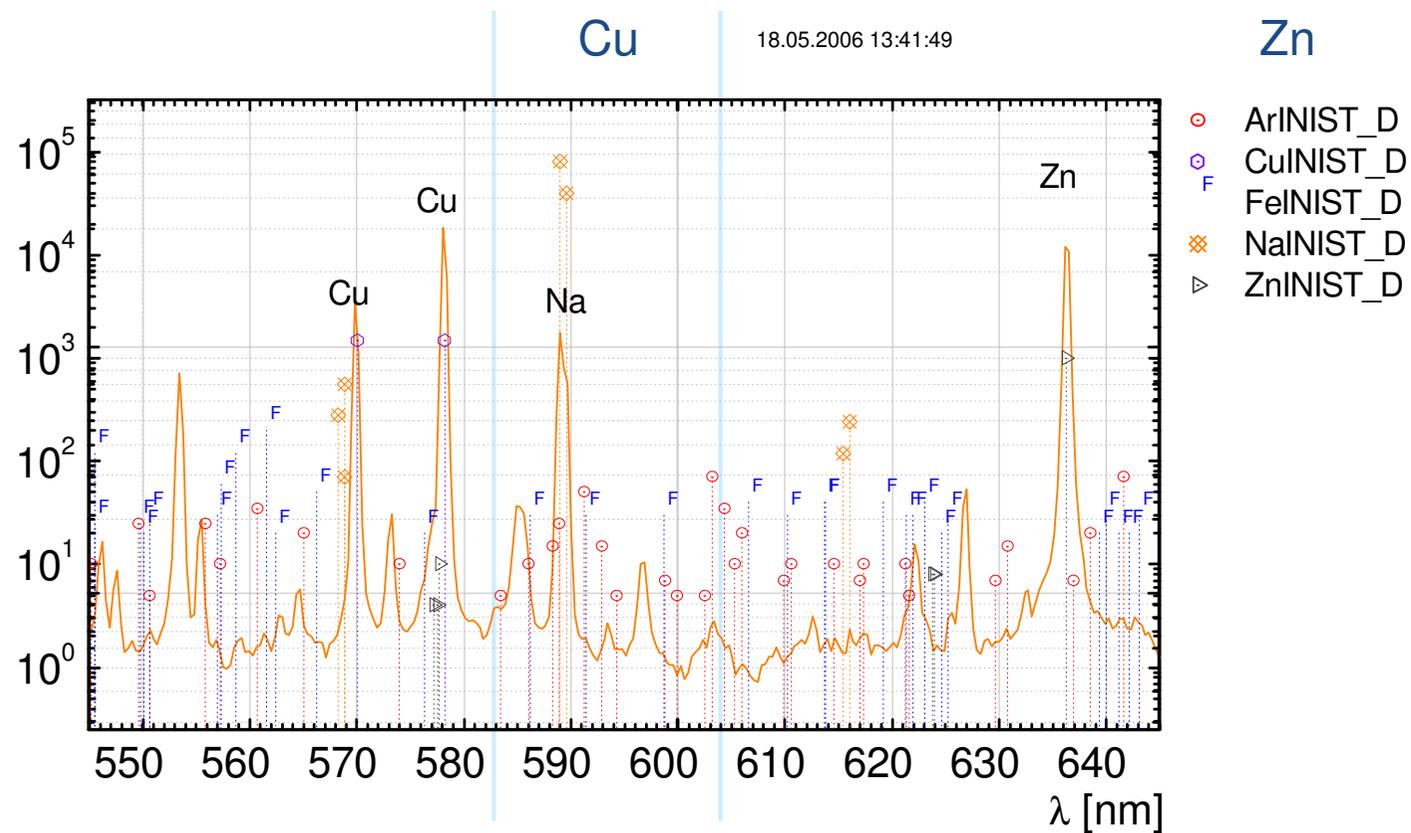
- Selektion Argon 841, 843 nm



Zielspektren Metalle

Quelle: INP Greifswald

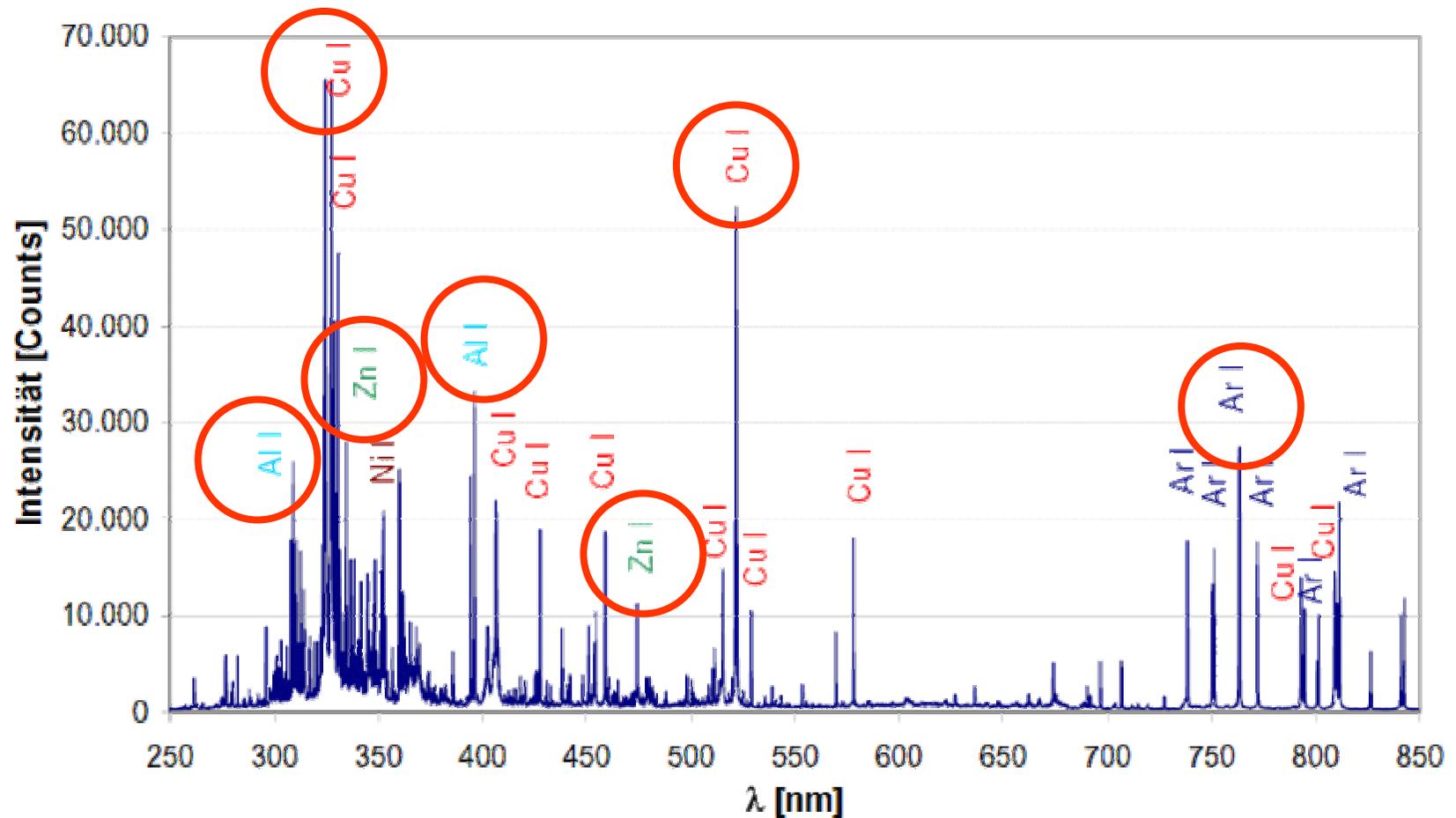
- Selektion Kupfer 570, 578 nm
- Selektion Zink 636 nm



Zielspektren im Überblick

Quelle: Abschlussbericht Adamus Choparc

Übersichtsspektrum
(Schutzgas - Ar; Draht - CuAl5Ni2)



Breitband-Sensorik

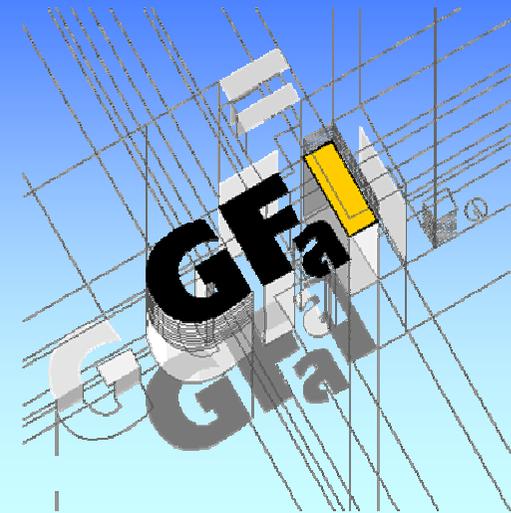
- Für industrielle Applikationen bietet die Anwendung breitbandiger Dioden eine Chance, das Verfahren für den Massenmarkt auszuprägen
- Vorzugsweise bieten sich folgende Spektren an:
- Metalllinien: 300...350 nm
 - Cu, Fe, Al, Zn, Ni
 - Insbes. Cu bei 520 nm
- Schutzgas: Ar bei 740...760 nm



3 Implementierte Sensoren

- Überblick
- Sichtbar: MCS3-AS
- UV: AG38
- IR: BPW34
- IR: BP104

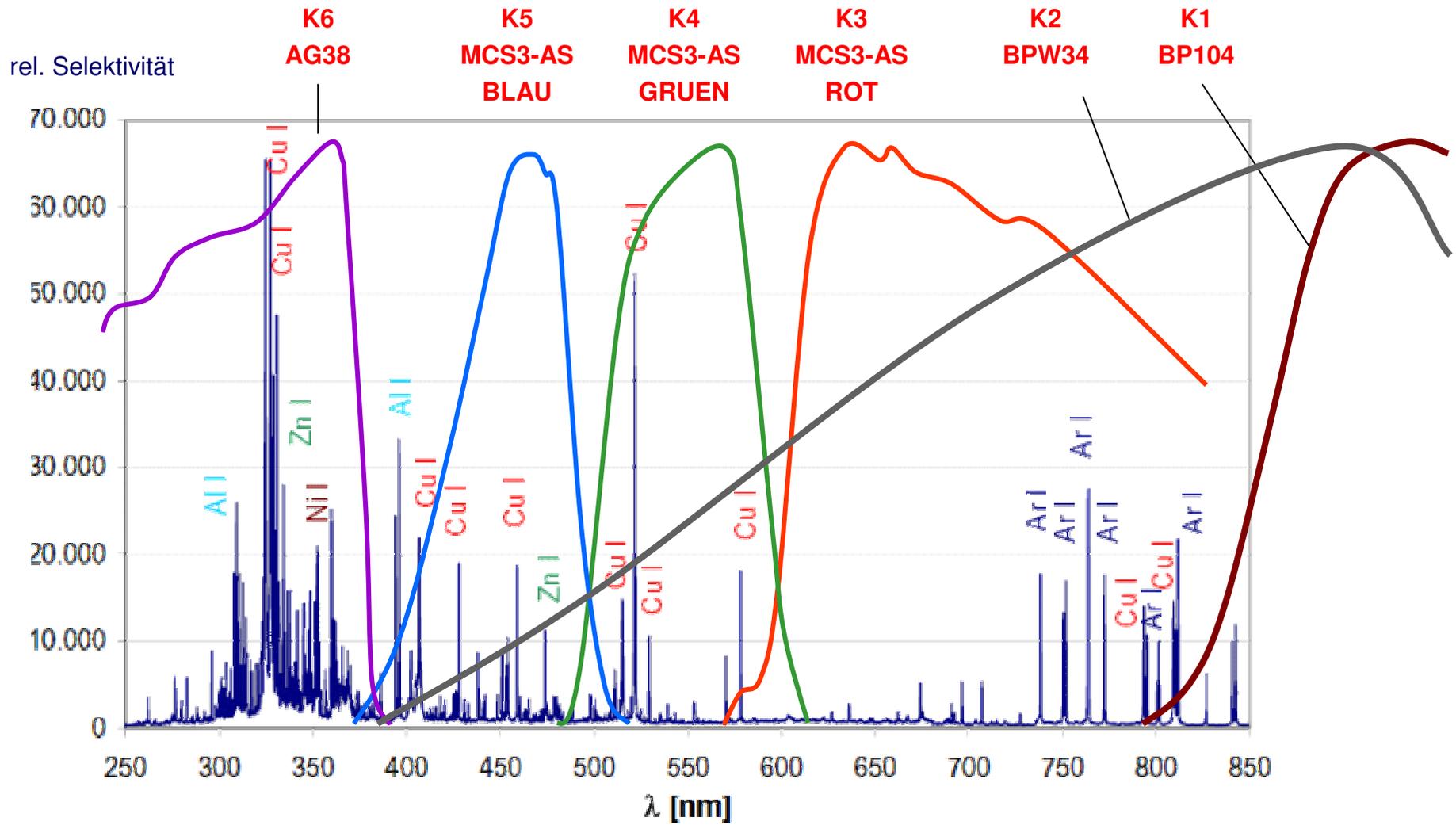
[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)



