

5 Signalerfassung und -verarbeitung bei komplexen Netzwerken

5.1 Prinzipieller Aufbau komplexer FBG-Sensornetzwerke

In Kapitel 3 wurden die Verfahren für die optische Signalerfassung vorgestellt und das Verfahren der passiven optischen Filterung für die dynamische Dehnungsmessung mit Faser-Bragg-Gitter-Sensoren ausgewählt. Nachfolgend wird die Signalerfassung und -verarbeitung bei komplexen Faser-Bragg-Gitter-Sensornetzwerken unter Verwendung des vorgenannten Verfahrens diskutiert.

Für die große Anzahl von FBG-Dehnungssensoren, die für die Online-Erfassung der dynamischen Einzeldehnungen erforderlich sind, ist die Topologie des fusionierenden Sensornetzwerks signifikant. Einen Überblick über den prinzipiellen Aufbau des faseroptischen Gesamtsystems in Form eines Blockschaltbildes gibt Bild 5.1.

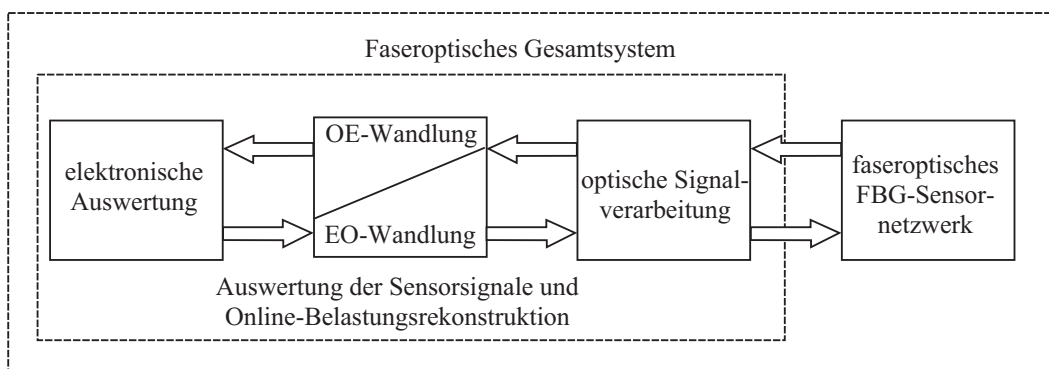


Bild 5.1 : Blockschaltbild des faseroptischen Gesamtsystems für die dynamische Dehnungsmessung

Das faseroptische Gesamtsystem besteht aus dem Faser-Bragg-Gitter-Sensornetzwerk und der Signalerfassung und -verarbeitung, d. h. der Auswertung inklusive der Online-Belastungsrekonstruktion. Die Auswertung ist in die drei Teilkomponenten *optische Signalverarbeitung*, *optoelektronische* bzw. *elektrooptische Signalwandlung*

sowie der *elektronische Auswertung* weiter zerlegbar. Erste Einschränkungen bezüglich der Wahl der charakteristischen Parameter der FBG-Einzelsensoren ergeben sich nach der Auswahl des Verfahrens zur optischen Signalerfassung und -verarbeitung. Bei einer Reihenschaltung gleichartiger Einzelsensoren kann nur eine quasistatische Signalerfassung und -verarbeitung unter Verwendung des OTDR-Verfahrens (Optical Time Domain Reflectometrie) mit Laufzeitverzögerungsgliedern zwischen den Sensoren erfolgen. Für eine sowohl statische als auch dynamische Signalerfassung folgt unmittelbar, dass die in Reihenschaltung verknüpften FBG-Einzelsensoren bezüglich eines Bauelementeparameters eindeutig und echtzeitfähig detektierbar ausgeführt werden müssen. Es folgt somit, dass nur Bragg-Gitter-Sensoren unterschiedlicher Braggwellenlänge in einem Zweig verschaltbar sind.

Unter Zugrundelegen der o. g. Einschränkungen ergibt sich der in Bild 5.2 dargestellte prinzipielle Aufbau des verteilten Faser-Bragg-Gitter-Sensornetzwerks.

