

# IoT-Spezialisten

## Sourcemeeter – genaues Messen zur Analyse von Geräten

Teil 2

Nachdem im ersten Teil dieses Artikels bereits die wesentlichen Grundlagen, Anwendungsgebiete und Spezifikationen von Sourcemetern thematisiert wurden, geht es nun um die praktische Durchführung von Strommessungen. Dabei werden zunächst einige Einflussfaktoren und Fehlerquellen beleuchtet. Anschließend folgt die Beschreibung eines Messaufbaus, bei dem der Energieverbrauch der Experimentierplattform ELV-LW-Base (ELV-BM-TRX1) [1] mit aufgestecktem Applikationsmodul Luxmeter (ELV-AM-LX1) [2] und im zweiten Messaufbau des Homematic IP Smart Home Präsenzmelders für den Innenbetrieb (HMIP-SPI - innen) [3] mithilfe des Nordic Power Profiler Kit 2 (PPK2) gemessen wird. Eine abschließende Auswertung der Ergebnisse liefert interessante Einblicke in die Funktionsweise und Lebensdauer der Geräte sowie generelle Tipps für die Analyse unbekannter Geräte.



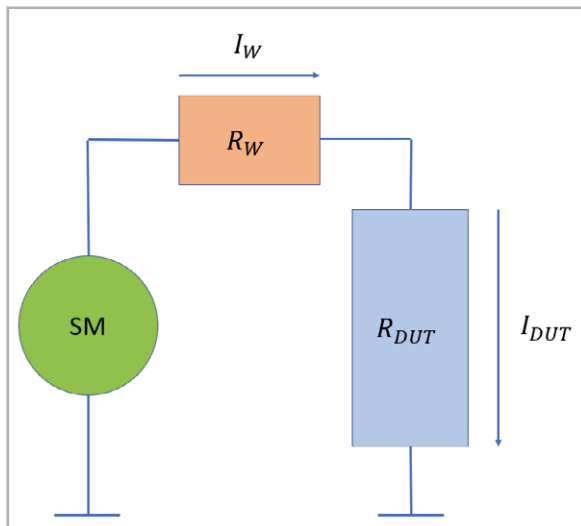


Bild 1: Schematischer Aufbau einer Strommessung mit einem Sourcemeter

## Einflussfaktoren und Fehlerquellen bei der Strommessung

Im ersten Teil dieses Artikels wurden bereits einige Spezifikationen von Sourcemetern beschrieben. Doch selbst wenn die Messungen mit einem hochwertigen Gerät mit hoher Auflösung, Genauigkeit und geringem Rauschen durchgeführt werden, ist dies keine Garantie für optimale Ergebnisse.

In Bild 1 ist schematisch ein typischer Messaufbau dargestellt. In jeder Schaltung befinden sich intern bereits Widerstände ( $R_{DUT}$ ; DUT = Device Under Test = Prüfling), um den gewünschten Strom und Spannungspegel für einen korrekten Betrieb des Geräts sicherzustellen. Bei der Strommessung mit einem Sourcemeter addieren sich hierzu weitere serielle Widerstände durch die angeschlossenen Leitungen. Ziel ist es den Leitungswiderstand zu minimieren, um so möglichst nur den abfallenden Strom des untersuchten Geräts zu messen. Der Widerstand durch die Leitungen berechnet sich dabei wie folgt:

$$R = \rho * \frac{l}{a} \quad \text{(Gleichung 1) [4]}$$

Anhand von Gleichung 1 wird deutlich, dass der Leitungswiderstand von einer Materialkonstante „ $\rho$ “ sowie der Länge „ $l$ “ und der Querschnittsfläche „ $a$ “ abhängig ist. Für einen möglichst geringen Leitungswiderstand sollten kurze Leitungen sowie ein den zu erwartenden Strömen angemessener Leitungsquerschnitt verwendet werden [5]. Weiterhin sollte zwischen dem Sourcemeter und dem zu untersuchenden Gerät eine stabile Verbindung bzw. Kontaktierung bestehen, um die Übergangswiderstände an den Kontakten gering zu halten.

## Installation und Beschreibung der PPK2-Software

**Hinweis:** Die folgenden Installationsanweisungen beziehen sich auf die Installation der nRF-Connect-Software von Nordic Semiconductors in der Version 4.1.2 sowie der integrierten Power-Profiler-App in der Version 3.5.5 unter Windows 11.

Die Power-Profiler-App für das PPK2 ist Teil der nRF-Connect-for-Desktop-Software. Der Download ist auf der Internetseite von Nordic Semiconductor möglich [6].

Nach dem Öffnen der ausführbaren Setup-Datei können optionale Segger-J-Link-Komponenten installiert werden, die für die Programmierung von Nordic SOCs (System On Chip) erforderlich sind. Anschließend öffnet sich die nRF-Connect-Software, in der im Bereich „APPS“ (Bild 2) aus der Liste die Power-Profiler-Software über den Button „Install“ hinzugefügt werden kann (Bild 3).

Nach der Installation kann die Power-Profiler-Software über den „Open“-Button geöffnet werden (siehe Bild 2). Die Oberfläche des Tools (Bild 4) gliedert sich dabei in drei Hauptbereiche. In der linken Spalte kann über den Button „SELECT DEVICE“ ein angeschlossenes PPK2-Gerät ausgewählt werden (Bild 5). Bei erfolgreicher Verbindung ändert sich dieser Bereich zu einem Menü für die Sourcemeter-bezogenen Einstellungen (Bild 6). Dort ist neben der Wahl des Modus (Sourcemeter oder Amperemeter) auch die Einstellung der Versorgungsspannung (Supply Voltage), der Abtastrate (Samples per Second) und der Messdauer möglich. Zudem erfolgt die Freigabe der Spannung und der Start der Aufzeichnung durch einen Schalter.

Die grafische Darstellung des gemessenen Stroms erfolgt im oberen rechten Bereich der Oberfläche (Bild 7). Dabei wird fortlaufend zur Messdauer (X-Achse) die Höhe des Stroms (Y-Achse) ausgegeben. Neben diesen absoluten Werten werden auch statistische Größen wie der durchschnittliche und maximale Strom und die elektrische Ladung in Coulomb ausgegeben ( $Q = I * t$ ). Dies geschieht sowohl für das aktuelle Fenster (1) als auch für den ggf. ausgewählten Bereich (2).