Dr. G. Heinz, GFai
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de

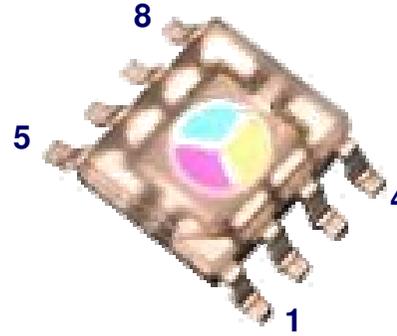


Überblick

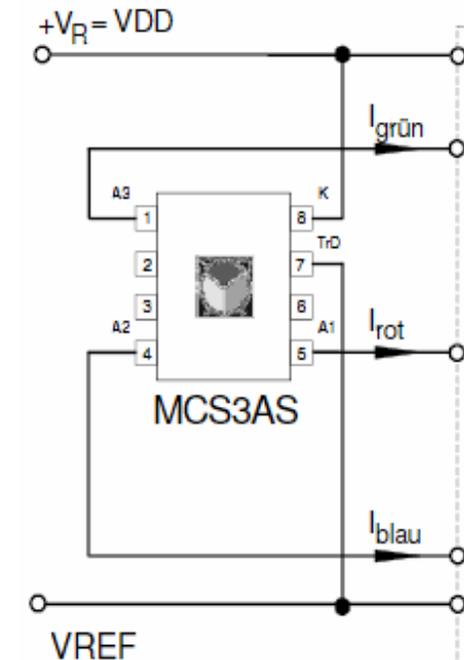
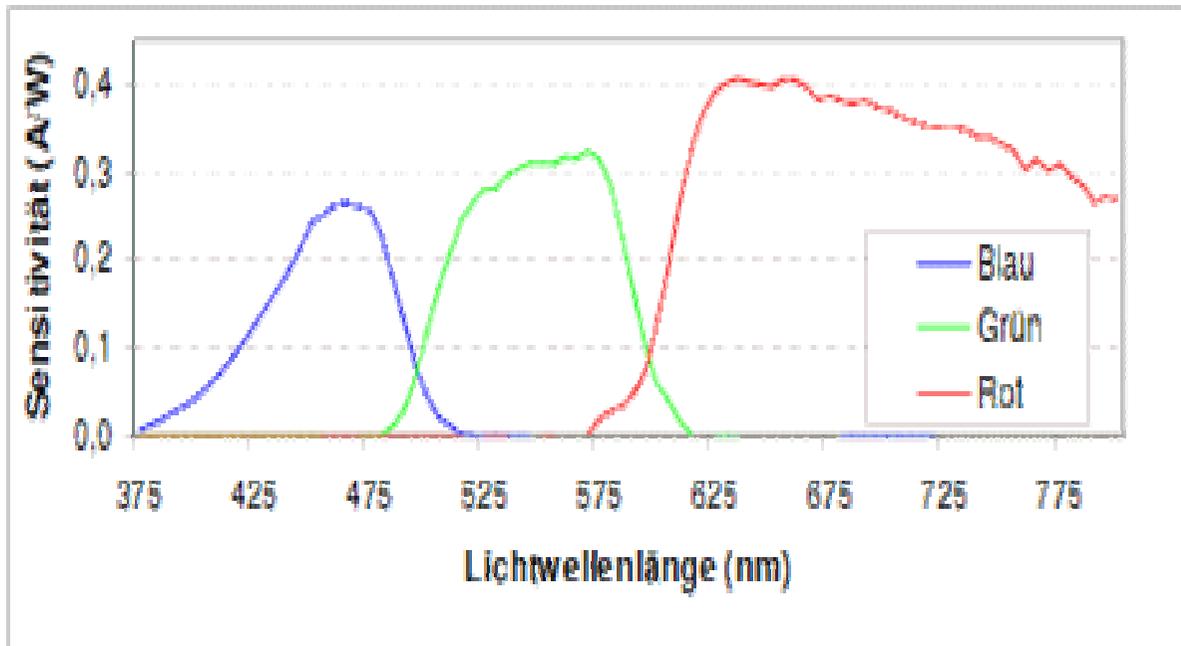


MCS3-AS

■ Spektrum & Gehäuse

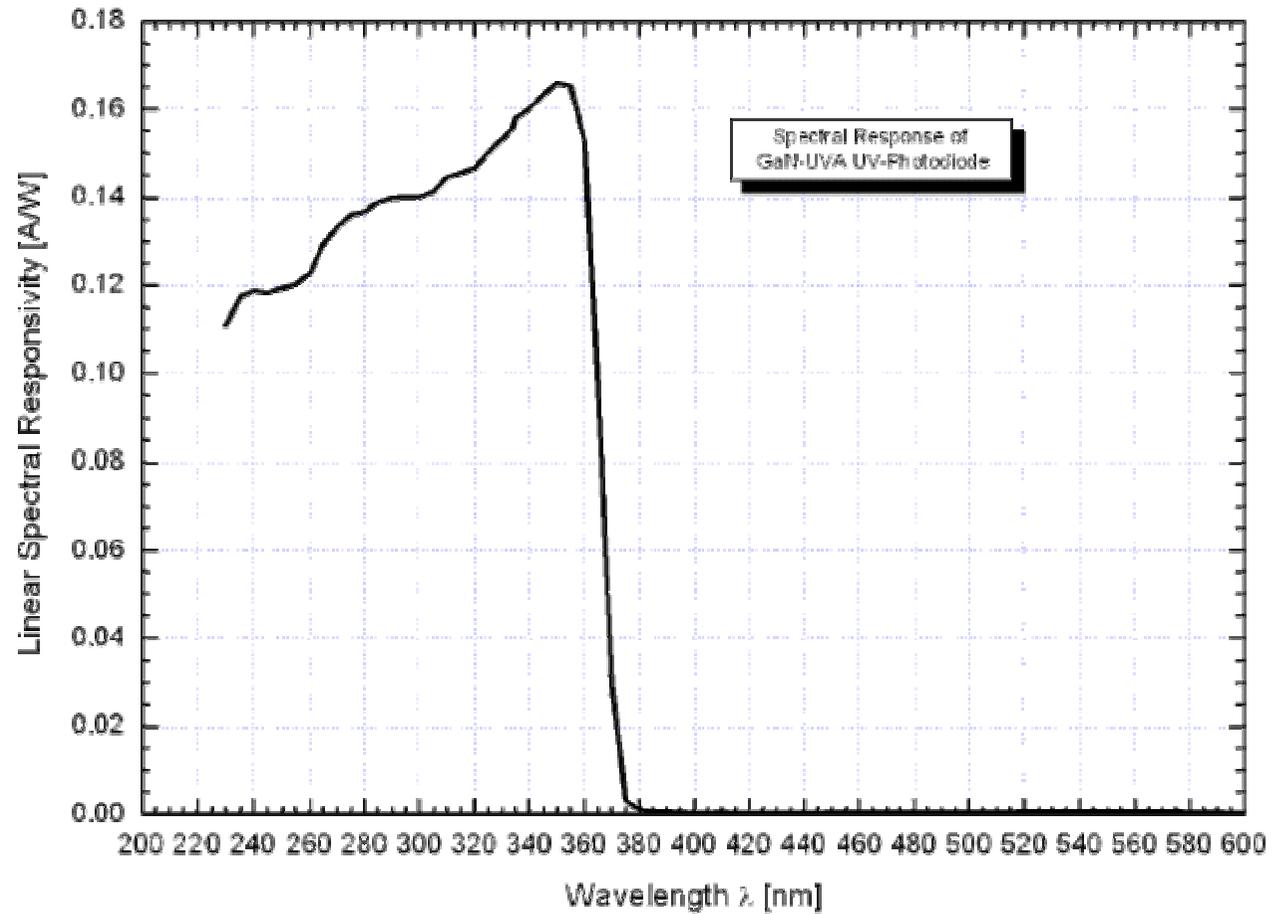
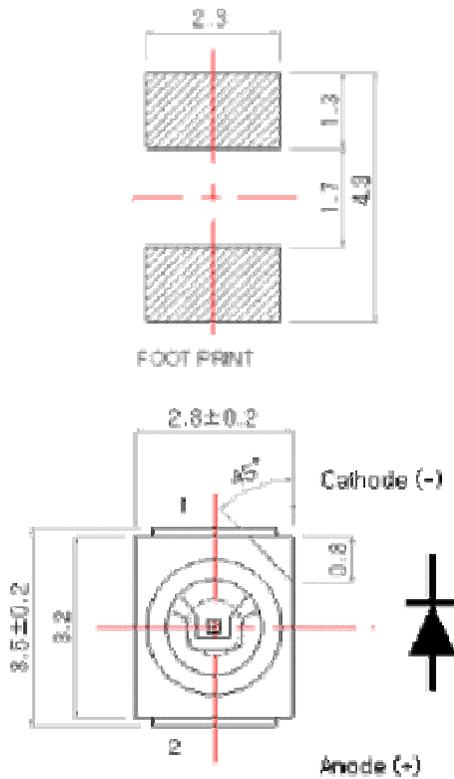