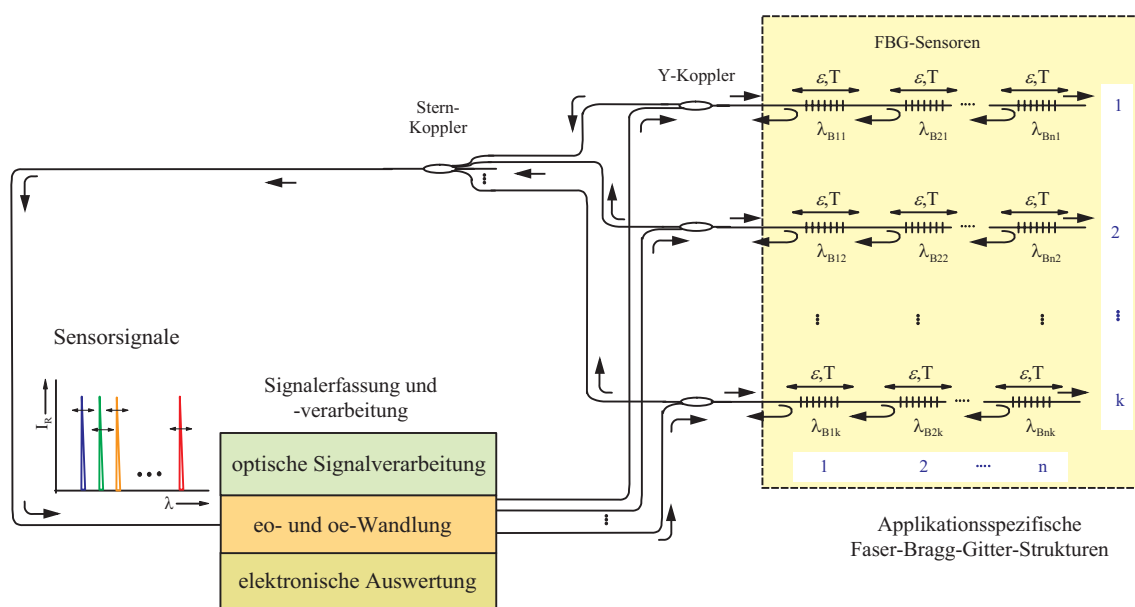


Bild 5.2 : Beispiel für ein faseroptisches Bragg-Gitter-Sensornetzwerk

Das Sensornetzwerk für die Belastungserfassung besteht aus N faseroptischen Sensoren, wobei n spektral kodierte Einzelsensoren in k Zweigen verschaltbar sind. Die maximale Anzahl n der Sensoren eines Zweiges wird durch die Halbwertsbreite der Lichtquelle und den spektralen Arbeitsbereich, d. h. der maximalen Braggwellenlängenänderung $\Delta\lambda_{B_i}$ der Einzelsensoren, begrenzt. Werden die k Zweige durch zyklisches Durchschalten in Zeitmultiplex betrieben, so begrenzt die Anzahl k der Zweige unmittelbar die erreichbare Grenzfrequenz des Netzwerks. Die Reflexionssignale der wellenlängen-kodierten Zweige werden einer zentralen Auswertung zugeführt. Diese umfasst die Komponenten *optische Signalerfassung*, *elektrooptische und optoelektronische Signalwandlung* sowie die *elektronische Auswertung*. Die Lösungselemente für die vorgenannten Komponenten sowie ausgewählte Lösungselemente

unter Zugrundelegen einer passiv optischen Signalerfassung zeigt Bild 5.3.

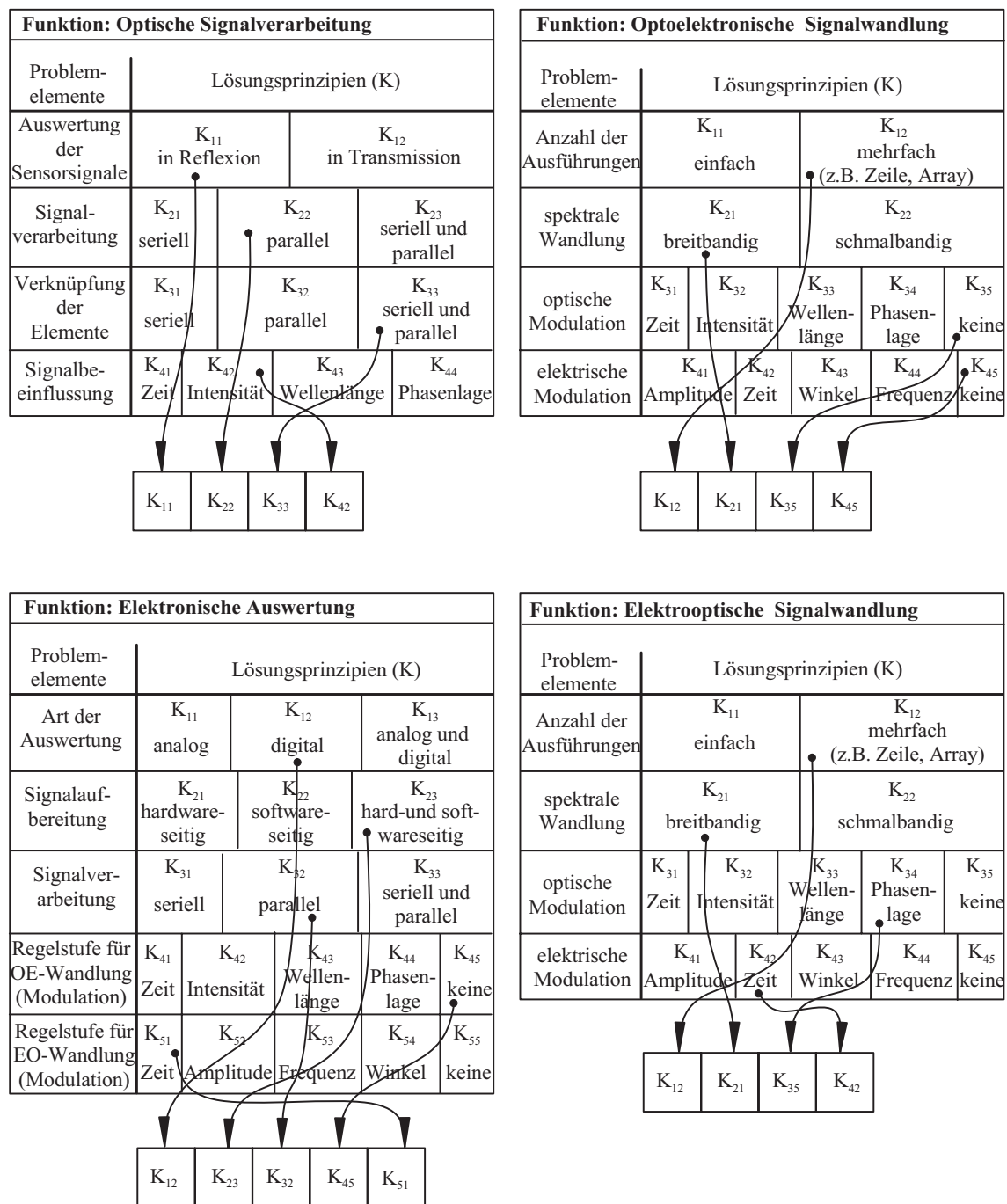


Bild 5.3 : Problemelemente und Lösungen für die optische Signalverarbeitung, die optoelektronische bzw. elektrooptische Signalwandlung und die elektronische Auswertung

5.2 Signalverarbeitung bei einer passiv-optischen Signalerfassung

5.2.1 Prinzipieller Netzwerkaufbau

Den prinzipiellen Aufbau des verteilten Faser-Bragg-Gitter-Sensornetzwerkes unter Zugrundelegen einer passiver Signalerfassung zeigt Bild 5.4.

