

Inhaltsverzeichnis

1	Verhalten der Feuerrate im burstenden Zustand	1
2	Verhalten der mittleren Feuerrate	4
3	SNR	7

1 Verhalten der Feuerrate im burstenden Zustand

Es liegt die Vermutung nahe, dass eine Nervenzelle, die einem hohen Bias-Strom unterliegt, schneller feuert als eine Nervenzelle mit geringem Bias-Strom. Dies wird im Folgenden untersucht. Für den Bereich von 0 bis $4 \mu A/cm^2$ findet sich:

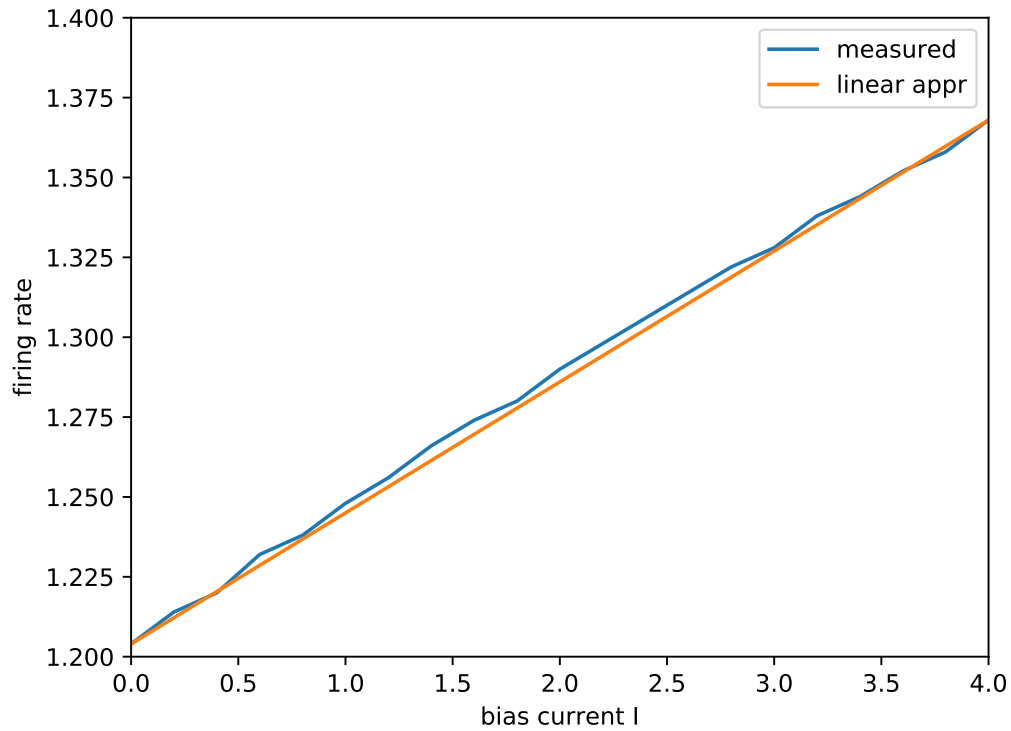


Abbildung 1: Verhalten der Feuerrate in Abhängigkeit vom Bias

Die Feuerrate weist in dem für uns interessanten Bereich stückweise lineares Verhalten auf. Aus diesem Grund wird diese im Folgenden linear angenähert.

Wenn man jedoch einen größeren Bereich untersucht, ist zu sehen, dass der Anstieg der Kurve monoton fällt:

