# 1 Collatz-Problem

## 1.1 Ablauf der Zahlenfolge

Suche dir eine zufällige Zahl $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$

1. Wenn $n \bmod 2 = 0 \rightarrow n$ nimmt $\frac{n}{2}$ an
2. Wenn $n \bmod 2 = 1 \rightarrow n$ nimmt $3n + 1$ an
3. Vorgang wiederholen

## 1.2 Beispiele

$5 \rightarrow 16 \rightarrow 8 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow$ ... (ungerade Zahl mit den wenigsten Schritten)
$8 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow$ ...

## 1.3 Folgerung

Jede mögliche Zahl endet im Folgeschema $4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow$ ...
Aber: Nicht beweisbar

## 1.4 Statistiken

[Statistiken einfügen]

## 1.5 Collatz-Graph einer Funktion

$f : \mathbb{N} \mapsto \mathbb{N}$ bildet den Collatz-Graphen einer zahlentheoretischen Funktion ab.

### 1.5.1 Nachfolgerabbildung

Die einfachste dieser Funktionen ist die Nachfolgerabbildung

$$s : \mathbb{N} \mapsto \mathbb{N};\ s(n) = n + 1$$

# 2 Probleme mit 0

## 2.1 Teilen durch 0

### 2.1.1 Grenzwertbetrachtung

Durch die Definition einer Funktion $f(x) = \frac{n}{x}$ für eine beliebige Zahl $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$

$$\lim_{\substack{x \to 0 \\ x < 0}} \frac{n}{x} = -\infty$$

$$\lim_{\substack{x \to 0 \\ x > 0}} \frac{n}{x} = +\infty$$

$$\lim_{\substack{x \to 0 \\ x < 0}} \frac{n}{x} \neq \lim_{\substack{x \to 0 \\ x > 0}} \frac{n}{x}$$

$$-\infty \neq +\infty$$

$$\implies \frac{n}{0} = n.d.$$

## 2.2 0 als Potenzbasis mit 0 im Exponenten

### 2.2.1 Grenzwertbetrachtung

$$\lim_{\substack{x\to 0\\ x>0}} x^x = 1$$
$$\Longrightarrow 0^0 = 1$$

### 2.2.2 Reversibles potenzieren

$$5^3 = \frac{5^4}{5} = 5\cdot 5\cdot 5 = 125$$
$$5^2 = \frac{5^3}{5} = 5\cdot 5 = 25$$
$$5^1 = \frac{5^2}{5} = 5 = 5$$
$$5^0 = \frac{5}{5} = 1$$
$$0^0 = \frac{0}{0} = n.d.$$

# 3 Primzahlen

## 3.1 Definition

Für eine natürliche Zahl $N \in \mathbb{N} \setminus \{0\,;\,1\}$ gilt $N \in \mathbb{P}$, wenn für jede Zahl $n_j \in \mathbb{N} \setminus \{0\,;\,1\,;\,N\}$ gilt:

$$N \bmod n_j \neq 0$$

## 3.2 Erschließung/Errechnung

### 3.2.1 Mersennesche Zahlen

Für eine Zahl $N \in \mathbb{N}$ der Form

$$N = 2^n - 1;\ n \in \mathbb{N}$$

kann $N \in \mathbb{P}$ nur dann gelten, wenn $n \in \mathbb{P}$ gilt.

$\Longrightarrow$ Zahlen der Form

$$M_p := 2^p - 1;\ p \in \mathbb{P}$$

heißen $Mersennesche\,Zahlen$, die allerdings nicht zwingend Teil der Menge $\mathbb{P}$ sind.

### 3.2.2 Beispiele für Mersennesche Primzahlen

$$M_2 = 2^2 - 1 = 3$$
$$M_3 = 2^3 - 1 = 7$$
$$M_5 = 2^5 - 1 = 31$$
$$M_7 = 2^7 - 1 = 127$$

### 3.2.3 Beispiele für Mersennesche Nicht-Primzahlen

$$M_{11} = 2^{11} - 1 = 23\cdot 89 = 2047$$
$$M_{23} = 2^{23} - 1 = 47\cdot 178481 = 8388607$$

#### 3.2.4 Fermatsche Zahlen

Für eine Zahl $N \in \mathbb{N}$ der Form

$$N = 2^n + 1;\ n \in \mathbb{N}$$

kann $N \in \mathbb{P}$ nur gelten, wenn $n = 2^m;\ m \in \mathbb{N}$ gilt.
$\Longrightarrow$ Zahlen der Form

$$F_n := 2^{2^n} + 1$$

heißen $Fermatsche\,Zahlen$, die allerdings nicht zwingend Teil der Menge $\mathbb{P}$ sind.