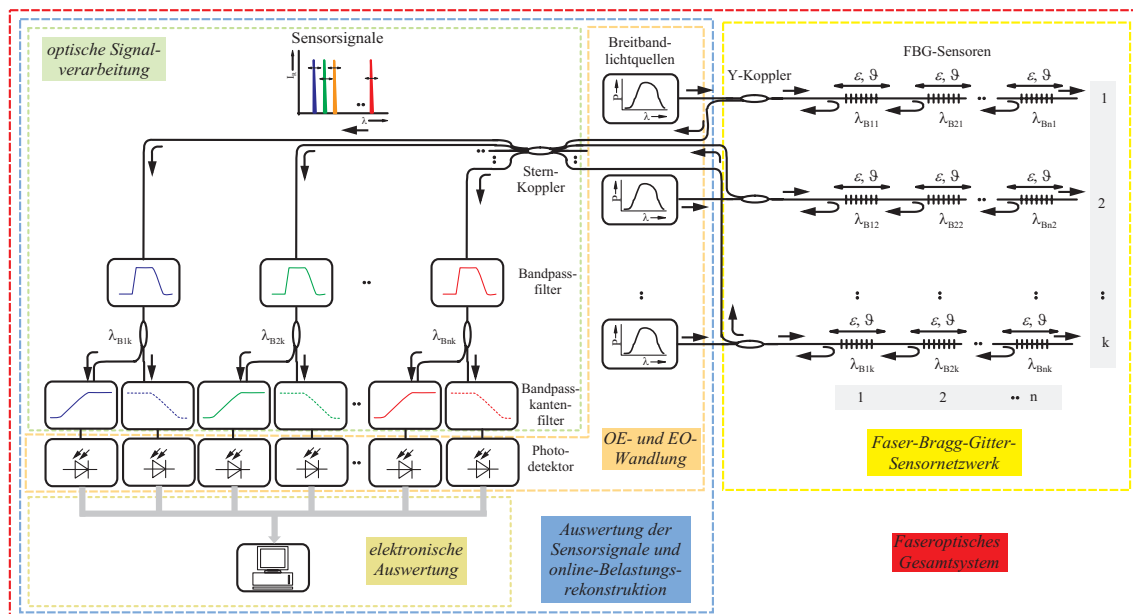


Bild 5.4 : Prinzipieller Aufbau eines verteilten FBG-Sensornetzwerkes mit passiver Signalerfassung

Das faseroptische Gesamtsystem besteht aus dem FBG-Sensornetzwerk sowie einer zentralen Auswertung. Für die Auswertung der Sensorsignale und die online-Belastungsrekonstruktion sind hier zunächst nur die Funktionselemente für die *optische Signalverarbeitung*, die *optoelektronische und elektrooptische Wandlung* sowie die *elektronische Auswertung* dargestellt. Mit Hilfe der Lösungselemente erfolgt die Konzeptionierung und der Entwurf der zentralen Auswertung. Über einen Y-Faserkoppler erfolgt die optische Anregung der Sensorzweige mit breitbandigen Superlumineszenzdiolen und die Rückführung der Reflexionssignale der verteilten FBG-Sensorzweige. Für die nachfolgende *optische Signalverarbeitung* sind die Zweige über einen Sternkoppler mit k Eingängen und n Ausgängen miteinander verknüpft. Speziell bei einem spektral kodierten Faser-Bragg-Gitter-Sensornetzwerk ist zunächst eine Signalvorverarbeitung, d. h. das Separieren der Einzelsensorsignale erforderlich mit n applikationsspezifischen Bandpassfiltern. Zur Kompensation von Intensitätsschwankungen der optischen Quellen wird ein Referenzzweig mit einem Y-Faserkoppler generiert. Die Braggwellenlängenänderung der separierten Sensorsignale wird mit $2n$ verschiedenen Bandkantenfiltern in eine Intensitätsänderung

überführt, die optoelektronische Wandlung erfolgt mit Photodetektoren, die elektronische Auswertung mit einem Rechner. Die erzielbare Auflösung und Genauigkeit wird signifikant von der Realisierung der optischen Signalverarbeitung beeinflusst. Für eine gute Auflösung sind speziell die Streulichteinflüsse sowie die polarisationsabhängigen Verluste des Y -Verzweigers zur Generierung des Referenzzweigs zu minimieren.

5.2.2 Konzeptionieren der Signalverarbeitung

Die Konzepterstellung der Signalverarbeitung wird nachfolgend anhand eines Beispielsystems erläutert. Das Faser-Bragg-Gitter-Sensornetzwerk besteht aus identischen Zweigen mit vier wellenlängenkodierten Faser-Bragg-Gitter-Sensoren der Braggwellenlängen $\lambda_{B1} = 1530 \text{ nm}$, $\lambda_{B2} = 1535 \text{ nm}$, $\lambda_{B3} = 1540 \text{ nm}$, $\lambda_{B4} = 1545 \text{ nm}$. Für die Auswahl der Bauelemente für die Bandpassfilterung sind folgende Kriterien von besonderer Bedeutung:

- geringe Verluste,
- der bidirektionale Betrieb: Reflexions- und Transmissionsbetrieb,
- die Langzeitstabilität und
- die leichte Anpassbarkeit der Filtercharakteristik an die Applikation.

