Leckagesuche in der Prozeßindustrie **mit OGI Technologie**

4.0PMC
OPEN PRODUCTION & MAINTENANCE COMMUNITY
VERNETZEND. GESTALTEND. WEGWEISEND.

Masters
Condition Monitoring

Duisburg, 17.03.2023

Andreas Blug

Dipl. Betriebswirt

- Leitung WEBER.Dienstleistung + Marketing

Thermograf

- Zertifiziert nach DIN EN ISO 9712 - Stufe 2
- Bau, Elektro, Industrie
- Leitung WEBER.Schulungs- und Prüfungszentrum Thermografie

Ein besonders wertvoller Tipp

Vorstandsmitglied im VATH e.V. **www.vath.de**

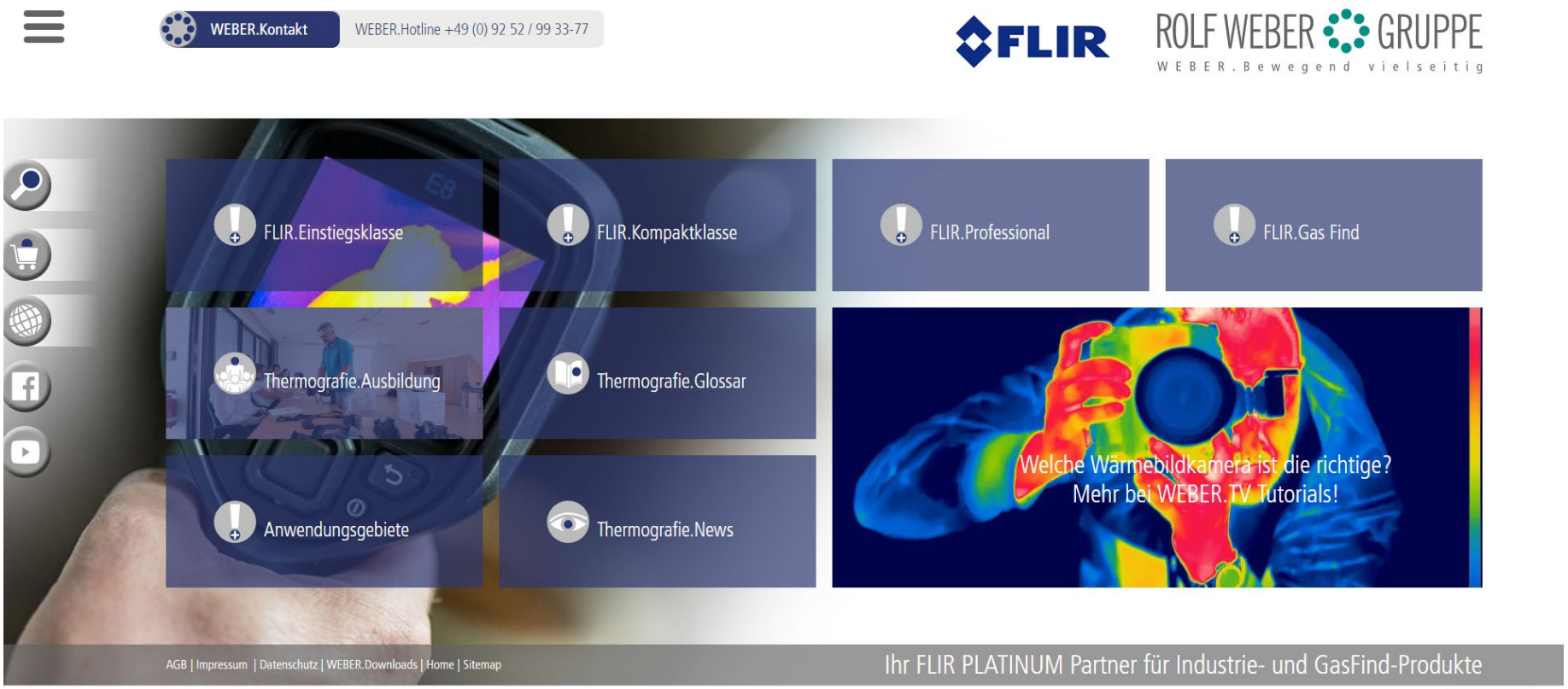
VATH
BUNDESVERBAND FÜR ANGEWANDTE THERMOGRAFIE E.V.

Vorstandsmitglied im 4.OPMC e.V. **www.4opmc.com**

4.OPMC
OPEN PRODUCTION & MAINTENANCE COMMUNITY

WEBER.Online 1: www.rolf-weber-gruppe.de

WEBER.Online 2: www.kauf-flir.de



WEBER.Thermografie - Übersicht FLIR Technik:

WEBER.Thermografie - Übersicht FLIR Optiken:

WEBER.Thermografie - Übersicht FLIR Feuerwehr:

WEBER.Thermografie – Warum?

Die FLIR GF-Serie:

Optische Gasdetektionskameras (OGI-Kameras) von FLIR erleichtern die schnelle, präzise und sichere Erkennung von Methan, Schwefelhexafluorid und Hunderten anderen industriellen Gasen im laufenden Betrieb. Mit FLIR OGI-Kameras können Sie weitläufige Anlagenbereiche schnell überprüfen und dabei auch Abschnitte untersuchen, die für herkömmliche kontaktbasierte Messgeräte schwer zugänglich sind. OGI-Kameras erkennen Lecks aus sicherer Entfernung und machen unsichtbare Gase als Rauchwolken sichtbar.

