

Beugung und Interferenz

Grundwissen

Doppelspalt

Das Wichtigste auf einen Blick

- Das Schirmbild hinter einem Doppelspalt zeigt Beugungs- und Interferenzerscheinungen.
- Die Lage der Maxima und Minima wird u.a. vom Spaltabstand d und der Wellenlänge λ beeinflusst.
- Es gibt Bedingungen für konstruktive und destruktive Interferenz.



Prinzipieller Aufbau des Doppelspaltexperiments

Zur Darstellung des Beugungs- und Interferenzbildes eines Doppelspalts benutzt man üblicherweise einen wie in **Abb. 1** dargestellten Aufbau. Hat man keinen Laser als kohärente Lichtquelle oder möchte man die Interferenz mit weißem Licht zeigen, so nutzt man eine Anordnung aus Kondensator, falls benötigt einem Farbfiler und einem Spalt, um kohärentes Licht zu erzeugen. Zur Erzeugung eines scharfen Bildes kann auch noch eine Abbildungslinse hinter dem Spalt verwendet werden.

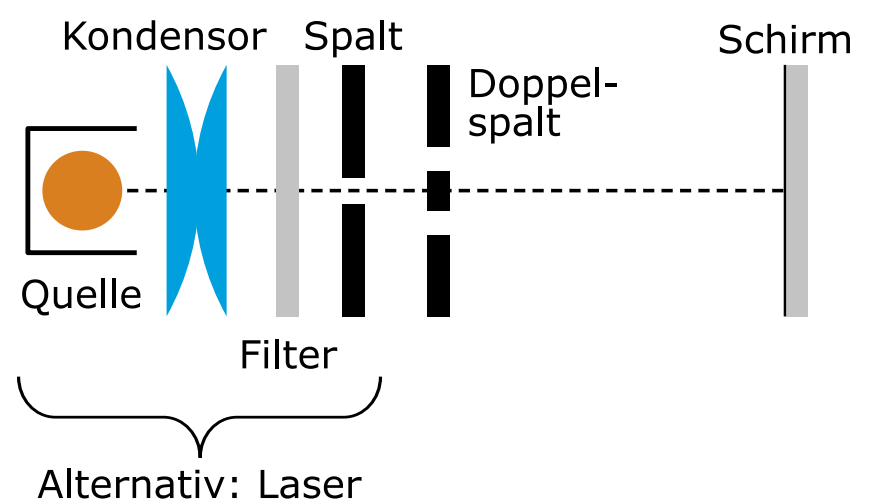
Beobachtung auf dem Schirm

Die folgende Simulation zeigt dir das Bild, das auf einem kreisrunden Schirm entsteht, der um den Doppelspalt herum verläuft. Das Bild auf dem ebenen Schirm sieht aber ganz ähnlich aus.

Das Bild ist wesentlich breiter als das geometrische Schattenbild der beiden

Spalte, da das Licht an den beiden Spalten gebeugt wird. Auch sind helle und dunkle Stellen im Bild erkennbar, da das Licht, das von den beiden Spalten ausgeht, interferiert. Wir sprechen deshalb oft auch vom Beugungs- und Interferenzbild hinter dem Doppelspalt.

Du siehst auf dem Schirm in der Mitte des Bildes einen sehr hellen Streifen. Diesen Streifen, genauer dessen hellste Stelle ganz in der Mitte, bezeichnen wir als das **0. Maximum**. Rechts und links symmetrisch um dieses **0. Maximum** herum siehst du weitere helle Streifen, die nach außen hin aber immer schwächer werden. Wir bezeichnen diese Streifen, genauer wieder deren hellste Stellen, von innen nach außen als **1., 2., 3., ... k. Maximum**. Zwischen den einzelnen Maxima befinden sich schmale, dunklere Bereiche. Deren dunkelste Stellen bezeichnen wir von innen nach außen als **1., 2., 3., ... k. Minimum**.



© Joachim Herz Stiftung

Abb. 1 Prinzipieller Aufbau des Doppelspaltexperiments mit Lichtquelle, Doppelspalt und Schirm

In der Simulation kannst du den **Abstand d der beiden Spaltmitten**, die **Breite b der einzelnen Spalte** und die Wellenlänge λ des Lichts, das auf den Doppelspalt trifft, verändern und dabei die Auswirkungen auf das Bild hinter dem Doppelspalt beobachten.