Für die Bandpassfilterung können prinzipiell Dünnschichtfilter, Bragg-Spiegel auf Halbleiterbasis, Fabry-Perot-Filter oder Faser-Bragg-Gitter-Filter verwendet werden. Dünnschichtfilter zeigen eine Temperatur- und Langzeitdrift und können nur als extrinsisches Transmissionsfilter in ein faseroptisches System integriert werden. Bragg-Gitter auf der Basis periodischer Halbleiterschichten sind extrinsische Filter, die nur in Reflexion betrieben werden können. Intrinsische FBG-Filter besitzen nahezu ideale Bauelementeigenschaften. Sie arbeiten nahezu verlustfrei und gestatten sowohl den Reflexions- als auch den Transmissionsbetrieb. Weiterhin sind die Filterparameter wie z. B. Halbwertsbreite, Seitenbandoszillationen, Nebensprechdämpfung an den Anwendungsfall anpassbar (vgl. auch Tab. 3.1). Faser-Bragg-Gitter mit hoher Reflexion, eingeschrieben in mit Wasserstoff geladenen Standardnachrichtenfasern, zeigen eine Absorptionsdämpfung von $a_{Ab} > 1 \text{ dB}$ im Transmissionsbetrieb unterhalb der Braggwellenlänge. Ein Herabsetzen der Absorptionsdämpfung auf $a_{Ab} < 0,2 \text{ dB}$ ist durch die Verwendung spezieller Glasfasern mit angepasstem Brechungsindex des Mantels erzielbar [20]. Eine Glasfaser, die kompatibel zu Standardnachrichtenfasern SMF 1528 ist, ist die für die Herstellung von Faser-Bragg-Gittern entwickelte Glasfaser des Typs Photosil[®] von Lucent Speciality Fiber Technologies. Ein weiterer Vorteil bei dieser Faser ist die gute Photoempfindlichkeit, ein Laden mit Wasserstoff ist nicht erforderlich. Nachfolgend wird anhand des in Bild 5.5

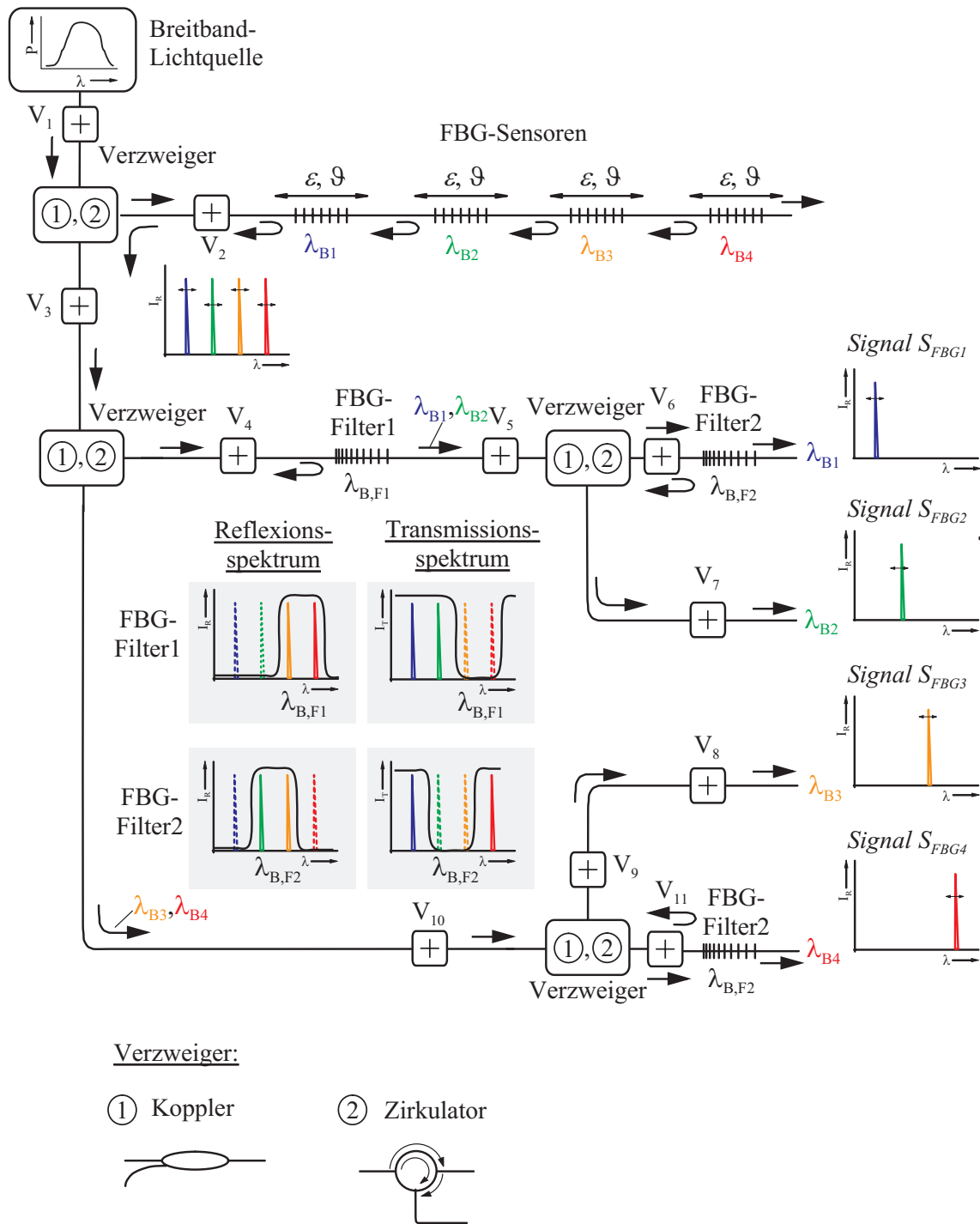


Bild 5.5 : Signalvorverarbeitung für einen spektral kodierten Faser-Bragg-Gitter-Sensor aus vier Einzelsensoren

dargestellten Beispielsystems die Bandpassfilterung mit aperiodischen Faser-Bragg-Gittern diskutiert. Das Multiwellenlängensignal der vier verteilten Faser-Bragg-Gitter wird mit einem Netzwerk, bestehend aus drei optischen Verzweigern und drei aperiodischen Faser-Bragg-Gitter-Filtern, in die Einzelsensorsignale aufgeteilt. Für das Separieren der Sensorspektren sind optische Bandpassfilter erforderlich, die eine hohe Unterdrückung der Seitenbandoszillationen sowie eine große Steilheit der Filterflanken aufweisen. Zur Unterdrücken der Seitenbandoszillationen sind die in Kapitel 3 dargestellten Funktionen *Gauß*, *Raised Cos*, *Tanh*, *Blackman*, *Sinc* und *Cauchy* untersucht worden. Die Simulationsergebnisse der Filtercharakteristika für die vorgenannten Apodisationsfunktionen $f_A(z)$ zeigt Bild 5.6.