WEBER.Thermografie – Die OGI-Technik:

Die FLIR GF-Serie:

- **GF304** (Kältemittel); **QWIP-Detektor**; **8,0-8,6µm**
- **GF306** (u.a. SF6 / NH_3); **QWIP-Detektor**; **10,3-10,7µm**
- **GF309** („Ofenkamera“); **InSb Detektor**; **3,8-4,05µm**
- **GFx320 + GF320** (Kohlenwasserstoffe, Primärgas CH4); **InSb Detektor**; **3,2-3,4µm**
- **GF343** (**CO_2**); **InSb-Detektor**; **4,0-4,4µm**
- **GF346** (u.a. CO); **InSb-Detektor**; **4,52-4,67µm**

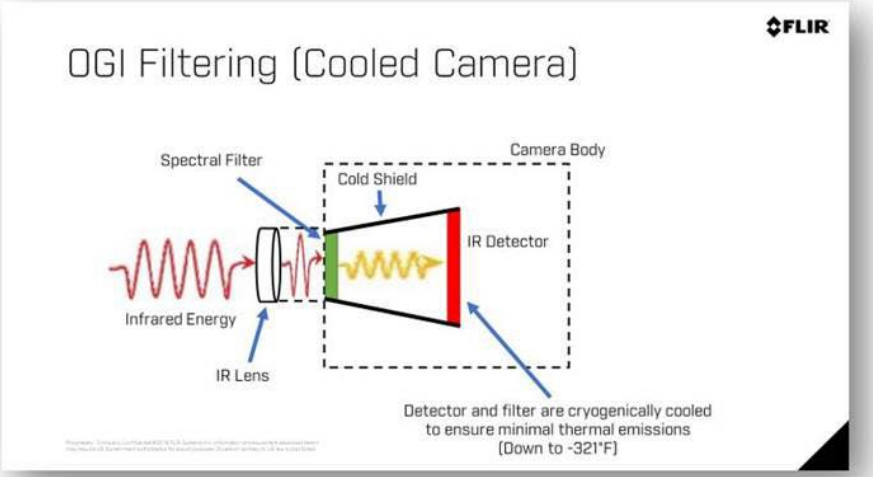
WEBER.Thermografie - Übersicht FLIR GF-Technik:

ungekühlt

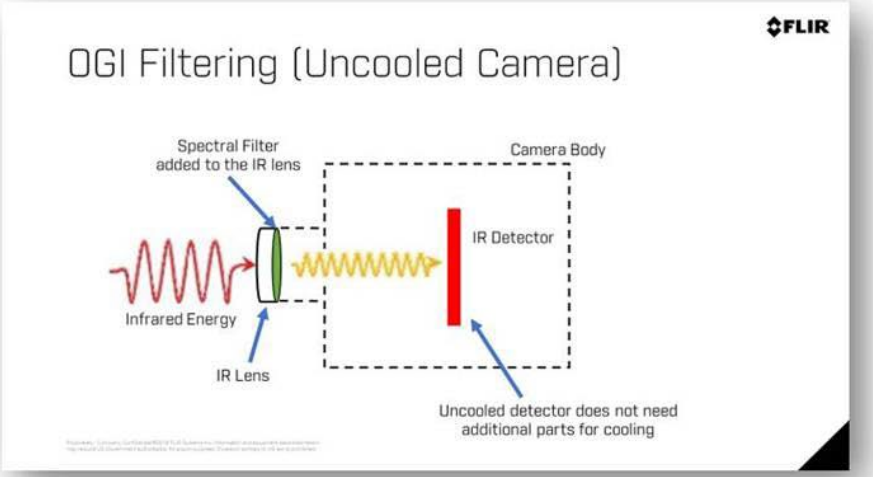
FLIR

Cooled vs Uncooled OGI: Filtering

COOLED CAMERA

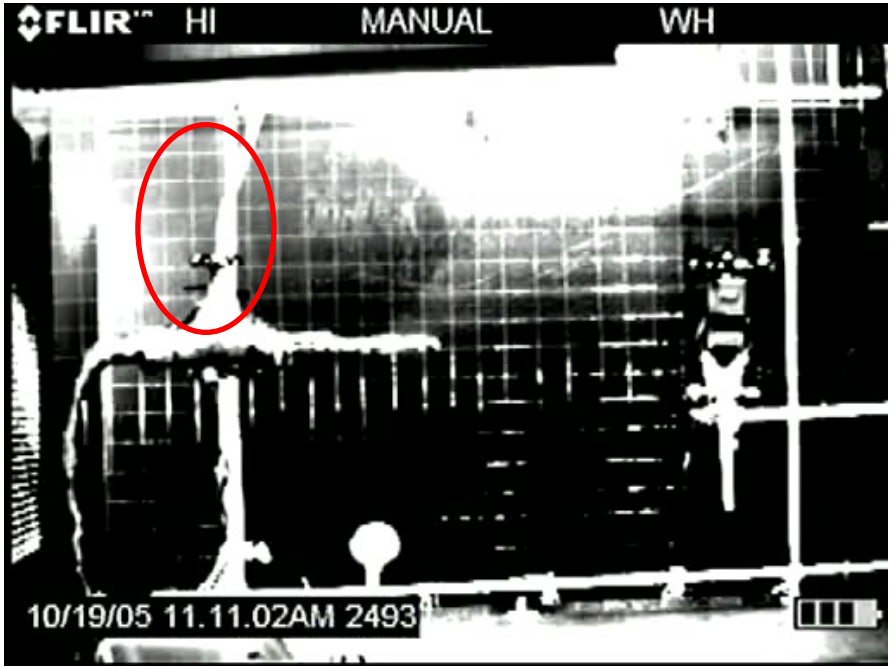


UNCOOLED CAMERA

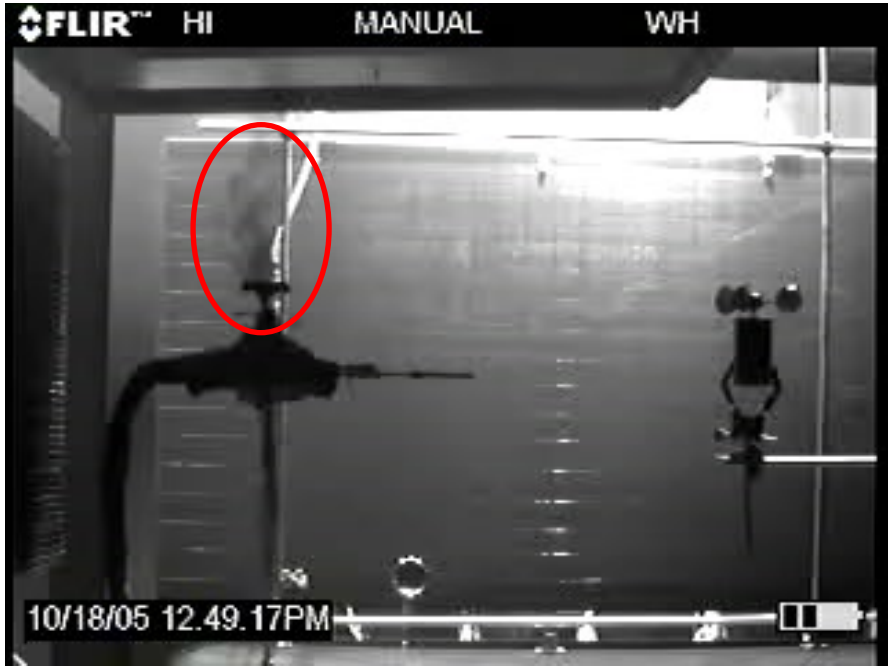


Proprietary - Company Confidential ©2018 FLIR Systems Inc. Information and equipment described herein may require US Government authorization for export purposes. Diversion contrary to US law is prohibited.

