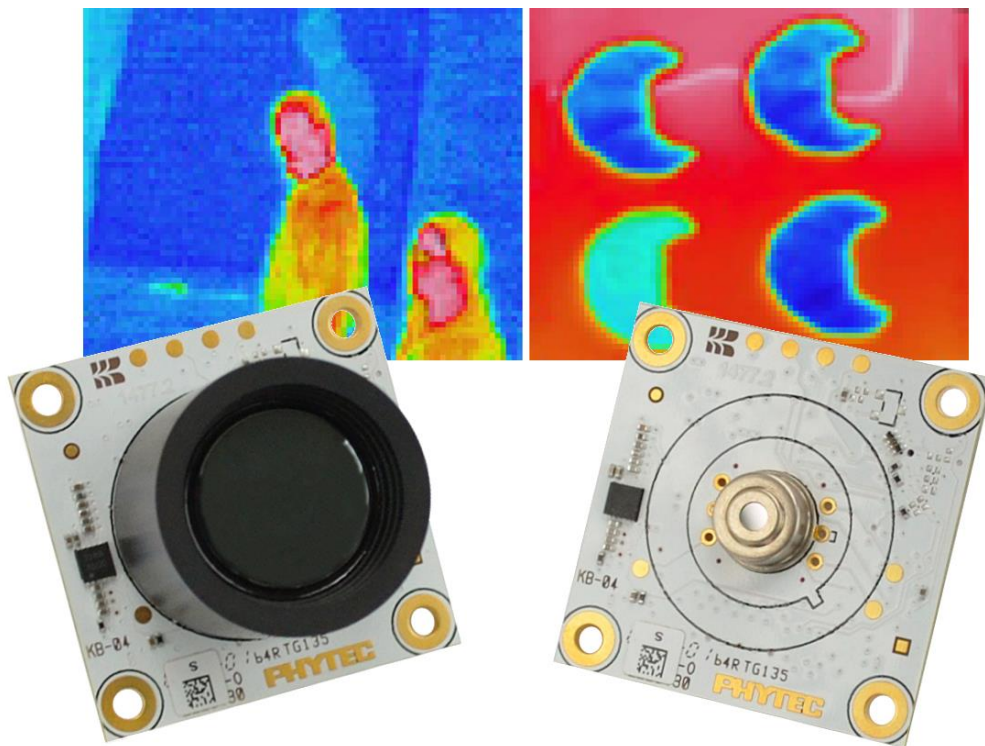


phyCAM[®] - VM-050 / VM-051

digitale Thermografie-Module



Manual

phyCAM® - VM-050 / VM-051

Im Buch verwendete Bezeichnungen für Erzeugnisse, die zugleich ein eingetragenes Warenzeichen darstellen, wurden nicht besonders gekennzeichnet. Das Fehlen der © Markierung ist demzufolge nicht gleichbedeutend mit der Tatsache, dass die Bezeichnung als freier Warenname gilt. Ebenso wenig kann anhand der verwendeten Bezeichnung auf eventuell vorliegende Patente oder einen Gebrauchsmusterschutz geschlossen werden.

Die Informationen in diesem Handbuch wurden sorgfältig überprüft und können als zutreffend angenommen werden. Dennoch sei ausdrücklich darauf verwiesen, dass die Firma PHYTEC Messtechnik GmbH weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgeschäden übernimmt, die auf den Gebrauch oder den Inhalt dieses Handbuches zurückzuführen sind. Die in diesem Handbuch enthaltenen Angaben können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Firma PHYTEC Messtechnik GmbH geht damit keinerlei Verpflichtungen ein.

Ferner sei ausdrücklich darauf verwiesen, dass PHYTEC Messtechnik GmbH weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgeschäden übernimmt, die auf falschen Gebrauch oder falschen Einsatz der Hard- bzw. Software zurückzuführen sind. Ebenso können ohne vorherige Ankündigung Layout oder Design der Hardware geändert werden. PHYTEC Messtechnik GmbH geht damit keinerlei Verpflichtungen ein.

© Copyright, 2019 PHYTEC Messtechnik GmbH, D-55129 Mainz.

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung der Firma PHYTEC Messtechnik GmbH unter Einsatz entsprechender Systeme reproduziert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

	EUROPA	NORD AMERIKA	FRANKREICH
Adresse:	PHYTEC Messtechnik GmbH Robert-Koch-Str. 39 D-55129 Mainz GERMANY	PHYTEC America LLC 203 Parfitt Way SW Bainbridge Island, WA 98110 USA	PHYTEC France 17, place Saint-Etienne F-72140 Sillé-le-Guillaume FRANCE
Vertrieb:	+49 6131 9221-32 sales@phytec.de	+1 800 278-9913 sales@phytec.com	+33 2 43 29 22 33 info@phytec.fr
Technischer Support:	+49 6131 9221-31 support@phytec.de	+1 206 780-9047 support@phytec.com	support@phytec.fr
Fax:	+49 6131 9221-33	+1 206 780-9135	+33 2 43 29 22 34
Internet:	http://www.phytec.de http://www.phytec.eu	http://www.phytec.com	http://www.phytec.fr

	INDIEN	CHINA
Adresse:	PHYTEC Embedded Pvt. Ltd. No. 1688, 25 th A Cross 27 th Main, 2 nd Sector, Opp PEP School V2, HRS Layout, Bangalore 560102 INDIA	PHYTEC Information Technology (Shenzhen) Co. Ltd. 2106A, Block A, Tianxia Jinniu Square, Taoyuan Road, Nanshan District, 518026 Shenzhen CHINA
Vertrieb:	+91-80-4086 7046/48 sales@phytec.in	+86-755-6180-2110 sales@phytec.cn
Technischer Support:	+91-80-4086 7047/50 support@phytec.in	support@phytec.cn
Fax:		
Internet:	http://www.phytec.in	http://www.phytec.cn

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Übersicht phyCAM-P Schnittstelle	2
1.1.1	phyCAM-P	2
1.2	Grundlagen Thermografie	4
1.2.1	Allgemeine Grundlagen	4
1.2.2	Sensortechnologien	5
1.2.3	IR-Optiken	6
2	Allgemeine Spezifikationen	8
2.1	Spezifikation phyCAM-P Schnittstelle	8
2.1.1	Steckverbinder:	8
2.1.2	Pinbelegung: des phyCAM-P – Steckverbinders	9
2.1.3	Voltage Selection – Widerstand	11
2.2	Spezifikation des Trigger/Strobe – Schnittstelle	11
2.2.1	Steckverbinder	11
2.3	Mechanische Spezifikation	12
2.3.1	Abmessungen Kameramodul	12
3	Technische Spezifikation VM-050 / VM-051 Kameraboards	14
3.1	VM-050 – Thermopile-Imager 32x32 Pixel / SOC	14
3.1.1	Technische Daten	14
3.1.2	Spezifikation	15
3.1.3	Interface-Charakteristik	16
3.1.4	Datenformate	17
3.1.5	Pixelreihenfolge	17
3.2	VM-051 – Thermopile-Imager 80x64 Pixel / SOC	19
3.2.1	Technische Daten	19
3.2.2	Spezifikation	20
3.2.3	Interface-Charakteristik	21
3.2.4	Datenformate	22
3.2.5	Pixelreihenfolge	22
3.3	Allgemeine Konfiguration (I ² C Bus)	24
3.3.1	I ² C Adressen	24
3.3.2	I ² C Beschreibung	24
3.3.2.1	16-Bit Schreibsequenz	25
3.3.2.2	16-Bit Lesesequenz	25
3.4	Multipurpose Pins	27
3.5	Zuordnung der Datenleitungen	28
3.6	Jumperplan VM-050 und VM-051	28
4	Sonderfunktionen VM-050 und VM-051	29
4.1	Register Referenz	29
4.2	Trigger	29
4.2.1	Hard-Trigger-Modus	29
4.2.2	Soft-Trigger-Modus	30
4.3	Strobe	30
4.4	Reset	31
4.4.1	Hard-Reset	31

4.4.2	Soft-Reset	31
4.5	Output-Enable.....	31
4.6	Skalierte Temperaturwerte (Temperature Window)	32
4.6.1	(Halb-)Manuell skalierte Temperaturwerte	34
4.6.1.1	Manuell skalierte Temperaturwerte	34
4.6.1.2	Halb-Manuell skalierte Temperaturwerte	34
4.6.2	Automatisch skalierte Temperaturwerte.....	37
4.6.2.1	Festlegung der Messmethode	37
4.6.2.2	Festlegung der Skalierungsmethode	37
4.6.3	Zurückskalieren zu Temperaturwerten	40
4.6.4	Quantisierungsfehler	40
4.6.5	Overflow-Flag	43
4.7	Temperature-Tracking	43
4.8	Dead Pixel Korrektur	47
4.9	Rauschunterdrückung	49
4.9.1	Zeitvariante Rauschunterdrückung	49
4.9.2	Ortsvariante Rauschunterdrückung.....	50
4.10	Bildgröße beschneiden / ROI	52
4.11	Eingebettete Bildinformationen.....	53
4.11.1	Übersicht der eingebetteten Bildinformationen	55
4.11.2	Zuordnung der Datenleitungen.....	55
Index.....		57

Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	phyCAM-P - Schnittstelle	2
Bild 2:	Atmosphärisches Fenster (Quelle: Wikimedia)	4
Bild 3:	Vergleich Transmissionsfaktor von IR-Optiken.....	6
Bild 4:	FFC-Stecker phyCAM-P (links: top view, rechts: Lötseite – Beispielabb.)	8
Bild 5:	Abmessungen phyCAM-Leiterplatte (VM-050 / VM-051)	12
Bild 6:	VM-050-021-0 (Vorderseite / Rückseite)	14
Bild 7:	VM-050-050-0 (Vorderseite / Rückseite)	14
Bild 8:	VM-050 Pixel-Anordnung.....	17
Bild 9:	VM-050 Timing-Diagramm.....	18
Bild 10:	VM-051-050-0 (Vorderseite / Rückseite)	19
Bild 11:	VM-051-100-0 (Vorderseite / Rückseite)	19
Bild 12:	VM-051 Pixel-Anordnung.....	22
Bild 13:	VM-051 Timing-Diagramm.....	23
Bild 14:	Schreiben des Wertes 0x0284 auf Register 0x09 an Device 0x90.....	25
Bild 15:	Lesen des Wertes 0x0284 aus Register 0x09 von Device 0x90	25
Bild 16:	Jumperplan VM-050/VM-051	28
Bild 17:	Beispiel Skalierung eines 300 K breiten Temperaturfensters.....	32
Bild 18:	Temperaturskalierungsgleichungen	40
Bild 19:	Quantisierungsfehler für Beispiel 1 und Beispiel 2	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht phyCAM-P Anschlusskabel	9
Tabelle 2: Pinbelegung der phyCAM-P – Schnittstelle (fortgesetzt)	9
Tabelle 3: Werte Voltage-Selection - Widerstand	11
Tabelle 4: Anschlusskabel für Trigger/Strobe-Header	11
Tabelle 5: Pinbelegung des Trigger/Strobe Steckverbinders.....	12
Tabelle 6: Technische Daten VM-050 (phyCAM-P).....	15
Tabelle 7: Objektiv-Varianten für VM-050.....	16
Tabelle 8: VM-050 elektrische Charakteristik	16
Tabelle 9: VM-050 Timings.....	16
Tabelle 10: Technische Daten VM-051 (phyCAM-P).....	20
Tabelle 11: Objektiv-Varianten für VM-051.....	21
Tabelle 12: VM-051 elektrische Charakteristik	21
Tabelle 13: VM-051 Timings.....	21
Tabelle 14: I ² C Adressen VM-050 und VM-051	24
Tabelle 15: Konfiguration der Feature Pins VM-050 und VM-051	27
Tabelle 16: Zuordnung der Datenleitungen	28
Tabelle 17: Auswahl des Triggermodus.....	29
Tabelle 18: Einstellung des Strobe-Modus	30
Tabelle 19: Soft-Reset	31
Tabelle 20: Temperaturauflösung.....	33
Tabelle 21: Halb-Manuelle Temperaturfenstersteuerung.....	35
Tabelle 23: OUTPUT_CONTROL (Quantisierungsfehler)	41
Tabelle 24: OUTPUT_CONTROL (Overflow Flag)	43
Tabelle 25: Einstellung Temperatur-Tracking.....	44
Tabelle 26: Dead Pixel-Adressen	47
Tabelle 27: Einstellung der zeitvarianten Rauschunterdrückung.....	50
Tabelle 28: Einstellung der ortsvarianten Rauschunterdrückung	51
Tabelle 29: Einstellung der Bildgröße.....	52
Tabelle 30: Zuordnung eingebettete Bildinformation.....	55
Tabelle 31: Zuordnung Datenleitungen für eingebettete Bilddaten	55

1 Einleitung

Die Wärmebild-Kameramodule phyCAM VM-050 / VM-051 sind kompakte und kostengünstige Kameramodule, mit denen – in Verbindung mit einem Prozessormodul - Temperaturbilder der Umgebung aufgenommen werden können. Die digitalen Kameramodule der phyCAM – Serien, ermöglichen eine einfache und effiziente Ausstattung von Mikrocontrollerdesigns mit Bildverarbeitungstechnologie.

Kameramodule mit phyCAM - Interface können direkt mit der digitalen Kameraschnittstelle von ausgewählten PHYTEC-Mikrocontrollermodulen verbunden werden. Dies ermöglicht die einfache Integration von Kameratechnologie in kompakte, anwendungsspezifisch gestaltete Produkte.

Viele BSPs (Board-Support-Packages) für PHYTEC-Mikrocontrollermodule beinhalten bereits die entsprechenden Softwaretreiber für die phyCAM – Module.

Durch die offene Schnittstellendefinition können phyCAM-Module auch zusammen mit anderen Mikrocontrollern bzw. Hardwaredesigns eingesetzt werden, die eine entsprechende Kameraschnittstelle besitzen.

Die Schnittstellen der phyCAM – Produkte sind innerhalb der jeweiligen Produktserien identisch. Dies ermöglicht es, verschiedene Kameramodule mit der gleichen Applikationsschaltung zu verbinden. Damit ist eine Skalierbarkeit während der Designphase und in zukünftigen Designvarianten möglich.

Um eine optimale Anpassung an die jeweiligen Anforderung der konkreten Applikation zu ermöglichen, gibt es zwei grundsätzliche Schnittstellensysteme: phyCAM-P und phyCAM-S. Die Wärmebild-Kameramodule VM-050 / VM-051 sind mit phyCAM-P – Schnittstelle erhältlich.

Detaillierte Informationen zu den phyCAM- Schnittstelle können im phyCAM Handbuch L-748d nachgeschlagen werden.

Das phyCAM – Interface wird von verschiedenen, leistungsfähigen 32 Bit-Controllern unterstützt, beispielsweise den NXP i.MX6 – Controllern. Zusammen mit den verschiedenen Varianten der Kameramodule entsteht ein Baukastensystem, aus dem der Produktentwickler die optimale Kombination auswählen kann.

Jede Kamera der VM-05x Serie ist bereits mit einer vollständigen IR-Optik ausgestattet und somit direkt einsetzbar.

1.1 Übersicht phyCAM-P Schnittstelle

Unabhängig von der elektrischen Ausführung der Schnittstelle transportieren die phyCAM-Schnittstellen jeweils die folgenden Signale zwischen Kamera und Applikationsplatine:

- Stromversorgung der Kamera
- Taktversorgung zur Kamera
- Bilddaten von der Kamera
- Steuerdatenbus (I²C) für die Kamerakonfiguration
- eventuell Zusatzfunktionen (nur phyCAM-P)

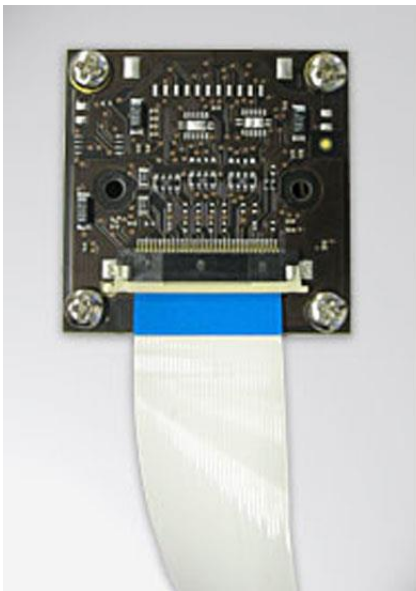


Bild 1: phyCAM-P - Schnittstelle

1.1.1 phyCAM-P

Die phyCAM-P - Schnittstelle bietet einen äußerst einfachen und kostengünstigen Weg zur Integration der Kamera in ein System.