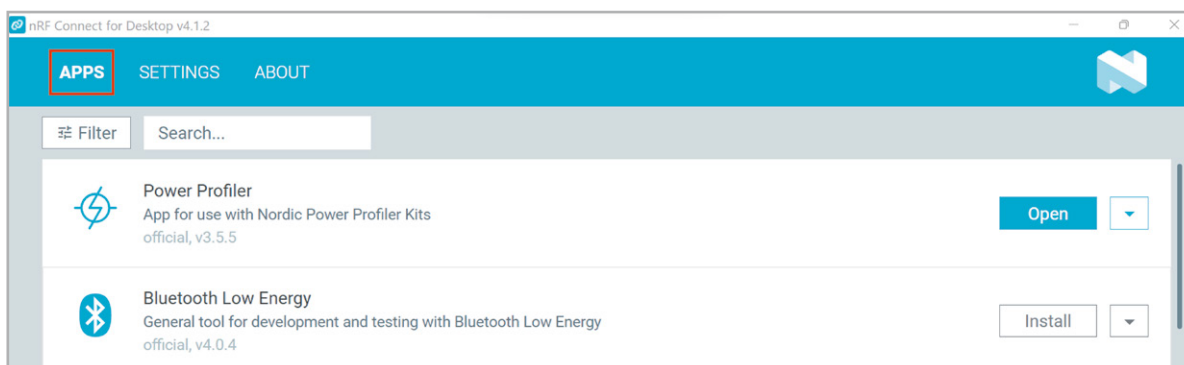


Bild 2: „APPS“-Tab der nRF-Connect-Software



Bild 3: Installation der Power-Profiler-App in der nRF-Connect-Software

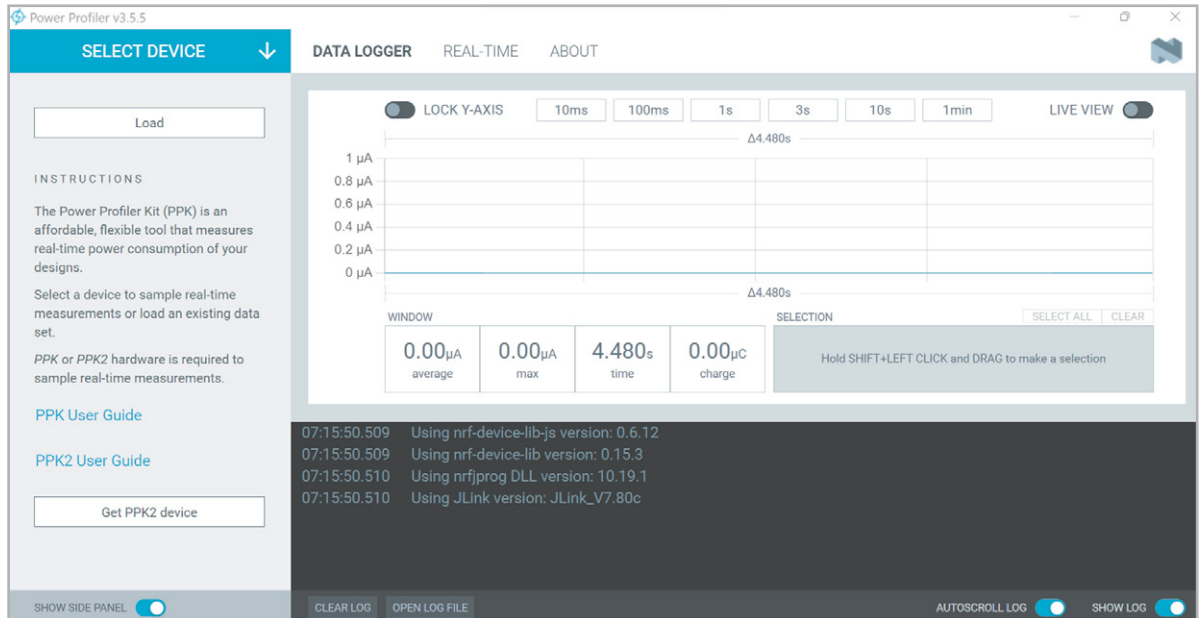


Bild 4: Oberfläche des Power Profilers

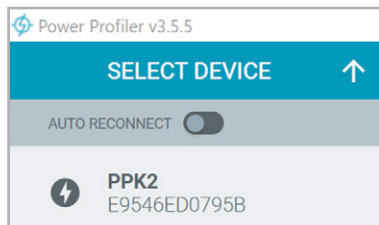
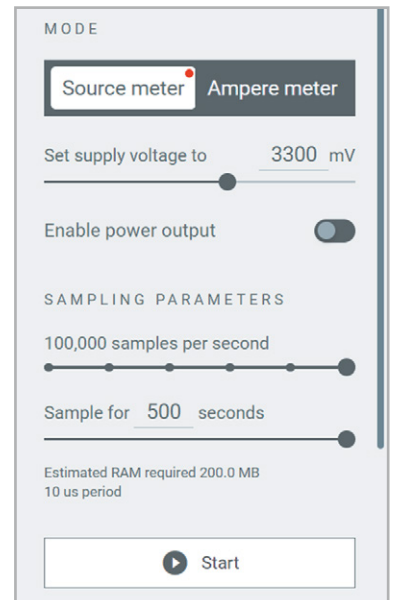


Bild 5: Auswahl eines PPK2-Geräts

Bild 6: Menü der Sourcemeter-Einstellungen



Einstellungsmöglichkeiten ergeben sich durch das Sperren der Y-Achse (3) zur Betrachtung eines begrenzten Bereichs, die Auswahl der Messfenstergröße (4) und die Aktivierung der Live Views, bei denen die jeweils aktuellsten Stromwerte angezeigt werden (5).



Bild 7: Data-Logger-Bereich der Power-Profiler-Software

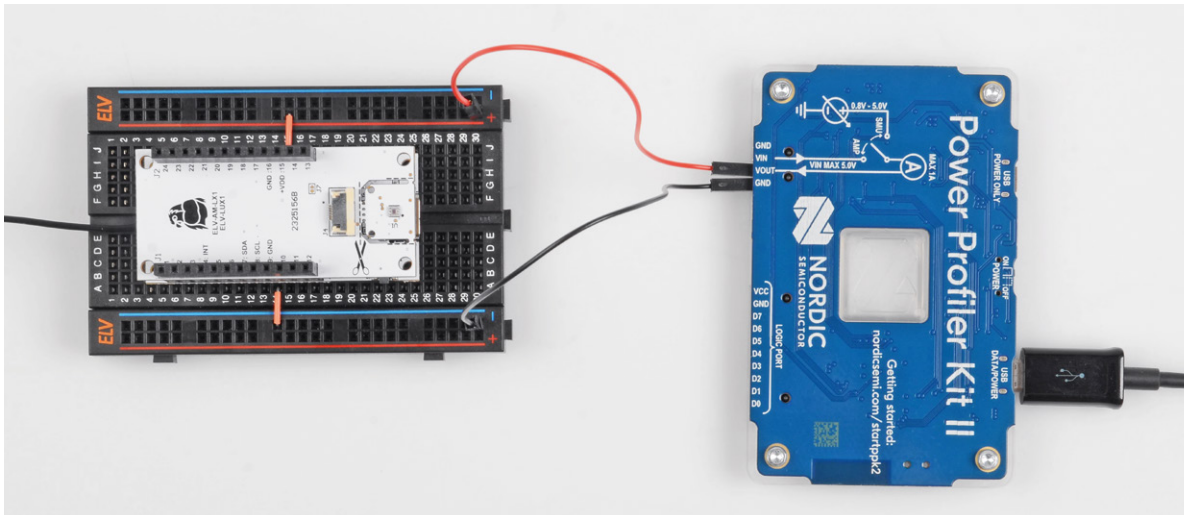


Bild 8: Messaufbau bestehend aus der ELV-LW-Base mit Applikationsmodul Luxmeter und dem Power Profiler Kit II

### Beschreibung der Messaufbauten

Für einen sicheren Stand wird der Modulstapel, bestehend aus dem Funkbasismodul ELV-LW-Base und dem Applikationsmodul Luxmeter, auf ein ELV Breadboard aufgesteckt [7]. Anschließend können die GND und VOUT Pins des Nordic PPK2, wie in Bild 8 dargestellt, verbunden werden.