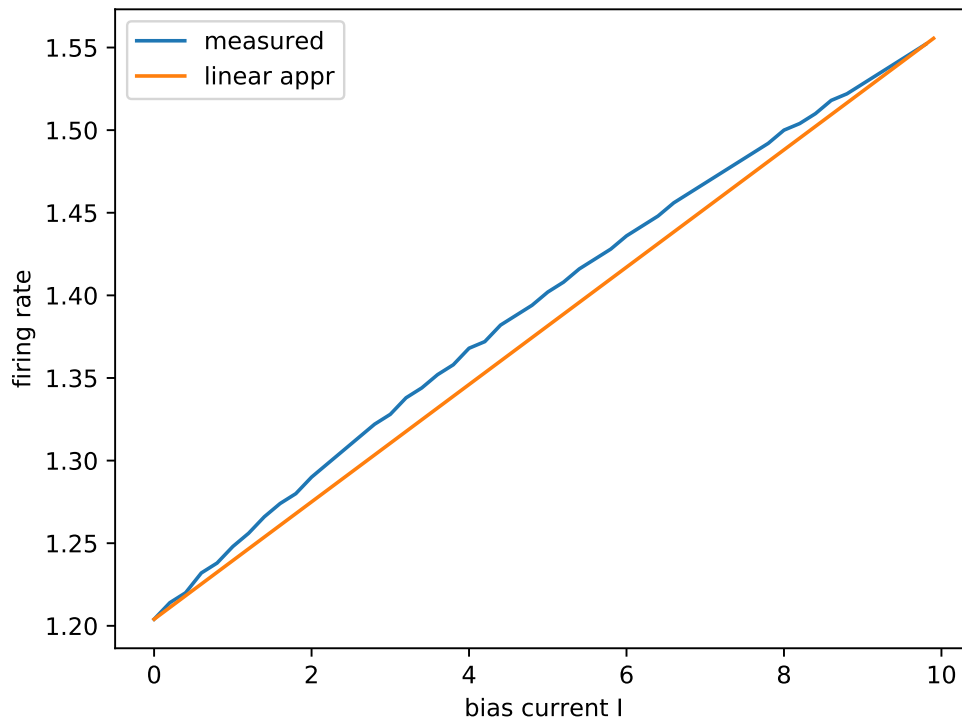


Abbildung 2: Verhalten der Feuerrate in Abhängigkeit vom Bias zwischen 0 und 10 $\mu A/cm^2$

Diese Charakteristik muss nun in allen Rechnungen berücksichtigt werden, die von der Feuerrate abhängen.