Pin	Name
1	Grün
2	-
3	-
4	Blau
5	Rot
6	-
7	VREF
8	VDD



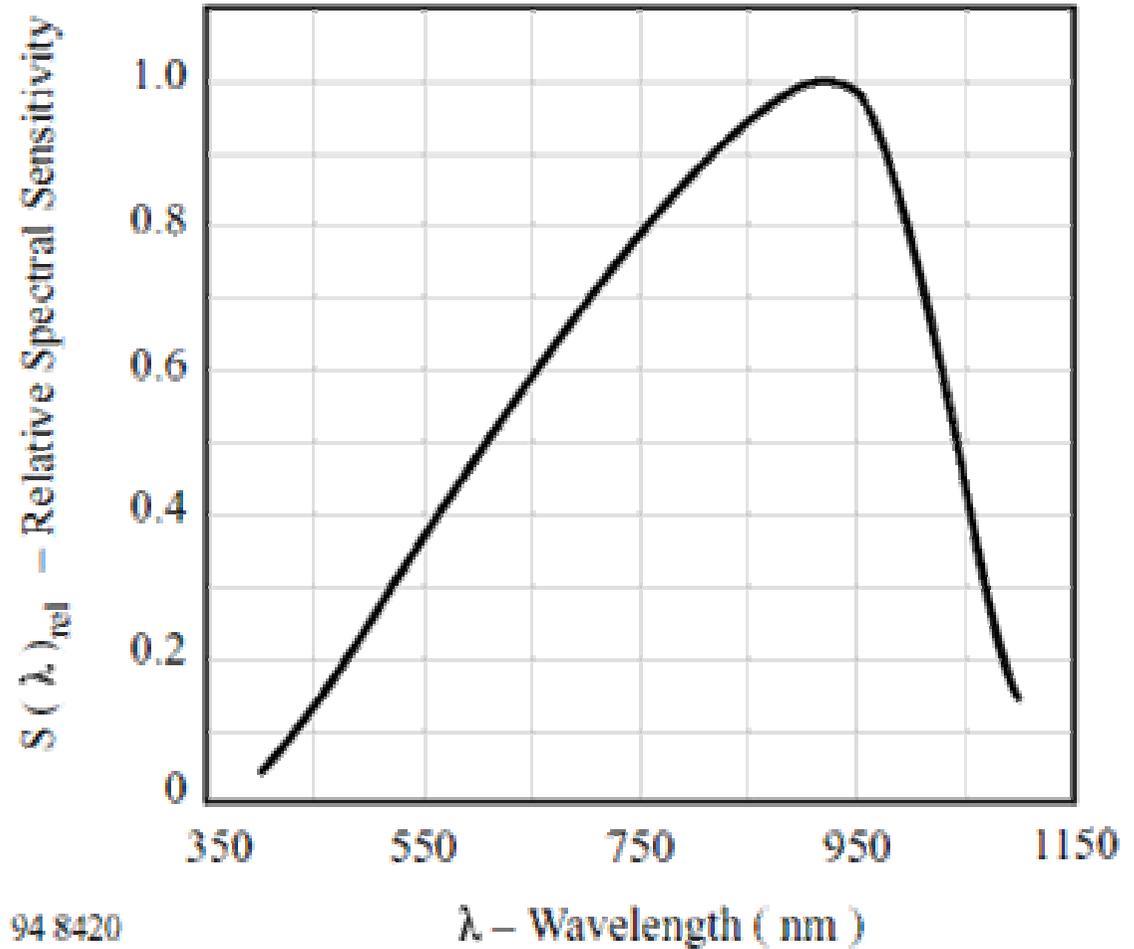
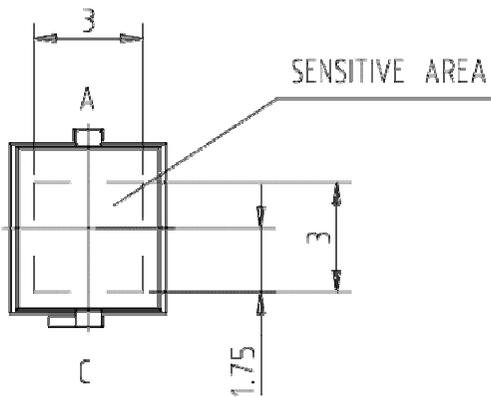
AG38

■ Spektrum & Gehäuse



BPW34

- Spektrum & Gehäuse

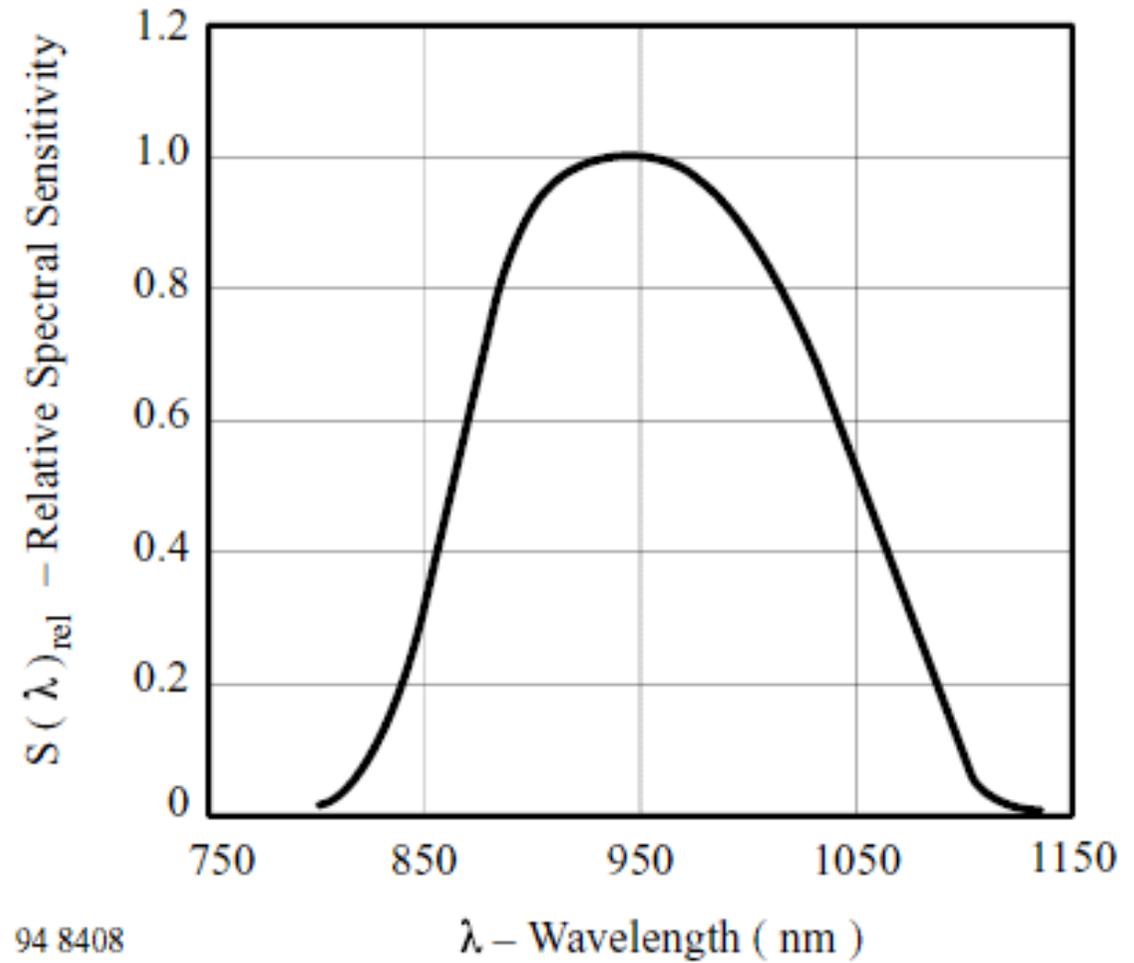
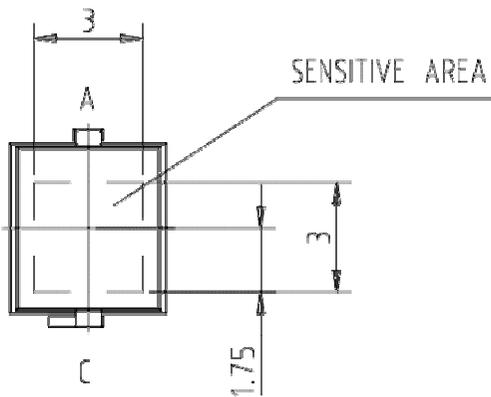


94 8420



BP104

- Spektrum & Gehäuse



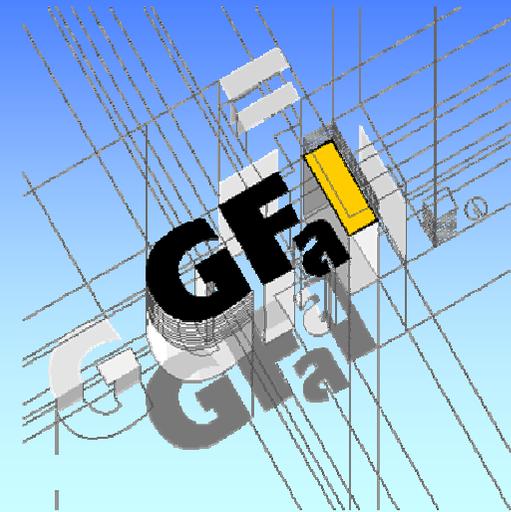
94 8408



4 Transferverhalten der Kanäle

- Testschaltung
- Transferverhalten Kanal 1
- Transferverhalten Kanal 2
- Transferverhalten Kanal 3
- Transferverhalten Kanal 4
- Transferverhalten Kanal 5
- Transferverhalten Kanal 6
- Auswertung

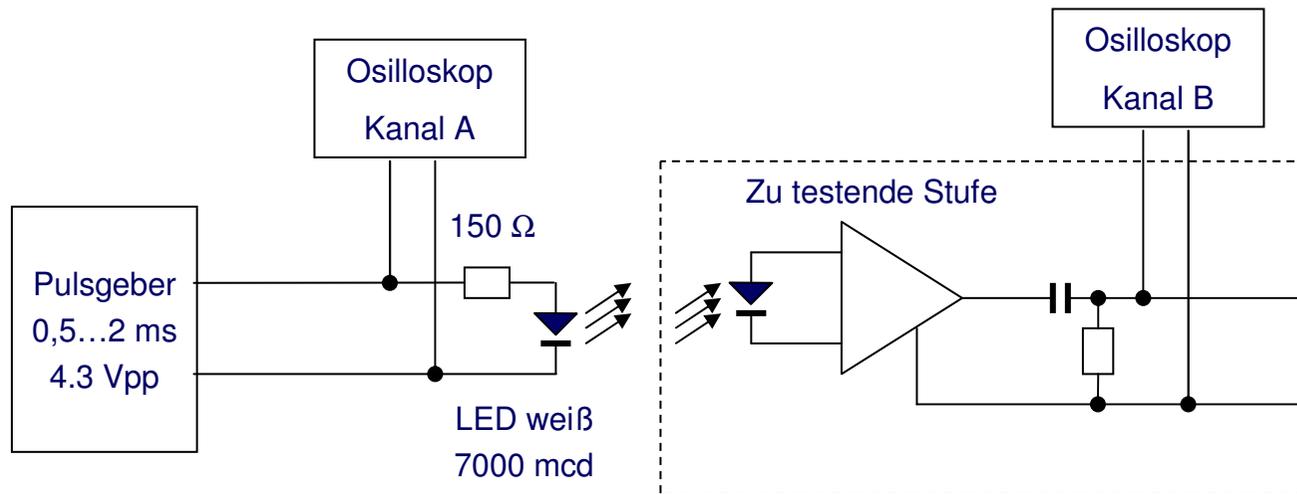
[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)



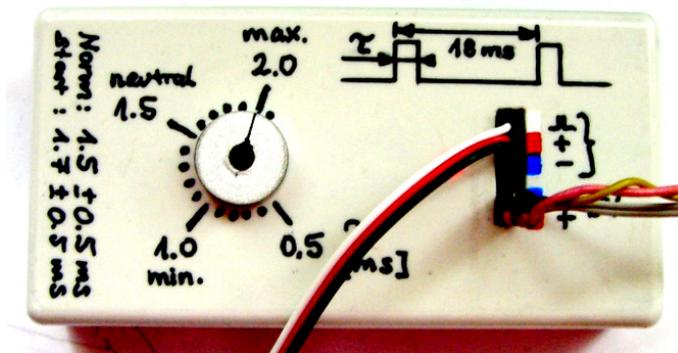
Dr. G. Heinz, GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de