Um den Strom des Homematic IP Präsenzmelders zu messen, werden die ELV Batterie-Dummys im Format LR6/AA (BD-AA) [8], an denen zwei Pins angelötet sind, in das Gerät eingesetzt. An diese Pins können dann die GND- und VOUT-Leitungen des PPK2 angeschlossen werden (Bild 9).

### Durchführung der Strommessungen

Für die Durchführung der Strommessung der ELV-LW-Base mit aufgestecktem Applikationsmodul Luxmeter muss die zugehörige Firmware installiert sein [2]. Außerdem ist eine Registrierung des Funk-Basismoduls in einem LoRaWAN®-Netzwerkserver wie z. B. TTS, ChirpStack oder Helium erforderlich, um einen erfolgreichen Joining-Prozess zu ermöglichen und die eingehenden Datenpakete beobachten zu können. Anschließend kann die Konfiguration der PPK2-Software erfolgen.

Dazu werden die folgenden Einstellungen vorgenommen:

- Abtastrate: 100000 Samples/s
- Messdauer: 500 s = 8,33 Minuten
- Ausgangsspannung: 3300 mV

Die Aufzeichnung der Messdaten kann nun über den „Start“-Button gestartet werden. Damit das Gerät mit der zuvor konfigurierten Spannung versorgt wird, ist zudem das Betätigen des Schalters „Enable power output“ erforderlich (siehe auch Bild 6). Der Graph des Stromverlaufs zeichnet ab jetzt den fließenden Strom über die Zeit auf. Ein Ausschnitt aus der Messung ist in Bild 10 zu sehen.

### Analyse des Beleuchtungsstärkesensors

In der Strommessung des Helligkeitssensors, bestehend aus ELV-LW-Base mit aufgestecktem Applikationsmodul Luxmeter, sind verschiedene Muster im Stromverlauf zu erkennen (Bild 10). Bei einer genaueren Zuordnung der Teilströme helfen die Beobachtung der TTS-Konsole [9] und die Informationen aus der Bau- und Bedienungsanleitung des Applikationsmoduls. Auf diese Weise werden im Folgenden die einzelnen Abschnitte der Strommessung näher beleuchtet.

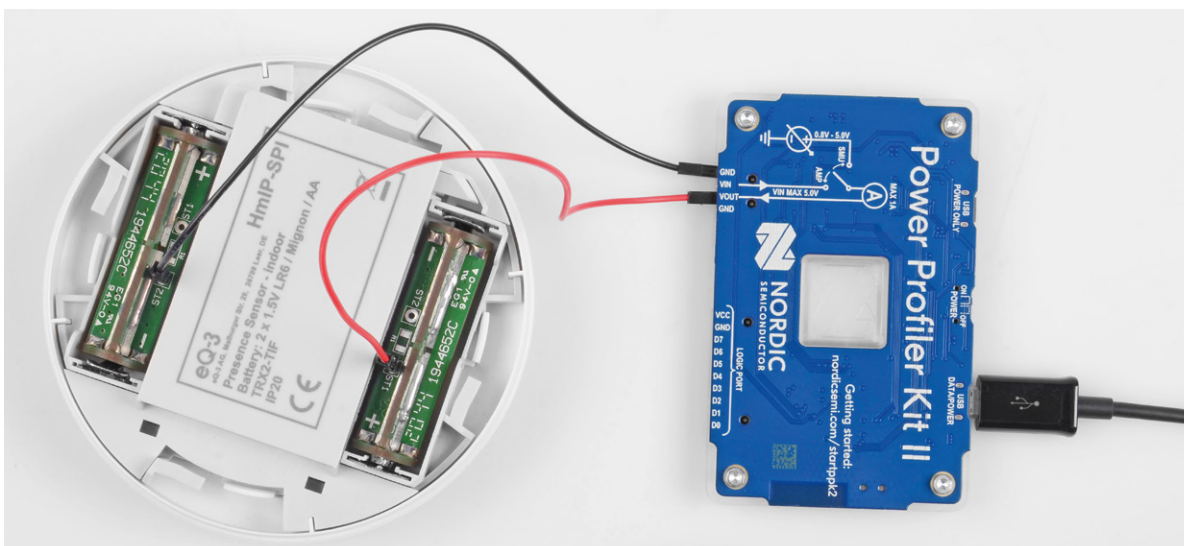


Bild 9: Messaufbau mit Homematic IP Präsenzmelder und Power Profiler Kit II





Bild 10: Ausschnitt aus der Strommessung der ELV-LW-Base mit Applikationsmodul Luxmeter

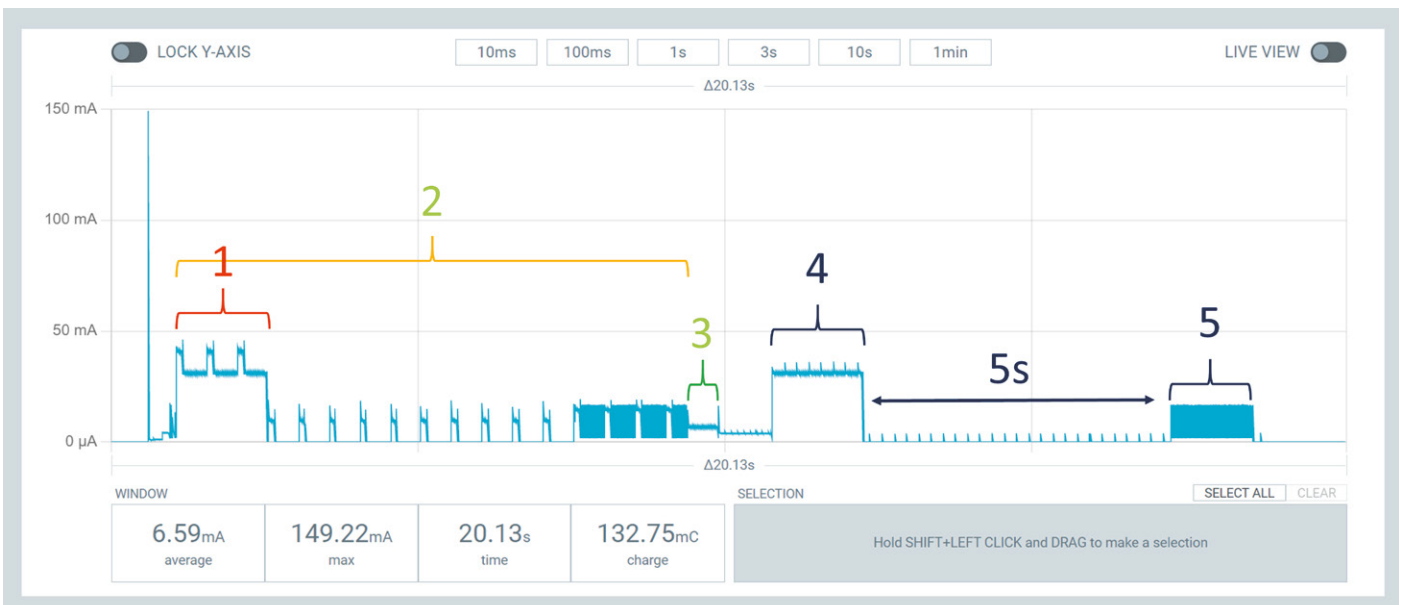


Bild 11: Stromaufnahme des Beleuchtungsstärkeensors nach Einschalten der Versorgungsspannung