Doppelspalt

$N = 2$

Spaltabstand

$d = 3000\text{nm}$

Spaltbreite

$b = 500\text{nm}$

Wellenlänge

$\lambda = 580\text{nm}$

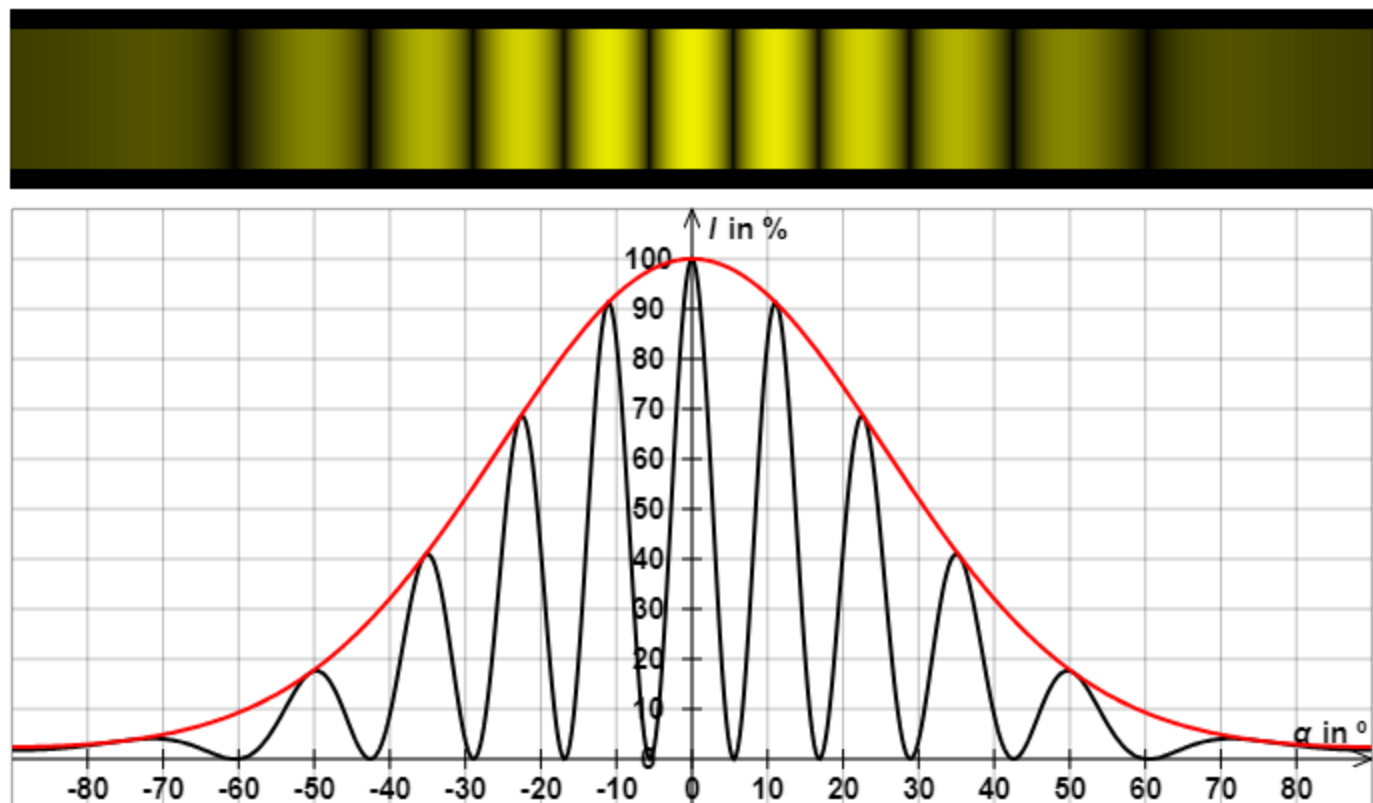


Abb. 2 Winkelabhängige Intensitätsverteilung hinter einem Doppelspalt sowohl als optisches Bild als auch als Diagramm. Der rote Graph zeigt die durch die endliche Ausdehnung der Einzelspalte bedingte Einhüllende.

Herleitung von Formeln zur Berechnung von Wellenlängen mit Doppelspalten

Wir leiten jetzt eine Formel her, die uns einen geometrischen Zusammenhang zwischen den Abmessungen des Versuchsaufbaus, dem Schirmbild und der Wellenlänge des einfallenden Lichts liefert.