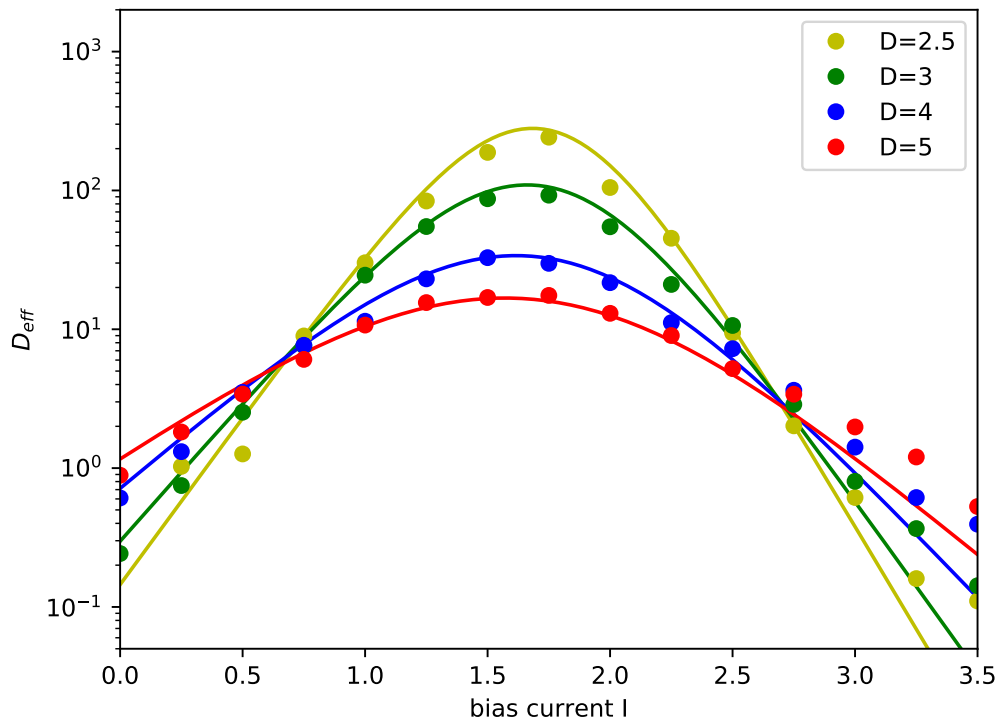


Abbildung 3: Vergleich D_{eff} mit Zwei-Zustands-Modell mit fester Feuerrate

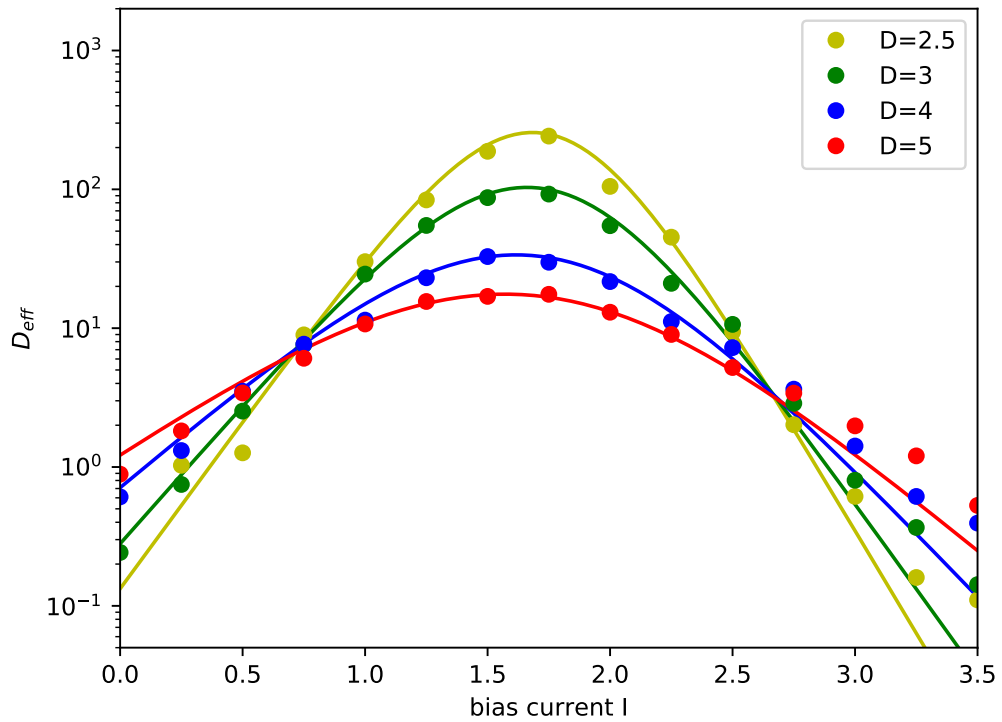


Abbildung 4: Vergleich D_{eff} mit Zwei-Zustands-Modell mit variabler Feuerrate

Da sich der Diffusionskoeffizient im betrachteten Bereich um mehrere Größenordnungen verändert, ruft dies hier allerdings nur einen kaum sichtbaren Unterschied hervor.

2 Verhalten der mittleren Feuerrate

Wenn das Neuron einem schwachen Signal unterliegt, ist das Signal-zu-Rausch-Verhältnis proportional zur quadrierten Ableitung der mittleren Feuerrate:

$$SNR \propto \frac{|dr/dI|^2}{D_{eff}}$$

Um die Ableitung der mittleren Feuerrate zu berechnen, wäre es hilfreich, einen analytischen Ausdruck für diese zu finden.

In der Zwei-Zustands-Theorie lässt sich die mittlere Feuerrate aus der Feuerrate im burstenden Zustand (die im vorherigen Abschnitt betrachtet wurde) sowie den Übergangsraten zwischen den beiden Zuständen (burstend und ruhend) berechnen:

$$\langle v \rangle = v_+ \frac{r_-}{r_+ + r_-}$$

wobei

$$r_{\pm} = r_{0,\pm} e^{-\frac{\Delta U_{\pm}}{Q}}$$

$$v_+ = a_v * I + b_v$$

Die Ableitung kann nun bestimmt werden:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dI} &= v_+ \left(\frac{r'_-}{r_+ + r_-} - \frac{r_- (r'_+ + r'_-)}{(r_+ + r_-)^2} \right) + v'_+ \frac{r_-}{r_+ + r_-} \\ &= v_+ \left(\frac{r_+ r'_- - r_- r'_+}{(r_+ + r_-)^2} \right) + a_v \frac{r_-}{r_+ + r_-} \\ &= v_+ \left(\frac{r_+ r_- (a_+ - a_-)}{Q (r_+ + r_-)^2} \right) + a_v \frac{r_-}{r_+ + r_-} \end{aligned}$$