↑ 11:50:13	elv-lw-base	DevAddr: 26 0B CC A6	Payload: { Brightness: "69.76", Supply_Voltage: 3250,
↑ 11:50:05	elv-lw-base	DevAddr: 26 0B CC A6	
↑ 11:50:04	elv-lw-base	DevAddr: 26 0B 69 BD	
↻ 11:50:03	elv-lw-base	DevAddr: 26 0B CC A6	

Bild 12: Ausschnitt aus der TTS-LoRaWAN®-Netzwerkserver-Konsole

In Bild 11 ist die Stromaufnahme unmittelbar nach dem Einschalten der Versorgungsspannung zu sehen. Die parallele Beobachtung der TTS-Konsole (Bild 12, 1) zeigt, dass es sich bei den ersten Ausschlägen (Bild 11, 1) um die Aussendung einer LoRaWAN®-Join-Anfrage, mit der sich das Gerät im Netzwerkserver anmeldet, handelt. Gleichzeitig blinkt die grüne LED der ELV-LW-Base, was sich ebenfalls durch sich wiederholende Erhebungen im Stromverlauf darstellt (Bild 11, 2).

Nach der Blinkfolge ist die LED für etwa 500 ms permanent aktiv, bevor rund 10 s nach der Join-Anfrage in der TTS-Konsole die erste

LoRaWAN®-Uplink-Nachricht eintrifft (Bild 11, 4), (Bild 12, 2). Genau 5 s nach dieser Uplink-Nachricht befindet sich das Funkmodul im Empfangsmodus (z. B. für Konfigurationsdaten)(RX-Modus, Bild 11, 2).

Insgesamt decken sich die Ströme des Funkmoduls mit den Angaben aus dem Datenblatt des verbauten System on Chip (SoC) [10] und der Standardkonfiguration der LoRaWAN®-Parameter.

Nach der Übertragung der ersten LoRaWAN®-Nachricht wird der Energiesparmodus (Sleep) aktiviert (Bild 13, Bild 14). Während dieser Phase sind ein Großteil der Peripherie des Microcontrollers, das Funkmodul sowie der Helligkeitssensor deaktiviert. Eine erneute Aktivierung erfolgt entweder durch einen Interrupt des Timers oder des User-Buttons der ELV-LW-Base. Die durchschnittliche Stromaufnahme liegt mit  $3,38 \mu\text{A}$  nahe an dem angegebenen minimalen Strom von  $2,9 \mu\text{A}$ .

Bei Verwendung der Standardeinstellungen erfolgt die Übertragung des aktuellen Helligkeitswertes alle 30 s (Bild 15). Um dieses Intervall einzuhalten, beträgt die reine „Sleep“-Dauer bis zum Beginn der Messungen nur 25 s (siehe Bild 13). Zur Ermittlung

der Beleuchtungsstärke deuten zu Beginn 10 gleichartige Erhebungen im Stromverlauf auf Einzelmessungen des verbauten OPT3001-Sensors hin (Bild 15, 1). Nach dem Abschluss dieser Messungen wird das Ergebnis via LoRaWAN® versendet (Bild 15, 2), außerdem können nach 5 und 6 s die LoRaWAN®-Downlink-Fenster beobachtet werden (Bild 15, 3, 4). Sowohl der TX- als auch der RX-Strom entsprechen dabei annähernd den Angaben aus dem Datenblatt des Microcontrollers [10]. Nach Ablauf der Empfangsfenster wird die gesamte Schaltung bis zur nächsten Messung erneut in den „Sleep“-Modus versetzt, um Energie einzusparen.

### Analyse des Homematic IP Präsenzmelders

Für die Strommessung des HmIP-SPI sollte das Gerät an einer CCU3 oder an einem Access Point über die HmIP App registriert werden, um einen realistischen Betrieb des Geräts zu ermöglichen und Überein-



Bild 13: Energiesparmodus der ELV-LW-Base mit ELV-AM-LX1

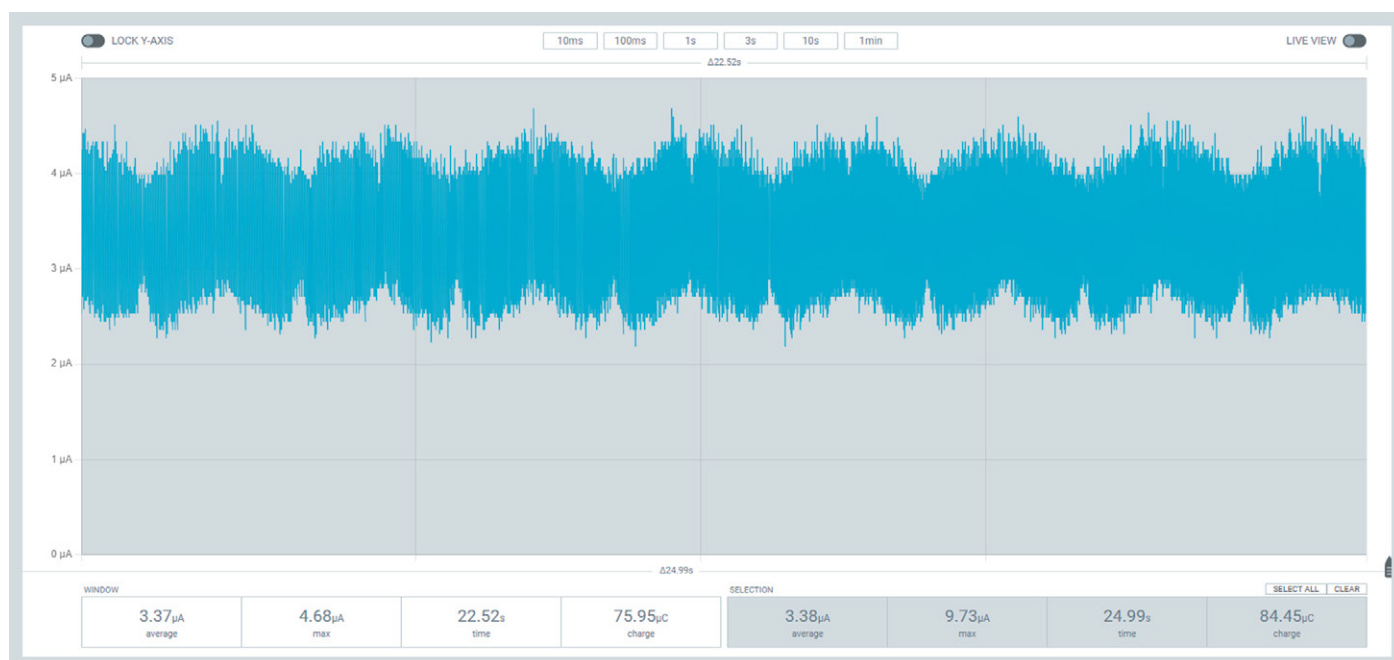


Bild 14: Vergrößerter Ausschnitt aus dem Energiesparmodus der ELV-LW-Base mit ELV-AM-LX1



Bild 15: Zyklische Messung, Übertragung der aktuellen Beleuchtungsstärke und LoRaWAN®-RX-Fenster

stimmungen zwischen eingehenden Daten und dem Stromverlauf identifizieren zu können. Die Konfiguration in der PPK2-Software gleicht sonst im Wesentlichen der des zuvor bereits beschriebenen Aufbaus.

