

Vom LED-Photometer zum Photosensor

Seit Einführung preiswerter lichtemittierender Dioden (LED) und Phototransistoren Mitte der 80er im letzten Jahrhundert wurden mehrfach LED-Photometer in der Literatur beschrieben, z.B. von Trojanowicz [1], Eichner [2] und Frenzel [3]. Ebenso werden von Firmen wie z.B. Klüver & Schulz, Orion und Ismatec kommerzielle LED-Photometer angeboten. Diese enthalten eine Elektronik, die die durch Lichtabsorption hervorgerufene Signalschwächung in das in der Spektrometrie übliche Extinktionssignal transformiert. In den letzten Jahren ist diese Elektronik immer kompakter geworden, preislich liegen die LED-Photometer aber nach wie vor im Bereich von einigen 100–1.000 €. Für Schulen und Hochschulen ist daher die Ausstattung einiger Praktikumsplätze mit diesen Geräten trotz des vergleichsweise günstigen Preises oft nicht möglich. Andererseits ist in den genannten Institutionen genügend Personalkapazität vorhanden, um eine etwas umfangreichere Datenauswertung durchzuführen. Häufig ist es für den Lernprozess den die Schüler/innen und Studierenden absolvieren sollen sogar förderlich, das direkte Messsignal selbst aufzunehmen und dann zunächst Schritt für Schritt und anschließend mit einem eigenständig entwickeltem Computerprogramm oder per Tabellenkalkulation weiterzuverarbeiten.

In dieser Arbeit wird der Aufbau und der Einsatz eines preiswerten Photosensors beschrieben. Das Hauptbauteil dieses Sensors ist ein neuartiger Photo-IC, der bereits einen Verstärker enthält und mit dem nahezu direkt proportional ein Lichtstrom in einen elektrischen Strom gewandelt werden kann. Die Umrechnung in Extinktion erfolgt dabei extern.

Aufbau des Photosensors

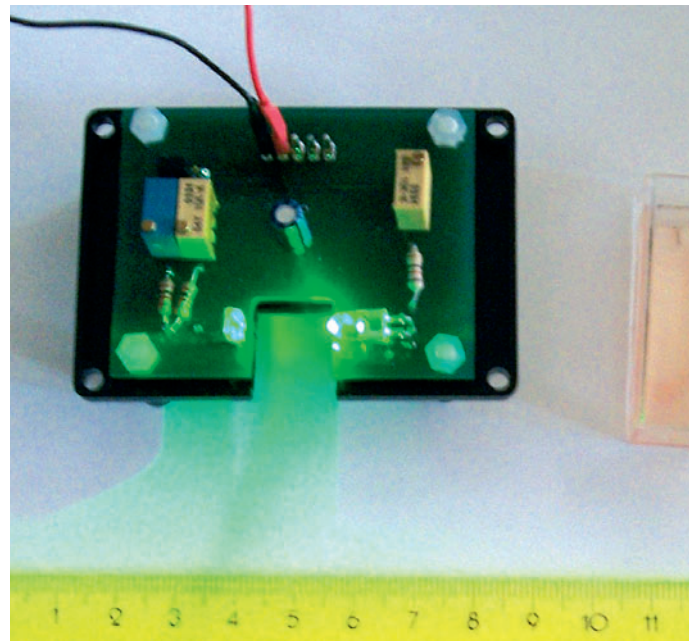
Der in Abbildung 1 dargestellte Photosensor besteht insgesamt aus nur 10 Bauteilen: dem Photo-IC S7183 von der Firma Hamamatsu, einer hell leuchtenden LED (> 1 mCd) sowie 2 Kondensatoren und je drei Vorwiderständen und drei Trimmern (alle z.B. von den Firmen ELV Elektronik AG, Reichelt Elektronik oder Conrad). Die LED wird so ausgewählt, dass ihre Farbe dem gewünschten Wellenlängenbereich entspricht. Der Aufbau ist so gestaltet, dass über ein Multimeter direkt der Strom, der den

Photo-IC durchfließt gemessen wird. Alternativ kann auch der entsprechende Spannungsabfall über einen Widerstand registriert werden.

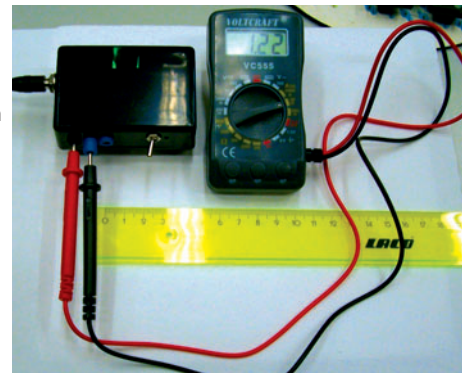
Test des Photosensors

Unter Verwendung einer roten LED und Einstellung der Stromstärke bei Lichteinfall auf ca. 2000 μA über den Trimmer, wird durch schließen des Lichtweges der Dunkelstrom bestimmt. Er ist kleiner als 1 μA und damit vernachlässigbar. Erstaunlicherweise geht die Spannung, bei Verwendung der entsprechenden Messanordnung jedoch nicht auf den erwarteten kleinen Wert, sondern nur von 10 V auf ca. 9 V zurück.