Die Daten- und Steuersignale werden parallel über ein 33 poliges FFC-Kabel übertragen. Dies reduziert den Interface-Aufwand auf ein Minimum und ermöglicht dennoch eine Kompatibilität der Kamertypen. Reservierte Pins erlauben den Zugriff auf spezielle Funktionen wie z.B. Triggereingang oder Lichtsteuerung. Bilddaten können mit bis zu 12 Bit Graustufenauflösung bzw. Farbtiefe übertragen werden (Farbtiefe pro Kanal).

phyCAM-P eignet sich besonders für die geräteinterne Installation von Kameras. Die empfohlene Leitungslänge liegt in der Regel bei 30 cm, wobei die tatsächliche erreichbare Leitungslänge stark von den Betriebsparametern (z.B. Leistungsaufnahme, Taktfrequenz, Auslesemodus) des Kameramoduls und der Gerätegesamtkonfiguration abhängt. Unter Umständen sind längere Kabellängen möglich oder kürzere nötig. Bitte sprechen Sie dazu mit unseren Projektingenieuren.

Das phyCAM-P – Interface wird von der phyCORE – Modulserie unterstützt. Ebenso können phyFLEX – Module optional eine passende parallele Kameraschnittstelle besitzen.

Je nach eingesetzter Kamera und Mikrocontrollermodul sind im einfachsten Fall nur Leitungsverbindungen zwischen Steckverbinder und Kamerainterface des Mikrocontrollermoduls zu ziehen. Gegebenenfalls sind Levelshifter erforderlich, falls Kamera und Mikrocontrollerschnittstelle unterschiedliche Spannungspegel besitzen. Soll der Anschluss verschiedener Kameramodule möglich sein, ist eine variable Versorgungsspannung vorzusehen.

Das Schaltungsdesign der Applikationsplatine kann bei phyCAM-P also individuell auf die Anforderungen der Applikation angepasst und variiert werden. Entsprechende Schaltungsvorschläge finden Sie im phyCAM Handbuch L-748d.

Frei konfigurierbare Steuerleitungen ermöglichen beim phyCAM-P – Interface die Beschaltung bestimmter, individueller Zusatzfunktionen der Kamera. Dies können beispielsweise Trigger- und Strobe-Signale sein oder die dynamische Auswahl der Kamera-Adresse auf dem I²C-Bus. Manche Kameramodule lassen über Jumper unterschiedliche Funktionen dieser Steuerleitungen zu. PHYTEC bietet bei Serienstückzahlen die Lieferung der Kameramodule mit kundenspezifischer Konfiguration an.

phyCAM-P erlaubt die Verwendung von interessanten zusätzlichen Features des jeweiligen Kameramoduls. Da die verschiedenen Kameras unterschiedliche Features bieten, ist es wichtig, beim Schaltungsdesign auf Kompatibilität zu achten, falls die Verwendung mehrere Kameramodule vorgesehen ist.

Hinweis:

PHYTEC berät Sie gerne bei Auswahl und Design der passenden phyCAM – Schnittstelle.

1.2 Grundlagen Thermografie

1.2.1 Allgemeine Grundlagen

Jedes Objekt mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkts sendet Wärmestrahlung aus. Wie gut ein Objekt Wärmestrahlung aussenden kann, ist über den Emissionsgrad (ϵ) der Objektoberfläche definiert. Die meisten nicht metallischen **Oberflächen besitzen einen Emissionsgrad $\approx 0,9$** und können somit problemlos in thermografischen Anwendungen untersucht werden. Metalle haben im Allgemeinen einen Emissionsgrad $< 0,2$. Insbesondere blanke oder polierte Metalle können nicht ohne Weiteres untersucht werden, da die Wärmestrahlung der Umgebung wie an einem Spiegel reflektiert wird. Abhilfe schafft z.B. das Aufkleben einfacher Papieretiketten, das Auftragen einer Kreide- oder Farbschicht oder die Verwendung von Wärmeleitband.

Unabhängig vom Oberflächenmaterial, aber insbesondere für Metalle gilt: Je rauer die Oberfläche, desto höher der Emissionsgrad.

Die Wärmestrahlung eines Objekts kann auf der Strecke zwischen Objekt und Sensor durch eventuell vorhandene Gasmoleküle, mit Absorptionsbanden im infraroten Wellenlängenbereich, gedämpft werden. Dieses Verhalten kann beispielsweise für die Gasdetektion genutzt werden. Die normale Umgebungsluft kann bereits einen signifikanten Einfluss auf die Transmission der Wärmestrahlung nehmen. Dies wird vor allem durch den vorhandenen Wasseranteil der Luft verursacht. Eine ideale Wärmetransmission hingegen findet im Vakuum statt, aber auch viele Edelgase weisen eine sehr gute Wärmetransmission auf.

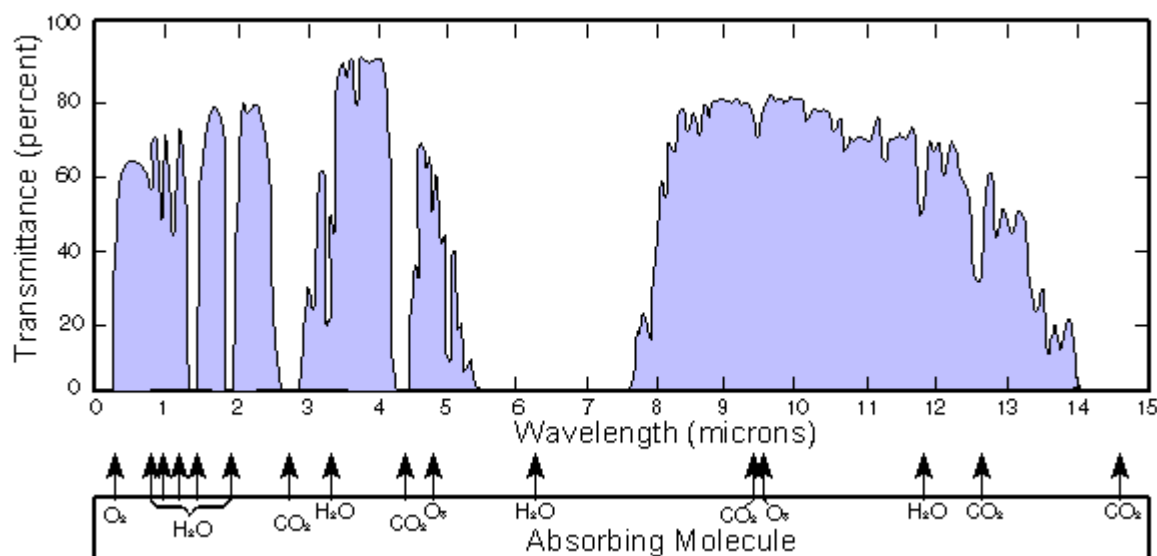


Bild 2: Atmosphärisches Fenster (Quelle: Wikimedia)

1.2.2 Sensortechnologien

Es existieren unterschiedliche Technologien für die Temperaturdetektion. Für die Nutzung als bildgebendes Element werden insbesondere diese Technologien verwendet:

Halbleiter-Arrays auf Fotoeffekt-Basis

Dieser Sensortyp funktioniert ähnlich wie Kamerasensoren für sichtbares Licht, ist aber für den langwelligeren Wellenlängenbereich der Wärmestrahlung ausgelegt.

Bei diesem Funktionsprinzip wird der innere fotoelektrische Effekt ausgenutzt, d.h. ein auftreffendes Photon der Wärmestrahlung wird im Halbleitermaterial ein ungebundenes Elektronen-Loch-Paar gebildet, das die Leitfähigkeit des Bildelements verändert.

(Vereinfacht wird „ein Photon in ein Elektron umgewandelt“.)

Diese Sensoren müssen gekühlt werden, damit der Effekt nicht schon durch die Umgebungstemperatur bzw. die Eigenstrahlung des Detektors ausgelöst wird.

Bolometer

Bolometer nutzen die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands aus. Die von einem Sensorelement absorbierte Wärmestrahlung führt zu einer Änderung des gemessenen Spannungsabfalls an diesem Element. Um eine hohe Empfindlichkeit der einzelnen Elemente zu erzielen, werden Materialien mit einem hohen Temperaturkoeffizienten benötigt. Die durch Änderung der Umgebungstemperatur hervorgerufene Widerstandsänderung eines Elements ist allerdings oftmals um Größenordnungen größer als die durch das eigentliche Messsignal hervorgerufene Widerstandsänderung. Um den resultierenden Fehler durch diese Überlagerung der Widerstandsänderungen gering zu halten, muss zusätzlich ein regelmäßiger Abgleich zwischen Absorberelement und Temperaturreferenz erfolgen. Üblicherweise wird dazu eine thermisch gekoppelte Blende kurzzeitig geschlossen. Die höchste Empfindlichkeit wird mit tiefgekühlten Bolometern erreicht.

Thermosäule (Thermopile)

Thermosäulen nutzen den thermoelektrischen Effekt (Seebeck-Effekt) zweier verbundener verschiedener Leiter. Wird die Verbindungsstelle dieser Leiter erwärmt, ruft dies eine temperaturproportionale Spannung hervor. Dieser Effekt wird seit langem in der berührenden Temperaturmessung ausgenutzt. Um die Empfindlichkeit der Elemente zu erhöhen, können diese in Reihe geschaltet werden (Thermosäule). Durch eine geeignete Arbeitspunkteinstellung der Elemente, können auch Temperaturen unterhalb der Elementtemperatur gemessen werden. Voraussetzung ist lediglich eine stabile Umgebungstemperatur. Ein Abgleich, wie bei einem Bolometer, ist bei Thermosäulen nicht nötig, da die Signalspannung nur von der Temperaturdifferenz der Verbindungsstellen der

beiden Leiter abhängt. Ist die Temperatur einer der beiden Kontaktstellen bestimmt, ist so ein direkter Rückschluss auf die einwirkende Wärmestrahlung möglich.

Hinweis:

Die Sensoren der Wärmebild-Module VM-050 / VM-051 arbeiten auf Basis von Thermopile-Arrays

1.2.3 IR-Optiken

Da die Transmission von normalem Glas für langwellige Wärmestrahlung zu gering ist, benötigen Thermografie Sensoren eine spezielle Optik für diese Wellenlängen. Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien mit teilweise großen Sprüngen in Transmissionsfaktor, Qualität (Brechungsindex und Dispersion) und Preis. Durch das Aufdampfen von Filtermaterial kann die Transmission zusätzlich beeinflusst werden. Für den breiten Markt sind vor allem Linsen aus Germanium und Silizium interessant. Silizium hat dabei eine schlechtere Transmission als Germanium, ist dafür aber günstiger. Germanium hat hingegen eine größere Brechzahl. Es können mit Germanium besser abbildende Optiken mit kleinerer F-Zahl (entspricht dem Blendenwert) erstellt werden. Durch die kleine F-Zahl gelangt zusätzlich mehr Signal auf den Sensor.

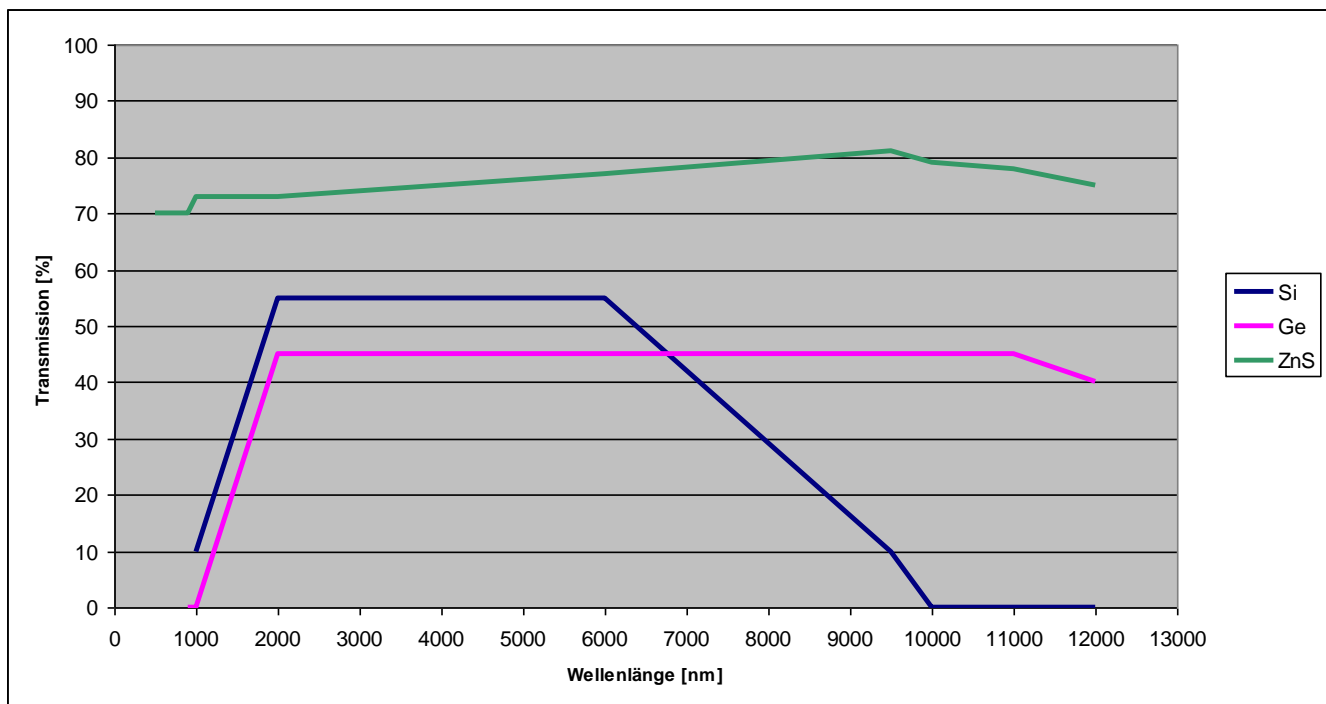


Bild 3: Vergleich Transmissionsfaktor von IR-Optiken

Hinweis:

Es ist schwierig, pauschale Empfehlungen zu Optiken auszusprechen, da viele Parameter und Anforderungen der Anwendung gegeneinander abgewogen werden müssen. Als Faustregel kann gelten, dass sich die *Noise Equivalent Temperature Difference* (NETD) bei einer Zweilinsenoptik aus Silizium verdoppelt, da nur die Hälfte der vom Objekt emittierten Wärmestrahlung auf den Sensor einwirken kann. Eine Germanium Einlinsoptik erreicht eine vergleichbare Abbildung mit geringerer NETD.

Bitte sprechen Sie für eine eingehende Beratung mit unseren Projektingenieuren.

2 Allgemeine Spezifikationen

2.1 Spezifikation phyCAM-P Schnittstelle

Merkmale der Schnittstelle:

- Daten der Kamera werden parallel zum Interface des Controllers übertragen
- Die Parametrierung der Kamera erfolgt über einen I²C-Bus
- Steckverbinder: 33 pol. FFC-Verbinder 0,5mm Pitch, 0,3 mm Kabeldicke
- Betriebsspannung- und Signalpegel der Schnittstelle sind abhängig vom Kamerasensor. Die Anpassung der Signalpegel erfolgt auf der Applikationsplatine. Zur Erkennung des erforderlichen Pegels stellt die Schnittstelle einen Steuerpin (resistiv) zur Verfügung.
- Allgemein empfohlene Leitungslänge: < 30 cm

Hinweis:

Die tatsächlich erreichbare Leitungslänge hängt stark von den Betriebsparametern (**Leistungsaufnahme, Taktfrequenz, Auslesemodus, ...**) des Kameramoduls und der Gerätegesamtkonfiguration ab.

Unter Umständen sind längere Kabellängen möglich oder kürzere Kabellängen nötig.

Bitte sprechen Sie dazu mit unseren Projektingenieuren.

Schnittstellensignale:

- Stromversorgung der Kamera
- Masterclock zur Kamera
- Bilddaten und Synchronsignale
- I²C-Bus zur Parametrierung der Kamera und ggf. Sonderfunktionen (abhängig vom Kameraboard)
- Steuerleitungen, optional (Reset, Output-Enable)
- Sondersignale, optional (Trigger, Strobe, I/O-Signale, ...)