Nach dem Anlegen der Versorgungsspannung durch das PPK2 muss sowohl in der CCU3 als auch am HmIP-SPI der Anlernmodus aktiviert werden. In der Web-UI wird dazu im Bereich „Geräte Anlernen“ der Button „HmIP Gerät anlernen“ betätigt (Bild 16). Ab jetzt ist die Integration von Geräten für 60 s lang möglich. Am HmIP-SPI wird die Systemtaste gedrückt, woraufhin das Gerät im Bereich „Posteingang“ auftauchen sollte. Der aktive Anlernmodus wird auch durch kurzes oranges Blinken der Systemtaste bestätigt. Der Stromverlauf während dieses Prozesses ist in Bild 17 zu sehen.

### Homematic IP Gerät mit Internetzugang anlernen

Homematic IP Geräte können auch über die CCU angelernt werden. Klicken Sie auf den Button "HmIP Gerät anlernen". Der Anlernmodus der CCU ist dann für 60 Sekunden aktiv. Aktivieren Sie innerhalb dieser Zeit den Anlernmodus des Homematic IP Gerätes, das angelernt werden soll.



Bild 16: Aktivierung des Anlernmodus in der CCU3 Web-UI

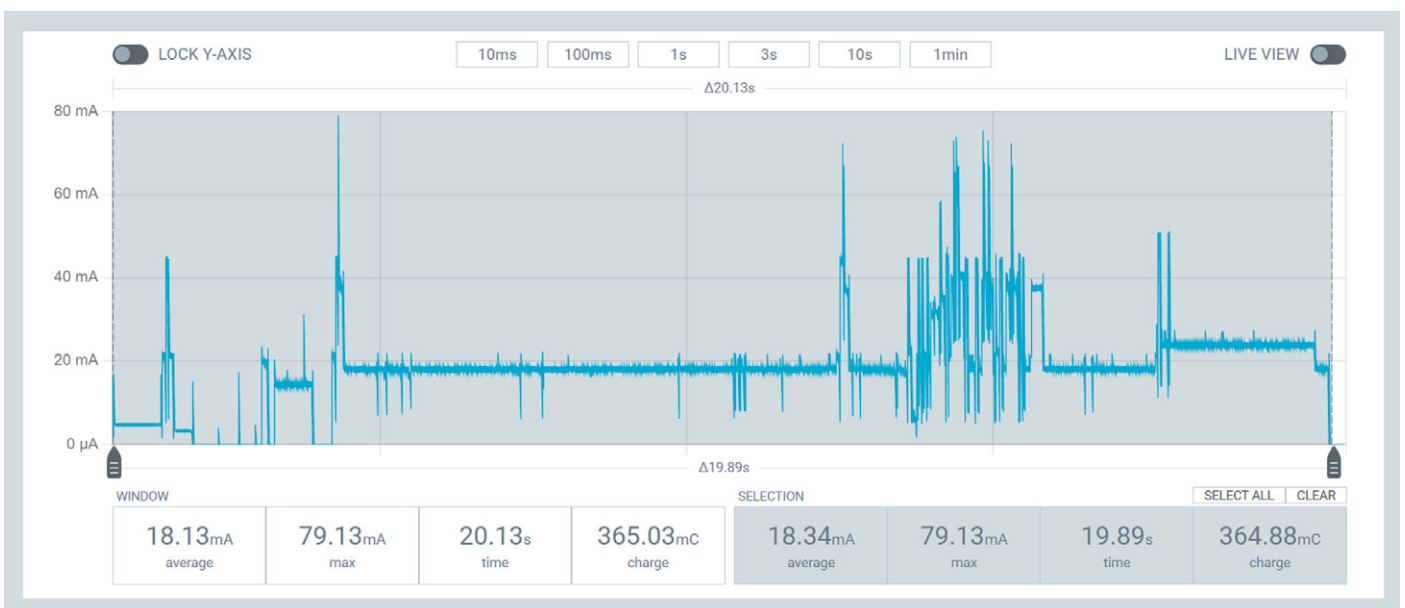


Bild 17: Stromverlauf während des Anlernprozesses des HmIP-SPI

Nach dem erfolgreichen Herstellen der Verbindung prüft der verbaute PIR-Sensor in einem Intervall von 1 s, ob innerhalb des Sichtfelds Präsenz vorliegt oder nicht. Eine einzelne Messung benötigt dabei über einen Zeitraum von etwa 2,75 ms einen Strom von durchschnittlich 6,09 mA (Bild 18).

Liegt eine Änderung des Zustands durch vorhandene bzw. nicht mehr vorhandene Präsenz im Raum vor, wird der neue Zustand an die CCU3 übertragen. In der Web-UI wird neben dem aktuellen Präsenzstatus auch ein Helligkeitswert angezeigt (Bild 19), was darauf schließen lässt, dass diese Information ebenfalls im übermittelten Datenpaket enthalten war. Der komplette Sendevorgang ist in Bild 20 zu sehen.

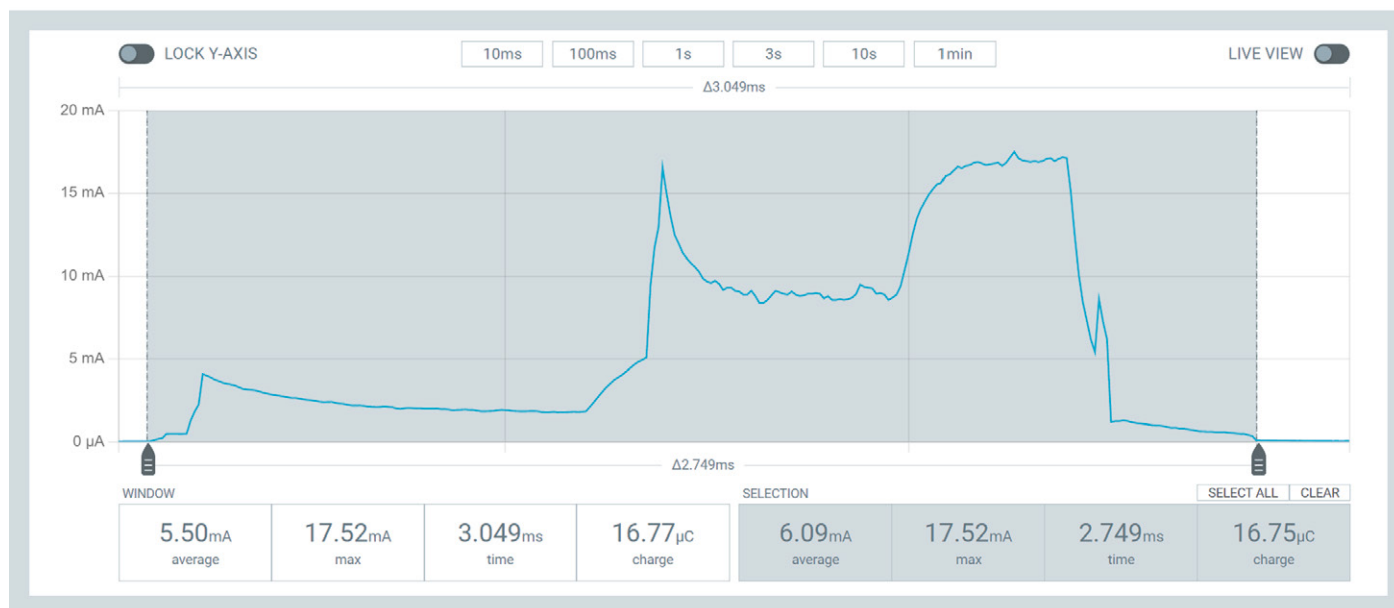


Bild 18: Einzelmessung des Präsenzsensors

Name	Raum	Gewerk	Letzte Änderung	Control	
Filter	Filter	Filter			
HmIP-SPI 000C1D89B461B1:1 Präsenzmelder			28.08.2023 08:58:14	Helligkeit: 14	
				Präsenzerkennung aktiv	Präsenzerkennung ausschalten
				Keine Präsenz erkannt	Reset Status