Aus mehreren Fits (zunächst mit den Messdaten und dann noch einmal mit den gewonnenen Fitparametern) bekommt man schließlich Werte für die Vorfaktoren und Parameter für die linear angenäherten Potentialbarrieren:

$$r_{0,\pm} = const$$

$$\Delta U_{\pm} = a_{\pm} \cdot I + b_{\pm}$$

Vergleicht man dieses Modell mit den tatsächlichen Feuerraten, ist ab einem Strom von $I \approx 2$ eine starke Diskrepanz zwischen Modell und Simulation erkennbar:

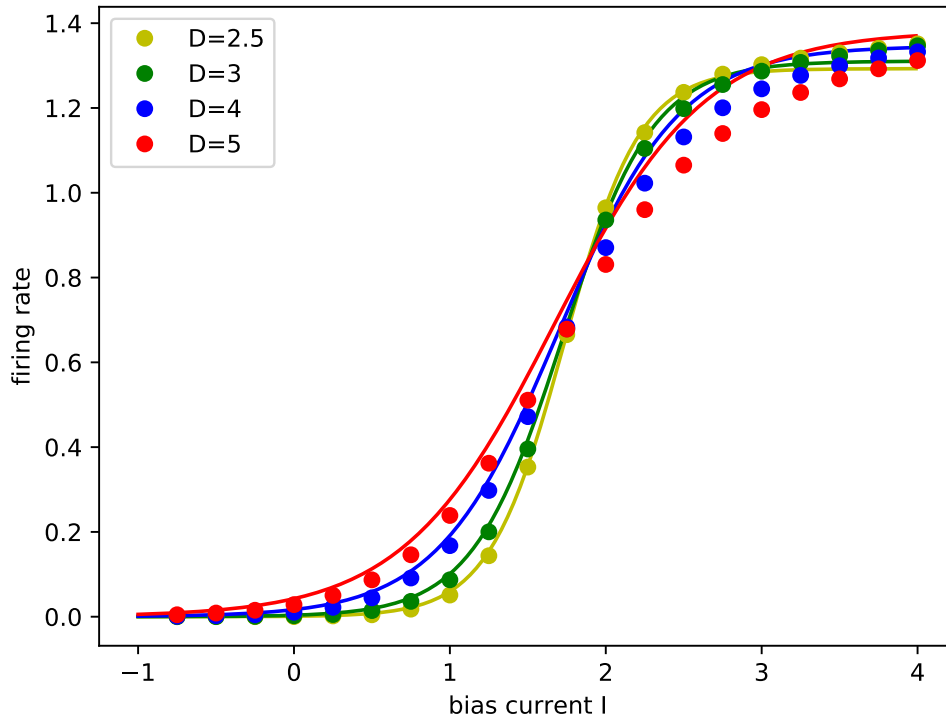


Abbildung 5: Vergleich der mittleren Feuerrate mit dem Zwei-Zustands-Modell

Wenn man den Simulationen hinreichend vertraut, liegt es nahe, lediglich die Simulationsdaten zu fitten, da das Zwei-Zustands-Modell nicht ideal zu sein scheint. Dabei muss allerdings das mathematische Modell etwas kondensiert werden, da:

$$\begin{aligned} \langle v \rangle &= v_+ \frac{r_-}{r_+ + r_-} = \frac{v_+}{1 + r_+/r_-} \\ &= \frac{v_+}{1 + r_{0,+}/r_{0,-} \exp(-\frac{\Delta U_+ - \Delta U_-}{Q})} \end{aligned}$$

Eine Verwendung des kompletten Modells führt also zu Overfitting, denn es bleiben nur die relativen Parameter $r_0 = r_{0,+}/r_{0,-}$, $a = a_+ - a_-$ und $b = b_+ - b_-$. Da die Parameter r_0 und b nicht voneinander unabhängig sind, muss einer von ihnen ebenfalls entfernt werden.