Dynamik-Testschaltung



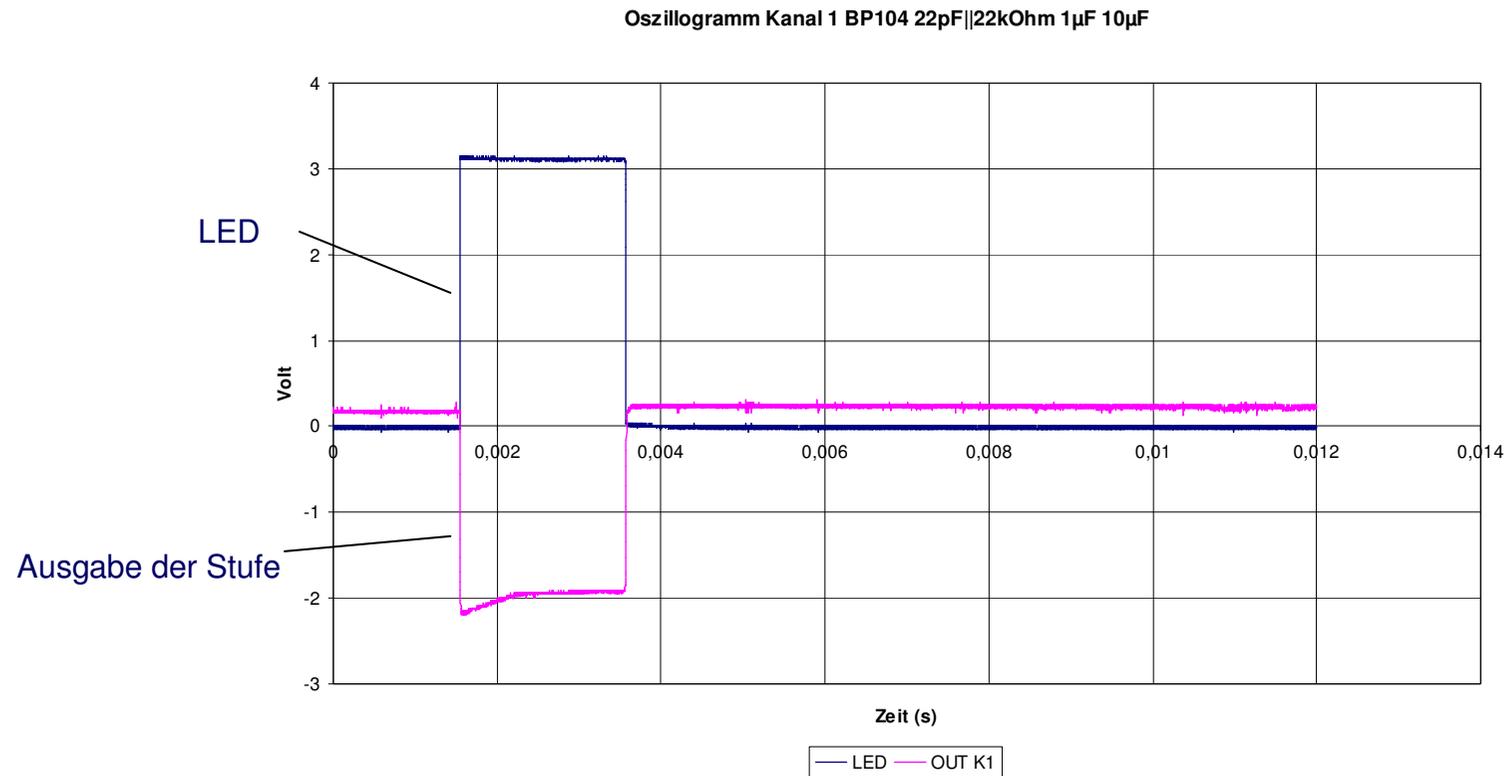
Pulsgeber



- Zur Untersuchung des Transferverhaltens unter realistischen Bedingungen wird eine LED- Pulslichtquelle genutzt
- Ein spezieller Pulsgeber erzeugt einen Schweiß- typischen Impuls von 1...2 ms und 20...50 mA, der eine weiße LED treibt
- Mit einem Zweistrahlosziloskop wird die Signalverzögerung und die Großsignalverzerrung bestimmt

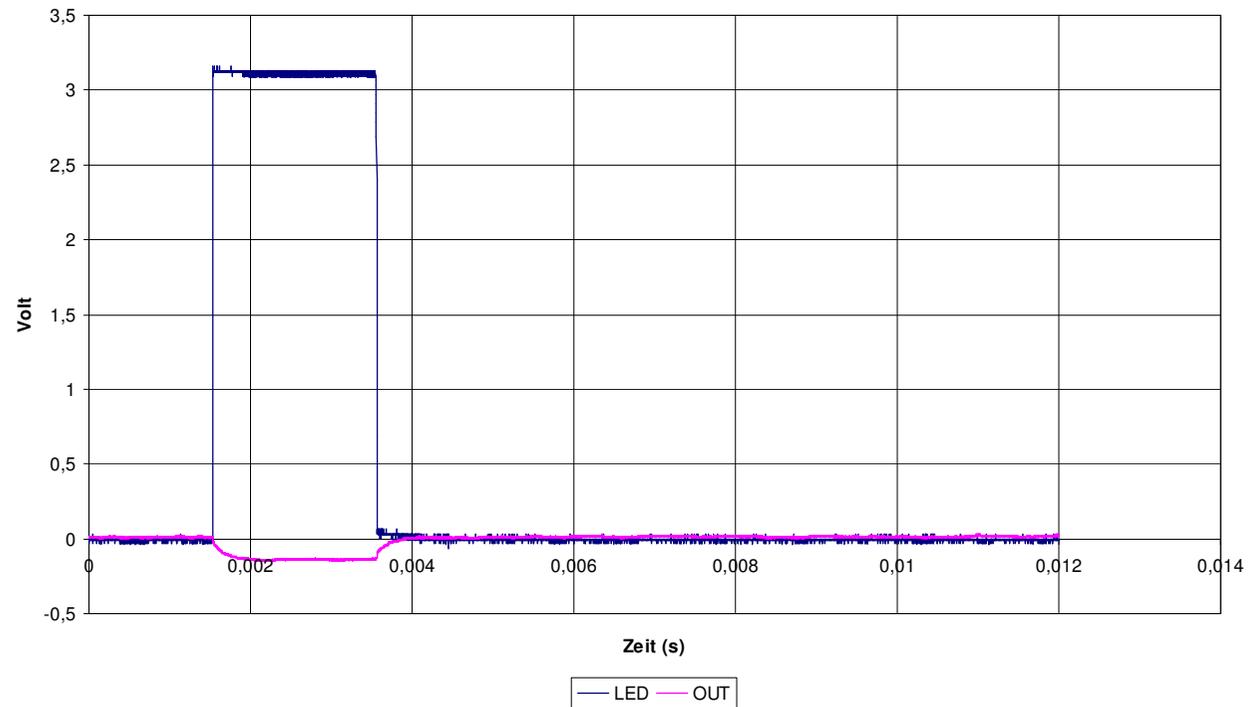


Transferverhalten Kanal 1 (bis 5)



Transferverhalten Kanal 6

Oszillogramm Kanal 6 AG38 (UV) 22pF||100kOhm 1μF 10μF



Auswertung zum Transferverhalten

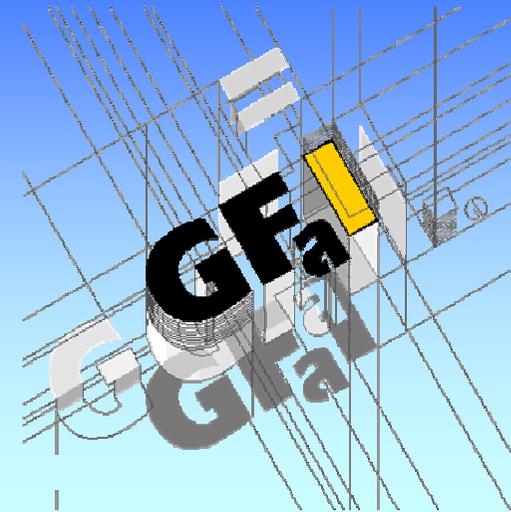
- Kapazitive Kopplung zwischen den Stufen sorgt für einen C-Abfall bei Rechteckimpulsen sowie für ein zeitfunktionsabhängiges Aufschwimmen des Pegels
 - Die Signalform wird bei der gewählten Dimensionierung der AC-Kopplung leidlich reproduziert, typischer C-Abfall $0,3V/2V \sim 30\%$
 - Kanal 6 lieferte mit weißer LED ein zu schwaches Signal trotz maximaler Verstärkung ($v = 1000$)
 - Es ist nicht möglich, die Zeitkonstanten der AC-Kopplung noch weiter zu vergrößern, da dann auf dem hochverstärkten UV-Kanal zu große Einschwingzeiten bei Schweißbeginn entstehen
 - DC-Kopplung wäre evtl. möglich, wenn eine empfindlichere UV-Diode zur Verfügung stünde
- > neue Schaltung mit einem Koppel-C weniger
- Flacheres Dach
 - Reduziertes Aufschwimmen
- Ziel: DC-Kopplung für Controller



5 Erste Meßergebnisse

- Parameter
- Bild A: Einzelimpuls
- Bild B: Pulsfolge
- Diskussion der Messergebnisse

[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)



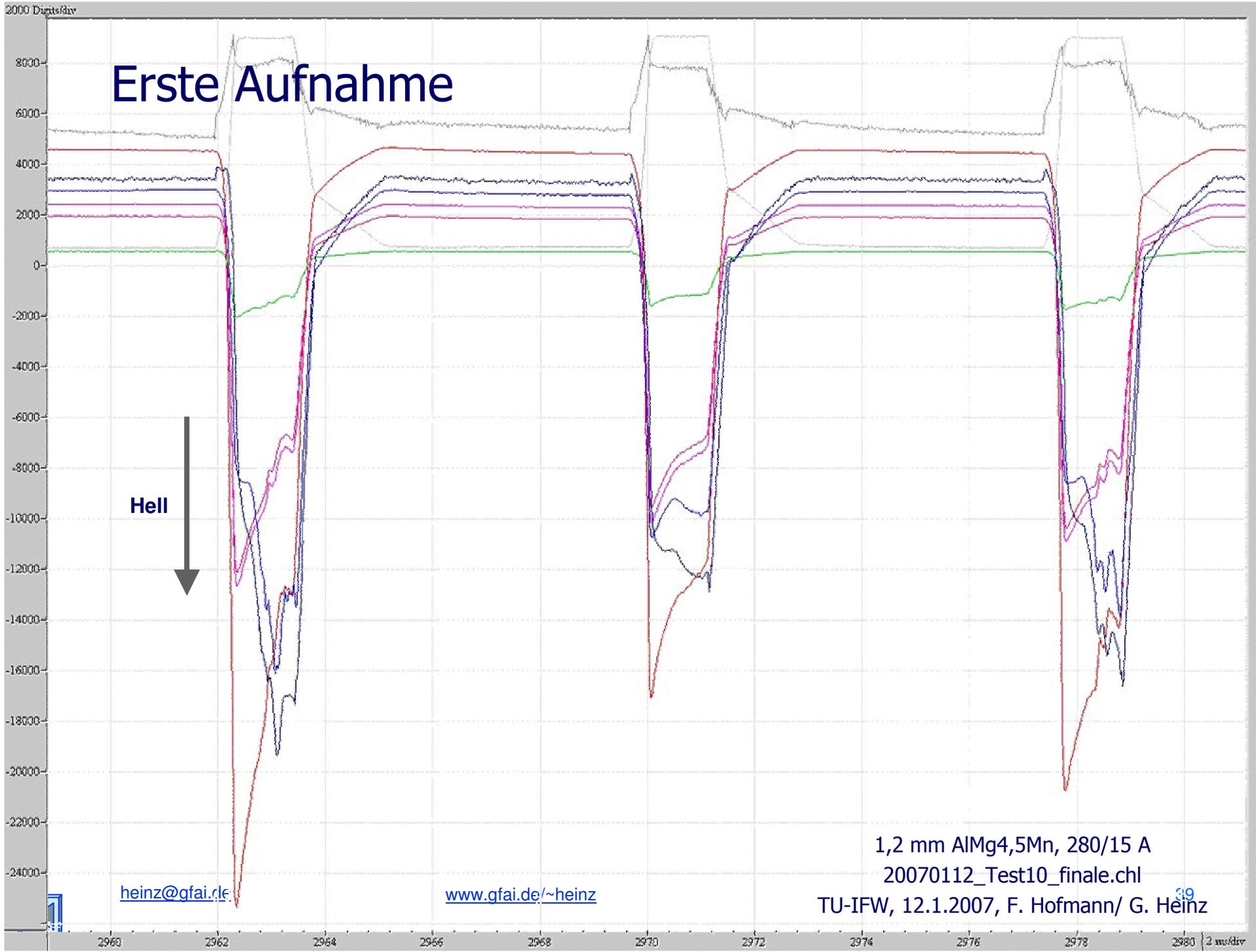
Dr. G. Heinz, GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de