Bild 19: Darstellung des Präsenzmelders in der Web-UI

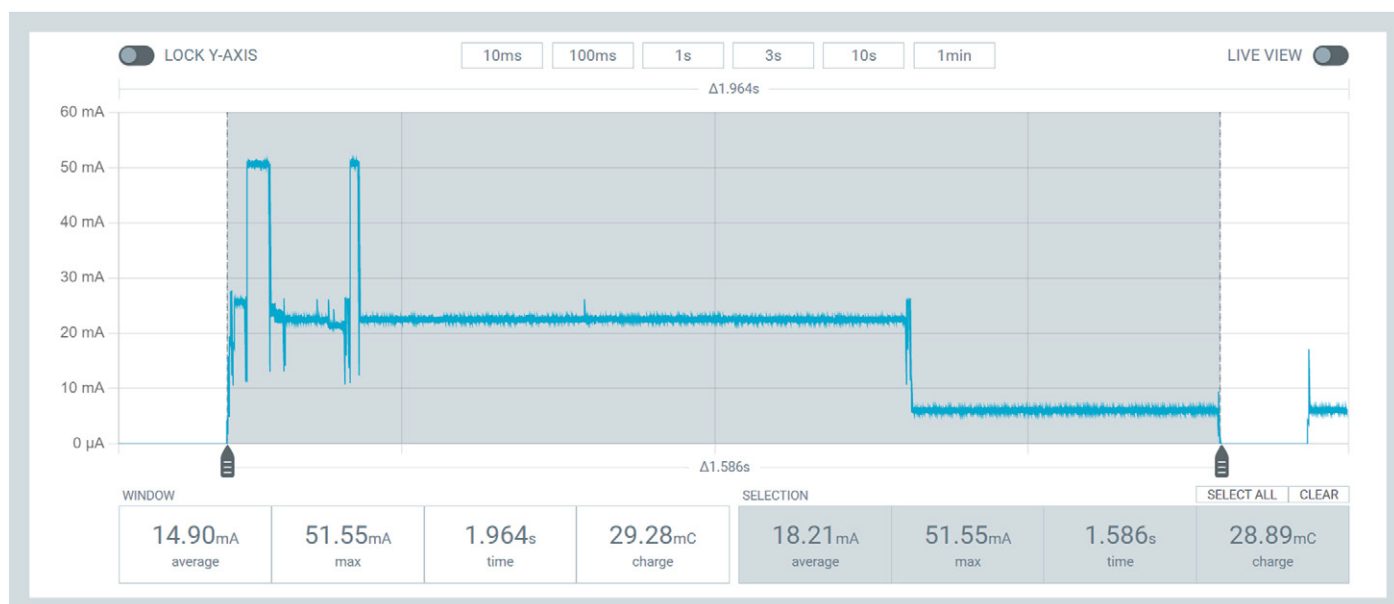


Bild 20: Übertragung des neuen Zustands an die CCU3



Werden unmittelbar nach erkannter Präsenz weitere Aktivitäten im Raum festgestellt, kann die Verarbeitung dieser Ereignisse durch eine erhöhte Stromaufnahme (Mikrocontroller, Messungen des PIR-Sensors) beobachtet werden (Bild 21). Da sich der Zustand jedoch nicht geändert hat, ist keine erneute Übertragung erforderlich. Dieser Mechanismus wird auch als „Send on Delta“ bezeichnet und ist ein gängiges Verfahren für batteriebetriebene Geräte, um Energie einzusparen [11].

Bisher wurde der Präsenzmelder nur isoliert betrachtet. Wird das Gerät jedoch über die CCU mit einem Aktor wie z. B. einer HmIP-PSM [12] über eine Direktverknüpfung verbunden, verändert sich das Muster während des Sendevorgangs (Bild 22). Nach den bereits bekannten Erhebungen im Stromverlauf (Bild 20) können zwei weitere Anstiege des Stroms beobachtet werden, die ebenfalls auf den TX-Modus des Funkmoduls hindeuten.

Die bisherigen Analysen beziehen sich auf Aufbauten und Geräte, bei denen bereits viele Details über die Hard- und Firmware bekannt sind und können daher im privaten Bereich auch auf eigene Messungen übertragen werden. So lassen sich aus Strommessungen während des Prototypings tiefere Informationen über die Hard- und Firmware der untersuchten Geräte ableiten. Bezogen auf die Hardware kön-

nen bei einer unerklärlich hohen Stromaufnahme z. B. Schaltungsfehler oder Optimierungspotenzial erkannt werden. So sollte der gemessene Strom insgesamt mit der Summe der Teilströme der einzelnen Komponenten wie Mikrocontroller, Sensoren und Funkmodulen übereinstimmen.

Auch der Prozess der Firmwareentwicklung kann durch Sourcemeter sinnvoll ergänzt werden. So können Anomalien in der Strommessung wie z. B. die permanente Aktivität des Mikrocontrollers auf eine ungewollte Endlosschleife hinweisen. Auf dieser Grundlage kann der Code dann optimiert werden, um so die Lebensdauer durch eine geringere Stromaufnahme zu erhöhen.

Falls es sich bei dem untersuchten Gerät nicht um eine eigene Entwicklung handelt, fehlen eventuell Informationen über den Hardwareaufbau und die Inhalte der Firmware. Somit ist keine direkte Zuordnung von Ereignissen im Stromverlauf zu einzelnen Funktionen des Geräts möglich. Um dennoch einen