Leckrate am Beispiel Methan



0.6 grams/hour



40 grams/hour

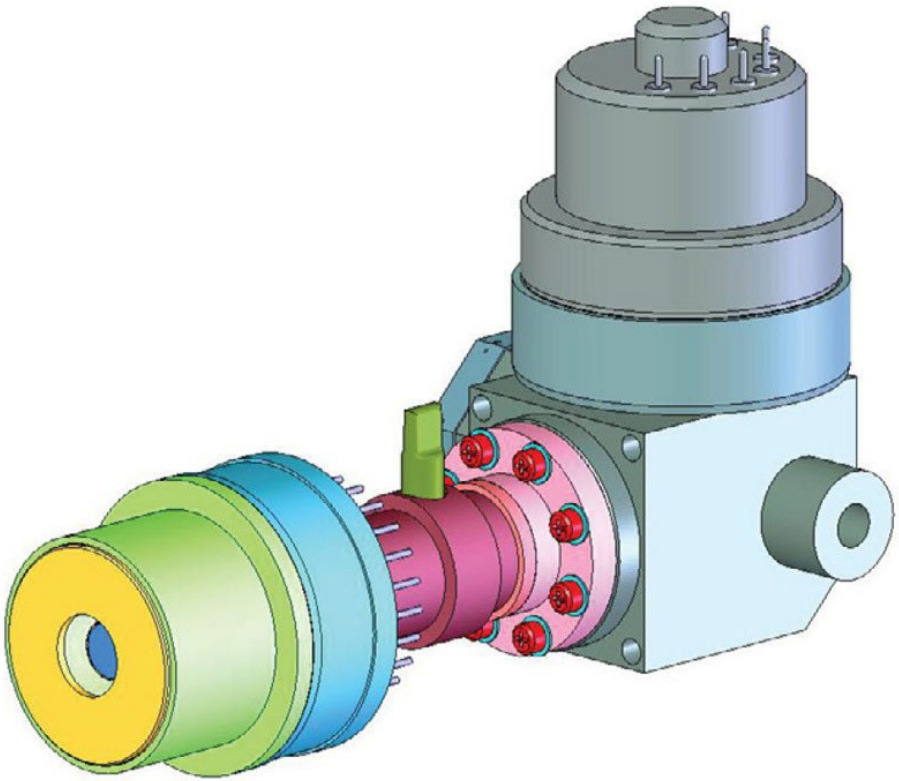
Gas	Chemische Bezeichnung	Chemische Formel	GF320 GFx320 GF620	GF343	GF346	GF304	GF306	GF77-LR	GF77-HR
Essigsäure	Essigsäure	$C_2H_4O_2$	H					M	
Ethin	Ethin	C_2H_2							
Akrolein	2-Propenal	C_3H_4O				M	H		L
Terpentinöl	Alpha-Pinen	$C_{10}H_{16}$	H					L	
Ammoniak	Ammoniak	NH_3					H		M
Benzol	Benzol	C_6H_6	H						
1,3-Butadien	1,3-Butadien	C_4H_6	H				H		M
Butan	Butan	C_4H_{10}	H						
Kohlendioxid	Kohlendioxid	CO_2		H					
Kohlenmonoxid	Kohlenmonoxid	CO			H				
Ethan	Ethan	C_2H_6	H						
Ethylalkohol	Ethanol	C_2H_6O	H			L		L	M
Acrylsäure	Ethylester	$C_5H_8O_2$				H		M	
Ethylhexylacrylat	2-Ethylhexylacrylat	$C_{11}H_{20}O_2$	M			H		M	
Ethylen	Ethylen	C_2H_4	M				H		M
Ethylenglykol	1,2-Ethandiol	$C_2H_6O_2$	M						M
Ethylbenzol	Ethylbenzol	C_8H_{10}	H						
Ethylenoxid	Ethylenoxid	C_2H_4O	H						M
Formaldehyd	Methanal	CH_2O	M						
Heptan	Heptan	C_7H_{16}	H						
Hexan	Hexan	C_6H_{14}	H						
Isopren	Isopren	C_5H_8	L						M
Methan	Methan	CH_4	H					M	
Methanol	Methanol	CH_4O	H						M
MEK	2-Butanon	C_4H_8	M						
Stickstofftrifluorid	Stickstofftrifluorid	F_3N					M		M
Distickstoffmonoxid	Distickstoffmonoxid	N_2O			H			M	
Oktan	Oktan	C_8H_{18}	H						
Pentan	Pentan	C_5H_{12}	H						
Phenol	Phenol	C_6H_6O	M			H		M	
Monophosphan	Monophosphan	H_3P		H					
Propan	Propan	C_3H_8	H						
Propylen	Propylen	C_3H_6	H						M
R11	Trichlormonofluormethan	CCl_3F							M
R12	Dichlordifluormethan	CCl_2F_2				M			M
R13	Chlortrifluormethan	$CClF_3$				H		M	
R13B1 (Halon 1301)	Bromtrifluormethan	$CBrF_3$				H		M	
R22	Chlordifluormethan	$CHClF_2$							
R23	29% R-508 (Trifluormethan)	CHF_3							
R123	Ethan, 2,2-Dichlor-1,1, 1-Trifluor	$C_2HCl_2F_3$				H		M	
R125	Pentafluorethan	C_2HF_5				H		M	
R134A	1,1,1,2-Tetrafluorethan	$C_2H_2F_4$				H		M	
R152a	1,1-Difluorethan	$C_2H_4F_2$							
R407C	R-32/125/134a (23%/25%/52%)	23% CH_2F_2 · 25% C_2HF_5 · 52% $C_2H_2F_4$				R134a		R134a	
R410A	R-32/125 (50%/50%)	50% CH_2F_2 · 50% C_2HF_5							
R417A	R-125/134a/600 (46,6%/50%/3,4%)	46,6% C_2HF_5 · 50% $C_2H_2F_4$ · 3,4% C_4H_{10}				H		M	
R422A	R-125/134a/600a (85,1%/11,5%/3,4%)	85,1% C_2HF_5 · 11,5% $C_2H_2F_4$ · 3,4% C_4H_{10}				H		M	
R507A	R-125/143a (50%/50%)	50% C_2HF_5 · 50% $C_2H_3F_3$				R125		R125	
R508a (61%)	Hexafluorethan	C_2F_6				H		M	
Schwefeldioxid	Schwefeldioxid	SO_2						M	
Schwefelhexafluorid	Schwefelhexafluorid	SF_6					H		M
Toluol	Toluol	C_7H_8	H						
Vinylchlorid	Vinylchlorid	C_2H_3Cl					M		L

Wie funktioniert diese (gekühlte) IR-Technik?

Eigenschaften:

- integrierter Stirling-Kühler
- Einsatz spezieller Spektralfilter
- 0,8 g/h Medium sind visuell dokumentierbar

Der Stirlingkühler: *(Quelle: FLIR)*



Der Stirlingkühler : *(Quelle: Auszug aus https://www.rapp-instruments.de)*

Grundlagen:

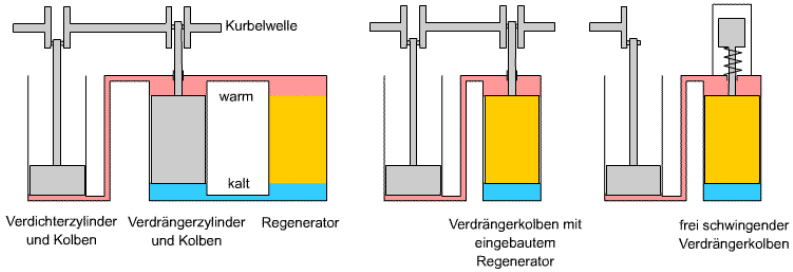
Der Stirlingprozess kann auch umgekehrt werden. **Wird ein Stirlingmotor angetrieben, von einer externen Quelle in Rotation versetzt kann er Temperaturdifferenzen erzeugen und als Wärmepumpe arbeiten. Wärme wird von der einen Begrenzung des Verdrängerzylinders zur anderen Begrenzung transportiert, eine Seite wird immer kälter, die andere immer wärmer.** Im Gegensatz zur Kompressorkühlung **hängt die erreichbare tiefste Temperatur** nicht **vom Medium, dem Füllgas ab**, zumindest solange dieses nicht flüssig wird. Bei der Kompressorkühlung hingegen hängt die Funktion entscheidend vom Phasenübergang des Mediums ab. So kann **ein Stirlingkühler mit Luft oder Helium arbeiten** und benötigt nicht die umweltschädlichen FCKW's oder brennbare Kohlenwasserstoffe.

Das Schema zeigt die verschiedenen Möglichkeiten des Aufbaus eines Stirlinkühlers. Ganz links der einfachste Aufbau mit Verdichter, Verdränger und Regenerator. Etwas kompakter wird der Aufbau wenn die Regeneratormatrix in den Verdrängerkolben integriert wird. Ganz rechts die Art wie die meisten kommerziellen Kühler aufgebaut sind. Hier wird nur noch der Verdichterkolben vom Motor angetrieben.Der Verdrängerkolben mit Regenerator kann frei schwingen und wird durch die Druckstöße des Verdichters angetrieben. Um die erforderliche Phasenverschiebung zu gewährleisten wird der Verdrängerkolben mit einer Frequenz angeregt die etwas schneller ist als seine mechanische Resonanzfrequenz, die durch die Rückholfeder und die Masse des Kolbens bestimmt wird.

Um Je nach Art der Erzeugung der Druckwellen spricht man von einem Stirling- oder Gifford-McMahonkühler.Beim Stirlingkühler werden die Druckwellen wie im obigem Schema mit einem beweglichem Kolben erzeugt.Der Antrieb des Kolbens erfolgt mit einer Kurbelwelle oder einem Tauchspulensystem das im einfachsten Fall mit 50 Hz Wechselstrom erregt wird. Bei GM-Kühler verwendet man ein statisches Druckreservoir und generiert die Druckwellen mit periodisch schaltenden Magnet- oder mechanischen Ventilen.

Sehr große Anlagen wie sie z.B. zur Erzeugung von Flüssiggas gebraucht werden verwenden auch einen thermoakustischen Generator, der ähnlich wie der Thermoakustische Motor arbeitet und periodische Druckwellen nur mit thermischer Energie erzeugen kann.

Mehr? Siehe Quellenangabe!



Der QWIP-Detektor (1/3): *(Quelle: Heute mal nicht der liebe Dr. Bernd Schönbach, sondern WIKI ;-)*

Ein **Quantentopf-Infrarot-Photodetektor** (kurz **QWIP-Detektor**) ist ein **Halbleiterdetektor** zum Nachweis von Infrarotstrahlung insbesondere im **Bereich 8…14 µm**. Alternierende dünne Schichten (typisch um 50) aus III-V-Halbleitern mit unterschiedlichen Bandabständen bilden Quantentöpfe, die Infrarotstrahlung absorbieren und Ladungsträger freisetzen.

Eigenschaften

Sie werden **gekühlt betrieben**. Üblich sind Temperaturen **unterhalb von 77 K**, dem Siedepunkt von Stickstoff. **Heutzutage wird die Kühlung mit Stirlingmotoren statt flüssigen Stickstoffs bewerkstelligt.** QWIPs haben einige Vor- und Nachteile gegenüber den in vergleichbaren Anwendungen eingesetzten HgCdTe-Fotodioden.

Der QWIP-Detektor (2/3): *(Quelle: Heute mal nicht der liebe Dr. Bernd Schönbach, sondern WIKI ;-)*

Vorteile:

- geringerer Dunkelstrom
- geringere Lebensdauer thermisch angeregter Ladungsträger
- schmalbandige spektrale Empfindlichkeit

Nachteile:

- Strahlung darf nicht senkrecht zur Schichtabfolge eintreffen (keine Absorption)
- Quantenausbeute geringer (10 %) als bei HgCdTe-Fotodioden (>70 %)
- Sie sind **prädestiniert für sogenannte *Focal Plane Arrays*** (Kamerachips) im mittleren IR (**um 10 µm Wellenlänge**). Aufgrund des geringen Dunkelstromes sind lange Integrationszeiten möglich. Mittels unterschiedlicher Empfangswellenlängen (mehrere Chips) können hochauflösend „Farben“ unterschieden werden.

Der QWIP-Detektor (3/3): *(Quelle: Heute mal nicht der liebe Dr. Bernd Schönbach, sondern WIKI ;-)*

Aus den Eigenschaften ergeben sich folgende Anwendungen in Wissenschaft und Technik, sowie Militär:
Atmosphärenforschung, Weltraumforschung und **Thermografie**.