Bei der Herleitung werden zwei Näherungen gemacht (vgl. Abb. 3):

- Wir vernachlässigen die Breite der beiden Spalte und gehen davon aus, dass das Licht an den Punkten S_1 und S_2 die Spalte verlässt.
- Wir gehen davon aus, dass der Schirm sehr weit vom Doppelspalt entfernt ist und das Licht, das von den Punkten S_1 und S_2 zum Punkt A fällt, parallel verläuft.

1. Schritt: Betrachtung für einen beliebigen Punkt A auf dem Schirm

Die entscheidenden Größen findest du in Abb. 3. Wir nutzen folgende Bezeichnungen:

d : Abstand der Mittelpunkte der beiden Spalte

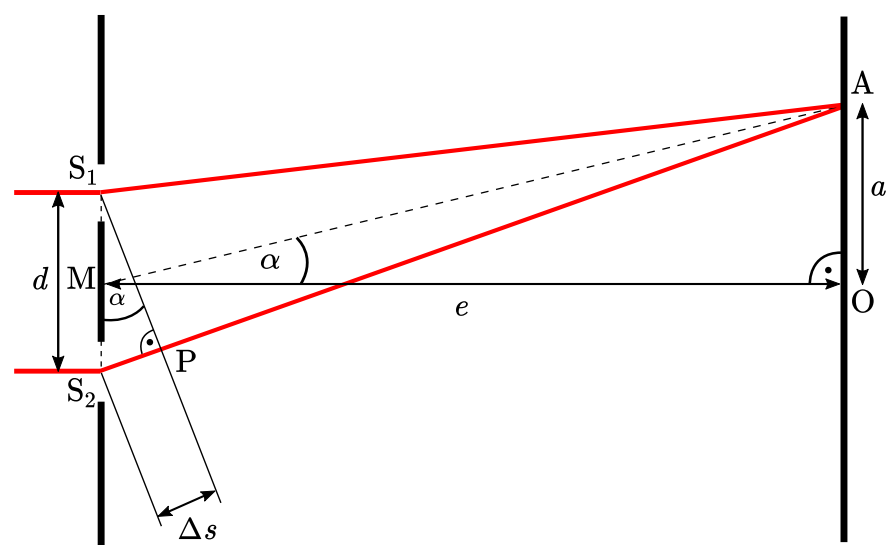
e : Abstand zwischen Doppelspalt und Schirm

a : Abstand eines Punktes A auf dem Schirm zum Punkt O , an dem sich das Maximum befindet

α : Weite des Winkels $\angle O; M; A$

Wir betrachten zuerst das große Dreieck $\triangle M; O; A$. Dieses Dreieck ist rechtwinklig, die Hypotenuse \overline{MA} hat nach dem Satz des PYTHAGORAS die Länge $\sqrt{e^2 + a^2}$. In diesem rechtwinkligen Dreieck gilt der Sinussatz für rechtwinklige Dreiecke

$$\sin(\alpha) = \frac{a}{\sqrt{e^2 + a^2}} \quad (1)$$



© Joachim Herz Stiftung

Abb. 3 Skizze zur Herleitung der Formeln (1) bis (3)

Wir betrachten weiter das große Dreieck $\triangle S_1; S_2; A$. Es zeigt die Wege des Lichts von den beiden Punkten S_1 und S_2 zum Punkt A . Die Strecken $\overline{S_1A}$ und $\overline{S_2A}$ sind nun unterschiedlich lang, ihren Längenunterschied bezeichnen wir mit Δs und markieren an der richtigen Stelle den Punkt P . Dadurch entsteht das kleine Dreieck $\triangle S_1; S_2; P$.

Mit der Näherung, dass die beiden Strecken $\overline{S_1A}$ und $\overline{S_2A}$ parallel verlaufen, ist der Winkel $\angle S_1; P; S_2$ dann ein rechter Winkel und das Dreieck $\triangle S_1; S_2; P$ ist rechtwinklig. Einfache Überlegungen in der gesamten Skizze in Abb. 3, die wir uns hier sparen, zeigen, dass die Weite des Winkels $\angle S_2; S_1; P$ ebenfalls α beträgt.