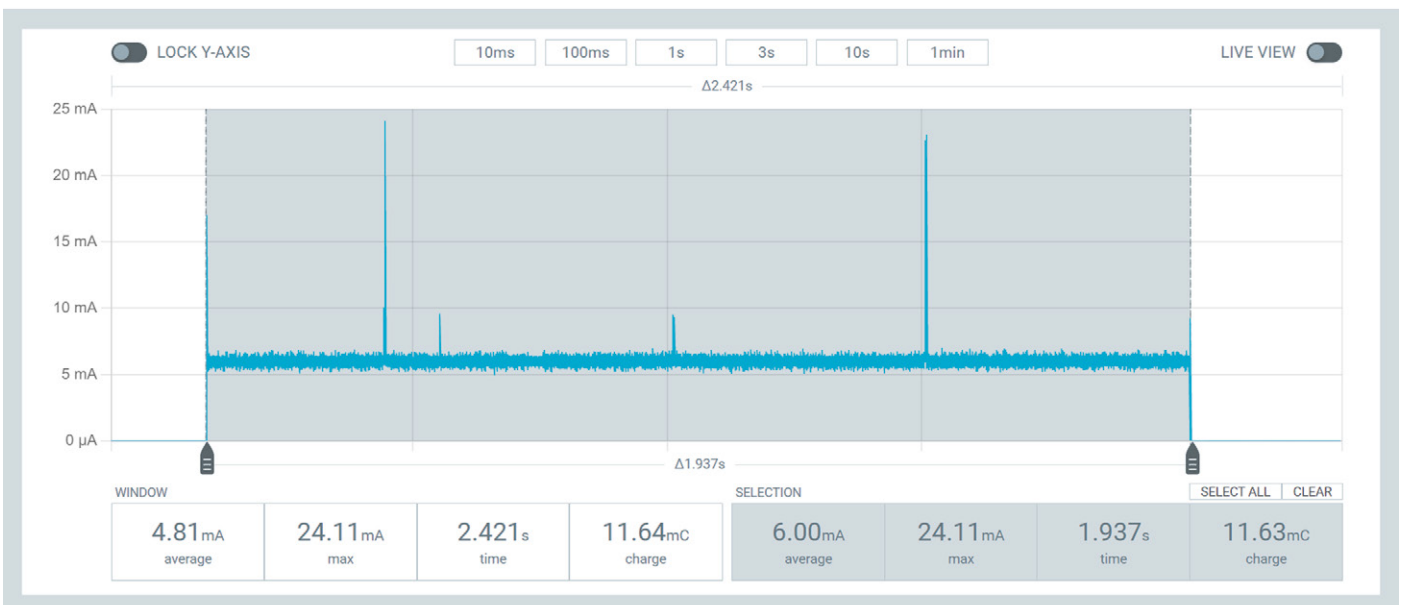


Bild 21: Verifizierung des Präsenzzustands

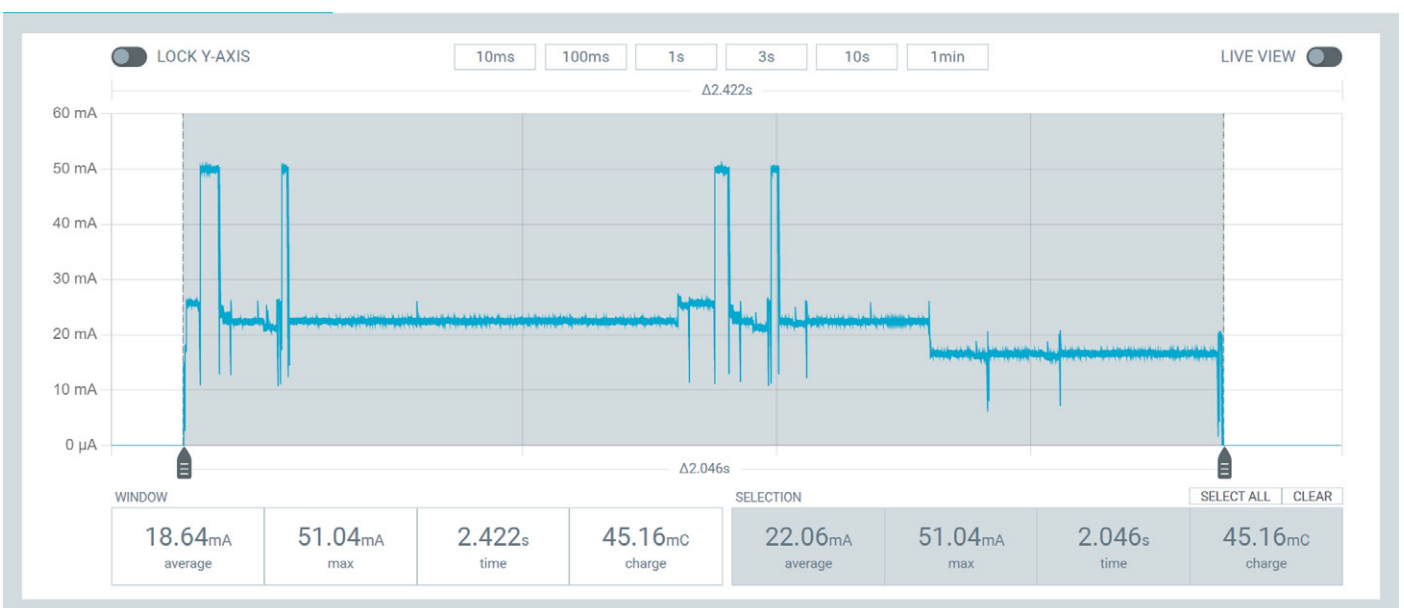


Bild 22: Sendevorgang mit konfigurierter Direktverknüpfung

Einblick in die mögliche Funktionsweise zu erhalten, können Strommessungen mit Datenblättern von verbauten Sensoren, Bedienungsanleitungen und Ausgaben des untersuchten Geräts (z. B. Messdaten und Statusinformationen über die Serielle Schnittstelle, LoRaWAN®, WiFi, Bluetooth etc.) kombiniert werden. Dieses Verfahren ist somit ein Teilbereich des Reverse Engineering (siehe Infobox).

### Die Lebensdauer eines Geräts berechnen

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, können aus bekannten Hardwareeigenschaften und den Ausgaben eines Geräts einige Rückschlüsse auf dessen Funktionsweise gezogen werden. Darüber hinaus lässt sich aus den Strommessungen die Lebensdauer des Geräts bestimmen. Im Folgenden geht es zunächst um einige theoretische Grundlagen, anhand derer die Lebensdauer des Helligkeitssensors (ELV-LW-Base plus ELV-AM-TH1) berechnet wird.

Der Stromverlauf kann für die Berechnung der Lebensdauer in ein zyklisches Muster, bestehend aus Messung, Datenübertragung und Energiesparmodus, eingeteilt werden. Um nun die Lebensdauer in Jahren zu bestimmen, kann zunächst der durchschnittliche Strom je Ereignis und Tag mithilfe der folgenden Formel berechnet werden:

In Gleichung 2 können die Werte für den Strom  $I$  des

$$I_{\text{avg}}(n) = \frac{I * t * n}{86400 \text{ s}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Ereignisses und die Dauer  $t$  direkt aus der Strommessung abgelesen werden. Die Anzahl der Messungen  $m$  ergibt sich aus dem Messintervall bezogen auf einen Tag wie folgt:

Nach der Bestimmung der durchschnittlichen Strö-

$$M = \frac{86400 \text{ s}}{\text{Messintervall in s}} \quad (\text{Gleichung 3})$$

me für alle Ereignisse der Strommessung können diese addiert werden, um den gesamten mittleren Strom des Geräts zu bestimmen:

Abschließend kann die Lebensdauer in Jahren mit-

$$I_{\text{ges}} = \sum_{n=0}^m I_{\text{avg}}(n) \quad (\text{Gleichung 4})$$

hilfe einer definierten Batteriekapazität und der folgenden Formel bestimmt werden:

Als Energiequelle für den beschriebenen Beleuch-

$$T_L = \frac{C_{\text{Primärzelle}}}{I_{\text{ges}}} * \frac{1}{24 * 365} \quad (\text{Gleichung 5})$$

Info

### Reverse Engineering

Der Prozess des „Reverse Engineerings“ stammt ursprünglich aus dem Maschinenbau. Ziel ist es, durch die Analyse der Bauteile den Aufbau, die Funktionsweise und die Zusammenhänge eines fremden Produkts zu erkennen, um so eigene Produkte zu optimieren [13], [14].

tungsstärkesensor kann z. B. das ELV Powermodul LR03 [15] dienen. Die dort enthaltene Primärzelle verfügt über eine Kapazität von 1300 mAh. Bei einer Selbstentladung von 1 % pro Jahr sowie einem Sendeintervall des Messwerts alle 30 s ergibt sich der mittlere Strom wie in [Tabelle 1](#).