Die Kamerachips bestehen aus der Quantum-Well-Struktur-Platte, die mit einem Auslesechip (*readout integrated circuit (ROIC)*) auf Basis von Silizium Pixel für Pixel zweidimensional kontaktiert ist. Kameras mit QWIP-Arrays mit 640x512 Pixeln und hoher Uniformität der Pixel sind preiswert herstellbar. Rauschäquivalente Temperaturdifferenzen von weniger als 10 mK sind erreichbar.

Der InSb-Detektor: (1/3) *(Quelle: Heute mal nicht der liebe Dr. Bernd Schönbach, sondern WIKI ;-)*

Indium-Antimonid (**InSb**) ist eine kristalline Verbindung aus den Elementen Indium (In) und Antimon (Sb). Es ist einschmalspaltiges Halbleitermaterial aus der III-V-Gruppe, das in Infrarotdetektoren verwendet wird, einschließlich u.a. Wärmebildkameras. Die Indium-Antimoniddetektoren sind empfindlich **zwischen 1–5 µm Wellenlängen**.

Indium-Antimonid war ein **sehr üblicher Detektor in den alten, mechanisch gescannten Wärmebildsystemen mit nur einem Detektor**. Eine andere Anwendung ist eine Terahertz-Strahlungsquelle, da es sich um einen starken Photo-Dember-Emitter handelt.

Geräteanwendungen

- **Wärmebilddetektoren** mit Photodioden oder photoelektromagnetischen Detektoren
- Magnetfeldsensoren
- Schnelle Transistoren
- in einigen Detektoren der Infrarot-Array-Kamera am Spitzer-Weltraumteleskop

Der InSb-Detektor: (2/3) *(Quelle: Heute mal nicht der liebe Dr. Bernd Schönbach, sondern WIKI ;-)*

Elektronische Eigenschaften

InSb ist ein schmaler Halbleiter mit einem Energieabstand von 0,17 eV bei 300 K und 0,23 eV bei 80 K. Undoped InSb besitzt die größte Umgebungstemperatur-Eletronenmobilität (78.000 cm^2/V), Elektronendriftgeschwindigkeit und ballistische Länge (bis zu 0,7 m bei 300 K) eines bekannten Halbleiters, mit Ausnahme von Kohlenstoff-Nanoröhren. **Indium Antimonide-Photodiodendetektoren sind Photovoltaik, die elektrischen Strom erzeugen, wenn sie Infrarotstrahlung ausgesetzt werden.** Die interne Quanteneffizienz von InSb beträgt effektiv 100%, ist aber eine Funktion der Dicke, insbesondere für nahe Bandkantenphotonen. Wie alle schmalen Bandgap-Materialien erfordern InSb-Detektoren regelmäßige Neukalibrierungen, was die Komplexität des Bildgebungssystems erhöht. Diese zusätzliche Komplexität lohnt sich dort, wo extreme Empfindlichkeit erforderlich ist, z.B. in militärischen Fernwärmebildsystemen. **InSb-Detektoren müssen ebenfalls gekühlt werde**n, da sie bei kryogenen Temperaturen (typischerweise 80 K) arbeiten müssen. Große Arrays (bis zu 2048 × 2048 Pixel) sind verfügbar. HgCdTe und PtSi sind Materialien mit ähnlicher Verwendung.

Der InSb-Detektor: (2/3) *(Quelle: Heute mal nicht der liebe Dr. Bernd Schönbach, sondern WIKI ;-)*

Eine Schicht von Indium-Antimonid, die zwischen Schichten von Aluminium-Indium-Antimonid eingeklemmt ist, kann als Quantenbrunnen fungieren. In einer solchen Heterostrukturen hat sich InSb/AlInSb kürzlich gezeigt, dass sie einen robusten Quantenhall-Effekt aufweisen. Dieser Ansatz wird untersucht, um sehr schnelle Transistoren zu konstruieren. Bipolare Transistoren, die mit Frequenzen bis zu 85 GHz betrieben werden, wurden in den späten 1990er Jahren aus Indium-Antimonid konstruiert; Feldeffekt-Transistoren, die mit über 200 GHz arbeiten, wurden in jüngerer Zeit gemeldet (Intel/QinetiQ). Einige Modelle deuten darauf hin, dass Terahertz-Frequenzen mit diesem Material erreichbar sind. Indium-Antimonide-Halbleiter-Halbleiter können auch mit Spannungen unter 0,5 V betrieben werden, wodurch der Entschonstrombedarf reduziert wird.

Wachstumsmethoden

InSb kann durch Erstarrung einer Schmelze aus dem flüssigen Zustand (Czochralski-Prozess) oder epitaxial durch flüssige Phase, Epitaxie, Warm-Epitaxie oder molekulare Strahlepitaxie angebaut werden. Es kann auch aus organometallischen Verbindungen von MOVPE angebaut werden.

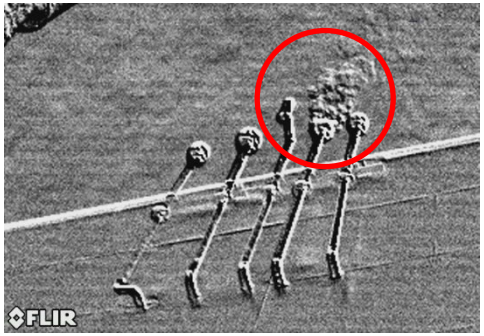
OGI im Einsatz

Hinweis: Aus rechtlichen Gründen können die in der Präsentation gezeigten Videos hier nicht abgebildet werden.