Deutlich sichtbar sind die unterschiedlichen Charakteristiken für die verschiedenen Apodisationsfunktionen. Speziell bei einer gaußförmigen Apodisation ist keine zufriedenstellende Seitenbandunterdrückung erreichbar. Mit einer Apodisationsfunktion nach Cauchy ist das Reflexionsspektrum erzielbar, welches dem Ideal eines rechteckförmigen Filterverlaufs weitestgehend genügt. Für die Apodisation der Spektren der zwei erforderlichen Bandpassfilter ist deshalb die Cauchy-Funktion zu empfehlen.

Die simulierten Spektren der Netzwerkelemente und die separierten Sensorsignale ohne Berücksichtigung von Zusatzdämpfungen zeigen die Bilder 5.7 und 5.8.

Aus Bild 5.8 ist für die, mit Hilfe der aperiodischen Faser-Bragg-Gitter-Filter mit cauchyförmiger Apodisation separierten Einzelsensorsignale eine Signalunterdrückung von $a_s > 40dB$ entnehmbar.

Ein großes Problem bei der Signalerfassung sind die Zusatzdämpfungen die an Verzweigungs- und Koppelstellen auftreten. Zum Vergleich sind die Zusatzdämpfungen, die für die separierten Sensorsignale des in Bild 5.5 dargestellten Netzwerks auftreten, in Tabelle 5.1 zusammengestellt.

Tabelle 5.1 : Zusatzdämpfung der separierten Sensorsignale $S_{FBG1} - S_{FBG4}$

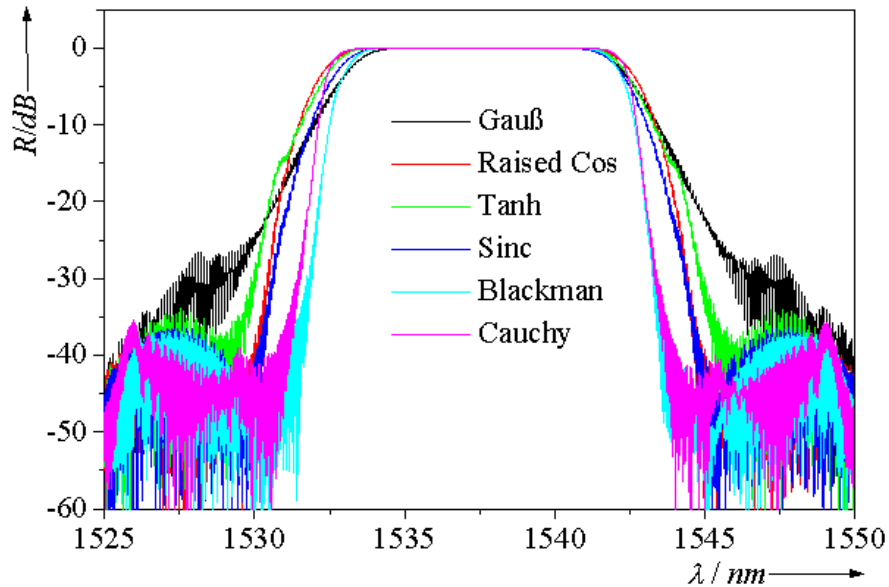
Signal	Zusatzdämpfung			Gesamteinfügedämpfung a_{ILg}/dB	
	Koppelstelle a_{IL}/dB	Verzweiger Koppler Zirkulator a_{zk}/dB a_{zz}/dB		$a_{IL} + a_{zk}$	$a_{IL} + a_{zz}$
S_{FBG1}	3,36	14	3,9	17,36	7,26
S_{FBG2}	4,32	17,5	5,1	21,82	9,42
S_{FBG3}	4,8	21	6,3	25,8	11,1
S_{FBG4}	3,84	17,5	5,1	21,34	8,94

Simulationsparameter

Koppler: $a_{IL} = 3,5 dB$, $a_{CR} = 3 dB$, $a_D \geq 55 dB$, $a_{RL} \geq 55 dB$

Zirkulator: $a_{IL12} = 0,9 dB$, $a_{IL23} = 1,2 dB$, $a_D \geq 70 dB$, $a_{RL} \geq 70 dB$

Verbindungsstelle: $\bar{n}_a = 1$, $w = 5 \mu m$, $\lambda = 1,55 \mu m$, $\varphi = 1,5^\circ$, $x_r = 1 \mu m$, $z_a = 0$,
 $a_{zv,i} = a_{IL,\varphi} + a_{IL,l} = 0,31dB + 0,17dB = 0,48dB$