Durch Einsetzen des mittleren Stroms in Gleichung 4 ergibt sich eine theoretische Lebensdauer von 0,75 Jahren. Zur Verlängerung der Laufzeit könnte das Sendeintervall auf 5 min erhöht werden, was zu einer Reduktion der Messungen, Datenübertragungen und Empfangsfenster um Faktor 10 führen würde (280 Messungen + Datenübertragungen pro Tag). Auf diese Weise verlängert sich die Laufzeit bei einem mittleren Strom von 0,023 mA auf rund 6,39 Jahre.

### Fazit

Im zweiten Teil des Artikels zum Thema Sourcemeter wurden zunächst die potenziellen Einflussfaktoren und Fehlerquellen von Strommessungen ergründet. Nach der Beschreibung des Messaufbaus und der Durchführung der Strommessungen lieferte vor allem die Analyse der gemessenen Ströme und die Berechnung der Lebensdauer einen interessanten Einblick in das Innenleben und die Funktionsweise der Geräte.

Zusammenfassend stellen Sourcemeter aus Entwicklersicht ein unverzichtbares Tool während der Geräteentwicklung dar, da sie die Erkennung von Hard- und Softwarefehlern unterstützen sowie die Optimierung von Schaltungsdesigns und Algorithmen ermöglichen. Intuitiv zu bedienende Tools wie das beschriebene Nordic Power Profiler Kit 2 erleichtern auch Elektronikenthusiasten die Durchführung und Analyse von Strommessungen eigener Schaltungen.

ELV

### Berechnung der Lebensdauer des Beleuchtungsstärkesensors

Ereignis	I [mA]	T [s]	Anzahl Messungen/Tag (m)	I <sub>avg</sub> [mA]
Messung der Beleuchtungsstärke	3,94	0,8790	2880	0,115
LoRaWAN® TX (SF7)	29,8	0,0600	2880	0,060
LoRaWAN® RX	5	0,0500	5760	0,017
Energiesparmodus	0,0031	84407,680	1	0,0030
Selbstentladung	0,0029	86400	1	0,0029
<b>Gesamt</b>				<b>0,198</b>

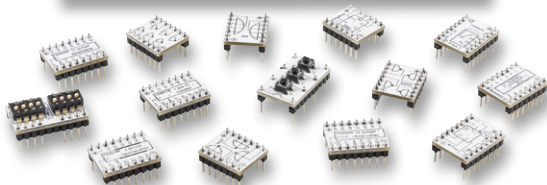
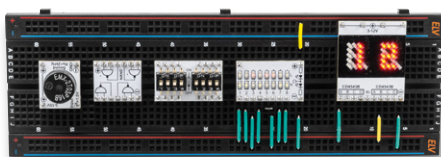
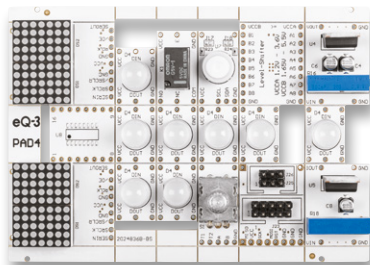
Tabelle 1

## i Weitere Infos

- [1] ELV-LW-Base Experimentierplattform für LoRaWAN® ELV-BM-TRX1: Artikel-Nr. 156514
- [2] ELV-LUX1 Applikationsmodul Luxmeter 1 ELV-AM-LX1: Artikel-Nr. 158467
- [3] Homematic IP Smart Home Präsenzmelder für den Innenbetrieb HmIP-SPI – innen: Artikel-Nr. 150587
- [4] Ohmsches Gesetz und Kennlinien:  
<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/ohmsches-gesetz-kennlinien/grundwissen/spezifischer-widerstand>
- [5] Elektroinstallation, die Kabelwahl: <https://profipatch.com/blog/elektroinstallation-kabel-auswahl/>
- [6] Download der Software nRF Connect for Desktop:  
<https://www.nordicsemi.com/Products/Development-tools/nRF-Connect-for-Desktop/Download#infotabs>
- [7] ELV Steckplatine/Breadboard mit 400 Kontakten, schwarze ELV Version: Artikel-Nr. 251467
- [8] ELV Bausatz Batterie-Dummy-Set BD-AA, 4x Mignon: Artikel-Nr. 153809
- [9] The Things Stack Konsole: <https://eu1.cloud.thethings.network/console/>
- [10] Datenblatt STM32WLE5xx Microcontroller: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32wle5c8.pdf>
- [11] Miskowicz M. Send-On-Delta Concept:  
An Event-Based Data Reporting Strategy. Sensors (Basel). 2006 Jan 20;6(1):49–63. PMID: PMC3865911.
- [12] Homematic IP Smart Home Schalt-Mess-Steckdose HmIP-PSM-2: Artikel-Nr. 157337
- [13] Reverse Engineering – vom Produkt zur Konstruktionszeichnung, vom Quellcode zur Anforderung:  
<https://t2informatik.de/wissen-kompakt/reverse-engineering/>
- [14] Was ist Reverse Engineering?: <https://www.adito.de/knowhow/blog/reverse-engineering>
- [15] ELV Powermodul LR03 ELV-PM-LR03 für 1x Micro-Zelle (AAA): Artikel-Nr. 158382

Alle Infos finden Sie auch online unter: [de.elv.com/elvjournal-links](https://de.elv.com/elvjournal-links)

## EXPERIMENTIEREN für Profis



**Prototypenadapter (PAD)** sind ein praktisches Hilfsmittel zum professionellen Experimentieren auf dem Breadboard. Denn viele elektronische und mechanische Bauteile sind nicht Breadboard-kompatibel – die Anschlussdrähte sind zu dünn, zu kurz, zu lang, zu flexibel, nicht im Rastermaß oder haben die falsche Ausrichtung.

Prototypenadapter lösen dieses Problem. Denn hier sind die Bauteile jeweils auf einer kleinen Platine untergebracht, die wiederum über Stiftleisten verfügt, die in die Buchsenleisten der Steckboards passen.

Die aufgedruckte Anschlussbelegung der Bauteile ist ein zusätzliches Plus bei den Prototypenadaptern. Um kompliziertere Bauteile nutzen zu können, ist in der Regel ein Anschlussschema erforderlich, z. B. aus einem Datenblatt mit entsprechendem Schaltbild. Bei der Verwendung eines Prototypenadapters ist die Pinbelegung hingegen auf der Platinoberfläche aufgedruckt. Das erleichtert das Arbeiten sowohl mit komplexen als auch einfachen Bauteilen.

Lesen Sie mehr über unsere Prototypenadapter und das Zubehör zum professionellen Experimentieren unter [de.elv.com/experimentieren-fuer-profis](https://de.elv.com/experimentieren-fuer-profis) oder scannen Sie den nebenstehenden QR-Code.