Zur Charakterisierung des Sensors wurden Bromthymolblaulösungen verschiedener Konzentrationen gemessen. Außerdem wurde mit einer Gruppe von Studierenden der UEMG, Campus Ituiutaba, Minas Gerais, Brasilien die Anwendbarkeit dieses Sensors



Photosensors:
seitlich:
gesamter Aufbau;
oben:
Blick auf das Innenleben



geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Variationskoeffizienten liegen vergleichsweise hoch, jedoch im üblichen Bereich für Studierende, die erstmalig photometrisch arbeiten. Die Berechnung der Extinktion erfolgte gemäß Theorie nach:

$E = -\lg(I/I_0)$, wobei direkt die ermittelten Stromstärken eingesetzt werden also von der Annahme Stromstärke entspricht Lichtstärke ausgegangen wird. I_0 ist dabei der Wert, der bei Einsatz einer mit dest. Wasser gefüllten Küvette erreicht wird.

Bei Umrechnung der gemessenen Spannung muss berücksichtigt werden, dass auch bei abdunkeln des Sensors noch eine Restspannung

von ca. 9 V als Messsignal anliegt. Daher wurde in diesem Messmodus die Extinktion wie folgt berechnet:

$E = -\lg((U-U_d)/(U_0-U_d))$ mit U_0 als Spannungswert, der bei Einsatz einer mit dest. Wasser gefüllten Küvette erreicht wird und U_d dem Spannungswert der nach abdunkeln des Sensors noch anliegt. Es zeigte sich, dass die Messung im Spannungsmodus mit der verwendeten Schaltung nicht hinreichend zuverlässig ist. Daher wird bei künftigen Experimenten nur noch der Stromstärkemode eingesetzt.

Bei der Messung von Bromthymolblau (BTB) zeigte sich auch bei der Messung im Stromstärkemode eine deut-

Tab. 1: Erste Messungen zur Charakterisierung des Photosensors

a) Messungen mit Studiengruppe in Brasilien

Konz. (BTB) in mg/l	I (Photosensor) in mA										berechnete Extinktion									
	Sueli	Juliano	Edimar	Ezio	Danielle	Cristina	Olaf	Sueli	Juliano	Edimar	Ezio	Danielle	Cristina	Olaf						
03,078	3,299	3,065	3,165	3,156	3,119	3,317	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000						
12,861	2,966	2,894	3,086	3,036	3,107	3,082	0,032	0,046	0,025	0,011	0,017	0,002	0,032	0,032						
52,345	2,274	2,285	2,412	2,295	2,423	2,427	0,118	0,162	0,128	0,118	0,138	0,110	0,136	0,136						
101,783	1,705	1,716	1,682	1,789	1,769	1,778	0,237	0,287	0,252	0,275	0,247	0,246	0,271	0,271						
201,034	1,095	1,056	1,095	1,037	1,021	1,085	0,474	0,479	0,463	0,461	0,483	0,485	0,485	0,485						
300,717	0,68	0,699	0,732	0,724	0,723	0,721	0,633	0,686	0,642	0,636	0,639	0,635	0,663	0,663						
500,413	0,405	0,415	0,429	0,407	0,419	0,410	0,872	0,911	0,868	0,868	0,890	0,872	0,908	0,908						

b) Messungen im Stromstärkemodus von geübter Studentin der HAW Hamburg

Konz. (BTB) in mg/l	I (Photosensor) in mA										berechnete Extinktion										Extinktion Referenzwerte
											Einzeltwerte										
	0	2,10	2,10	2,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	1,80	1,81	1,79	0,067	0,065	0,069	0,067	0,065	0,069	0,067	0,065	0,069	0,067	0,065	0,069	0,067	0,065	0,069	0,067		
5	1,58	1,56	1,57	0,124	0,129	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126		
10	1,40	1,39	1,39	0,176	0,179	0,179	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178		
20	0,87	0,86	0,84	0,383	0,388	0,398	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389		
50	0,34	0,34	0,32	0,791	0,791	0,817	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800		

c) Messungen im Spannungsmodus von geübter Studentin der HAW Hamburg

Konz. (BTB) in mg/l	U (Photosensor) in mV										berechnete Extinktion									
	0	10,04	10,04	10,04	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004
0	10,04	10,04	10,04	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	
1	10,05	10,04	10,04	-0,004	0,000	0,000	0,000	-0,004	0,000	0,000	0,000	-0,004	0,000	0,000	0,000	-0,004	0,000	0,000	0,000	
5	10,02	10,02	10,03	0,009	0,009	0,009	0,004	0,009	0,009	0,004	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	
10	9,93	9,90	9,91	0,051	0,066	0,060	0,051	0,066	0,060	0,051	0,066	0,060	0,051	0,066	0,060	0,051	0,066	0,060	0,051	
20	9,78	9,76	9,79	0,131	0,143	0,125	0,131	0,143	0,125	0,131	0,143	0,125	0,131	0,143	0,125	0,131	0,143	0,125	0,131	
50	9,38	9,35	9,36	0,469	0,509	0,495	0,469	0,509	0,495	0,469	0,509	0,495	0,469	0,509	0,495	0,469	0,509	0,495	0,469	