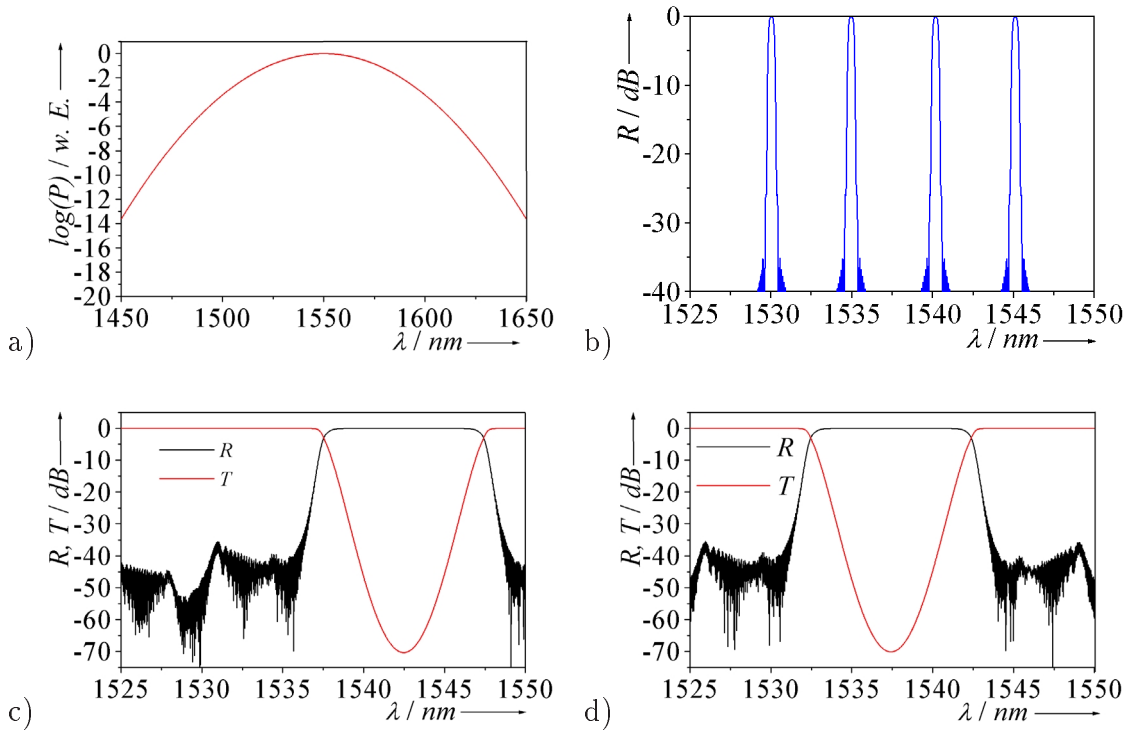


Simulationsparameter:

$L = 25 \text{ mm}$; $\bar{n}_k = 1,449$; $\bar{\mu} = 0,01$; $a = 25$; $f_M(z) = \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda(z)}\right)$; $N = 200$; $f_A(z) \equiv \text{Gauß}$:
 $\Lambda = 526,5 \text{ nm}$; $\Delta\Lambda = 3 \text{ nm/cm}$; $\Delta\bar{n}_{max} = 1,5 \cdot 10^{-3} a = 25$; $f_A(z) \equiv \text{Raised Cos}$: $\Lambda = 527,6 \text{ nm}$;
 $\Delta\Lambda = 2,1 \text{ nm/cm}$; $\Delta\bar{n}_{max} = 1,15 \cdot 10^{-3}$; $n = 2$; $f_A(z) \equiv \text{Tanh}$: $\Lambda = 527,8 \text{ nm}$;
 $\Delta\Lambda = 2,1 \text{ nm/cm}$; $\Delta\bar{n}_{max} = 6 \cdot 10^{-4}$; $a = 2$; $n = 1$; $f_A(z) \equiv \text{Sinc}$: $\Lambda = 527,6 \text{ nm}$;
 $\Delta\Lambda = 2,1 \text{ nm/cm}$; $\Delta\bar{n}_{max} = 1,2 \cdot 10^{-3}$; $a = 2$; $n = 2$; $f_A(z) \equiv \text{Blackman}$: $\Lambda = 528,25 \text{ nm}$;
 $\Delta\Lambda = 1,6 \text{ nm/cm}$; $\Delta\bar{n}_{max} = 1,15 \cdot 10^{-3}$; $a = 1$; $f_A(z) \equiv \text{Cauchy}$: $\Lambda = 528,25 \text{ nm}$;
 $\Delta\Lambda = 1,6 \text{ nm/cm}$; $\Delta\bar{n}_{max} = 1,1 \cdot 10^{-3}$; $a = 0,2$

L Gesamtlänge; z Ortskoordinate; $f_M(z)$ Funktion für Brechungsindexmodulation; $f_A(z)$ Apodisationsfunktion; \bar{n}_k Kernbrechungsindex; $\Delta\bar{n}_{max}$ maximale Brechungsindexmodulation; $\bar{\mu}$ Konstante zur Anpassung des Signal/Rauschverhältnisses; a, n Konstante für Apodisation; Λ Periodenlänge; $\Delta\Lambda$ Änderung der Periodenlänge (Chirprate); N Anzahl der periodischen Untergitter (vgl. Kap. 3)

Bild 5.6 : Reflexionsspektren eines apodisierten, aperiodischen Faser-Bragg-Gitter-Filters für verschiedene Apodisationsfunktionen $f_A(z)$



Simulationsparameter:

ELED: $P_0 = 1 \text{ mW}$; $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$; $\Delta\lambda_q = 100 \text{ nm}$; Verteilter FBG-Sensor: $f_A(z) \equiv \text{Gauß}$; $a = 25$; $f_M(z) = \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda}\right)$; $L = 10 \text{ mm}$; $N = 200$; $\bar{n}_k = 1,449$; $\Delta\bar{n}_{max} = 4 \cdot 10^{-4}$; $\bar{\mu} = 0,05$; $\Lambda_1 = 527,8 \text{ nm}$; $\Lambda_2 = 529,5 \text{ nm}$; $\Lambda_3 = 531,3 \text{ nm}$; $\Lambda_4 = 533 \text{ nm}$; Aperiodische FBG-Filter: $f_A(z) \equiv \text{Cauchy}$; $f_M(z) = \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda(z)}\right)$; $a = 1$; $L = 25 \text{ mm}$; $\bar{n}_k = 1,449$; $\Delta\bar{n}_{max} = 1,15 \cdot 10^{-3}$; $\bar{\mu} = 0,01$; $\Lambda_1 = 528,25 \text{ nm}$; $\Lambda_2 = 529,95 \text{ nm}$; $\Delta\Lambda = 1,6 \text{ nm/cm}$