Parameter

- Aufnahmen erfolgten in der Schweißwerkstatt der TU-IFW mit dem TU-Datenrecorder der GFaI unter der Software "Noiseimage"
- Die Datenrecorder-Eingänge sind durch Brücken im Adapterstecker auf +/- 1 Volt fixiert
- Durch Schweißversuche wurden optimale Schaltungsparameter für vorliegenden Prototyp gesucht
- Als problematisch erwiesen sich insbesondere die Zeitkonstanten der Arbeitspunkteinstellung und der große Aussteuerbereich
- Am 12.1.2007 gelangen erste, brauchbare Aufnahmen, siehe folgenden Seiten
- Schweißparameter
 - Blech 1.2 mm AlMg4.5Mn, Draht Ø1.2 mm, AlMg4.5Mn
 - Pulsstrom 280 A, Grundstrom 15 A, Pulsdauer 1.45 ms, Pulsfreq. 90 Hz
 - Drahtvorschub 4 m/min





Erste Aufnahme

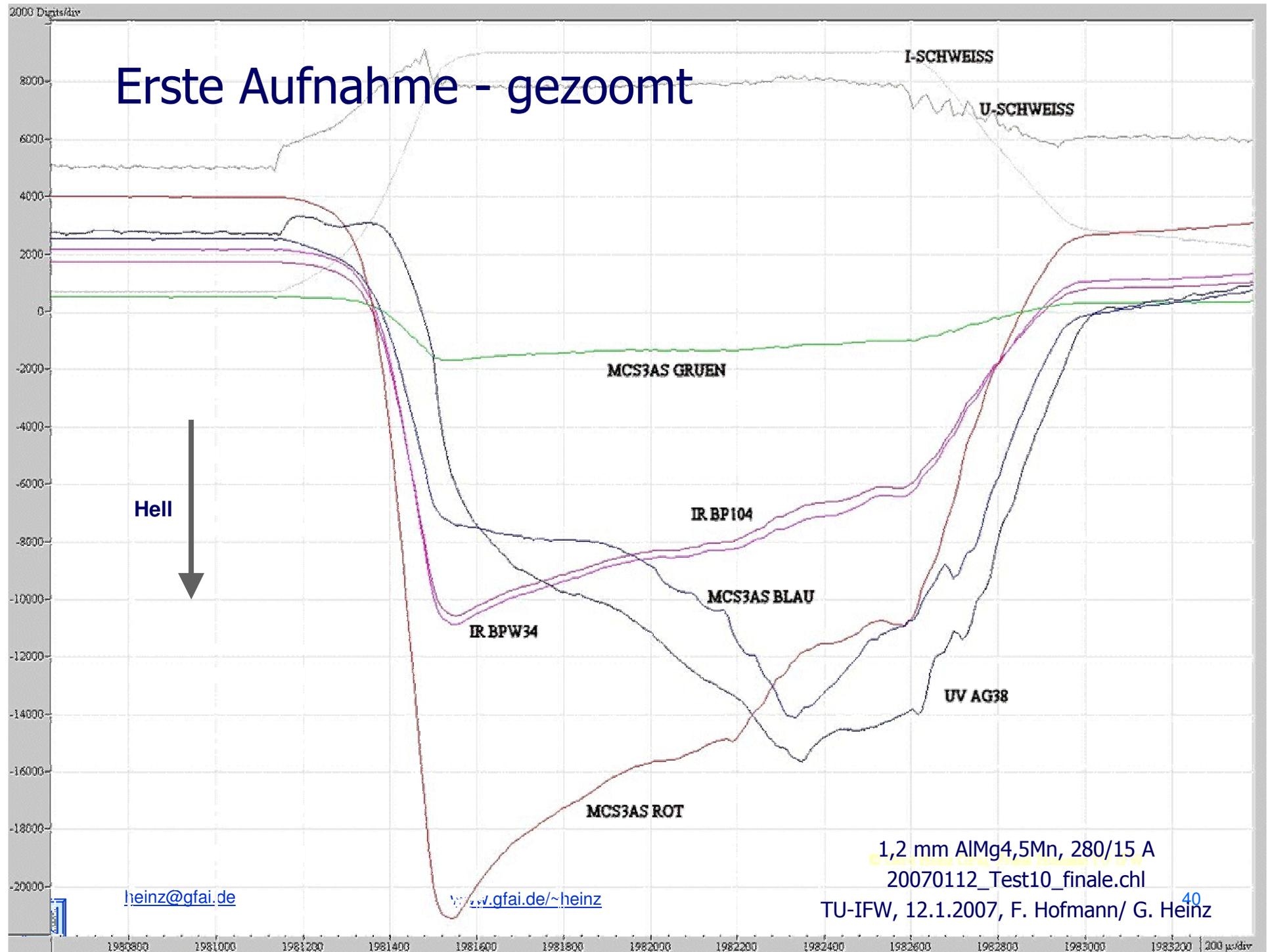
Hell

heinz@gfai.de

www.gfai.de/~heinz

1,2 mm AlMg4,5Mn, 280/15 A
20070112_Test10_finale.chl
TU-IFW, 12.1.2007, F. Hofmann/ G. Heinz

Erste Aufnahme - gezoomt

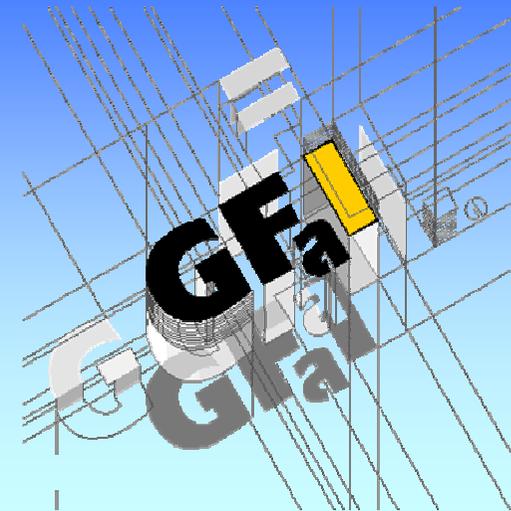


6 Komparierung

Kann ein Komparatorsignal aus der Metalldampf-Argon-Intensitätsdifferenz abgeleitet werden?

Dazu wird eine Differenz der Zeitfunktionen gebildet. Anschließend wird diese mittels Komparator in ein Schaltsignal gewandelt.

[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)



Dr. G. Heinz, GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de



Plotprogramm für Differenzbildung

- Unter Scilab wurden Auswertprogramme geschrieben
 - wavplt.sce, wav2gif.sce, wav3gif.sce ... wav5gif.sce
- Aufgaben:
 - *.wav lesen
 - Polaritätsumkehr
 - Differenzbildung ($f_3 = \dots$)
 - Nullpunktkorrektur (ff.)
 - Zeitfunktionsverknüpfung
 - Komparierung
 - Plotdarstellung
 - Bildausgabe als *.gif
- Programm wird über einen Parameterfile gesteuert, b.w.



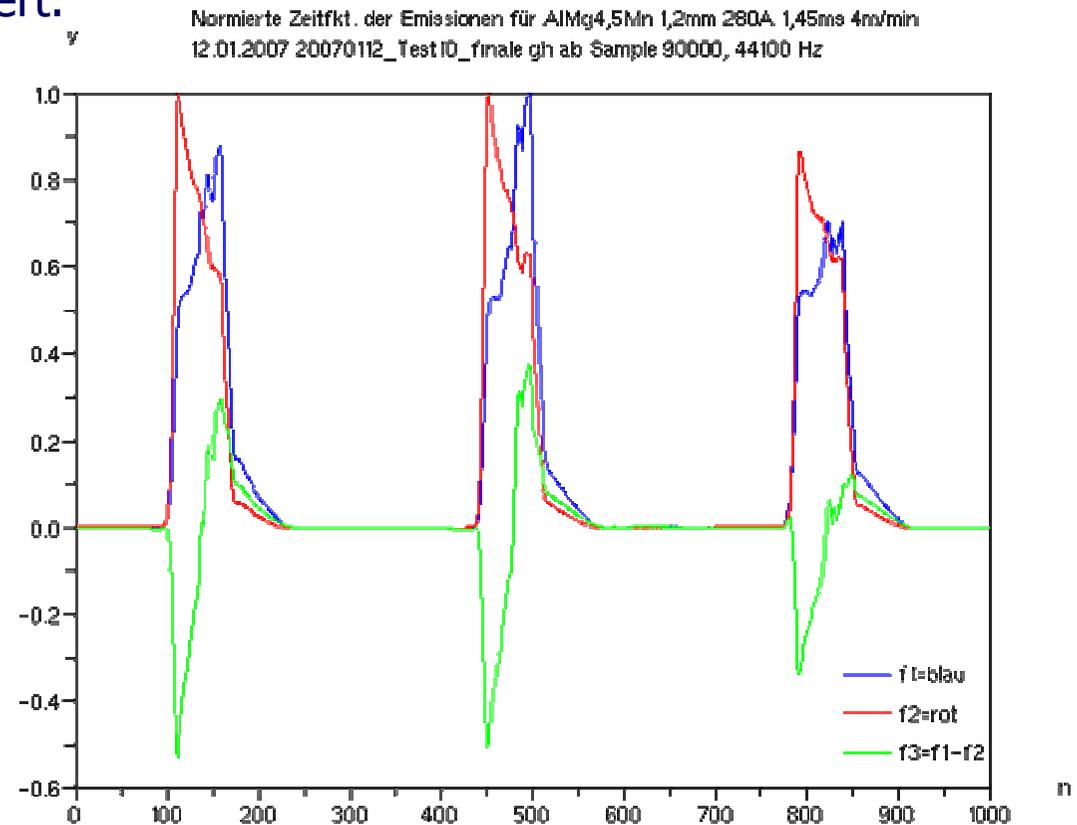
Parameterfile wav2gif.sce

```
// Parameterfile
parameter='AlMg4,5Mn 1,2mm 280A 1,45ms 4m/min';
source='20070112_Test10_finale';
datum='12.01.2007';
signum='gh';
start=90000; // Startsample
delta=1000; // Plotbereich in Samples
playsound=0; // Play the WAV-File
plot_corr=0; // Punktwolke plotten ja/nein
plot_zfkt=1; // Zeitfunktionen plotten je/nein
plot_f4f5=1; // Plot auch von f4 und f5?
f1='blau blue yes yes'; // Plotname Farbe negiert normiert
f2='rot red yes yes'; // Plotname Farbe negiert normiert
f3='1.2*f2-0.32*f1 black no'; // Formel Farbe negiert
f4='-.07 -.1 1.1 -1.1 orange yes'; // U+ U- limit+ limit- color negiert
f5='Ischw green no yes' // Plotname Farbe negiert normiert
```