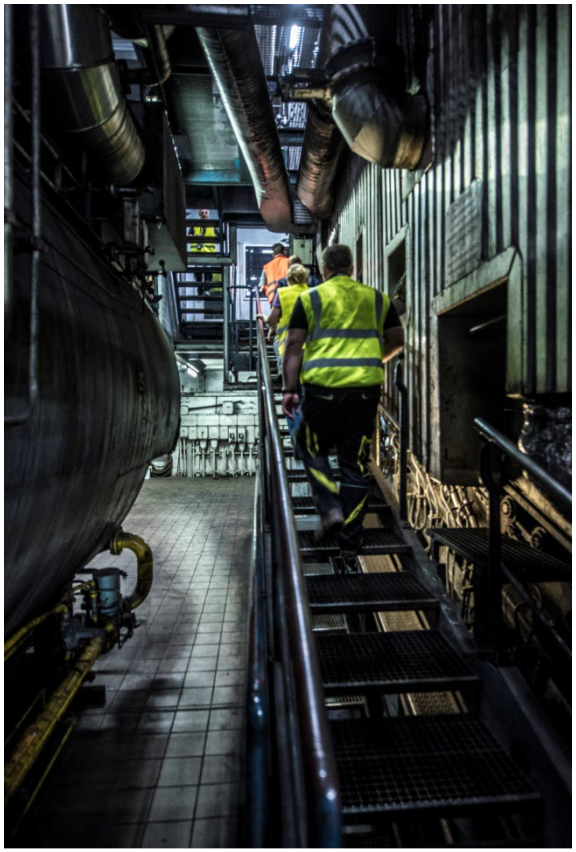
Gasleckagen werden jedoch i.d.R. mit einem Video dokumentiert!

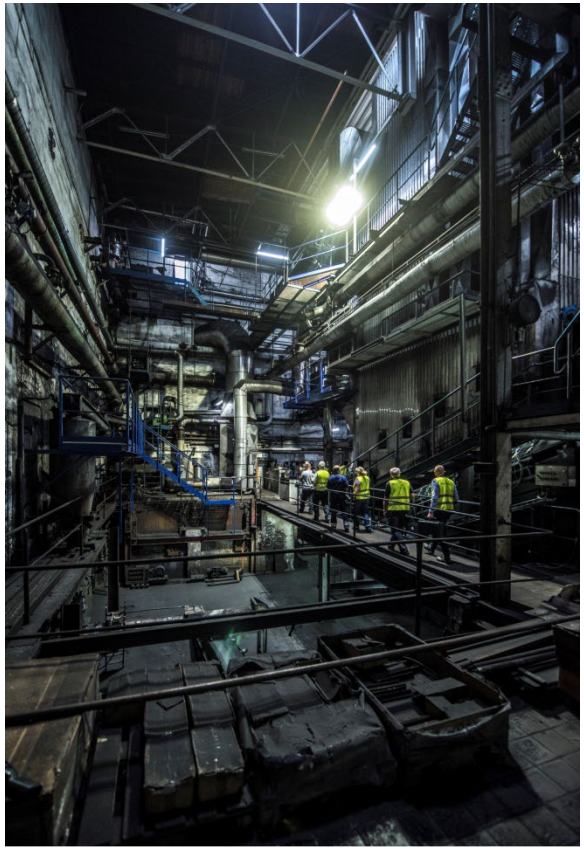
Gerne zeigen wir Ihnen vor Ort, wie die Technik arbeitet.
Bitte schreiben Sie uns kurz eine E-Mail an:

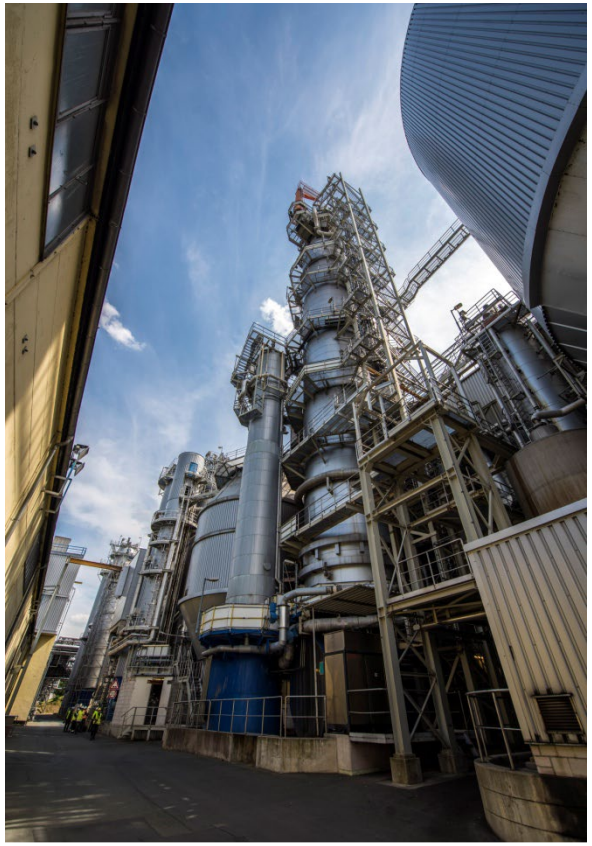
thermografie@rolf-weber-gruppe.de



WEBER.Praxisseminare und Workshops







Thermografie Zertifizierung nach DIN EN ISO 9712:

Neben Einführungs- und Anwenderkursen, Praxisworkshops, etc. gibt es mit der Zertifizierung eine sinnvolle vertiefte Qualifizierung der Thermografen in drei Stufen:

- **Stufe 1** – *Niveau: Anwender/Messtechniker*
- **Stufe 2** – *Niveau: Sachverständiger (Fachbereiche Bau, Elektro u./o. Industrie)*
- **Stufe 3** – *Niveau: Wissenschaft/Forschung/Lehre*

Mit dieser Qualifikation erhalten die Teilnehmer nach erfolgreicher Prüfung ein Zertifikat, das in regelmäßigen Abständen auch geprüft und verlängert werden muss.

Wir sind DAkkS

anerkanntes Schulungs- und Prüfungszentrum

für diese Ausbildung!

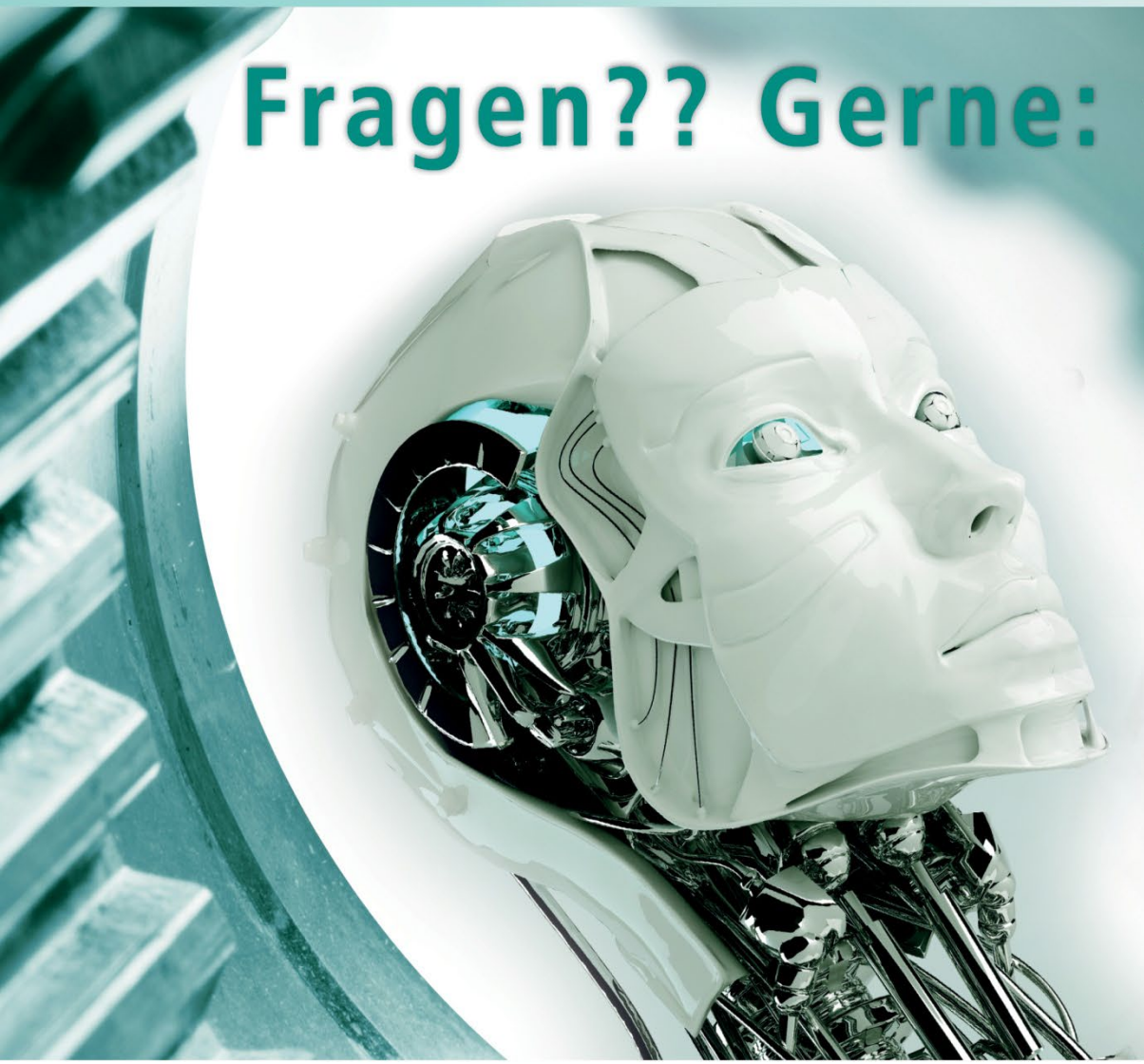
Ihr Partner für Industrietechnik und Instandhaltung 4.0

ROLF WEBER GRUPPE
www.rolf-weber-gruppe.de

Fragen?? Gerne:

a.blug@rolf-weber-gruppe.de
+49 (0) 92 52 / 99 33 77

Vielen Dank!



VATH
BUNDESVERBAND FÜR ANGEWANDTE THERMOGRAFIE E.V.