P_0 Maximale Quellenleistung; λ_0 Mittenwellenlänge; $\Delta\lambda_q$ Spektrale Halbwertsbreite; L Gesamtlänge; z Ortskoordinate; $f_M(z)$ Funktion für Brechungsindexmodulation; $f_A(z)$ Apodisationsfunktion; \bar{n}_k Kernbrechungsindex; $\Delta\bar{n}_{max}$ maximale Brechungsindexmodulation; $\bar{\mu}$ Konstante zur Anpassung des Signal/Rauschverhältnisses; $a = 20$ Konstante für Apodisation; Λ Periodenlänge; $\Delta\Lambda$ Änderung der Periodenlänge (Chirprate); N Anzahl der periodischen Untergitter (vgl. Kap. 3)

Bild 5.7 : Simulationsergebnisse der Spektren; a) Superlumineszenzdiode (ELED); b) Verteilter FBG-Sensor; c) FBG-Filter 1; d) FBG-Filter 2

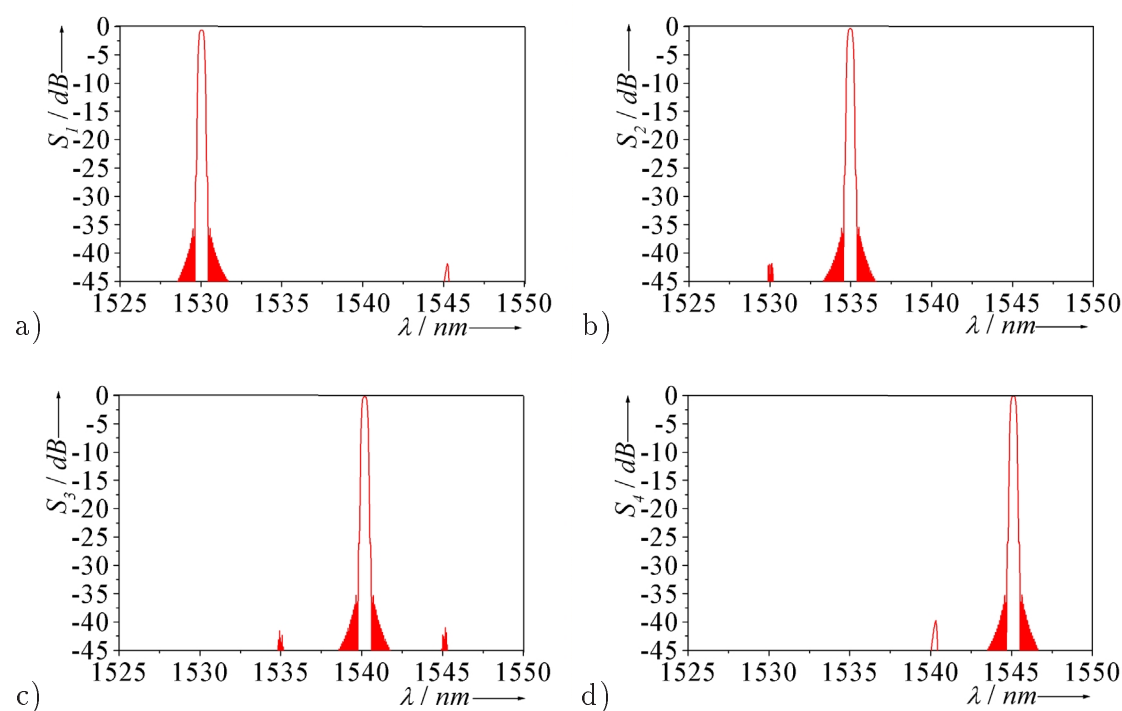


Bild 5.8 : Ausgangssignale der separierten Sensorsignale nach der Bandpassfilterung ohne Berücksichtigung der Zusatzdämpfungen; a) S_{FBG1} ; b) S_{FBG2} ; c) S_{FBG3} ; d) S_{FBG4}

Der Unterschied der Zusatzdämpfungswerte bei der Verwendung von Faserkoppler und Zirkulator als Verzweiger wiegt um so mehr, je mehr Verzweigungspunkte für die Bandpassfilterung zu passieren sind. Von der Verwendung von Faserkopplern für die in Bild 5.5 dargestellte Signalvorverarbeitung ist unter Berücksichtigung der maximalen Einfügedämpfung von $a_{ILg} = 21,82 \text{ dB}$ abzuraten.

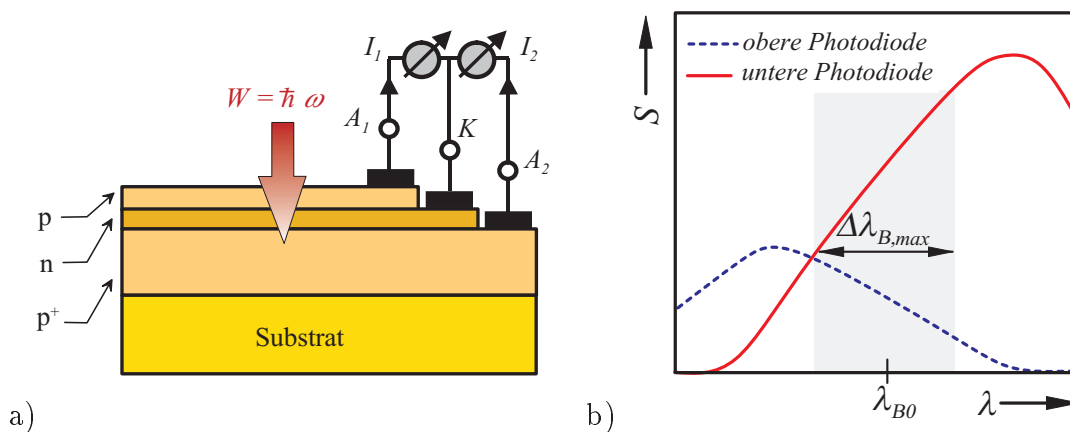
Die Braggwellenlängenänderung der separierten Sensorsignale ist durch eine nachfolgende spektrale Filterung detektierbar. In der Literatur sind eine Vielzahl verschiedener Varianten für die passive spektrale Filterung zu finden. Die Bandkantenfilterung erfolgt mit freistrahloptischen Filtern auf Dünnschichtbasis [41], [19] oder einem wellenlängenselektiven Faserkoppler (engl. wavelength division multiplex; wdm)[42]. Weiterhin ist die Verwendung eines Wellenlängensensors denkbar, der auf der Basis geschichteter Photodetektoren mit angepasster spektraler Empfindlichkeit basiert.