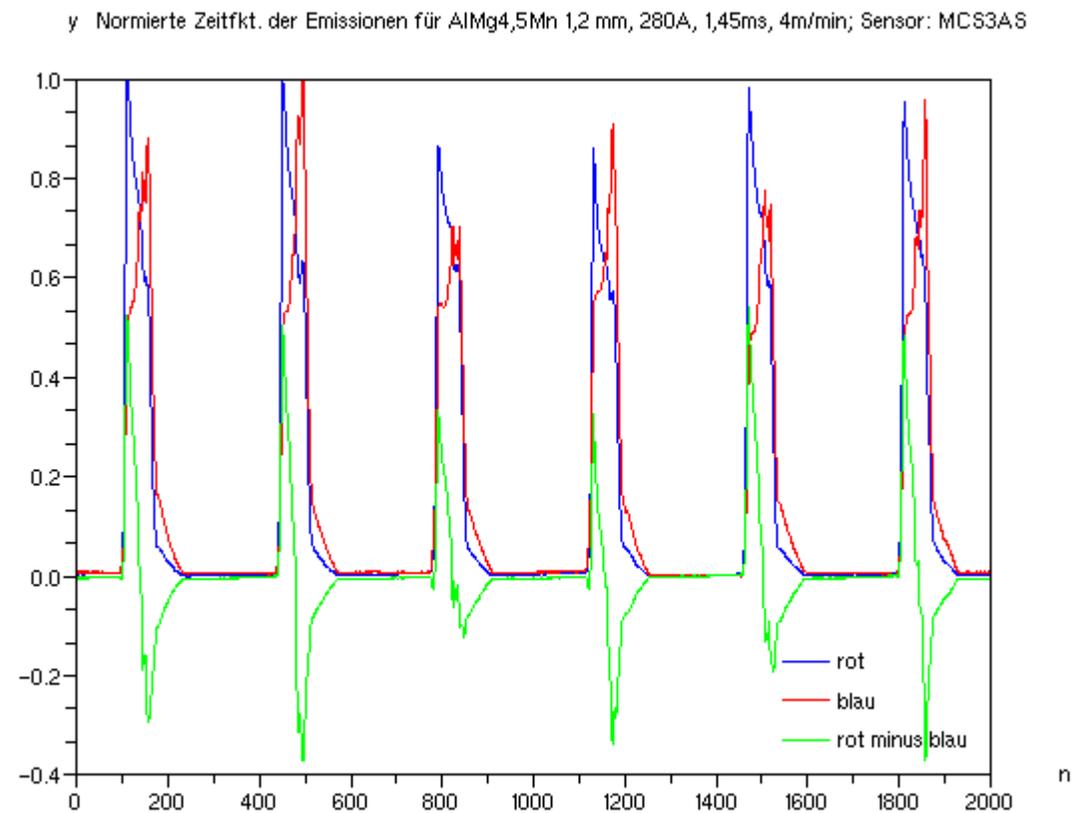
Nullpunktkorrektur

- Zur Eliminierung des schwimmenden Nullpegels der kapazitiven Kopplung wurde ein Algorithmus entwickelt, der aus dem sortierten n-Intervall den Wert des geringsten Anstieges ermittelt. Dieser wird als Nullwert interpretiert und subtrahiert.



Pulsvielfalt

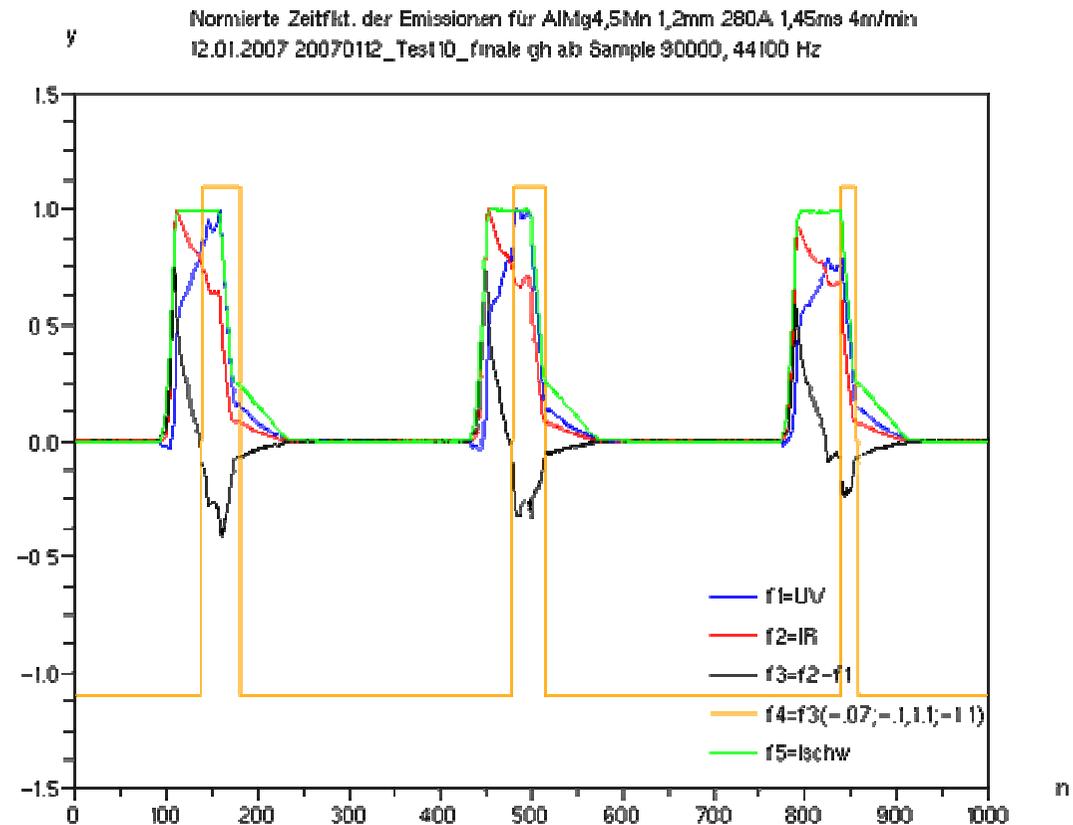
- Größere Intervalle zeigen individuelle Vielfalt an Differenzzeitfunktionen, siehe Bild



Komparierung

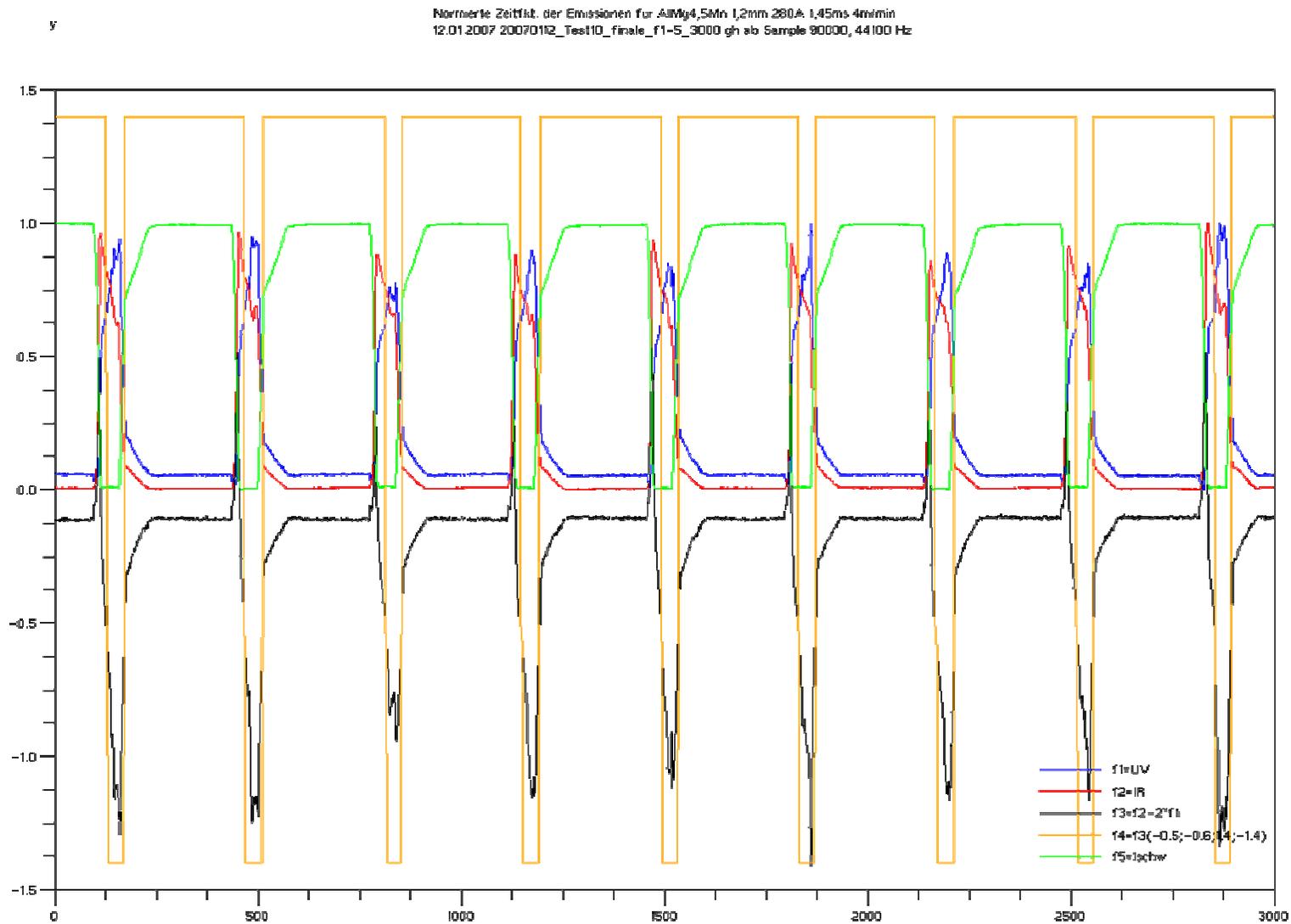
- Oberhalb/unterhalb Schwelle (U+, U-) wird Ausgang auf Limit (+/-) gelegt
- Steigende Flanke von f4 zeigt den Abschaltzeitpunkt des Lichtbogens an.
- Möglicherweise ist dieser noch um 0.1 bis 0.3 ms zu verzögern.

$$f4 = f3(U+ \text{ limit+ limit-})$$



Mit optimierter Schwelle

(ohne Nullpunktkorrektur, fallende Flanke)



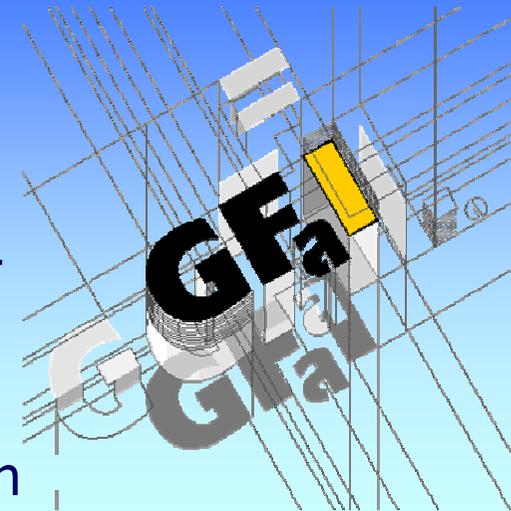
7 Statistische Probe

Was sagt Statistik über Paarungsqualitäten der Dioden? Kann man eine optimale Differenzpaarung statistisch erkennen?

Zur Untersuchung der Signalzuordnung zwischen Rot- und Blauanteil (Argon bzw. Metalldampf) gemessener Zeitfunktionen wurden diese gegeneinander dargestellt.

Liegt die resultierende Punktwolke auf einer $y=x$ Geraden, so ist hohe Abhängigkeit vorhanden. Je weiter die stochastische Abweichung von $y=x$, desto unabhängiger sind die Zeitfunktionen voneinander: Ziel.