2.1.1 Steckverbinder:

33pol. FFC/FPC, 0,5mm pitch, 0,3mm thick, contact position bottom

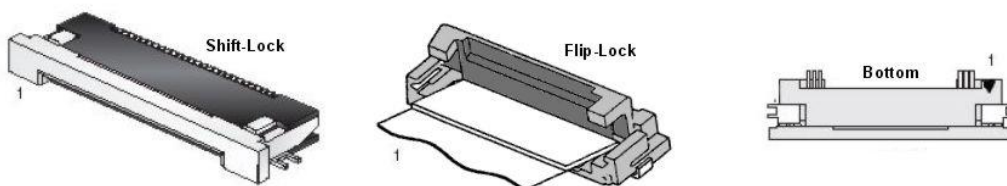


Bild 4: FFC-Stecker phyCAM-P (links: top view, rechts: Lötseite – Beispielabb.)

Passende Anschlusskabel:

Länge	PHYTEC-Bestellnr.
120 mm	WF062
200 mm	WF043
300 mm	WF046

(Kontakttyp A - gleichseitige Kontaktbelegung)

Tabelle 1: Übersicht phyCAM-P Anschlusskabel

2.1.2 Pinbelegung: des phyCAM-P – Steckverbinders

phyCAM-P - Electrical Interface			
Pin	Dir.	Name	Funktion
1	PWR	Vcam	Power Supply Input
2		Vcam	
3	I	CAM_RST	Reset Signal (optional – refer to camera description)
4	-	GND	Ground
5	I/O	CAM_SDA	SDA, I ² C-Interface
6	I	CAM_SCL	SCL, I ² C-Interface
7	I/O	CAM_CTRL1	Camera Dependent Feature (refer to camera description)
8	-	GND	Ground
9	O	CAM_FV	VSYNC
10	O	CAM_LV	HSYNC
11	-	GND	Ground
12	OUT	CAM_DD9	D9
13	OUT	CAM_DD8	D8
14	-	GND	Ground
15	OUT	CAM_DD7	D7
16	OUT	CAM_DD6	D6
17	-	GND	Ground
18	OUT	CAM_DD5	D5
19	OUT	CAM_DD4	D4
20	-	GND	Ground
21	OUT	CAM_DD3	D3
22	OUT	CAM_DD2	D2
23	-	GND	Ground
24	OUT	CAM_DD1	D1
25	OUT	CAM_DD0	D0
26	-	GND	Ground
27	O	CAM_PCLK	Pixel Clock
28	-	GND	Ground
29	I	CAM_MCLK	Master Clock (not required for VM-05x)
30	I/O	CAM_CTRL2	Camera Dependent Feature (refer to camera description)
31	O	CAM_VSET	Resistor to GND. Sets Supply and Signal Voltage Level
32	I	CAM_OE	Data Lines Output Enable (optional)
33	PWR	Vcam	Power Supply Input

Bemerkung: PWR=Power, I=Input, O=Output, in Bezug auf die Kamera

Tabelle 2: Pinbelegung der phyCAM-P – Schnittstelle (fortgesetzt)

Hinweise

- Die Betriebsspannung V_{CAM} kann bei verschiedenen Kameramodulen unterschiedlich sein (siehe Einzelbeschreibung der Kameramodule). Auf einer Applikationsplatine, die mehrere phyCAM-Module unterstützt, muss eine variable Spannungsversorgung vorhanden sein. Über den Widerstandswert an Pin 31 kann die erforderliche Spannung durch die Applikationsplatine erkannt und die Spannungsquelle automatisch konfiguriert werden (siehe Referenz-Designs im phyCAM Handbuch L-748d).
- Die Signalpegel an den Datenleitungen hängen von der Kameravariante ab. Der erforderliche Signalpegel kann über den Widerstandswert an Pin 31 erkannt werden. Auf einer Applikationsplatine, die mehrere phyCAM-Module unterstützt, müssen Levelshifter vorgesehen werden, die eine entsprechende Pegelumsetzung vornehmen (siehe Referenz-Designs im phyCAM Handbuch L-748d).
- Die Pegel der I²C-Schnittstelle entsprechen den Pegeln der Datenleitungen. Die Pullup-Widerstände werden auf der Applikationsplatine vorgesehen, außer diese sind bereits auf dem eingesetzten Mikrocontrollermodul vorhanden.
- Die Anschlüsse CAM_CTRL1 / CAM_CTRL2 können – abhängig von dem konkreten Kamerachip – unterschiedliche Funktionen haben. In der Standard-Konfiguration sind sie als Eingang vorzusehen und auf der Applikationsplatine entweder offen zu lassen oder mit einem Jumper (GND / V_{CAM}) über einen Serienwiderstand von 200 Ω zu verbinden. Default-Bestückung: GND.
Letzteres dient bei CAM_CTRL1 der Default-Funktion als Address-Select – Leitung der I²C-Schnittstelle, soweit dies vom Kamerasensor unterstützt wird.
CAM_CTRL2 wird in der Default-Funktion als zusätzlicher GND verwendet.
- **Die Signalrichtungen der Leitungen FV, LV und PCLK ist „out“, d.h. die Kamera steuert das Kamerainterface des Controllers (sog. „Master-Mode“). Falls die Kamera auch Slave-Mode unterstützt, können diese Signale auch als Eingänge fungieren. Dies ist jedoch optional und muss beim Design der Basisplatten nicht berücksichtigt werden.**
- Das Signal CAM_OE schaltet die Daten- und optional die Synchronsignale in den Tristate-Zustand, sofern der Kamerasensor dies unterstützt (siehe Beschreibung des konkreten Kameramoduls). Dieses Feature ist optional. Die CAM_OE – Leitung muss auf der Basisplatine nicht notwendigerweise beschaltet werden (offen = Ausgänge sind aktiviert).

Achtung:

Die angegebene Pin Nummerierung bezieht sich auf den Steckverbinder der Kamera.

Beachten Sie beim Design eigener Applikationsplatten, dass sich je nach verwendetem FFC-Kabel die Pinbelegung auf der Applikationsplatine spiegeln kann.

2.1.3 Voltage Selection – Widerstand

Pin 31 des Kamera-Steckverbinders ist mit einem Widerstand gegen GND (Betriebsmasse) verbunden. Der Widerstandswert, der an diesem Pin gegen GND gemessen werden kann, definiert den Spannungspegel für die Betriebsspannung und die Datenleitungen des Kameramoduls. Auf diese Weise kann sich die Applikationsplatine an den notwendigen Pegel anpassen.

Die folgende Tabelle zeigt den Widerstandswert für die entsprechenden Betriebs- und Signalspannungen:

Voltage Selection	
V_{CAM} und Signalpegel	Widerstandswert an Pin 31 gegen GND
3,3 V	0 Ω
2,8 V	220 Ω
1,8 V	1720 Ω

Tabelle 3: Werte Voltage-Selection - Widerstand

Hinweis:

Die Widerstandswerte sind so gestuft, dass der Widerstand als Fußpunkt-Widerstand im Feedback-Zweig eines einstellbaren Spannungsreglers verwendet werden kann.

2.2 Spezifikation des Trigger/Strobe – Schnittstelle

Merkmale der Schnittstelle

- Steckverbinder: passend für 3 pol. JST SHR-03V-S-B
- Signalpegel der Schnittstelle ist abhängig vom verwendeten Kameramodul

Schnittstellensignale

- Trigger
- Strobe / Sync

2.2.1 Steckverbinder

Passende PCB-Header:

- JST BM03B-SRSS-TB(LF)(SN)
- JST SM03B-SRSS-TB(LF)(SN)

Passende Anschlusskabel:

Länge	PHYTEC-Bestellnr.
250 mm	WK295
30 mm	WK295-0.03

Tabelle 4: Anschlusskabel für Trigger/Strobe-Header

Trigger/Strobe Header - Electrical Interface			
Pin	Dir.	Name	Funktion
1	I	CAM_TRIG	Trigger Signal (optional – refer to camera description, internal 10 kΩ Pulldown Resistor)
2	-	GND	Ground
3	0	CAM_STRO	Strobe Signal (optional – refer to camera description)

Tabelle 5: Pinbelegung des Trigger/Strobe Steckverbinders

2.3 Mechanische Spezifikation

Toleranzen:

PCB-Abmessungen: $\pm 0,25$ mm

Bohrungen: $\pm 0,1$ mm

Kunststoffteile: $\pm 0,5$ mm

Alle Angaben vorläufig.

2.3.1 Abmessungen Kameramodul

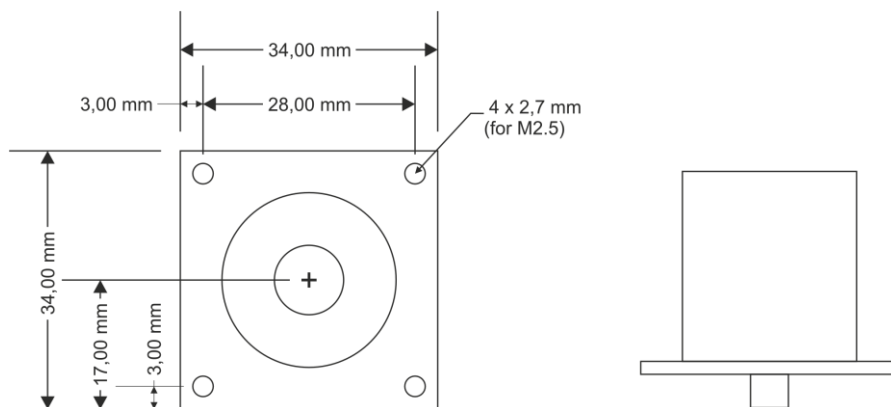


Bild 5: Abmessungen phyCAM-Leiterplatte (VM-050 / VM-051)

Kabelabgang nach oben in Bezug auf Sensor-Standard-Ausleserichtung.

Um die äußeren Befestigungsbohrungen befindet sich ein runder, metallisierter Bereich mit $d=5$ mm, auf dem Schrauben oder Befestigungselemente aufliegen können.

Die Position von Bauteilen ist abhängig von der Modellvariante.

Der Steckverbinder für Strobe/Trigger-Signale hat eine Höhe von 4,9 mm (für Kameramodule, die diese Funktion besitzen).

Hinweise:

Da Objektive die Bildlage umkehren, wird das Board üblicherweise mit Kabelabgang nach unten montiert, um ein aufrechtes Bild zu erhalten.

Die Ausleserichtung kann umgekehrt werden, so dass auch eine andere Montagerichtung möglich ist.

3 Technische Spezifikation VM-050 / VM-051 Kameraboards

In diesem Abschnitt finden Sie die Eigenschaften und technischen Daten der einzelnen Kameramodule der VM-050 / VM-051 Serien. Die Sonderfunktionen und Konfigurationsmöglichkeiten der Kameramodule sind in Abschnitt 4 gesondert beschrieben.

3.1 VM-050 – Thermopile-Imager 32x32 Pixel / SOC

3.1.1 Technische Daten

Charakteristische Merkmale

- 32x32 Pixel Thermopile-Array
- phyCAM-P – Schnittstelle
- Export compliant
- Framerate bis 8,5 fps
- SOC – System on Chip: Integrierte Bildvorverarbeitung
- Automatisch skalierte Temperaturwerte (relevantes Temperaturfenster)
- Integrierte Rauschreduzierung
- Deadpixelkorrektur
- Temperature-Tracking
- Eingebettete Zusatzinformationen im Bild
- Externer Trigger und Strobe (optional)

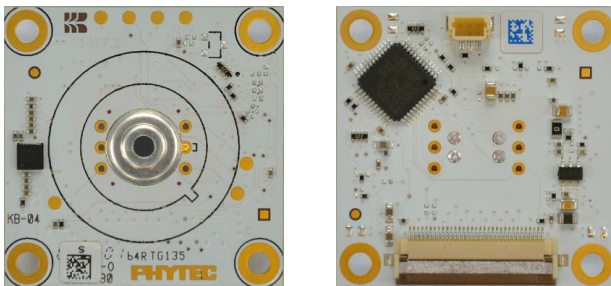


Bild 6: VM-050-021-0 (Vorderseite / Rückseite)

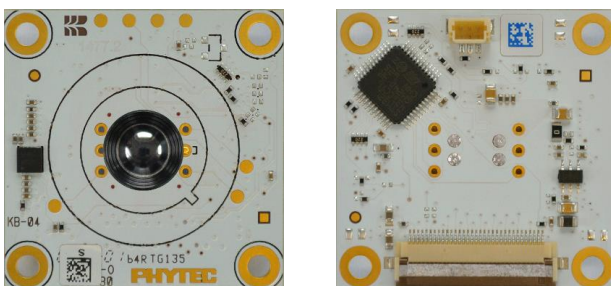


Bild 7: VM-050-050-0 (Vorderseite / Rückseite)

3.1.2 Spezifikation

Funktion	VM-050
Kameracharakteristik	
Auflösung	1024 Pixel
Auflösung (H x V)	32 Pixel x 32 Pixel
Sensortechnologie	Thermosäule (n-poly/p-poly Si)
Sensorchip	Heimann Sensor HTPA32x32d
Thermische Pixelzeitkonstante	< 4 ms
Objekttemperatur Bereich	-20°C ... 1000°C
Genauigkeit	± 2 K ± 2 %
Empfindlichkeit ohne Optik	450 V/W
Trigger	ja, Hard- / Softtrigger
Sync	ja, Strobe
Mirror	Vertikal, Horizontal
ROI	ja
Sonderfunktionen	siehe Abschnitt: 4

elektrisches Interface	
Videoausgang Typ	digital
Anschluss	phyCAM-P
Datenformat	8 / 10 / 12 / 16 (2x8) Bit parallel
Interface-Mode	Y8 / Y10 / Y12 / 2Y8
Kameraeinstellung	I ² C
Versorgungsspannung	3,3 V
Leistungsaufnahme	≈ 115 mW

mechanische Daten	
Objektivanschluss	n/a
Objektiv	siehe Tabelle 7
Gehäuse	-
Abmessungen (mm)	34 x 34
Befestigung	4 x M2,5
Gewicht (PCB ohne Sensor)	5 g
Betriebstemperatur	-20°C ... +85°C
Lagertemperatur	-25°C ... +85°C

Anschlüsse	
Signalausgang	FFC 33 pol.
Trigger / Sync	JST 3 pol. (optional FFC 33 pol.)

n/a: nicht zutreffend. Alle Angaben können technischen Änderungen unterliegen.

Tabelle 6: Technische Daten VM-050 (phyCAM-P)

	VM-050-021	VM-050-036	VM-050-050	VM-050-070
Brennweite	2,1 mm	3,6 mm	5,0 mm	7,0 mm
F-Nummer	0,8	0,9	0,85	1,2
Sichtfeld	90° x 90°	43° x 43°	33° x 33°	23° x 23°
Linsenbeschichtung	LWP 5.0	AR	LWP 7.7	AR
Filtercharakteristik	Tr. 5 % für $\lambda > 5 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$	Tr. < 3 % für $8 \mu\text{m} < \lambda < 11,5 \mu\text{m}$	Tr. 5 % für $\lambda > 7,7 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$	Tr. < 3 % für $8 \mu\text{m} < \lambda < 11,5 \mu\text{m}$
NETD @1Hz, @25°C	329 mK	512 mK	254 mK	590 mK
Genauigkeit ¹	$\pm 3 \text{ K}$ oder $\pm 0,03 \times \Delta T $	$\pm 3 \text{ K}$ oder $\pm 0,03 \times \Delta T $	$\pm 3 \text{ K}$ oder $\pm 0,03 \times \Delta T $	$\pm 3 \text{ K}$ oder $\pm 0,03 \times \Delta T $
Sensorhöhe	4,45 mm	6,65 mm	10,41 mm	9,51 mm
Sensordurchmesser	8,15 mm	8,15 mm	9,3 mm	8,15 mm

Standardvarianten des Sensors sind fett hervorgehoben.