Wir betrachten schließlich das kleine rechtwinklige Dreieck $\triangle S_1; S_2; P$. In diesem gilt ebenfalls der Sinussatz für rechtwinklige Dreiecke

$$\sin(\alpha) = \frac{\Delta s}{d} \quad (2)$$

Setzen wir nun die rechten Seiten der Gleichungen (1) und (2) gleich, so erhalten wir die Gleichung

$$\frac{\Delta s}{d} = \frac{a}{\sqrt{e^2 + a^2}} \quad (3)$$

2. Schritt: Betrachtung für Maxima auf dem Schirm

Wenn am Punkt **A** ein **k. Maximum** liegt, bezeichnen wir den Punkt mit A_k und die Streckenlänge a aus **Abb. 3** mit a_k . Die Streckenlänge vom **0. Maximum** zum **1. Maximum** am Punkt A_1 wäre dann z.B. a_1 u.s.w.

Ein **Maximum** am Punkt A_k entsteht durch **konstruktive** Interferenz des Lichts, das von den beiden Punkten S_1 und S_2 ausgeht. Diese konstruktive Interferenz kann nur dann vorliegen, wenn die Streckenlänge Δs ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist, d.h. für

$$\Delta s = k \cdot \lambda ; k \in \{1 ; 2 ; 3 ; \dots\}$$

Setzen wir dies in Gleichung (3) ein, so erhalten wir

$$\frac{k \cdot \lambda}{d} = \frac{a_k}{\sqrt{e^2 + a_k^2}} ; k \in \{1 ; 2 ; 3 ; \dots\} \quad (4^*)$$

Lösen wir diese Gleichung schließlich nach λ auf, so erhalten wir die wichtige Formel (4) zur Bestimmung von Wellenlängen mit dem Doppelspalt anhand der Maxima.

Bestimmung von Wellenlängen mit dem Doppelspalt anhand der Maxima

Mit den Bezeichnungen

λ : Wellenlänge des einfallenden Lichts

d : Abstand der Mittelpunkte der beiden Spalte

e : Abstand zwischen Doppelspalt und Schirm

k : Ordnung des betrachteten **Maximums**

a_k : Abstand des **k. Maximums** zum **0. Maximum**

und für "große" Abstände e zwischen Doppelspalt und Schirm gilt

$$\lambda = \frac{d \cdot a_k}{k \cdot \sqrt{e^2 + a_k^2}} ; k \in \{1 ; 2 ; 3 ; \dots\} \quad (4)$$

Gleichung (4) ermöglicht uns die Bestimmung der Wellenlänge von Licht. Wenn du das Licht auf einen Doppelspalt mit bekanntem Spaltmittenabstand d wirfst und die Größen e , a_k und k misst, kannst du mit Gleichung (4) die Wellenlänge λ des Lichts bestimmen.

Hinweis: In einigen Büchern und Erklärvideos wird statt Gleichung (4) die Gleichung $\lambda = \frac{d}{k} \cdot \sin(\arctan(\frac{a_k}{e}))$; $k \in \{1 ; 2 ; 3 ; \dots\}$ hergeleitet. Die beiden Gleichungen sind äquivalent und liefern die gleichen Ergebnisse.

Näherungsformel für schmale Schirmbilder

Falls das Schirmbild nur sehr schmal ist, d.h. die Abstände der **k. Maxima** zum **0. Maximum** sehr viel kleiner als der Abstand e zwischen Doppelspalt und Schirm sind, kann man in Gleichung (4) im Nenner der rechten Seite den Term $\sqrt{e^2 + a_k^2}$ wegen $\sqrt{e^2 + a_k^2} \approx \sqrt{e^2} = e$ durch die Größe e ersetzen. Man erhält so eine recht gute Näherungsformel, die auch in vielen Schulbüchern und Formelsammlungen zu finden ist.

Bestimmung von Wellenlängen mit dem Doppelspalt anhand der Maxima (Näherungsformel)

Mit den Bezeichnungen

λ : Wellenlänge des einfallenden Lichts

d : Abstand der Mittelpunkte der beiden Spalte

e : Abstand zwischen Doppelspalt und Schirm

k : Ordnung des betrachteten **Maximums**

a_k : Abstand des **k. Maximums** zum **0. Maximum**

und für "große" Abstände e zwischen Doppelspalt und Schirm und "kleinen" Abständen a_k der **k. Maxima** zum **0. Maximum** gilt

$$\lambda = \frac{d \cdot a_k}{k \cdot e} ; k \in \{1 ; 2 ; 3 ; \dots\} \quad (5)$$

[Alle ausklappen](#)

[Alle zusammenklappen](#)

Betrachtung für Minima auf dem Schirm



Van Atta Reflector Array

The Van Atta reflector array is realized in a flat design array in which the elements are interconnected to re-radiate received energy back in the direction of arrival. This array reflects over a wider angle than the typical corner reflector but is sensitive only to incident waves in the frequency band. It consists of several antenna elements (for example dipoles or patch antennas), which are symmetrically connected on the backside with lines of the same length. This ensures that the antenna element which first receives the incident wave then transmits the last one signal received by the opposite antenna element. As with a Phased Array antenna, this causes the re-radiated beam to be tilted in the direction of the incident wave.