Die Kriterien für die Bandpassfilterung sind:

- eine lineare Filterflanke,
- Betrieb in Transmission,
- Absorptionsarmut,

- minimales Streulicht
- geringe Polarisationsabhängigkeit,
- technologische Integrierbarkeit,
- Langzeitstabilität und
- Reproduzierbarkeit bei der Herstellung.

Dünnschichtfilter zeigen eine Temperatur- und Langzeitdrift und können nur als extrinsisches Transmissionsfilter in ein faseroptisches System integriert werden. Wellenlängenselektive Koppler sind für den jeweiligen Wellenlängengebiet prinzipiell anpassbar, jedoch ist die Reproduzierbarkeit bei Kleinserienfertigung schlecht. Für den sichtbaren Wellenlängengebiet ist bereits ein Wellenlängensensor kommerziell erhältlich, der auf der Bandkantenfilterung basiert [43]. Seine hohe Auflösung von $\Delta\lambda = 10 \text{ pm}$ in einem spektralen Bereich von $\lambda = 450 \text{ nm}$ bis $\lambda = 950 \text{ nm}$ zeigen das große Potenzial dieses Prinzips. Der prinzipiellen Aufbau sowie der Verlauf der spektralen Empfindlichkeit eines geschichteten Photodetektors ist in Bild 5.9 dargestellt.



$\lambda_{B,max}$ Maximale Braggwellenlängenverschiebung; p , p^+ p-dotierte Schicht, n n-dotierte Schicht, W Energie, ω Kreisfrequenz des absorbierten Photons, $h = \hbar/2\pi$ Planck'sches Wirkungsquantum; A_1 , A_2 Anode; K Katode; I_1 , I_2 elektrische Stromstärke

Bild 5.9 : Wellenlängensensor zur Erfassung der Schwerpunktverschiebung des FBG-Reflexionssignal; a) prinzipieller Aufbau; b) Prinzipieller Verlauf der spektralen Empfindlichkeit

Der Wellenlängensensor in Bild 5.9 a) besteht aus zwei vertikal angeordneten pn-Übergängen. Die obere Photodiode zeigt eine erhöhte Blauempfindlichkeit, da kurzwellige optische Strahlung eine geringere Eindringtiefe in den Halbleiter zeigt. Demgegenüber besitzt langwelligere optische Strahlung eine größere Eindringtiefe und beeinflusst deshalb die untere Photodiode stärker. Der notwendige lineare Bereich

der spektralen Bandkanten ist in Bild 5.9 b) mit $\lambda_{B,max}$, der durch die maximale Braggwellenlängenverschiebung des Sensorsignals vorgebar ist, hervorgehoben. Durch die Integration einer Vielzahl derartiger geschichteter Photodetektoren mit angepasster spektraler Empfindlichkeit für verschiedene, diskrete Wellenlängenbereiche in Form eines integriertoptischen Bauelementes birgt ein gewaltiges Entwicklungspotenzial für eine robuste und kostengünstige Signalerfassung bei verteilten Faser-Bragg-Gitter-Sensornetzwerken. Der große Vorteil ist die Vereinigung der Funktionen “Generierung des Referenzzweigs” und “passive optische Filterung” sowie die “optoelektronische Signalwandlung” in einem Bauelement [44]. Die Signalerfassung bei verteilten FBG-Sensoren und ausgedehnten Messfeldern ist unter Verwendung von Zeit-, Wellenlängen- sowie Raummultiplex-Verfahren realisierbar. Für den Wellenlängenbereich im C-Band um $\lambda = 1550 \text{ nm}$ bietet sich der Aufbau des Schichtsystems auf InP-Substrat an. Auf dem Substrat sind ternäre und quaternäre Halbleiterschichten wie InGaP oder InGaAs und InGaAsP oder InGaAlAs spannungsfrei epitaktisch aufwachsbar [45]. Eine applikationspezifische Anpassung der Absolutlage der spektralen Empfindlichkeit an das zu detektierende schmalbandige Sensorsignal ist möglich. Die Verschiebung der Bandkante der photoempfindlichen Schicht und somit die Lage der spektralen Empfindlichkeitsverteilung ist anhand der Variation der Dotierungskonzentration der Störstellen und der Störstellenart in Abhängigkeit vom Materialsystem realisierbar [45], [46].

Für die *elektronische Auswertung* des n-Kanal Wellenlängensensor-ICs ist zunächst eine Verstärkung der Photoströme der geschichteten Photodiodenzellen und eine analog-digital-Umsetzung erforderlich. Anschließend ist für die streckenneutrale Auswertung das Differenzsignal der verstärkten Photoströme bezogen auf den Gesamtstrom zu bilden (vgl. Bild 3.6). Das Quotientensignal, welches unmittelbar durch elektrische Bauelemente generierbar ist, ist dann proportional zur Messgröße. Die für eine Kalibrierung notwendige Proportionalitätskonstante ist experimentell ermittelbar. Schließlich ist in einem weiteren Schritt die Online-Belastungsrekonstruktion durch die mathematische Aufbereitung der Dehnungsmesswerte mit einer Software durchzuführen. Dazu ist die kubischen Splineinterpolation der Messwerte und das Berechnen des gesuchten dynamischen Belastungsverlaufs aus dem kontinuierlichen Dehnungsverlauf durchzuführen.

Damit ist ein Weg gefunden, um FBG-Netzwerke applikationsspezifisch zu entwerfen und aufzubauen. Die integriertoptische passive Signalerfassung und -verarbeitung ermöglicht eine robuste und preisgünstige Lösung für die Realisierung verteilter FBG-Netzwerke bei nicht allzu kleinen Stückzahlen.