Tabelle 7: Objektiv-Varianten für VM-050

3.1.3 Interface-Charakteristik

	Symbol	min	typ	max	Einheit
Betriebsspannung	V_{CAM}	3,0	3,3	3,6	V
Stromaufnahme	I_{CAM}	-	36	-	mA
Input high voltage	V_{IH}	2,3	-	3,6	V
Input low voltage	V_{IL}	-0,3	-	0,9	V
Output high voltage	V_{OH}	2,9	-	-	V
Output low voltage	V_{OL}	-	-	0,4	V
Voltage Set Resistor	R_{31}	-	0	2	Ω
Betriebstemperatur	T_{OP}	-20	-	85	°C
Lagertemperatur	T_{STG}	-25	-	85	°C

Tabelle 8: VM-050 elektrische Charakteristik

	Symbol	min	typ	max	Einheit
Pixelclock Frequenz	f_{PCLK}	-	1,6	-	MHz
PCLK zu data valid	t_{PD}	150	160	-	ns
PCLK zu FV high	t_{PFH}	150	1940	-	ns
PCLK zu LV high	t_{PLH}	150	160	-	ns
I ² C Taktrate	f_{I2C}	-	100	400	kHz

Tabelle 9: VM-050 Timings

1: Je nachdem was größer ist

3.1.4 Datenformate

monochrom:

- Y8: 8 Bit Graustufenauflösung
- Y10: 10 Bit Graustufenauflösung
- Y12: 12 Bit Graustufenauflösung
- 2Y8: 16 Bit Graustufenauflösung als 2 x 8 Bit

Hinweis:

Durch entsprechende Beschaltung des Interfaces kann jede beliebige niedrigere Graustufenauflösung erzielt werden. Dazu werden die entsprechenden niederwertigen Datenleitungen der Kamera nicht verbunden und die höherwertigen entsprechend rechtsbündig an die Mikrocontrollerschnittstelle angeschlossen. Manche Mikrocontroller erlauben auch eine softwaremäßige Konfiguration der Schnittstelle.

3.1.5 Pixelreihenfolge

Die Pixel des Thermobild-Arrays werden in Zeilen und Spalten ausgelesen.

Das Pixel in der oberen rechten Ecke des Arrays wird als Pixel 0 referenziert.

Die Ausleserichtung ist Zeile 0 von links nach rechts, gefolgt von Zeile 1 usw. (siehe [Bild 8](#) und [Bild 9](#)).

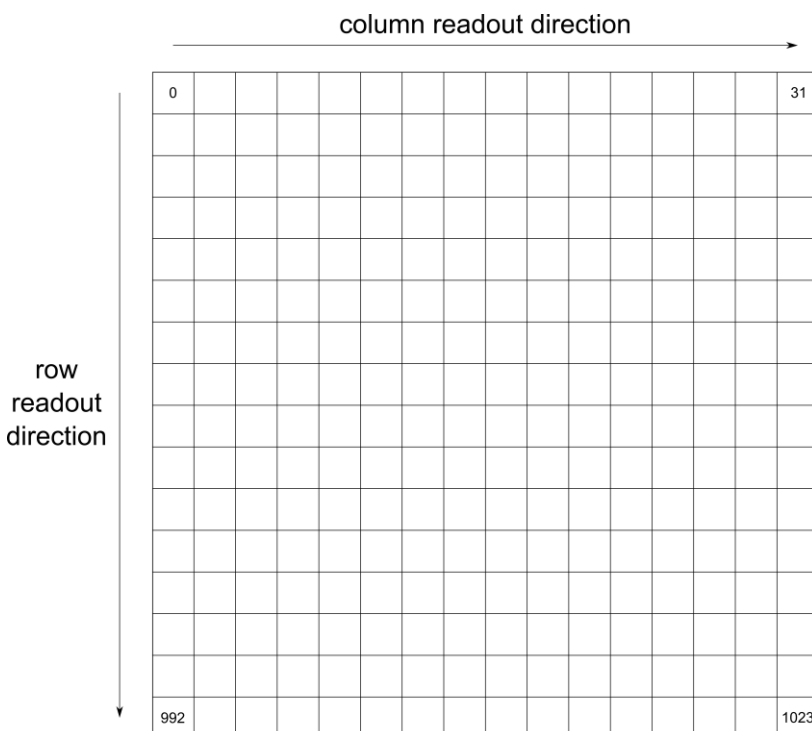


Bild 8: VM-050 Pixel-Anordnung

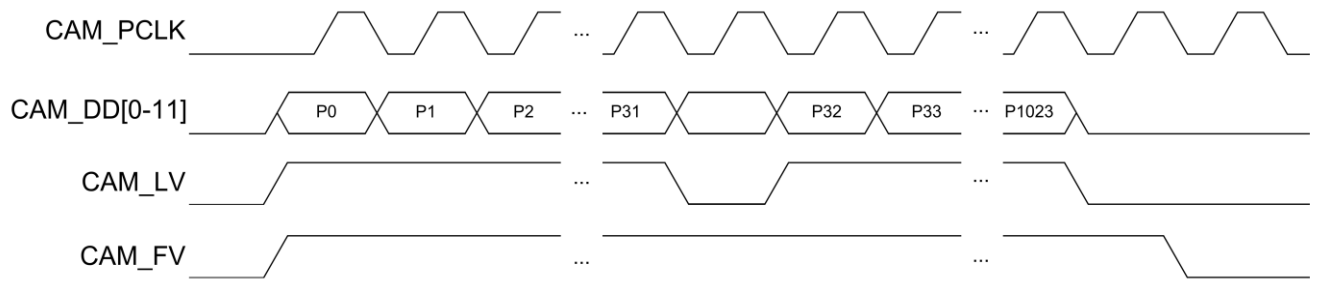


Bild 9: VM-050 Timing-Diagramm

3.2 VM-051 – Thermopile-Imager 80x64 Pixel / SOC

3.2.1 Technische Daten

Charakteristische Merkmale

- 80x64 Pixel Thermopile-Array
- phyCAM-P – Schnittstelle
- Export compliant
- Framerate bis 7,3 fps
- SOC – System on Chip: Integrierte Bildvorverarbeitung
- Automatisch skalierte Temperaturwerte (relevantes Temperaturfenster)
- Integrierte Rauschreduzierung
- Deadpixelkorrektur
- Temperature-Tracking
- Eingebettete Zusatzinformationen im Bild
- Externer Trigger und Strobe (optional)

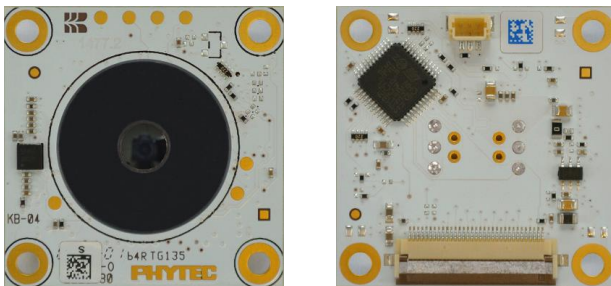


Bild 10: VM-051-050-0 (Vorderseite / Rückseite)

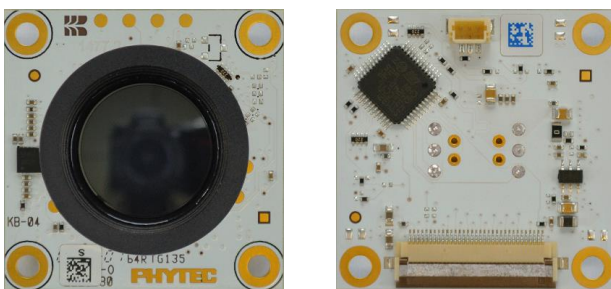


Bild 11: VM-051-100-0 (Vorderseite / Rückseite)

3.2.2 Spezifikation

Funktion	VM-051
Kameracharakteristik	
Auflösung	5120 Pixel
Auflösung (H x V)	80 Pixel x 64 Pixel
Sensortechnologie	Thermosäule (n-poly/p-poly Si)
Sensorchip	Heimann Sensor HTPA80x64d
Thermische Pixelzeitkonstante	< 4 ms
Objekttemperatur Bereich	-20°C ... 1000°C
Genauigkeit	± 2 K ± 2 %
Empfindlichkeit ohne Optik	450 V/W
Trigger	ja, Hard- / Softtrigger
Sync	ja, Strobe
Mirror	Vertikal, Horizontal
ROI	ja
Sonderfunktionen	siehe Abschnitt 4

elektrisches Interface	
Videoausgang Typ	digital
Anschluss	phyCAM-P
Datenformat	8 / 10 / 12 / 16 (2x8) Bit parallel
Interface-Mode	Y8 / Y10 / Y12 / 2Y8
Kameraeinstellung	I ² C
Versorgungsspannung	3,3 V
Leistungsaufnahme	≈ 250 mW

mechanische Daten	
Objektivanschluss	n/a
Objektiv	siehe Tabelle 11
Gehäuse	-
Abmessungen (mm)	34 x 34
Befestigung	4 x M2,5
Gewicht (PCB ohne Sensor)	5 g
Betriebstemperatur	-20°C ... +85°C
Lagertemperatur	-25°C ... +85°C

Anschlüsse	
Signalausgang	FFC 33 pol.
Trigger / Sync	JST 3 pol. (optional FFC 33 pol.)

n/a: nicht zutreffend. Alle Angaben können technischen Änderungen unterliegen.

Tabelle 10: Technische Daten VM-051 (phyCAM-P)

	VM-051-039	VM-051-048	VM-051-100	VM-051-105
Fokusslänge	3,9 mm	4,8 mm	10,0 mm	10,5 mm
F-Nummer	0,8	0,8	0,7	0,95
Sichtfeld	120° x 90°	90° x 70°	41° x 33°	39° x 31°
Linsenbeschichtung	AR		LWP 7.7	LWP 7.7
Filtercharakteristik	ARpS ² < 3 % für 8 μm < λ < 11,5 μm	ARpS ² < 3 % für 8 μm < λ < 11,5 μm	Tr. 5 % für λ > 7,7 μm ± 3 μm	Tr. 5 % für λ > 7,7 μm ± 3 μm
NETD @1Hz, @25°C	260 mK 87 mK ³	390 mK 80 mK ³	233 mK 70 mK ³	333 mK 115 mK ³
Genauigkeit ⁴	±3 K oder ± 0,03 × ΔT	±3 K oder ± 0,03 × ΔT	±3 K oder ± 0,03 × ΔT	±3 K oder ± 0,03 × ΔT
Sensorhöhe	12,61 mm	14,59 mm	25,72 mm	24,14 mm
Sensordurchmesser	20 mm	20 mm	23 mm	23 mm

Standardvarianten des Sensors sind fett hervorgehoben.

Tabelle 11: Objektiv-Varianten für VM-051

3.2.3 Interface-Charakteristik

	Symbol	min	typ	max	Einheit
Betriebsspannung	V _{CAM}	3,0	3,3	3,6	V
Stromaufnahme	I _{CAM}	-	70	-	mA
Input high voltage	V _{IH}	2,3	-	3,6	V
Input low voltage	V _{IL}	-0,3	-	0,9	V
Output high voltage	V _{OH}	2,9	-	-	V
Output low voltage	V _{OL}	-	-	0,4	V
Voltage Set Resistor	R ₃₁	-	0	2	Ω
Betriebstemperatur	T _{OP}	-20	-	85	°C
Lagertemperatur	T _{STG}	-25	-	85	°C

Tabelle 12: VM-051 elektrische Charakteristik

	Symbol	min	typ	max	Einheit
Pixelclock Frequenz	f _{PCLK}	-	1,6	-	MHz
PCLK zu data valid	t _{PD}	150	160	-	ns
PCLK zu FV high	t _{PFH}	150	1940	-	ns
PCLK zu LV high	t _{PLH}	150	160	-	ns
I ² C Taktrate	f _{I2C}	-	100	400	kHz

Tabelle 13: VM-051 Timings

2: ARpS = Average Reflection per Surface
 3: Sensor auf Anfrage auch als „Ultra High Sensitiv“ verfügbar.
 4: Je nachdem was größer ist

3.2.4 Datenformate

monochrom:

- Y8: 8 Bit Graustufenauflösung
- Y10: 10 Bit Graustufenauflösung
- Y12: 12 Bit Graustufenauflösung
- 2Y8: 16 Bit Graustufenauflösung als 2 x 8 Bit

Hinweis:

Durch entsprechende Beschaltung des Interfaces kann jede beliebige niedrigere Graustufenauflösung erzielt werden. Dazu werden die entsprechenden niederwertigen Datenleitungen der Kamera nicht verbunden und die höherwertigen entsprechend rechtsbündig an die Mikrocontrollerschnittstelle angeschlossen. Manche Mikrocontroller erlauben auch eine softwaremäßige Konfiguration der Schnittstelle.

3.2.5 Pixelreihenfolge

Die Pixel des Thermobild-Arrays werden in Zeilen und Spalten ausgelesen.

Das Pixel in der oberen rechten Ecke des Arrays wird als Pixel 0 referenziert.

Die Ausleserichtung ist Zeile 0 von links nach rechts, gefolgt von Zeile 1 usw. (siehe [Bild 12](#) und [Bild 13](#)).

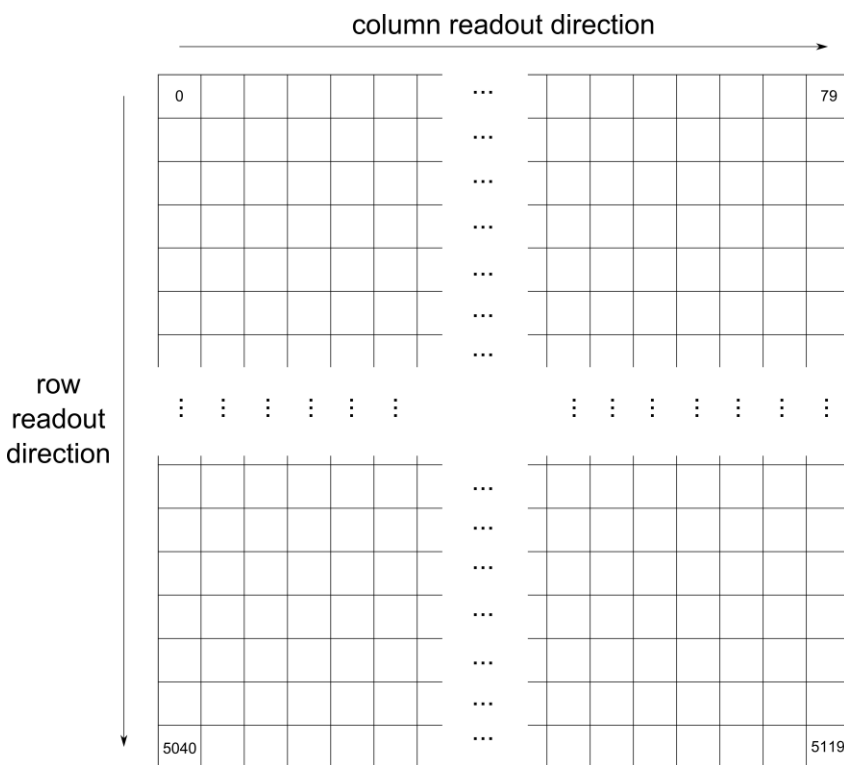


Bild 12: VM-051 Pixel-Anordnung

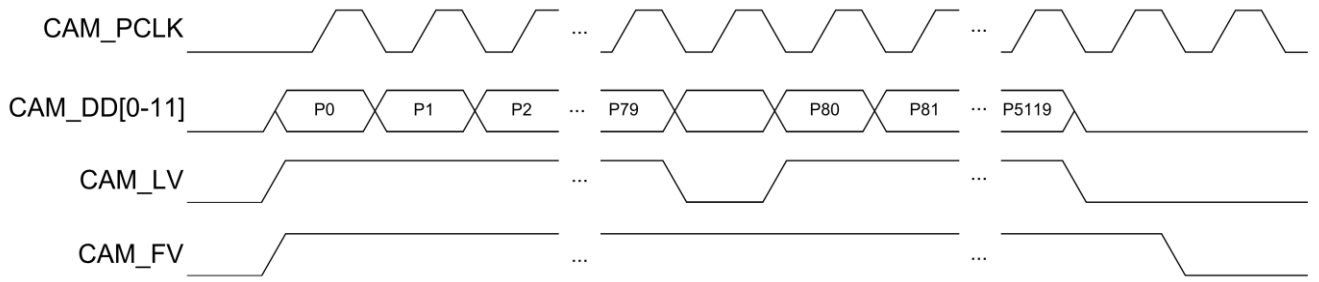


Bild 13: VM-051 Timing-Diagramm

3.3 Allgemeine Konfiguration (I²C Bus)

3.3.1 I²C Adressen

I ² C-Adresse	Konfiguration			
	CAM_CTRL1	J5	J4	J2
0x94	GND	1+2	2+4	1+2
	x	x	2+3	1+2
0x9C	VCAM	1+2	2+4	1+2
	x	x	1+2	1+2
0xB4	GND	1+2	2+4	2+3
	x	x	2+3	2+3
0xBC	VCAM	1+2	2+4	2+3
	x	x	1+2	2+3

Standardbestückung des Moduls ist fett hervorgehoben

Tabelle 14: I²C Adressen VM-050 und VM-051

Die I²C-Adressen sind hexadezimal in 8 Bit – Darstellung angegeben. In Linux wird ggf. mit 7 Bit – Darstellung gearbeitet. In diesem Fall ist der Adresswert eine Stelle nach rechts zu shiften. Die Angabe bezieht sich auf die Schreibadresse (Bit 0 = 0), die Leseadresse ist entsprechend (Bit 0 = 1) um 1 erhöht.