liche Abweichung zwischen den mit dem Photosensor ermittelten Extinktionen und den Werten, die mit einem klassischen Photometer erhalten wurden. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass das von der LED ausgesendete Licht nicht vollständig von BTB absorbiert wird. Zur Konzentrationsbestimmung ist die erreichte Empfindlichkeit jedoch allemal ausreichend.

Anwendung des Photosensors in der Wasseranalytik

Bisher wurden Anordnungen mit roter und mit grüner LED eingesetzt; die rote für die Bestimmung von Ammonium nach einer modifizierten Indophenolblaumethode (Sa-

licylat statt Phenol) auch bekannt als Ammoniumbestimmung nach Berthelot; die grüne LED für die Bestimmung von Nitrit nach Reaktion mit Sulfanilsäure in saurer Lösung zu einer Diazoniumverbindung, die dann mit N(1-Naphthyl)ethyldiamin (NED) zu einem roten Azofarbstoff koppelt. Tabelle 2 enthält als Beispiel Werte, die für eine Zehnpunktkalibrierung von Ammonium erhalten wurden und Werte einer Messung von Nitrit im corrego sujo, einem Abwassergraben in Ituiutaba. Dabei wurden die Werte parallel mit klassischen Photometern aufgenommen. Der Vergleich der Extinktionswerte zeigt bei diesen Anwendungen bereits eine so

Tab. 2: Anwendungen des Photosensors

a) Zehnpunktkalibrierung von Ammonium gemessen mit roter LED

Standard	Wasser	Luft	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I(mess) in mA	2,14	1,88	1,97	1,92	1,775	1,605	1,530	1,420	1,298	1,201	1,095	1,042
E(ber)	0,000	0,056	0,036	0,047	0,081	0,125	0,146	0,178	0,217	0,251	0,291	0,313
E(vgl)	0,000		0,035	0,048	0,089	0,123	0,167	0,201	0,243	0,285	0,332	0,360

b) Messung von Nitrit mit grüner LED

Standard	Wasser	Luft	0,1	1,0	2,0	10	corrego sujo	β(Nitrit) in Probe
I(mess) in mA	0,67	0,58	0,48	0,14	0,04	0,01	0,44	
E(ber)	0,000	0,063	0,145	0,680	1,224	1,826	0,183	0,16 mg/L
E(vgl)	0,000		0,157	0,770	1,431	1,747	0,220	0,19 mg/L

Die Konzentrationen der Standards sind in mg/L angegeben.

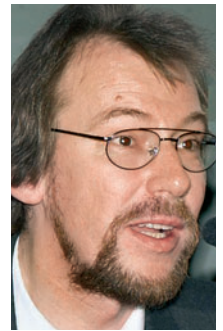
I(mess): am Photosensor registrierte Stromstärke

E(ber): aus der Stromstärke nach $E = -\lg(I/I_0)$ berechnete Extinktion; mit $I_0 = 2,14$ bei a) und $I_0 = 0,67$ bei b)

E(vgl): Extinktions-Vergleichswert ermittelt mit klassischem Photometer bei a) Typ UV-160 A der Fa. Shimadzu bei b) Typ E-225 D der Fa. CELM

gute Übereinstimmung, dass der hier vorgestellte Photosensor als robustes Feldmessgerät tauglich ist.

In brasilianisch-deutscher Zusammenarbeit zwischen UEMG und HAW Hamburg sollen die Auswerteverfahren und die LED-Anpassung sowie der Feldeinsatz des Photosensors weiter optimiert werden.



Olaf Elsholz

Danksagung

Bei der Entwicklung und Erprobung des Photosensors waren zahlreiche Studierende der HAW Hamburg und der UEMG Campus Ituiutaba beteiligt. Besonders hervorzuheben sind Ilja Knippschild, der das Platinenlayout für den Sensor erstellt hat und Fanny Graf, Sybille Schwarz sowie Marcus Vogt die an der Erprobungsphase besonders intensiv beteiligt waren.

Literatur bei den Autoren erhältlich.

Prof. Dr. Tereza

Cristina Rodrigues

Universidade do Estado de Minas Gerais, BR-Campus Ituiutaba

Prof. Dr. Olaf Elsholz

Hochschule für Angewandte

Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Labor für Instrumentelle Analytik

Lohrbrügger Kirchstr. 65

21033 Hamburg

olaf.elsholz@rzbd.haw-hamburg.de

www.rzbd.haw-

hamburg.de/~m4100030