The radar cross section of a passive Van Atta array is:

$$\sigma \approx \frac{\pi n^2 \lambda^2}{4} \tag{1}$$

σ = radar cross section
 n = number of antenna elements
 λ = wavelength of the radar

The bandwidth is limited to the bandwidth of the antenna elements used. Circular polarization is possible if the antenna elements support it. However, patch antennas then require double the number of interconnect lines, which becomes possible only with multilayer printed circuit boards. Whole radiator groups can also be used as antenna elements. An areal distribution with centrally symmetrical cabling is also possible (see Fig. 2). This steers the incoming wave not only in the azimuth but also in the elevation angle. Van Atta Arrays can also be used actively by inserting amplifiers into the cable connections. For this purpose, either the directions of the cables used bidirectionally in the passive variant must be split with circulators or separate antenna Arrays must be used. Active Van Atta Arrays can be used for stealth and deception. Additional mixers in the amplifiers can also be used to modulate the returned signal and, for example, to fool the scanning radar into thinking it is flying at a very high radial speed or in the direction away from the radar. Additional phase shifters may also be used, which then make it possible to re-radiate a signal with a phase opposite to the passively reflected echo signals and thus reduce the effective backscatter area of the object to be camouflaged.

Lester Clare Van Atta (April 18, 1905 – March 16, 1994) technical Director of the Hughes Research Laboratories was the inventor and name giver of this retroreflector. He applied the retroreflector for a patent in 1955.

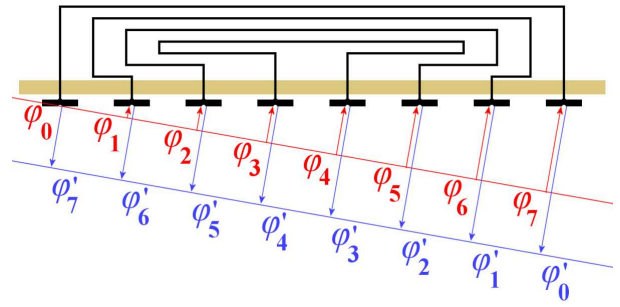


Figure 1: Passive linear Van Atta Array with incident wave (red) and back-radiated wave (blue)

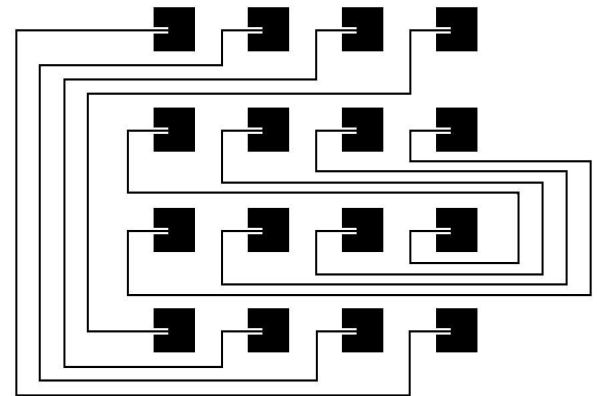


Figure 2: Principle representation of a four-by-four Van Atta array of sixteen patches (the line lengths have not been adjusted).

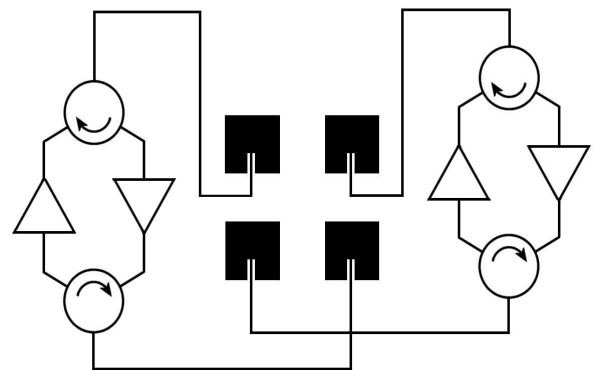


Figure 3: Active Van Atta array with 4 antenna elements

GRATIS
STARTER-KIT!