Mit diesem vereinfachten Modell können die Messwerte gut gefittet werden:

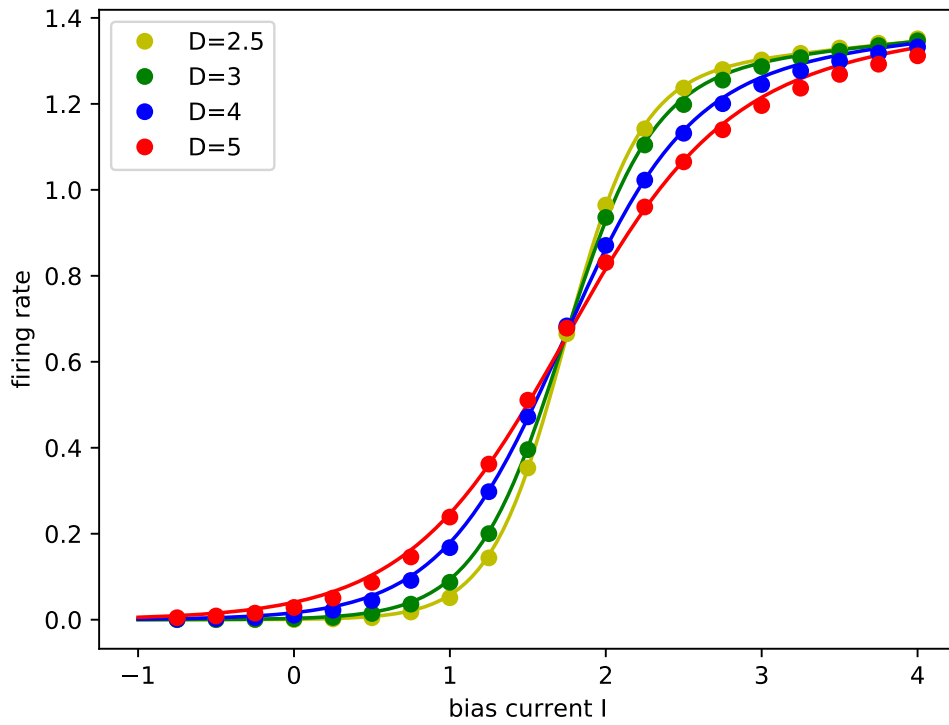


Abbildung 6: Fit der mittleren Feuerrate

Aus

$$r = \frac{v_+}{1 + r_0 \exp(-\frac{a \cdot I}{D})}$$

erhält man für die erste Ableitung:

$$r' = \frac{-v_+ \cdot r_0 \cdot a \exp(-\frac{a \cdot I}{D})}{D(1 + r_0 \exp(-\frac{a \cdot I}{D}))^2} + \frac{a_v}{1 + r_0 \exp(-\frac{a \cdot I}{D})}$$