3.3.2 I²C Beschreibung

Die phyCAM-Schnittstellen besitzen zur Kommunikation mit den Kameramodulen (Sensor, EEPROM, usw.) eine I²C Schnittstelle. Diese ist sowohl bei phyCAM-P als auch bei phyCAM-S(+) vorhanden. Von der CPU können über die I²C-Schnittstelle alle Register des Kameramoduls entsprechend der gewünschten Konfiguration eingestellt werden.

Die I²C Schnittstelle der VM-050 ist mit einer Wortbreite von 8 Bit organisiert:

- 8 Bit Deviceadresse
- 8 Bit Registeradresse
- 2 x 8 Bit Datenzugriffe

Der Zugriff auf die I²C Schnittstelle der VM-050 erfolgt immer als 16 Bit Write- oder 16 Bit Read-Sequenz. Entsprechend der I²C Spezifikation werden Schreib- und Lesezugriffe durch den Zustand des LSB in der Deviceadresse unterschieden.

- Schreibzugriff: LSB in der Deviceadresse = 0
- Lesezugriff: LSB in der Deviceadresse = 1

3.3.2.1 16-Bit Schreibsequenz

Eine typische Bytefolge zum Schreiben in ein 16 Bit-Register des Kamerasensors ist [Bild 14](#) angezeigt. Die Sequenz wird vom Master durch das Startbit eingeleitet, gefolgt von der Registeradresse und zwei Daten-Bytes. Dabei wird das High-Byte des 16 Bit breiten Datenwerts zuerst gesendet und dann das Low-Byte.

Die VM-050 liefert nach jedem Byte die Empfangsbestätigung (ACK). Alle 16 Datenbits müssen übertragen werden, bevor das Register aktualisiert wird. Der Master beendet den Schreibvorgang durch Senden des Stop-Bits.

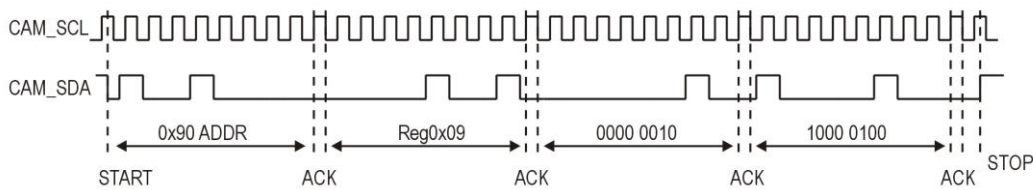


Bild 14: Schreiben des Wertes 0x0284 auf Register 0x09 an Device 0x90

3.3.2.2 16-Bit Lesesequenz

Eine typische 16 Bit Lesesequenz ist in [Bild 15](#) dargestellt. Zunächst muss der Master die Adresses des Registers senden, dessen Inhalt gelesen werden soll. Dazu wird in einer Schreibsequenz nur die Registeradresse an das Kameramodul gesendet.

Danach wird vom Master ein Lesevorgang über einen 16 Bit-Wert begonnen, indem er ein erneutes Start-Bit und die Deviceadresse mit gesetztem LSB (Leseerkennung) sendet.

Mit den folgenden Clock-Takten sendet das Kameramodul in zwei Datenbytes den 16 Bit breiten Registerinhalt. Dabei wird zuerst das High-Byte und dann das Low-Byte übertragen. Der Master sendet nach jeder 8-Bit-Übertragung ein Bestätigungs-Bit (ACK). Die Datenübertragung wird beendet, indem der Master ein No-Acknowledge-Bit (NACK) nach den 16 Bit Daten sendet.

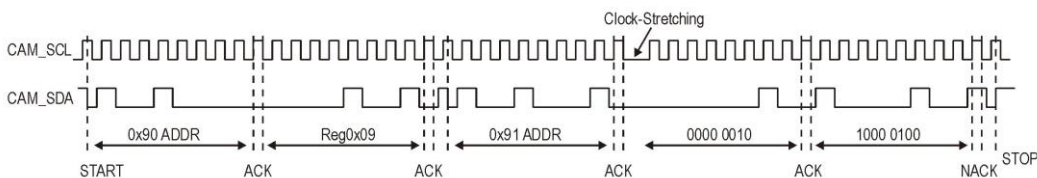


Bild 15: Lesen des Wertes 0x0284 aus Register 0x09 von Device 0x90

Achtung:

Nachdem der Mikrocontroller des Kameramoduls den einleitenden I²C-Write-Befehl und die Deviceadresse mit gesetztem Lesebit empfangen hat, benötigt er Zeit zur Bearbeitung des Befehls. In dieser Zeit muss der Master an der I²C- Schnittstelle warten, bevor er mit dem Einlesen der Daten beginnen kann. Dazu wird vom Mikrocontroller des Kameramoduls der Mechanismus des „**Clock-Stretching**“ **verwendet**.

Der I²C Bus Master muss Clock-Stretching unterstützen, damit eine fehlerfreie Kommunikation gewährleistet ist.

3.4 Multipurpose Pins

Signal	Pin	Funktion	I/O	Konfiguration
CAM_CTRL1	7	offen	-	J5: NOMT
		I ² C-Address-Select	I	J5: 1+2, J4: 2+4, J17: NOMT
		Strobe	0	J5: 2+4
		CAM_DD0	0	J5: 1+2, J4: nicht 2+4, J17: 1+2
CAM_CTRL2	30	offen	-	J3: NOMT
		GND	-	J3: 2+4
		Trigger	I	J3: 1+2, J18: 1+2
		CAM_DD1	0	J3: 1+2, J18: 2+3
CAM_RST	3	Camera Reset (Low-Aktiv)	I	-
CAM_OE	32	Data Output Enable (High-Aktiv)	I	-

Tabelle 15: Konfiguration der Feature Pins VM-050 und VM-051

Hinweise

Konfiguration: Interne Konfiguration des Kameramoduls, um diese Funktion zu aktivieren. Falls mehrere Funktionen für einen Pin verfügbar sind, ist die Default-Konfiguration fettgedruckt.

Sonderkonfigurationen können bei Serienlieferungen von PHYTEC vorkonfiguriert werden. Bitte sprechen Sie dazu mit unseren Vertriebsmitarbeitern.

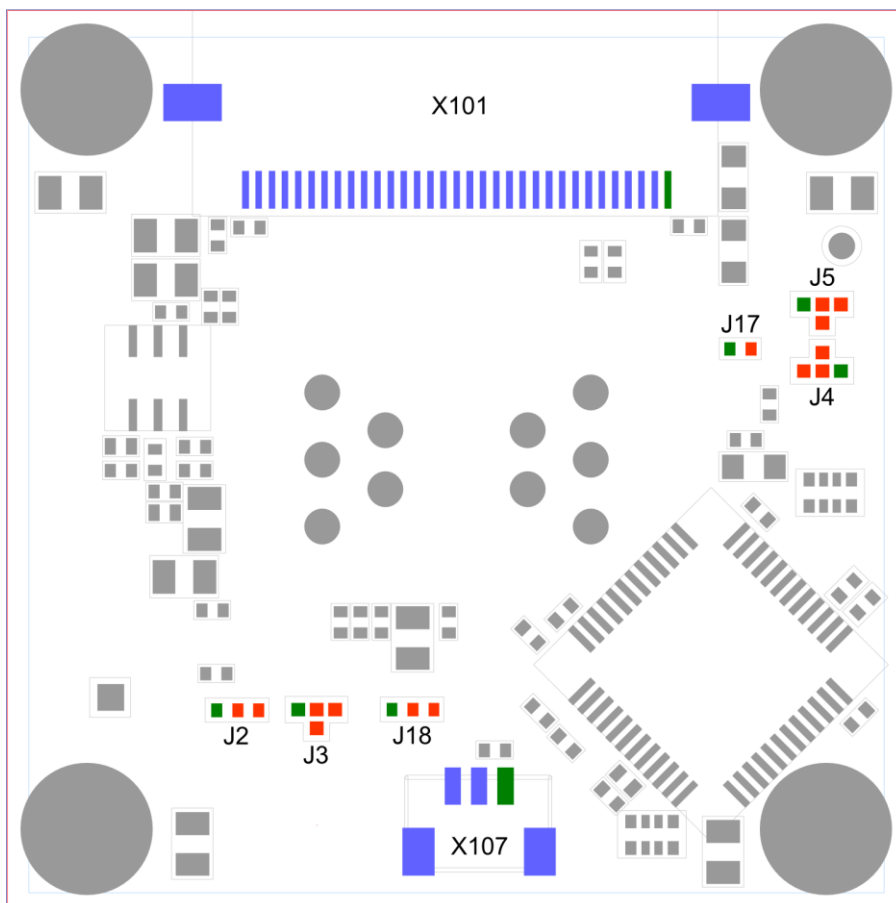
NOMT = not mounted = unbestückt

3.5 Zuordnung der Datenleitungen

Bit	Datenleitung			
	8 Bit	10 Bit	12 Bit	16 Bit
0	CAM_DD2	CAM_DD0	CAM_CTRL1	CAM_DD2
1	CAM_DD3	CAM_DD1	CAM_CTRL2	CAM_DD3
2	CAM_DD4	CAM_DD2	CAM_DD0	CAM_DD4
3	CAM_DD5	CAM_DD3	CAM_DD1	CAM_DD5
4	CAM_DD6	CAM_DD4	CAM_DD2	CAM_DD6
5	CAM_DD7	CAM_DD5	CAM_DD3	CAM_DD7
6	CAM_DD8	CAM_DD6	CAM_DD4	CAM_DD8
7	CAM_DD9	CAM_DD7	CAM_DD5	CAM_DD9
8	-	CAM_DD8	CAM_DD6	CAM_DD2
9	-	CAM_DD9	CAM_DD7	CAM_DD3
10	-	-	CAM_DD8	CAM_DD4
11	-	-	CAM_DD9	CAM_DD5
12	-	-	-	CAM_DD6
13	-	-	-	CAM_DD7
14	-	-	-	CAM_DD8
15	-	-	-	CAM_DD9

Tabelle 16: Zuordnung der Datenleitungen

3.6 Jumperplan VM-050 und VM-051



Pin 1 ist grün markiert

Bild 16: Jumperplan VM-050/VM-051

4 Sonderfunktionen VM-050 und VM-051

4.1 Register Referenz

Dieses Handbuchen beinhaltet für die Erläuterung von Zusatzfunktionen Ausschnitte der VM-05x Register Reference (LAN-074e). Diese beinhaltet zusätzliche Informationen für die Konfiguration der Kameramodule.

4.2 Trigger

Im **'Continuous Mode'** nimmt das Kameramodul kontinuierlich Bilder auf. Sobald ein Frame aufgenommen und ausgegeben wurde, beginnt automatisch die Aufnahme des nächsten Bilds. Dieser Modus ist standardmäßig aktiviert.

Die Triggerfunktion ermöglicht es, den Zeitpunkt der Bildaufnahme durch ein externes Signal (Hard-Trigger) oder durch Setzen eines Registers (Soft-Trigger) zu steuern.

Im Hard-Trigger-Modus wird das Triggersignal außerhalb des Kameramoduls generiert und über den Eingang CAM_TRIG zugeführt. Im Soft-Trigger-Modus wird die Aufnahme durch **Setzen des 'Sensor Enable Sampling'-Feld im 'CONTROL1'-Register** des Kameramoduls ausgelöst.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x03 – CONTROL2						
3:0	Snapshot Mode	0 = Disable Snapshot Mode / Enable Continuous Mode 1 = The user triggers the start of sample a frame by providing a high-pulse at TRIGGER-Pin 2 = The user triggers the start of sample a frame by set 'Sensor Enable Sampling' to 1. 'Sensor Enable Sampling' is then reset automatically. 3...15 = Reserved	0	Y	0...2	R/W
0x02 – CONTROL1						
0	Sensor Enable Sampling	0 = Disable image sampling 1 = Enable image sampling (depends on 'CONTROL_2', 'Snapshot Mode')	1	Y	0,1	R/W

Tabelle 17: Auswahl des Triggermodus

4.2.1 Hard-Trigger-Modus

Die Aufnahmetriggerung durch ein elektrisches Signal wird durch Setzen des **'Snapshot Mode'-Felds im 'CONTROL2'-Register auf '1' aktiviert**. Die kontinuierliche Bildaufnahme wird dadurch angehalten. Wird an CAM_TRIG ein High-Pulse-Signal angelegt, beginnt die Aufnahme eines Frames. Liegt CAM_TRIG nach erfolgter Bildausgabe weiterhin ein Highpegel an, wird automatisch der nächste Frame aufgenommen und

ausgegeben. Anderenfalls wird die Bildaufnahme angehalten, bis ein weiterer High-Pulse an CAM-TRIG angelegt wird oder der 'Continuous Mode' durch Rücksetzen des 'Snapshot Mode'-Feld auf '0' aktiviert wird.

4.2.2 Soft-Trigger-Modus

Durch Setzen des 'Snapshot Mode'-Felds im 'CONTROL2'-Register auf '2' wird die **Aufnahmetriggerung über das 'Sensor Enable Sampling'-Feld im 'CONTROL1'-Register** aktiviert. Die kontinuierliche Bildaufnahme wird angehalten. Wird das 'Sensor Enable Sampling'-Feld auf '1' gesetzt, beginnt die Aufnahme eines Frames. Das 'Sensor Enable Sampling'-Feld wird nach erfolgter Triggerung automatisch auf '0' zurückgesetzt. Nach erfolgter Ausgabe eines Frames wird die Bildaufnahme angehalten, bis das 'Sensor Enable Sampling'-Feld erneut auf '1' gesetzt oder der 'Continuous Mode' durch Rücksetzen der 'Snapshot Mode'-Feld auf '0' aktiviert wird.

4.3 Strobe

Der CAM_STRO Ausgang zeigt mit einem High-Pulse an, dass der Sensor mit der Bildaufnahme begonnen hat. Während der Dauer des High-Pulses werden die Pixel des Sensors gesampelt und ausgelesen. Das Signal kann außerdem als Indikator verwendet werden, dass eine Bildaufnahme stattgefunden hat.

Die Strobe-Funktion wird aktiviert, indem das 'Strobe Mode'-Feld im 'CONTROL2'-Register auf '1' gesetzt wird.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x03 – CONTROL2						
7:4	Strobe Mode	0 = Disable Strobe pulse generation 1 = Enable Strobe pulse. Generate a high-pulse at STROBE-Pin while the Sensor is sampling an image 2...15 = Reserved	0	Y	0,1	R/W

Tabelle 18: Einstellung des Strobe-Modus

4.4 Reset

4.4.1 Hard-Reset

Ein Low-Pegel am Reset-Eingang versetzt den Sensor in den Reset-Zustand. Alle Register werden auf die Default-Einstellungen gesetzt und der Sensor neu initialisiert. Der Eingang sollte mit dem Reset-Signal des Mikrocontrollermoduls verbunden werden. Während des Betriebs des Kameramoduls muss das Signal High-Pegel besitzen.

4.4.2 Soft-Reset

Durch **Setzen des 'Module Reset'-Felds im 'CONTROL1'-Register auf '1'** wird das Modul in den Reset-Zustand versetzt. Alle Register werden auf die Default-Einstellungen gesetzt **und der Sensor neu initialisiert. Anschließend wird das 'Module Reset'-Feld automatisch auf '0' zurückgesetzt.**

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x02 – CONTROL1						
3	Module Reset	Perform a soft reset of the entire camera module. This is a self-resetting bit which should always read '0' . 0 = Normal operation 1 = Perform Module Reset	0	Y	0,1	R/W

Tabelle 19: Soft-Reset

Hinweis

Unabhängig von der Nutzung des CAM_RST-Eingangs muss CAM_RST mit V_{CAM} über einen Pullup-Widerstand (z.B. 10 k Ω) verbunden werden. Dies ist für den zuverlässigen Betrieb des Kameramoduls erforderlich.