DEIN START IN DAS AKKUSYSTEM VON EINHELL.
ERHALTE EIN GRATIS 2,5 AH STARTER-KIT BEIM KAUF
EINES POWER X-CHANGE AKTIONSPRODUKTS!



ARDUINO ®, Board MKR Zero, ABX00012, (I2S Bus & SD f. Sound, Musik & digitale Audiodaten)

Bestellnr.: 811357 | EAN: 7630049200470

Top-Features:

- Arduino® Board MKR Zero ABX00012
- Integrierter SD-Anschluss mit speziellen SPI-Schnittstellen
- I2S Bus & SD für Sound, Musik & digitale Audiodaten
- Arduino Sound Library & I2S-Bibliothek
- 32-Bit ARM Cortex® M0+ Kern

Sofort lieferbar, Lieferzeit 2-4 Werktage

Weniger als 5 Artikel auf Lager!

29,95 €

inkl. MwSt. zzgl. Versand

Bezahlen Sie nach 30

Tagen mit

PayPal.

Mehr erfahren



ARDUINO ®, Board MKR Zero, ABX00012, (I2S Bus & SD f. Sound, Musik & digitale Audiodaten)

I2S Bus & SD!

MKR ZERO hat einen integrierten SD-Anschluss mit speziellen SPI-Schnittstellen (SPI1), mit dem Sie ohne zusätzliche Hardware mit Musik Files herumspielen können! Für diejenigen, die es nicht wissen, ist I2S (Inter-IC Sound) ein elektrischer serieller Bus-Schnittstellenstandard für den Anschluss digitaler Audiogeräte.

Es sind zwei Bibliotheken freigegeben:

- Arduino Sound Library - eine einfache Möglichkeit, Audiodaten mit Arduino auf SAM D21-basierten Boards abzuspielen und zu analysieren.
- I2S-Bibliothek - zur Verwendung des I2S-Protokolls auf SAMD21-basierten Boards.

Arduino® MKR Zero

Der MKR ZERO bietet Ihnen die Leistung eines Arduino Zero im kleineren Format, das durch den MKR-Formfaktor festgelegt ist. Das MKR ZERO Board ist ein großartiges Lehrmittel, um mehr über die Entwicklung von 32-Bit-Anwendungen zu erfahren. Es verfügt über einen integrierten SD-Anschluss mit speziellen SPI-Schnittstellen (SPI1), mit dem Sie ohne zusätzliche Hardware mit MUSIC-Dateien spielen können! Das Board wird von Atmels SAMD21

MCU mit einem 32-Bit ARM Cortex® M0+ Kern betrieben.

Technische Daten:

- SRAM: 32 kB
- EPROM: nein
- Taktrate: 32,768 kHz (RTC), 48 MHz
- LED_BUILTIN: 32
- Flash-Speicher: 256 kB
- Flash-Speicher für Bootloader: 8 kB
- Mikrocontroller: SAMD21 Cortex-M0+ 32bit ARM MCU mit niedriger Leistung
- Bordnetzteil (USB/VIN): 5V
- Gleichstrom für 3,3V Pin: 600mA
- Gleichstrom für 5V Pin: 600mA
- Betriebsspannung des Stromkreises: 3,3V
- Digitale I/O-Pins: 22
- Analogeingangsstifte: 7 (ADC 8/10/12 Bit)
- Analoge Ausgangsstifte: 1 (DAC 10 Bit)
- Externe Interrupts: 8 (0, 1, 4, 5, 6, 7, 8, A1 -oder 16-, A2 - oder 17)
- Gleichstrom pro I/O Pin: 7 mA

Alle Preise in Euro und inkl. der gesetzlichen MwSt. zzgl. Versandkosten. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. UVP = Unverbindliche Preisempfehlung des Herstellers.

*Nur einmalig auf Online-Bestellungen mit ausgewählten Einhell-Artikeln innerhalb Deutschlands und Österreichs bis 10.10.2023 gültig, zzgl. eventueller Nachnahme-/Zustellgebühren. Nicht mit anderen Gutscheinen kombinierbar. Keine Barauszahlung.

(c) 2023 Pollin Electronic GmbH | Max-Pollin-Straße 1 | D-85104 Pförring | Tel. +49 (0) 84
+49 (0) 8403 920-123 | Impressum