3 SNR

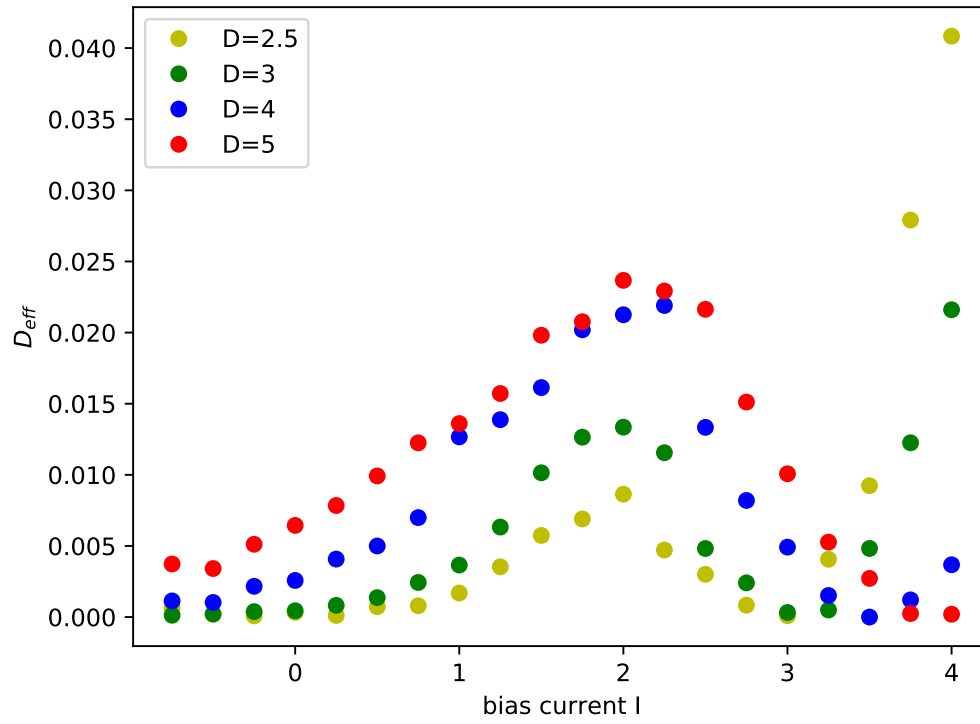


Abbildung 7: genäherte Ableitung und simuliertes D_{eff}

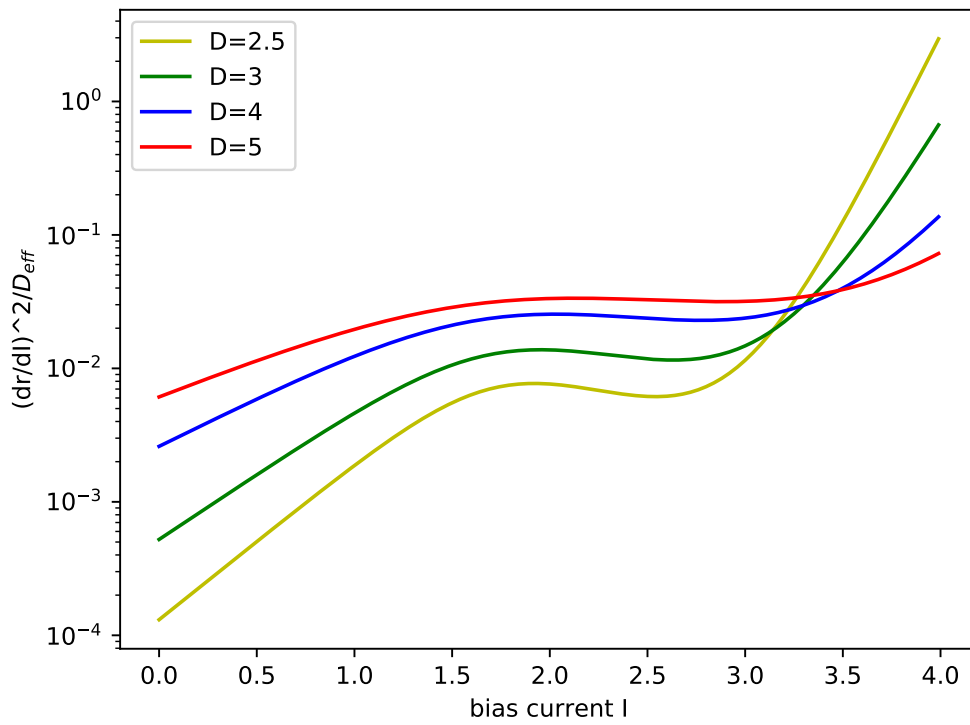


Abbildung 8: Zwei-Zustands-Modell