[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)

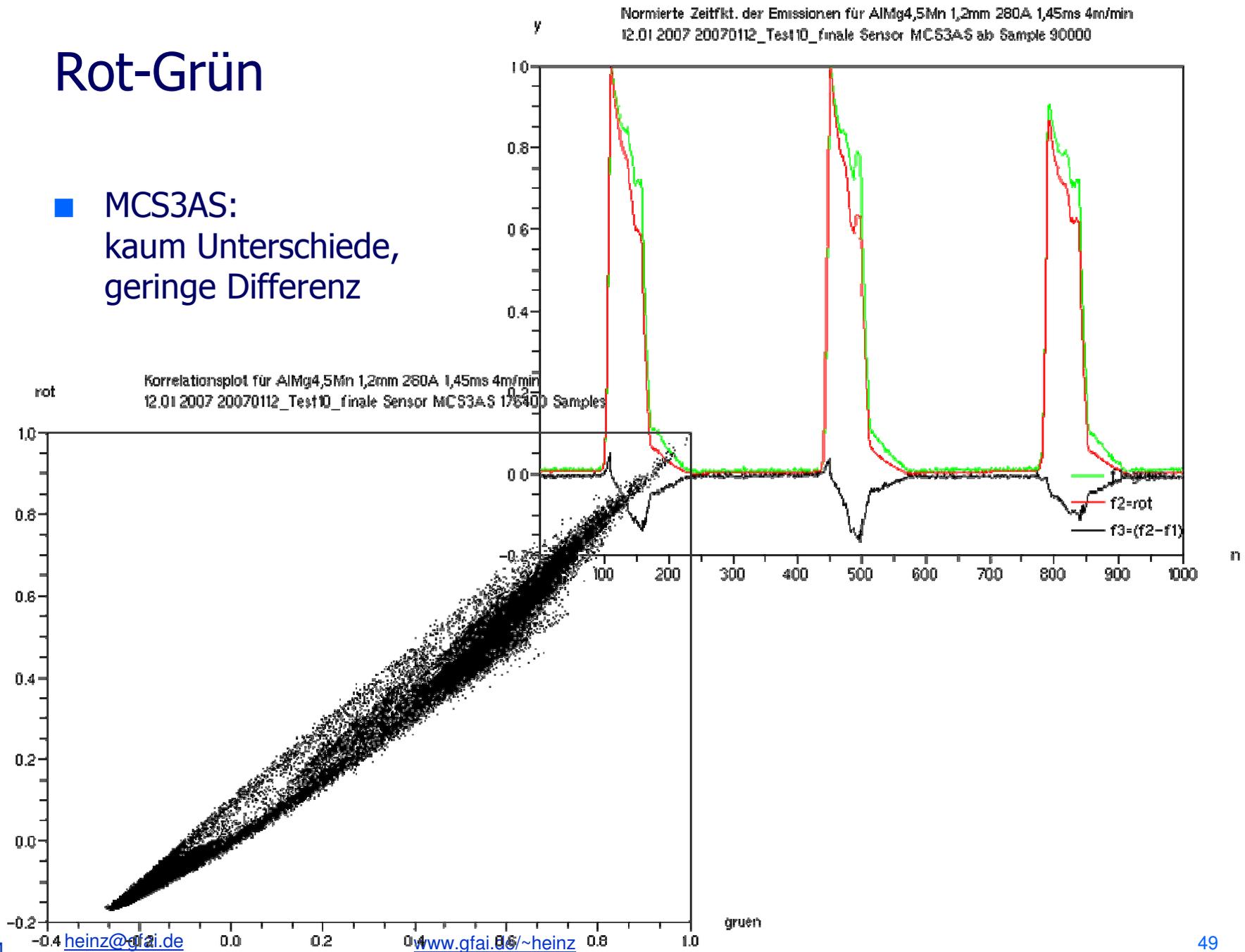


Dr. G. Heinz, GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin
Tel. +49 (30) 6392 -1652
Fax. -1602
www.gfai.de/~heinz
heinz@gfai.de



Rot-Grün

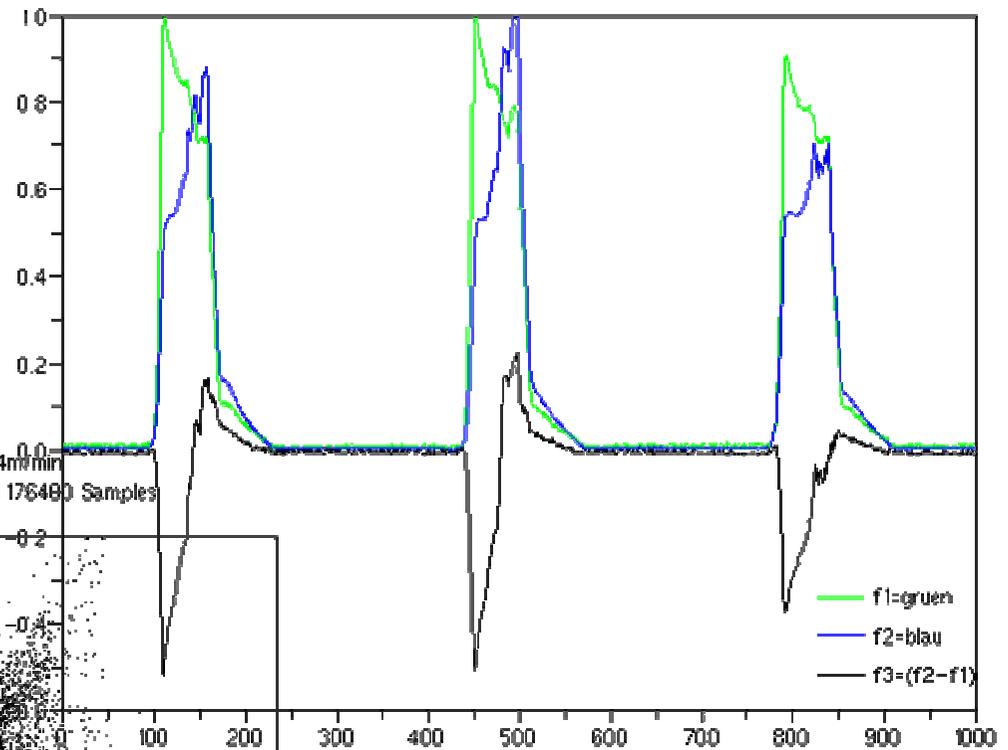
- MCS3AS:
kaum Unterschiede,
geringe Differenz



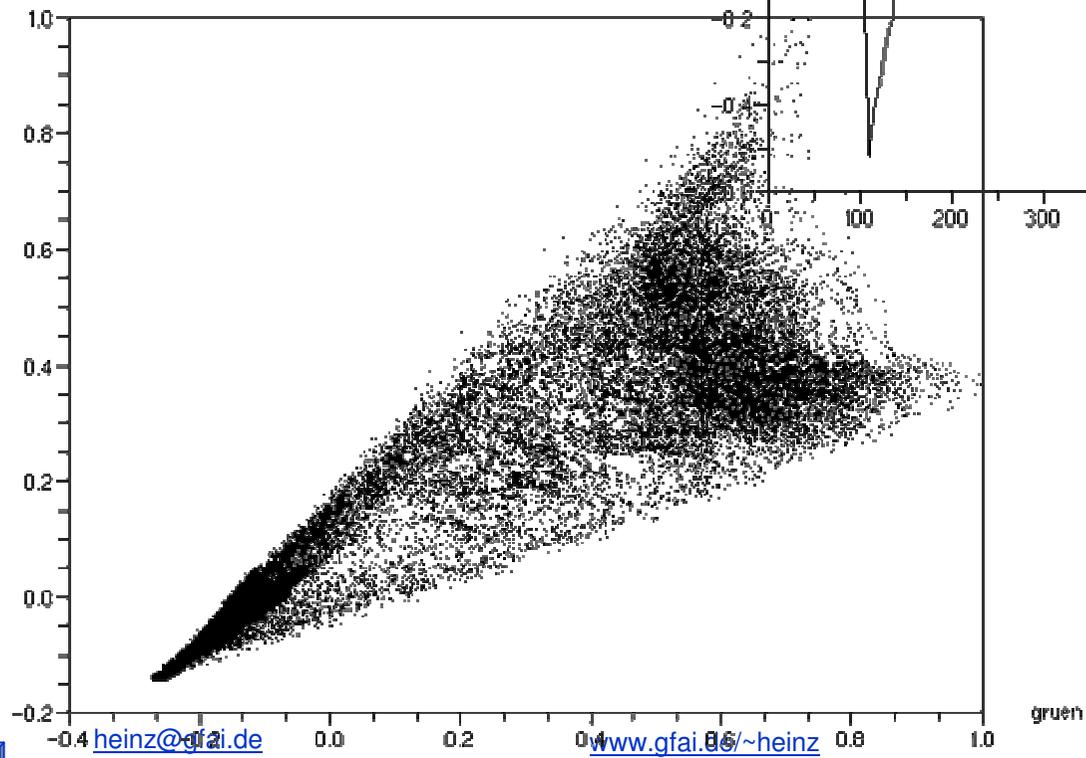
Blau-Grün

- MCS3AS:
größere Unterschiede

Normierte Zeitfkt. der Emissionen für AlMg4,5Mn 1,2mm 280A 1,45ms 4m/min
12.01.2007 20070112_Test10_finale Sensor MCS3AS ab Sample 90000

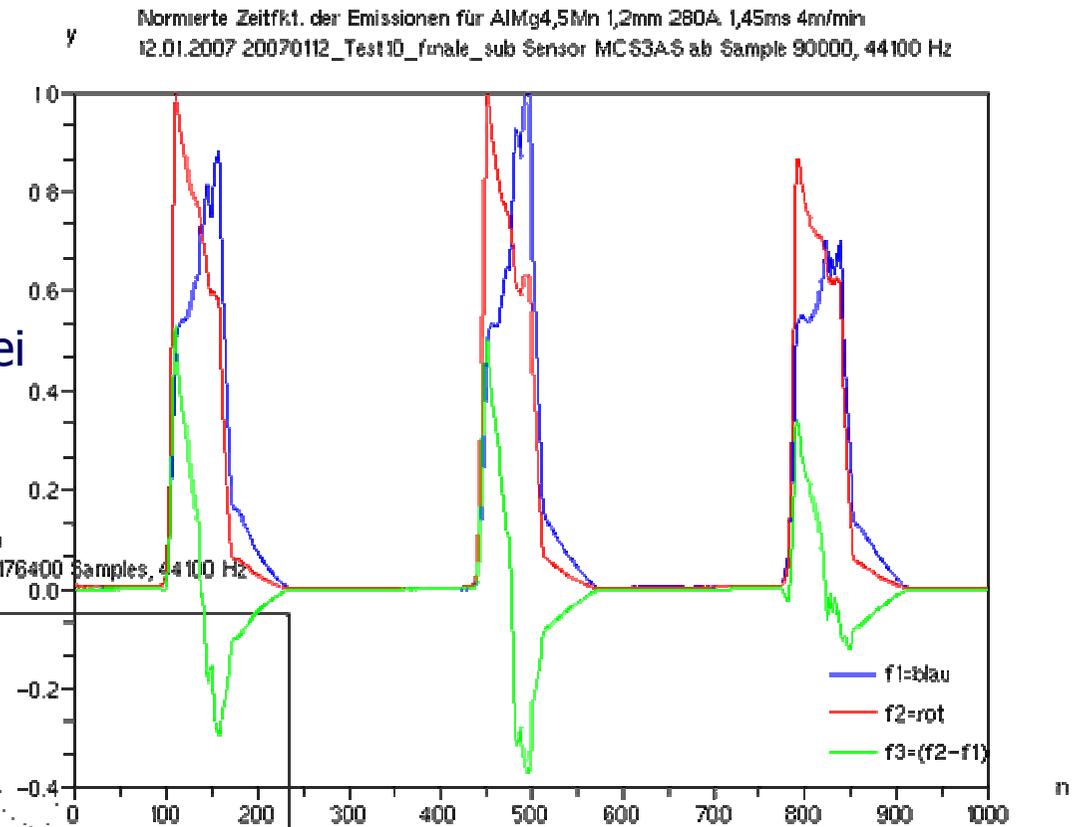
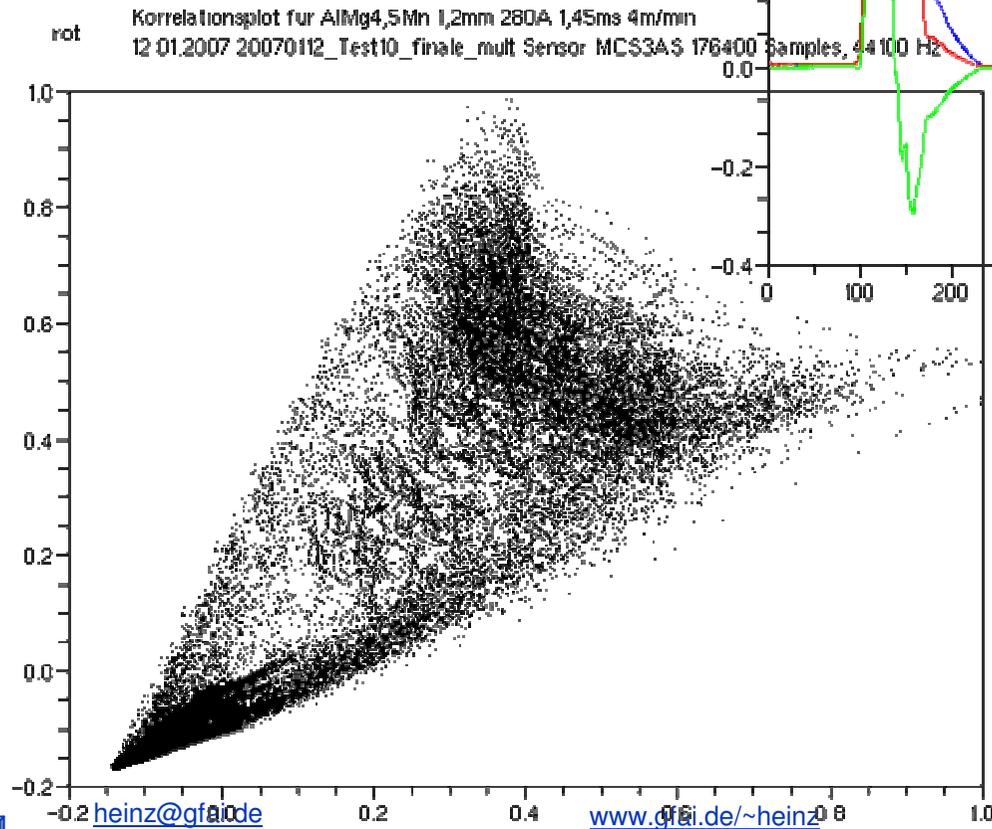