4.5 Output-Enable

Ein Low-Pegel am CAM_OE-Eingang versetzt die Signalleitungen CAM_DD[0...11] sowie CAM_LV, CAM_FV, CAM_PCLK und CAM_STRO in den Tri-State-Zustand.

Hinweis

CAM_OE besitzt einen internen Pullup-Widerstand (≈ 47 k Ω).

4.6 Skalierte Temperaturwerte (Temperature Window)

Der durch die integrierte Vorverarbeitung berechenbare Temperaturraum von -20°C bis 1000°C ist als 16 Bit Wert skaliert. Ein Bit entspricht dabei 1 dK (Dezikelvin, $1/10\text{ K}$). Da diese Datenbreite in den seltensten Fällen benötigt wird, besteht die Möglichkeit ein Temperaturfenster zu definieren, in welchem die relevanten Temperaturwerte auf 8 / 10 / 12 Bit skaliert werden.

Dadurch wird erreicht, dass nicht mehr der gesamte Temperaturraum auf den Wertebereich der Ausgabe abgebildet wird, sondern nur ein Teilbereich.

Je nach Verhältnis von der Größe des Temperaturfensters zum Wertebereich der Ausgabe kann das Temperaturspektrum entweder gestaucht, gespreizt oder beschnitten werden.

Bild 17a und *Bild 17b* zeigt ein Beispiel für ein gespreiztes Temperaturfenster bei 10 Bit Auflösung:

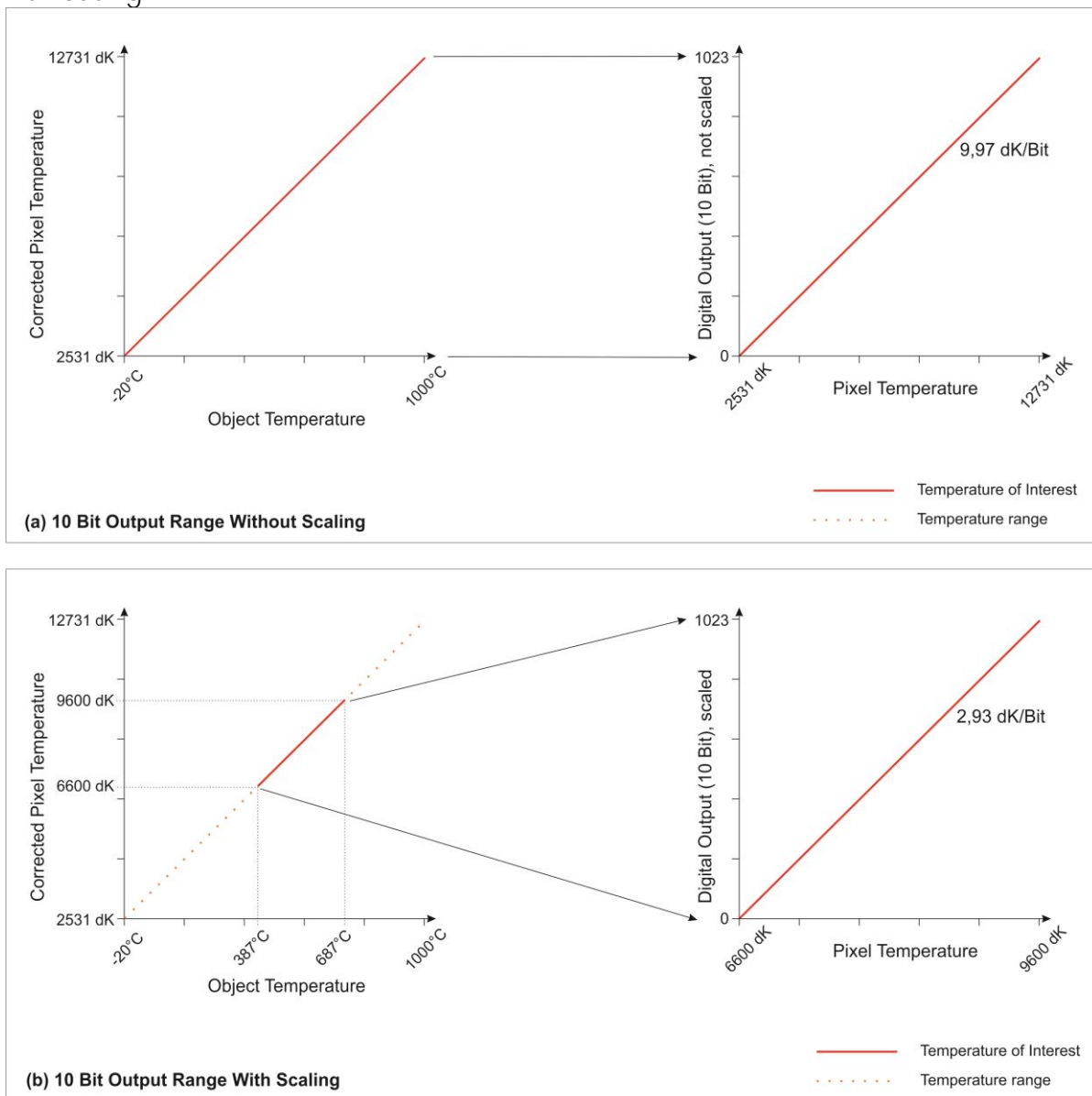


Bild 17: Beispiel Skalierung eines 300 K breiten Temperaturfensters

In *Bild 17a* wird der gesamte Temperaturbereich -20°C bis 1000°C auf den Ausgabebereich 0 bis 1023 abgebildet. Ein numerischer Wert von 0 entspricht 2531 dK bzw. -20°C . Der numerische Wert 1023 entspricht 12731 dK bzw. 1000°C . Ein Bit entspricht hier ca. 9,95 dK.

In *Bild 17b* erfolgt eine Spreizung des Bereichs 387°C bis 687°C auf den Ausgabebereich 0 bis 1023. Damit entspricht nun der numerische Ausgabewert 0 einer Temperatur von 6600 dK bzw. 387°C und der Ausgabewert 1028 dem Temperaturwert 9600 dK bzw. 687°C .

Der Messbereich wurde dadurch auf 300 K beschränkt, die Auflösung beträgt nun jedoch 2,93 dK/Bit.

Dies hat verschiedene Vorteile:

- Die Anbindung des Kameramoduls an den Mikrocontroller kann auch über ein 8 Bit breites Interface erfolgen, falls der Controller nicht über eine 16 Bit breite Schnittstelle verfügen sollte. Bei geeigneter Einstellung wird dennoch die höchstmögliche Genauigkeit erreicht.
- Für die gegebene Anwendung überflüssige Information kann aus dem Bild entfernt werden. Je nach Einstellung geschieht dies sogar ohne Verlust der Genauigkeit.
- Bei speicherkritischen Systemen kann durch Verwendung von 8 Bit der Speicherbedarf so auf einfache Weise halbiert werden ohne daß die Temperaturauflösung zwangsläufig reduziert werden muss.

Die Einstellung der Temperatureauflösung kann mit dem 'Temperature Resolution'-Feld im 'OUTPUT_CONTROL'-Register vorgenommen werden.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x0F – OUTPUT_CONTROL						
3:0	Temperature Resolution	0 = 8 Bit 1 = 10 Bit 2 = 12 Bit 4 = 16 Bit (2x8 Bit, big endian)	1	Y	0,1,2,4	R/W

Tabelle 20: Temperatureauflösung

4.6.1 (Halb-)Manuell skalierte Temperaturwerte

4.6.1.1 Manuell skalierte Temperaturwerte

Das Temperaturfenster kann vollständig manuell eingestellt werden. Dazu müssen das **'Enable-Auto-Scale-Mode'**-Feld und **'Auto-Scale Metering'**-Feld im **'CONTROL2'**-Register auf 0 gesetzt werden, um die Automatik zu deaktivieren. Anschließend kann mit den Registern **'TEMP_WINDOW_MIN'** und **'TEMP_WINDOW_MAX'** ein **eigenes Temperaturfenster eingestellt** werden.

Soll im manuellen Modus, die höchste Genauigkeit erzielt werden, muss dazu die Größe des Temperaturfensters in Dezikelvin der Datenbreite minus 1 entsprechen.

Beispiel:

Bei 10 Bit Datenbreite muss das Temperaturfenster für maximale Genauigkeit eine Größe von 1023 dK besitzen.

4.6.1.2 Halb-Manuell skalierte Temperaturwerte

Um die maximale Genauigkeit im manuellen Modus auf einfache Weise sicherzustellen, kann im **'TRACK_TEMPO'**-Register die Mittentemperatur des Temperaturfensters eingestellt werden. Die Fensterbreite stellt sich dann automatisch auf die aktuelle Datenbreite ein.

Dazu muss zusätzlich das 'Tracking Mode'-Feld im 'TRACK_TEMPO_CONF'-Register ungleich '1' und das 'Enable-Auto-Scale-Mode'-Feld im 'CONTROL2'-Register auf '5' gesetzt werden.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x03 – CONTROL2						
11:8	Enable Auto-Scale-Mode	The camera module scales the calculated temperature values depending on 'Temperature Resolution' : 0 = Reserved 1 = Full dynamic scale 2 = Fixed Temp_Min scale. The user has to set 'TEMP_WINDOW_MIN' register 3 = Fixed Temp_Max scale. The user has to set 'TEMP_WINDOW_MAX' register 4 = Scale by mean temperature (depends on 'Auto-Scale Metering') 5 = Scale by TRACK_TEMPO 6...15 = Reserved	1	Y	0...5	R/W
15:12	Auto-Scale Metering	If using the Auto-Scale-Mode, a metering mode has to be set by the user. 0 = Disable Auto-Scale-Mode. The temperature window has to be set manually in the registers 'TEMP_WINDOW_MIN' and 'TEMP_WINDOW_MAX' 1 = Entire image. 2 = Center-weighted. Like Entire image, but the central 25 % of the image are double-weighted. 3 = Spot. The central 64 Pixel are used. 4...15 = Reserved	1	Y	0...3	R/W

Tabelle 21: Halb-Manuelle Temperaturfenstersteuerung

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/ Write
0x19 – TEMP_WINDOW_MIN						
15:0	Temperature Window Min	Holds an unsigned value used to rescale the received data word to a temperature value. Depending on 'Enable Auto-Scale-Mode' this Register hold a fixed Value (set by user) if 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 0 or 2. If 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 1 or 3 this value hold the value used to auto-scale the temperature values of each frame. In this case TEMP_WINDOW_MIN is updated each frame.	-	Y	0...65535	R/W
0x1A – TEMP_WINDOW_MAX						
15:0	Temperature Window Max	Hold an unsigned value used to scale a sampled temperature value to the used data word width. Depending on 'Enable Auto-Scale-Mode'. This register holds a fixed value (set by user) if 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 0 or 2. If 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 1 or 3, this register holds the value used to auto-scale the temperature values of each frame. In this case TEMP_WINDOW_MAX is updated on each frame	-	Y	0...65535	R/W
0x20 – TRACK_TEMPO_CONF						
14:13	Tracking Mode	0 = disable Tracking 1 = 'TRACK_TEMPO' holds the temperature value of the pixel according to 'Pixel Number'. 2 = If one pixel in the whole image is equal or less 'TRACK_TEMPO'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'. 3 = If one pixel in the image is greater or equal 'TRACK_TEMPO'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'.	0	Y	0...3	R/W

Tabelle 21: Halb-Manuelle Temperaturfenstersteuerung (fortgesetzt)

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x24 – TRACK_TEMPO						
15:0	Track Temp 0	Depends on 'TRACK_TEMPO_CONF'	0	Y	0...65535	R/W

Tabelle 21: Halb-Manuelle Temperaturfenstersteuerung (fortgesetzt)

Hinweis

Die (halb-)manuelle Skalierung eignet sich besonders für Anwendungen, in denen definierte Objekttemperaturen erfasst werden sollen.

4.6.2 Automatisch skalierte Temperaturwerte

Für unterschiedliche Aufnahmesituationen stehen verschiedene Skalierungsmethoden und Messfelder zur Verfügung. Dies funktioniert ähnlich der Belichtungsautomatik von Kameras für sichtbares Licht.

Die Automatik kann mittels zwei Parameter an die Aufnahmesituation angepasst werden:

- Festlegung der Mess-/ Gewichtungsmethode (Scale Metering)
- Festlegung der Automatikfunktion (Scale Mode)

4.6.2.1 Festlegung der Messmethode

Mit dem **'Auto-Scale Metering'**-Feld im **'CONTROL2'**-Register kann das passende Messfeld gewählt werden. Die automatische Bildanalyse untersucht den aktuellen Frame und bestimmt die niedrigste, höchste und durchschnittliche Temperatur im Bild.

- 0: Messung deaktiviert, alte Messwerte bleiben erhalten.
- 1: Gesamtes Bild: Jeder Pixel wird für die Messung herangezogen.
- 2: Mittenbetont: Jeder Pixel wird für die Messung herangezogen, die inneren 25 % der Pixel werden doppelt gewichtet.
- 3: Spot: Nur die inneren 64 Pixel des Sensor werden für die Messung herangezogen.

4.6.2.2 Festlegung der Skalierungsmethode

Mit dem **'Enable-Auto-Scale-Mode'**-Feld im **'CONTROL2'**-Register kann anschließend der passende Skalierungsmodus gewählt werden:

- 0 = Automatik deaktiviert.
- 1 = Volle Dynamik: Das Temperaturfenster wird kontinuierlich an die im Messfeld liegende kleinste und größte Temperatur angepasst.
- 2 = Fixe Mindesttemperatur: Das Temperaturfenster wird kontinuierlich an die im Messfeld liegende größte Temperatur angepasst. Die Mindesttemperatur kann im **'TEMP_WINDOW_MIN'**-Register eingestellt werden.
- 3 = Fixe Höchsttemperatur: Das Temperaturfenster wird kontinuierlich an die im Messfeld liegende kleinste Temperatur angepasst. Die Höchsttemperatur kann im **'TEMP_WINDOW_MAX'**-Register eingestellt werden.
- 4 = Durchschnittstemperatur: Die Mitte des Temperaturfensters wird kontinuierlich

an die Durchschnittstemperatur im Messfeld angepasst. Dazu wird das arithmetische Mittel der durch die Messmethode gewichteten Temperaturwerte gebildet. Auf diesen Mittelwert wird die Mitte des Temperaturfenster nachgeführt. Die Fensterbreite stellt sich automatisch entsprechend Datenbreite ein, so dass die maximale Genauigkeit bei der Skalierung gewährleistet ist. Dieser Modus ist besonderes dann vorteilhaft, wenn Temperaturbilder visualisiert werden sollen, da durch die Mittelwertbildung die Fensterposition durch kleine Objekte nicht stark verschoben wird. Es sollte allerdings bedacht werden, dass möglicherweise nicht alle Objekte innerhalb des Temperaturfensters liegen.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x03 – CONTROL2						
11:8	Enable Auto-Scale-Mode	The camera module scales the calculated temperature values depending on 'Temperature Resolution' 0 = Reserved 1 = Full dynamic scale. 2 = Fixed Temp_Min scale. The register 'TEMP_WINDOW_MIN' has to be set. 3 = Fixed Temp_Max scale. The register 'TEMP_WINDOW_MAX' has to be set. 4 = Scale by mean temperature. (depends on 'Auto-Scale Metering') 5 = Scale by TRACK_TEMPO. 6...15 = Reserved	1	Y	0...5	R/W
15:12	Auto-Scale Metering	If using the Auto-Scale-Mode a metering mode has to be set manually. 0 = Disable Auto-Scale-Mode. The temperature window has to be set manually by using 'TEMP_WINDOW_MIN' and 'TEMP_WINDOW_MAX' registers. 1 = Entire image. 2 = Center-weighted. Like Ehole image, but the central 25 % of the image are double-weighted. 3 = Spot. The central 64 Pixel are used only. 4...15 = Reserved	1	Y	0...3	R/W

Tabelle 22: Automatische Temperaturfenstersteuerung

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x19 – TEMP_WINDOW_MIN						
15:0	Temperature Window Min	Holds an unsigned value used to rescale the received data word to a temperature value. Depending on 'Enable Auto-Scale-Mode' this Register hold a fixed Value (set by user) if 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 0 or 2. If 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 1 or 3 this value hold the value used to auto-scale the temperature values of each frame. In this case TEMP_WINDOW_MIN is updated each frame.	-	Y	0...65535	R/W
0x1A – TEMP_WINDOW_MAX						
15:0	Temperature Window Max	Holds an unsigned value used to scale a sampled temperature value to the used data word width. Depending on 'Enable Auto-Scale-Mode' this Register hold a fixed Value (set by user) if 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 0 or 2. If 'Enable Auto-Scale-Mode' is set to 1 or 3 this value hold the value used to auto-scale the temperature values of each frame. In this case TEMP_WINDOW_MAX is updated each frame	-	Y	0...65535	R/W

Tabelle 22: Automatische Temperaturfenstersteuerung (fortgesetzt)

Hinweise

Die automatische Skalierung eignet sich besonders für Anwendungen mit wechselnden Objekttemperaturen oder zum Auffinden eines passenden Temperaturfensters für die manuelle Skalierung.