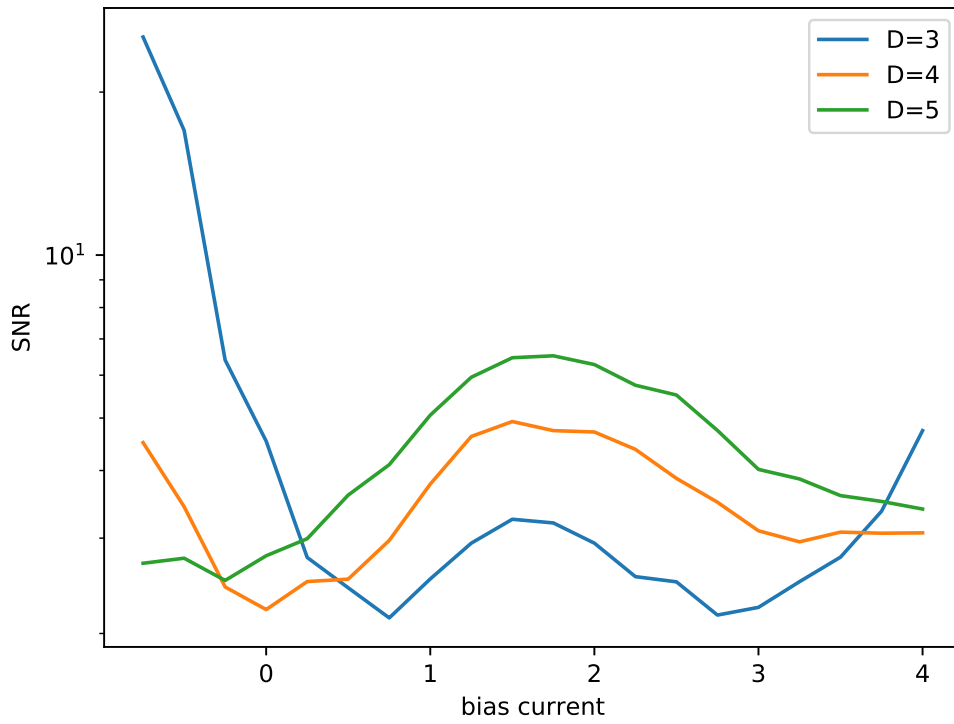


Abbildung 9: $(dr/dI)^2 / D_{eff}$ Simulation

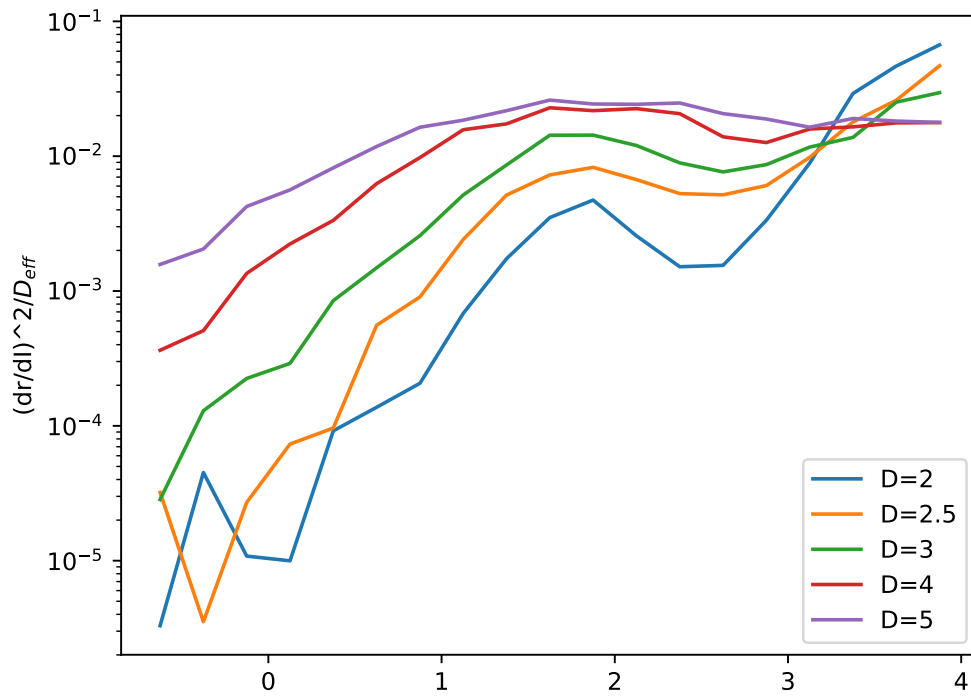


Abbildung 10: $(dr/dI)^2/D_{eff}$ Abschätzung: gemessene Ableitung und D_{eff}