Korrelationsplot für AlMg4,5Mn 1,2mm 280A 1,45ms 4m/min
12.01.2007 20070112_Test10_finale Sensor MCS3AS 176480 Samples



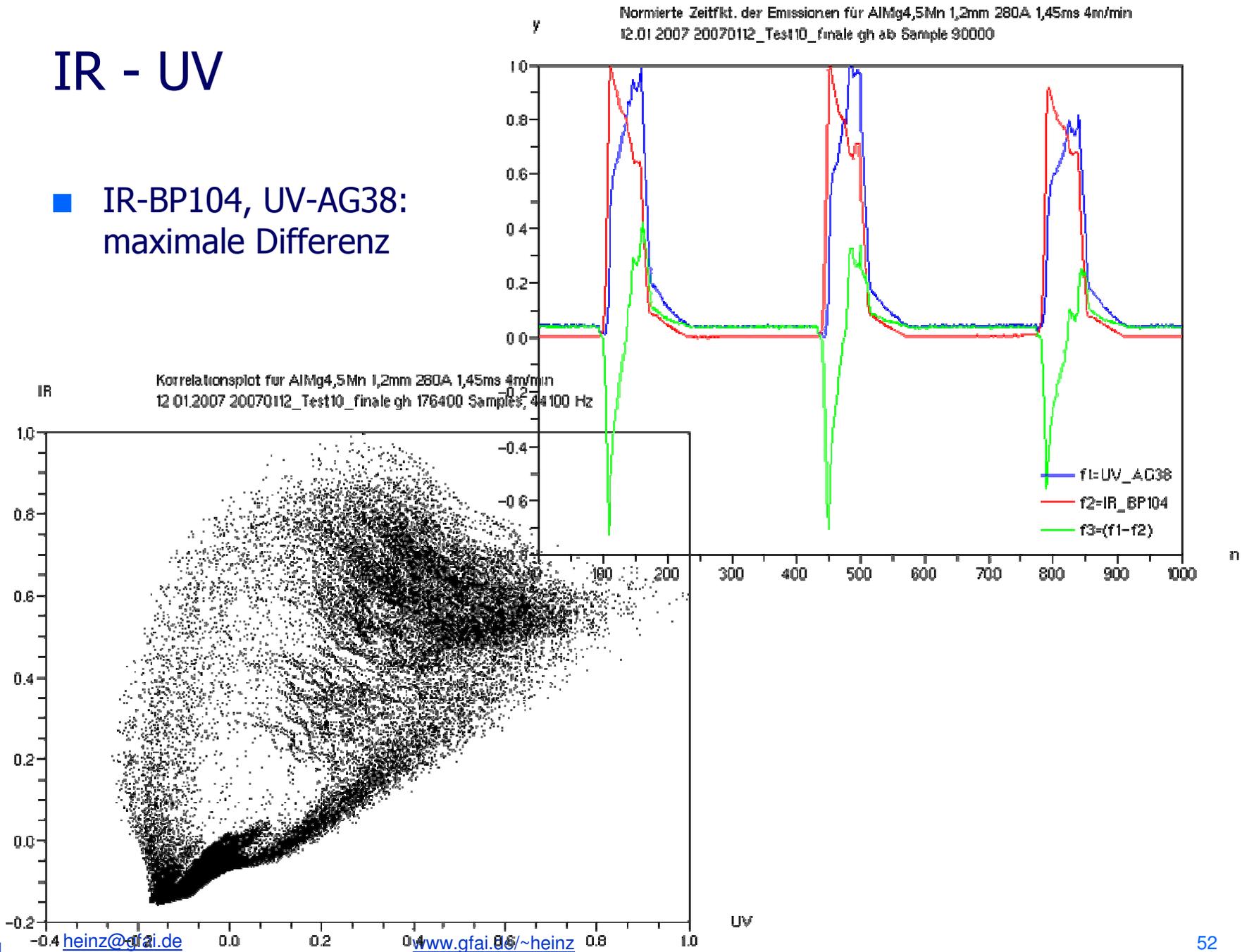
Rot-Blau

- MCS3AS:
maximale Unterschiede bei
sichtbarem Licht



IR - UV

- IR-BP104, UV-AG38: maximale Differenz



Zum Vergleich: Ergebnisse Adamus/Choparc

- RGB-Zeitverläufe sind stark gestört

Bild vom 30.3.2003:

EV6_300303.jpg

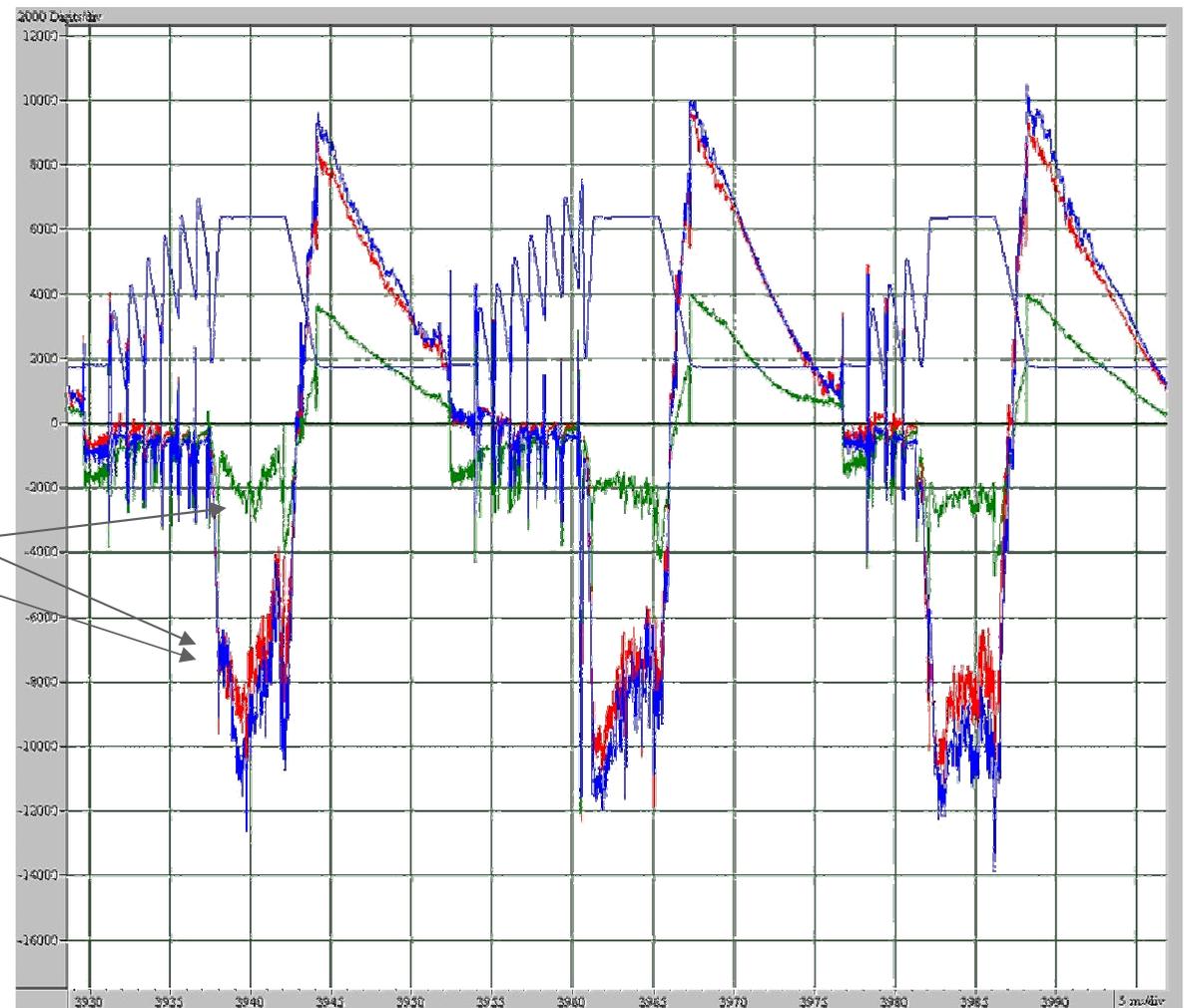
Emissionen von

MCS3AS-rot

MCS3AS-blau

MCS3AS-grün

- Woher kam eigentlich die Hoffnung, daß es doch gehen könnte?



8 Diskussion

- Zu erkennen ist ein stromproportionaler Anstieg der Infrarotemission (Argon) bei verzögertem Anstieg der UV-Emission (Metaldampf)
- Die UV-Emission erreicht fast gleichzeitig mit Strommaximum ein Plateau, dessen Ursache unklar ist
- Das Maximum der Metaldampfemission lange vor Abschaltung des Stromes deutet auf Prozesseigenschaften hin, die für das Projektziel (Prozessregler) problematisch werden können
- Impulse sind individuell sehr verschieden
- Obwohl 5 Meter lange RJ45-Kabel verwendet werden, ist die Schaltungsauslegung hinreichend robust. Ein Schweißimpuls von 280 Ampere generiert keine elektrischen Störungen im Spektrometerkanal
- Augenmerk ist folgend auf die experimentelle Extraktion der für einen Prozessregler geeigneten Prozessparameter sowie auf eine statistische Bewertung zu richten
- Beide IR-Kanäle liefern ein nahezu identisches Signal
- Die Aussteuerungseinstellung der Kanäle ist noch verbesserungswürdig
- Eine Untersuchung mittels UV- und IR-Dioden scheint zielführend



Kontakt

Dr. G. Heinz
GFaI
Rudower Chaussee 30
12489 Berlin

Tel. +49 (30) 6392 -1652

Fax. -1602

heinz@gfai.de

www.gfai.de/~heinz



[zurück zum Inhaltsverzeichnis](#)