Um ein homogenes Bild zu erzeugen, werden die Temperaturfenstereinstellungen bei automatischer Skalierung mit einem schwachen digitalem Tiefpass gefiltert.

4.6.3 Zurückskalieren zu Temperaturwerten

Sollen in der Anwendung für jedes Pixel reale Temperaturwerte errechnet werden, kann dies wie folgt aus den skalierten Temperaturen geschehen:

$$T_{Pix} = \frac{T_{PixScaled}}{f_{scale}} + T_{WinMin}$$

$$f_{scale} = \frac{2^{Bit} - 1}{T_{WinMax} - T_{WinMin}} \quad [float]$$

Bild 18: Temperaturskalierungsgleichungen

- T_{Pix} = gemessene Objekttemperatur
- $T_{PixScaled}$ = skaliertes Datenwert auf der Schnittstelle
- T_{WinMin} = untere Grenze des Temperaturfensters
- T_{WinMax} = obere Grenze des Temperaturfensters
- f_{scale} = Skalierungsfaktor
- Bit = eingestellte Datenwortbreite des Interfaces

Der verwendete Skalierungsfaktor (f_{scale}) ist zusätzlich als 2x 16Bit in den Registern 'TEMP_WINDOW_SCALE_FACTOR1' (0x17) und 'TEMP_WINDOW_SCALE_FACTOR2' (0x18) hinterlegt. 'TEMP_WINDOW_SCALE_FACTOR1' beinhaltet dabei das MSB und 'TEMP_WINDOW_SCALE_FACTOR2' das LSB des Floatwerts.

4.6.4 Quantisierungsfehler

Durch die Konvertierung der skalierten Temperaturwerte von Float in Integer ist ein Quantisierungsfehler nur vermeidbar, wenn $f_{scale} = 1$ ist, also weder einer Spreizung noch eine Stauchung des Temperaturspektrums vorgenommen wird.

Ist $f_{scale} > 1$ wird Temperaturspektrum gespreizt. Dieser Fall ist vor allem für Falschfarbendarstellungen interessant, da so der gesamte zur Verfügung stehende Falschfarbenraum genutzt werden kann. Es findet in diesem Fall keine Interpolation zwischen den Temperaturwerten statt, sodass im skalierten Spektrum Lücken entstehen. Eine Reskalierung kann ohne Verlust der Genauigkeit erfolgen.

Ist $f_{scale} < 1$ wird eine Stauchung des Temperaturspektrums vorgenommen. Dies führt zwangsläufig zu einem Verlust der Genauigkeit der Temperaturwerte, weil unter Umständen zwei oder mehr Temperaturwerte auf den gleichen skalierten Wert abgebildet werden.

Wird das 'Interface Accuracy'-Feld im 'OUTPUT_CONTROL'-Register auf '1' gesetzt kann der Quantisierungsfehler auf mindestens 0,5 LSBs reduziert werden.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x0F – OUTPUT_CONTROL						
6	Interface Accuracy	Interface Accuracy 0 = min. 1 LSB. Coarse quantization results in a higher output speed. 1 = min. 0.5 LSB. Best quantization quality but lower output speed.	1	Y	0,1	R/W

Tabelle 23: OUTPUT_CONTROL (Quantisierungsfehler)

Beispiel 1:

Temperaturauflösung: 8 Bit
 Temperature Window Min: 2590 dK
 Temperature Window Max: 2924 dK
 Gemessene Temperatur: 2618 dK
 Interface Accuracy: 1

$$\rightarrow F_{\text{scale}} = 0,763473053892216 \text{ dK}^{-1}$$

Skalieren:

$$\rightarrow T_{\text{PixScaled}} = 21$$

Reskalieren:

$$\rightarrow T_{\text{Pix}} = 2618 \text{ dK} (= 2618 \text{ dK})$$

Beispiel 2:

Temperaturauflösung: 8 Bit
 Temperature Window Min: 2590 dK
 Temperature Window Max: 2924 dK
 Gemessene Temperatur: 2617 dK
 Interface Accuracy: 1

$$\rightarrow F_{\text{scale}} = 0,763473053892216 \text{ dK}^{-1}$$

Skalieren:

$$\rightarrow T_{\text{PixScaled}} = 21$$

Reskalieren:

$$\rightarrow T_{\text{Pix}} = 2618 \text{ dK} (\neq 2617 \text{ dK})$$

Hinweis

Alle für die Reskalierung benötigten Werte können alternativ zum Auslesen über I²C auch als eingebettete Bildinformation ausgegeben werden (siehe: 4.11).

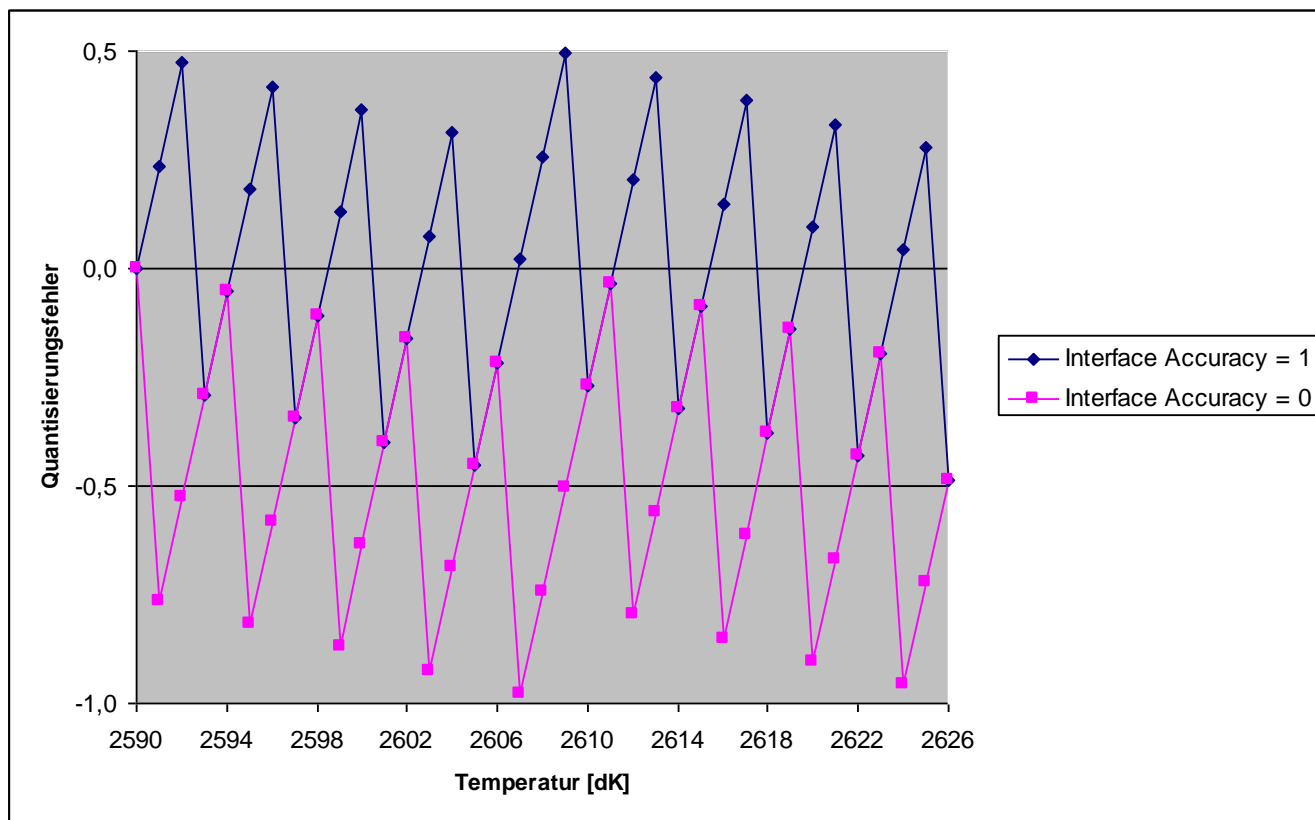


Bild 19: Quantisierungsfehler für Beispiel 1 und Beispiel 2

4.6.5 Overflow-Flag

Alle Temperaturwerte im Bild, die das Temperaturfenster unter- bzw. überschreiten werden als 0 bzw. volle Aussteuerung (z.B. 0xFF für 8 Bit) dargestellt. Mit dem 'Overflow Flag'-Bit des 'OUTPUT_CONTROL'-Register kann für jeden Frame abgefragt werden, ob skalierte Temperaturwerte außerhalb des Temperaturfensters liegen.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/ Write
0x0F – OUTPUT_CONTROL						
13	Overflow Flag	0 = All measured temperatures of the frame fit into the temperature window. 1 = Over-/Underflow occurred: At least one measured temperature of the current frame is outside the temperature window.	-	Y	0,1	R

Tabelle 24: OUTPUT_CONTROL (Overflow Flag)

Hinweise:

Das Overflow Flag kann wahlweise auch als eingebettete Bildinformation ausgegeben werden (siehe: 4.11).

4.7 Temperature-Tracking

Das Kameramodul bietet mehrere automatische und programmierbare Analysemöglichkeiten. Für jeden aufgenommenen Frame werden folgende Statistikwerte errechnet:

- 'TEMP_MIN': die gemessene niedrigste Temperatur im Frame
- 'TEMP_MAX': die gemessene höchste Temperatur im Frame
- 'TEMP_MEAN': der Durchschnittswert der Temperaturen des Frames
- 'TEMP_CENTER': Temperatur der Bildmitte

Zusätzlich können bis zu vier Tracking Register definiert werden. Die Trackingregister können unabhängig voneinander über das jeweilige 'Tracking Mode'-Bit des 'TRACK_TEMPx_CONF'-Registers konfiguriert werden:

- 0: Tracking deaktiviert
- 1: 'TRACK_TEMPx' Register hält den aktuellen Temperaturwert des im 'Pixel Number'-Register definierten Pixels
- 2: 'Tracking Flag'-Bit des 'TRACK_TEMPx_CONF'-Registers wird '1', wenn die im 'TRACK_TEMPx'-Register eingestellte Temperatur von einem Pixel im gesamten aktuellen Frame gleich ist oder unterschritten wird. Anderenfalls ist das 'Tracking Flag'-Bit '0' gesetzt.
- 3: 'Tracking Flag'-Bit des 'TRACK_TEMPx_CONF'-Registers wird '1', wenn die im 'TRACK_TEMPx'-Register eingestellte Temperatur von einem Pixel im gesamten

aktuellen Frame gleich ist oder überschritten wird. Anderenfalls ist das 'Tracking Flag'-Bit '0' gesetzt.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x20 – TRACK_TEMPO_CONF						
12:0	Pixel Number	Number of the Pixel that is to be tracked if 'Tracking Mode' is set to 1.	0	Y	0...1023 / 5119	R/W
14:13	Tracking Mode	0 = disable Tracking 1 = 'TRACK_TEMPO' holds the temperature value of the pixel according to 'Pixel Number'. 2 = If one pixel in the whole image is equal or less 'TRACK_TEMPO'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'. 3 = If one pixel in the whole image is greater or equal 'TRACK_TEMPO'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'.	0	Y	0...3	R/W
15	Tracking Flag	Depends on 'Tracking Mode'	0	Y	0,1	R
0x21 – TRACK_TEMP1_CONF						
12:0	Pixel Number	Number of the Pixel that is to be tracked if 'Tracking Mode' is set to 1.	0	Y	0...1023 / 5119	R/W
14:13	Tracking Mode	0 = disable Tracking 1 = 'TRACK_TEMP1' holds the temperature value of the pixel according to 'Pixel Number'. 2 = If one pixel in the whole image is equal or less 'TRACK_TEMP1'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'. 3 = If one pixel in the whole image is greater or equal 'TRACK_TEMP1'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'.	0	Y	0...3	R/W
15	Tracking Flag	Depends on 'Tracking Mode'	0	Y	0,1	R

Tabelle 25: Einstellung Temperatur-Tracking

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x22 – TRACK_TEMP2_CONF						
12:0	Pixel Number	Number of the Pixel that is to be tracked if 'Tracking Mode' is set to 1.	0	Y	0...1023 / 5119	R/W
14:13	Tracking Mode	0 = disable Tracking 1 = 'TRACK_TEMP2' holds the temperature value of the pixel according to 'Pixel Number'. 2 = If one pixel in the whole image is equal or less 'TRACK_TEMP2'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'. 3 = If one pixel in the whole image is greater or equal 'TRACK_TEMP2'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'.	0	Y	0...3	R/W
15	Tracking Flag	Depends on 'Tracking Mode'	0	Y	0,1	R
0x23 – TRACK_TEMP3_CONF						
12:0	Pixel Number	Number of the Pixel that is to be tracked if 'Tracking Mode' is set to 1.	0	Y	0...1023 / 5119	R/W
14:13	Tracking Mode	0 = disable Tracking 1 = 'TRACK_TEMP3' holds the temperature value of the pixel according to 'Pixel Number'. 2 = If one pixel in the whole image is equal or less 'TRACK_TEMP3'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'. 3 = If one pixel in the whole image is greater or equal 'TRACK_TEMP3'-value (set by user) the 'Tracking Flag' is set to '1'.	0	Y	0...3	R/W
15	Tracking Flag	Depends on 'Tracking Mode'	0	Y	0,1	R
0x24 – TRACK_TEMPO						
15:0	Track Temp 0	Depend on 'TRACK_TEMPO_CONF'	0	Y	0...65535	R/W
0x25 – TRACK_TEMP1						
15:0	Track Temp 1	Depend on 'TRACK_TEMP1_CONF'	0	Y	0...65535	R/W
0x26 – TRACK_TEMP2						
15:0	Track Temp 2	Depend on 'TRACK_TEMP2_CONF'	0	Y	0...65535	R/W
0x27 – TRACK_TEMP3						
15:0	Track Temp 3	Depend on 'TRACK_TEMP3_CONF'	0	Y	0...65535	R/W

Tabelle 25: Einstellung Temperatur-Tracking (fortgesetzt)

Hinweise:

Alle Temperature-Tracking Registerinhalte können wahlweise auch als eingebettete Bildinformation ausgegeben werden (siehe: 4.11).

Dead Pixel werden beim Temperature-Tracking nicht berücksichtigt. In diesem Fall erfolgt kein Update des Registerinhalts.

4.8 Dead Pixel Korrektur

Dead Pixel werden durch den Hersteller während des Fertigungsprozesses für jeden Sensor individuell markiert. Die so markierten Pixel werden bei der Berechnung der Temperaturwerte immer automatisch übersprungen und können nicht zum Temperature-Tracking verwendet werden. Die Anzahl der Deadpixel eines Sensor ist im **'Dead Pixel Count'**-Feld von **'CONTROL3'**-Register hinterlegt. Die genaue Position der Dead Pixel ist in den **'DEAD_PIX_ADDR_xx'**-Registern hinterlegt.

Auf Wunsch kann die automatische Deadpixel Korrektur über das **'Enable Dead Pixel Correction'-Bit** im **'CONTROL3'**-Register de-/aktiviert werden.

Bei der DeadPixel Korrektur werden geeignete benachbarte Pixel für eine Interpolation herangezogen. Auf diese Weise werden defekte Pixel wirkungsvoll ausgebessert.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x04 – CONTROL3						
12:8	Dead Pixel Count	Amount of defect Pixels given from the Sensor. Refer to sensor datasheet	-	N	0...24	R
13	Enable Dead Pixel Correction	Enable/ Disable Dead Pixel Correction. 0 = Disable Dead Pixel Correction 1 = Enable Dead Pixel Correction	-	Y	0,1	R/W
0x4A – DEAD_PIX_ADDR_00						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 00	-	N	0...65535	R
0x4B – DEAD_PIX_ADDR_01						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 01	-	N	0...65535	R
0x4C – DEAD_PIX_ADDR_02						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 02	-	N	0...65535	R
0x4D – DEAD_PIX_ADDR_03						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 03	-	N	0...65535	R
0x4E – DEAD_PIX_ADDR_04						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 04	-	N	0...65535	R
0x4F – DEAD_PIX_ADDR_05						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 05	-	N	0...65535	R
0x50 – DEAD_PIX_ADDR_06						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 06	-	N	0...65535	R

Tabelle 26: Dead Pixel-Adressen

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x51 – DEAD_PIX_ADDR_07						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 07	-	N	0...65535	R
0x52 – DEAD_PIX_ADDR_08						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 08	-	N	0...65535	R
0x53 – DEAD_PIX_ADDR_09						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 09	-	N	0...65535	R
0x54 – DEAD_PIX_ADDR_10						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 10	-	N	0...65535	R
0x55 – DEAD_PIX_ADDR_11						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 11	-	N	0...65535	R
0x56 – DEAD_PIX_ADDR_12						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 12	-	N	0...65535	R
0x57 – DEAD_PIX_ADDR_13						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 13	-	N	0...65535	R
0x58 – DEAD_PIX_ADDR_14						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 14	-	N	0...65535	R
0x59 – DEAD_PIX_ADDR_15						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 15	-	N	0...65535	R
0x5A – DEAD_PIX_ADDR_16						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 16	-	N	0...65535	R
0x5B – DEAD_PIX_ADDR_17						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 17	-	N	0...65535	R
0x5C – DEAD_PIX_ADDR_18						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 18	-	N	0...65535	R
0x5D – DEAD_PIX_ADDR_19						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 19	-	N	0...65535	R
0x5E – DEAD_PIX_ADDR_20						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 20	-	N	0...65535	R
0x5F – DEAD_PIX_ADDR_21						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 21	-	N	0...65535	R

Tabelle 26: Dead Pixel-Adressen (fortgesetzt)

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x60 – DEAD_PIX_ADDR_22						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 22	-	N	0...65535	R
0x61 – DEAD_PIX_ADDR_23						
15:0	Dead Pixel Address	Contains the pixel number for Dead Pixel 23	-	N	0...65535	R

Tabelle 26: Dead Pixel-Adressen (fortgesetzt)

Hinweis

Die Definition von defekten Pixeln kann der Spezifikation des Sensorherstellers entnommen werden.

4.9 Rauschunterdrückung

Auf den VM-050 und VM-051 Kameramodulen sind verschiedene Verfahren zur Rauschunterdrückung implementiert. Es wird zwischen zeit- und ortsvarianter Rauschunterdrückung unterschieden. Beide Verfahren können individuell kombiniert werden.

4.9.1 Zeitvariante Rauschunterdrückung

Für eine effektive Rauschunterdrückung kann über das **'Average Mode'**-Bit im **'CONTROL3'**-Register eine Mittelung über mehrere ortgleiche Pixel aktiviert werden.

- 0: Rauschunterdrückung deaktiviert
- 1: Schwache Rauschunterdrückung (2 Frames)
- 2: Mittlere Rauschunterdrückung (3 Frames)
- 3: Starke Rauschunterdrückung (4 Frames)

Intern wird ein Algorithmus für eine gleitenden Mittelwertbildung verwendet, um eine schnellstmögliche Reaktion des Bilds sicherzustellen.

Die Verwendung dieses Filters unterdrückt das Rauschen sehr effektiv und verursacht keine Weichzeichnung. Sich bewegende Objekte verschmieren in Abhängigkeit von der Stärke der Rauschreduzierung und Objektgeschwindigkeit.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x04- CONTROL6						
9:8	Average Mode	To reduce noise in the image, averaging of several images can be enabled. A moving average algorithm is used to get the fastest response time of the image. 0 = Disable average 1 = Weak averaging (2 images used) 2 = Medium averaging (3 images used) 3 = Strong averaging (4 images used)	1	Y	0...3	R/W

Tabelle 27: Einstellung der zeitvarianten Rauschunterdrückung

4.9.2 Ortsvariante Rauschunterdrückung

Eine weitere Reduktion des Rauschens kann mit Hilfe verschiedener Filter erreicht werden, welche die Temperaturwerte benachbarter Pixel (3x3 Umgebung) auswerten. Die Filter können über das **'Filter'-Bit im 'CONTROL6'-Register** ausgewählt werden.

Implementiert sind Box-Blur-Filter, Binominal-Filter, Gauß-Filter und Median-Filter. Alle Filter werden parallel zum Sampleprozess des Sensors angewandt. So wird eine optimale Rauschfilterung ohne, oder nur minimalen Einbußen der Framerate erreicht.

- Box-Blur-Filter: Summiert die Temperaturwerte der umliegenden 3x3 Bildpunkte und bildet das arithmetische Mittel. Alle Werte sind gleich gewichtet. Dieser Filter ist ein starker Weichzeichner, der das Rauschen sehr effektiv unterdrückt.

$$\text{Box-Blur-Koeffizienten: } \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- Binominal-Filter: Dieser Filter arbeitet nach demselben Prinzip wie der Box-Blur-Filter, hat jedoch eine Gewichtung auf den verschiedenen Pixeln. Das mittlere Pixel wird vierfach gewichtet, die direkt angrenzenden Pixel werden zweifach gewichtet und diagonal angrenzende Pixel einfach. Die Rauschunterdrückung ist effektiv gegeben, aber der Weichzeichnungseffekt ist nicht mehr so stark ausgeprägt.

$$\text{Binominalkoeffizienten: } \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- Gauß-Filter: Beim Gauß-Filter ist die Gewichtung der Pixel der Gaußschen Glockenfunktion angepasst, wobei das mittlere Pixel dem Maximum der Funktion zugewiesen wird. Die weiteren Pixel liegen abhängig von der Distanz zur Mitte weiter außen auf der Glockenfunktion.

$$\text{Berechnung der Gauß-Koeffizienten: } k(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

$$\text{Berechnung Sigma: } \sigma \equiv \sqrt{\frac{2}{\pi}} \approx 0,79788456$$

Der Binominal- und Gauß-Filter teilen anschließend den Wert durch die Summe der verwendeten Koeffizienten, um eine Normierung der Werte auf den ursprünglichen Bereich zu gewährleisten.

$$\text{Bsp. Binominalfilter: } h(x, y) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- Median-Filter: Beim Median-Filter werden die Werte der umliegenden Pixel der Größe nach sortiert und der mittlere Wert (=Median) dieser sortierten Liste wird ausgegeben. Dieser Filter ist ein schwacher Weichzeichner mit guter Rauschunterdrückung.

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x07 – CONTROL6						
3:0	Filter	Different filters to reduce noise in the image while processing a block. 0 = Disable Filter 2 = Box-Blur 4 = Binominal 6 = Gaussian 8 = Median Gaussian filter comes with a constant sigma of $\text{sqrt}(2/\text{PI}) = \sim 0.79788456$	6	Y	0...8	R/W

Tabelle 28: Einstellung der ortsvarianten Rauschunterdrückung

4.10 Bildgröße beschneiden / ROI

Die Anzahl der ausgegebenen Pixel in horizontaler Richtung (Zeilenbreite) und in vertikaler Richtung (Bildhöhe) kann per Software eingestellt werden. Auf diese Weise kann ein Bild ausgegeben werden, das kleiner als die Anzahl der Pixel auf dem Sensor ist.

Dies kann benutzt werden, wenn nur ein Ausschnitt des Bildfelds von Interesse ist (ROI = Region of Interest).

Die Position dieses Ausschnitts kann auf dem Sensorarray festgelegt werden, indem die Verschiebung der oberen linken Ecke der ROI zum der des Sensorarrays als Offset angegeben wird.

Die Bildgröße in horizontaler Richtung (Zeilen- bzw. Bildbreite) wird über das Register RES_X eingestellt, in vertikaler Richtung (Bildhöhe) über das Register RES_Y.

Der Offset relativ zur oberen linken Ecke wird über die Register OFFSET_X und OFFSET_Y definiert.

Zulässige Wertebereiche:

$$\text{RES_X} + \text{OFFSET_X} = \text{Sensor_Width}$$

$$\text{RES_Y} + \text{OFFSET_Y} = \text{Sensor_Height}$$

für VM-050:

$$\text{Sensor_Width} = 32$$

$$\text{Sensor_Height} = 32$$

für VM-051:

$$\text{Sensor_Width} = 80$$

$$\text{Sensor_Height} = 64$$

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x10 – RES_X						
15:0	Sensor X-Resolution	Number of pixels in a row to be output	32 / 80	Y	1...32 / 80	R/W
0x11 – OFFSET_X						
15:0	Sensor X-Offset	Position of first pixel in a row to be output relative to upper left corner of the sensor array	0	Y	0...31 / 79	R/W

Tabelle 29: Einstellung der Bildgröße

Bit	Field Name	Bit Description	Default Value (Dec)	Shdw	Range (Dec)	Read/Write
0x12 – RES_Y						
15:0	Sensor Y-Resolution	Number of lines to be output. If is set to 34 (HTPA32x32d) or 66 (HTPA80x64d) the camera adds two additional rows to each frame that contain information about the current image. Only available at full X-Resolution.	32 / 64	Y	1...32, 34 / 64, 66	R/W
0x13 – OFFSET_Y						
15:0	Sensor Y-Offset	Position of first line to be output relative to upper left corner of the sensor array	0	Y	0...31 / 63	R/W

Tabelle 29: Einstellung der Bildgröße (fortgesetzt)

Hinweise

Die Summe aus der Anzahl der aktiven Pixel und dem Offset darf die maximale Bildbreite bzw. Bildhöhe nicht überschreiten. Wird ein Wert eingeschrieben, so dass diese Bedingung verletzt wird, setzt das Kameramodul stattdessen den nächst kleineren zulässigen Wert. Um Inkonsistenz zwischen der Anzahl der ausgegebenen und vom Empfänger erwarteten Pixel zu vermeiden, sollte die Anwendungssoftware die Zulässigkeit des Wertebereichs prüfen, bevor Parameter in die Register geschrieben werden.

Wird bei maximaler Auflösung die Zeilenanzahl um 2 erhöht, wird die Funktion „Eingebettete Bildinformationen“ aktiviert (siehe Abschnitt 4.11).

4.11 Eingebettete Bildinformationen

Um die Auswertung des Bilds in der Anwendung auf dem Mikrocontrollermodul zu beschleunigen, können viele Registerinhalte der Bildausgabe angefügt werden. Dazu werden jedem Wärmebild zwei zusätzliche Zeilen angefügt, die Daten beinhalten, welche für die Auswertung, Reskalierung und Steuerung durch das Applikationsprogramm verwendet werden können.

Die eingebetteten Informationen sind unabhängig von der verwendeten Graustufenauflösung in 8 Bit codiert. Ein Register wird dementsprechend als 2x8 Bit (2 Pixel) ausgegeben. Die Übertragung erfolgt mit dem MSB vor dem LSB. Wird eine Graustufenauflösung von mehr als 8 Bit verwendet, sind die LSB jedes Bytes auf '0' gesetzt.

Die Ausgabe der zusätzlichen Bildinformationen über die Einstellung der Bildauflösung gestartet.

VM-050:

- 'RES_X': 32
- 'OFFSET_X': 0
- 'RES_Y': 34
- 'OFFSET_Y': 0

VM-051

- 'RES_X': 80
- 'OFFSET_X': 0
- 'RES_Y': 66
- 'OFFSET_Y': 0

Beispiel:

VM-050 gibt in der Default-Einstellung die volle Bildauflösung von 1024 Pixel aus (32 x 32 Pixel Array). Das bedeutet, die Register 'RES_X' und 'RES_Y' sind jeweils auf '32' gesetzt, während die Register 'OFFSET_X' und 'OFFSET_Y' beide auf '0' stehen. Wird in diesem Zustand 'RES_Y' auf '34' gesetzt, beginnt das Kameramodul ab dem nächsten Frame mit der Ausgabe der eingebetteten Bildinformationen.

Dies hat zur Folge, dass insgesamt 34 Bildzeilen ausgegeben werden, entsprechend 1088 Pixeln.

Die Zeilen 33 und 34 enthalten keine Bilddaten, sondern die Zusatzinformationen in binär codierter Form.

Hinweise

Zur Auswertung und Darstellung des Wärmebild-Inhalts sollte das Bild nach Empfang in den Bildanteil (Zeilen 1...32) und den Datenanteil (Zeilen 33 und 34) zerlegt werden und lediglich der erste Teil zur Anzeige gebracht werden.

In dieser Betriebsart muss RES_X auf die maximal mögliche Bildbreite eingestellt werden und RES_Y auf die maximale Bildhöhe +2 gesetzt werden. OFFSET_X und OFFSET_Y müssen auf 0 gesetzt sein.

4.11.1 Übersicht der eingebetteten Bildinformationen

Pixel (VM-050)	Pixel (VM-051)	Register / Funktion
0 / 1	0 / 1	TEMP_MIN (MSB / LSB)
2 / 3	2 / 3	TEMP_MAX (MSB / LSB)
4 / 5	4 / 5	TEMP_MEAN (MSB / LSB)
6 / 7	6 / 7	TEMP_CENTER (MSB / LSB)
8 / 9	8 / 9	TRACK_TEMP0 (MSB / LSB)
10 / 11	10 / 11	TRACK_TEMP1 (MSB / LSB)
12 / 13	12 / 13	TRACK_TEMP2 (MSB / LSB)
14 / 15	14 / 15	TRACK_TEMP3 (MSB / LSB)
16	16	'Overflow Flag' aus Register 'OUTPUT_CONTROL'
17	17	'Tracking Flag' aller Register 'TRACK_TEMPx_CONF'
18 / 19	18 / 19	TEMP_WINDOW_SCALE_FACTOR1 (MSB / LSB)
20 / 21	20 / 21	TEMP_WINDOW_SCALE_FACTOR2 (MSB / LSB)
22 / 23	22 / 23	TEMP_WINDOW_MIN (MSB / LSB)
24 / 25	24 / 25	TEMP_WINDOW_MAX (MSB / LSB)
26 – 63	26 – 159	Reserved

Tabelle 30: Zuordnung eingebettete Bildinformation

4.11.2 Zuordnung der Datenleitungen

Bit	Datenleitung
0	CAM_DD2
1	CAM_DD3
2	CAM_DD4
3	CAM_DD5
4	CAM_DD6
5	CAM_DD7
6	CAM_DD8
7	CAM_DD9

Tabelle 31: Zuordnung Datenleitungen für eingebettete Bilddaten

Revisions Historie

Rev.Nr.	Änderungen	Autor	Datum
0	Pre-release	H. Schwär	18.04.2017
1	Preliminary	H. Schwär	28.04.2017
2	Release	H. Schwär	03.11.2017
3	4.6.5: Funktion Overflow-Flag neu eingeführt	H. Schwär	15.11.2017
4	4.9: Neustrukturierung des Abschnitts 4.9.1: Ortvariante Filter zur Rauschreduzierung hinzugefügt Bild 17: Bild korrigiert	A. Pitsch	26.02.2018
5	Aktualisierung der Abschnitte 3.1.2, 3.1.3, 3.2.2, 3.2.3 Wegen neuer Sensorrevision des Herstellers	H. Schwär	21.03.2019

Index

A	
Abmessungen Kameramodul	12
B	
Bildgröße beschneiden	51
Bolometer	5
C	
Cropping	51
D	
Dead Pixel Korrektur	46
E	
Eingebettete Bildinformationen	52
Eingebetteten Bildinformationen	54
F	
Fotoeffekt	5
I	
I ² C	24
IR-Optiken	6
J	
Jumperplan	28
M	
Mechanische Spezifikation	12
Multipurpose Pins	27
O	
Output-Enable	31
Overflow-Flag	42
P	
phyCAM-P Schnittstelle	2, 8
Merkmale der Schnittstelle	8
Pinbelegung	9
Schnittstellensignale	8
Steckverbinder	8
Voltage Selection	11
Q	
Quantisierungsfehler	39
R	
Rauschunterdrückung	48, 49
Register Referenz	29
Reset	31
ROI	51
S	
Sensortechnologien	5
Sonderfunktionen	29
Steckverbinder	8, 11
Strobe	30
T	
Technische Spezifikation	14
Temperature-Tracking	42
Temperaturwerte	32, 33, 36
Thermografie Grundlagen	4
Thermopile	5
Thermopile-Imager	14, 19
Thermosäule	5
Trigger	29
Trigger/Strobe	11
Z	
Zurückskalieren	39