#### 3.2.5 Beispiele für Fermatsche Primzahlen

$$\begin{aligned}
F_1 &= 2^{2^1} + 1 = 2^2 + 1 = 5 \\
F_2 &= 2^{2^2} + 1 = 2^4 + 1 = 17 \\
F_3 &= 2^{2^3} + 1 = 2^8 + 1 = 257 \\
F_4 &= 2^{2^4} + 1 = 2^{16} + 1 = 65537
\end{aligned}$$

#### 3.2.6 Beispiel für Fermatsche Nicht-Primzahlen

$$\begin{aligned}
F_5 &= 2^{32} + 1 = 641 \cdot 6700417 = 4294967297 \\
F_6 &= 2^{64} + 1 = 274177 \cdot 67280421310721 = 1,844674407 \cdot 10^{19}
\end{aligned}$$

# 4 Riemannsche Vermutung

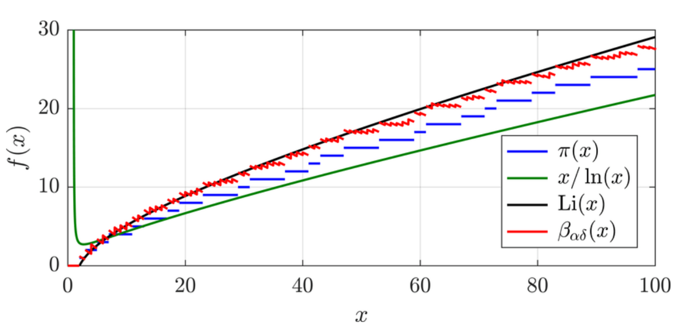
## 4.1 Pifunktion

Die Pifunktion $\pi(x)$ beschreibt für $x_n$ die Anzahl an Primzahlen, die Teil des Intervalls $[0;\ x_n]$ sind.

#### 4.1.1 Näherungen

$$\frac{x}{\ln(x)}$$

$$\mathrm{li}(x) = \int\limits_0^x \frac{\mathrm{d}\,t}{\ln t}$$




$\Longrightarrow$ Asymptotisch äquivalent

## 4.2 Primzetafunktion

## 4.3 Riemannsche Zetafunktion

Für eine Zahl $s \in \mathbb{C}; \mathrm{Re}(s) > 1$ gilt:

$$P(s) = \sum_{p \in \mathbb{P}} \frac{1}{p^s}$$
$$P(s) = \log(\zeta(s))$$

### 4.3.1 Eulersche Produktformel

Für alle $z \in \mathbb{C}$ mit $Re(z) > 1$ gilt

$$\zeta(z) = \prod_{p \in \mathbb{P}} \frac{1}{1 - \frac{1}{p^z}} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^z}$$

*Beweisidee* : Für eine feste Primzahl $p \in \mathbb{P}$ kann der Faktor in obigen Produkt in eine geometrische Reihe

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{p^s}} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{p^{nz}}$$

entwickelt werden. Wenn also $p_1, p_2, ...p_n$ die ersten $n$ Primzahlen sind, so ist

$$\begin{aligned}\prod_{k=1}^{n} \frac{1}{1 - \frac{1}{{p_k}^z}} &= \sum_{k_1=0}^{\infty} \frac{1}{{p_1}^{k_1 z}} \cdot \sum_{k_2=0}^{\infty} \frac{1}{{p_2}^{k_2 z}} \cdots \sum_{k_n=0}^{\infty} \frac{1}{{p_n}^{k_n z}} \\ &= \sum_{k_1=0}^{\infty} \cdots \sum_{k_n=0}^{\infty} \frac{1}{({p_1}^{k_1} \cdots {p_n}^{k_n})^z} \\ &= \cdots\end{aligned}$$

### 4.3.2 Zetafunktion für negative Werte

Für alle $z \in \mathbb{C}$ mit $\mathrm{Re}(z) < 0$ gilt

$$\zeta(1 - z) = \pi^{-z} \cdot 2^{1-z} \cdot \Gamma(z) \cdot \left(\frac{\pi z}{2}\right) \cdot \zeta(z)$$

Außerdem ist die Gammafunktion durch

$$\Gamma(z) = \lim_{n \to \infty} \frac{n! \cdot n^z}{\prod\limits_{k=0}^{\infty} (z + k)}$$

definiert.

### 4.3.3 Triviale Nullstellen

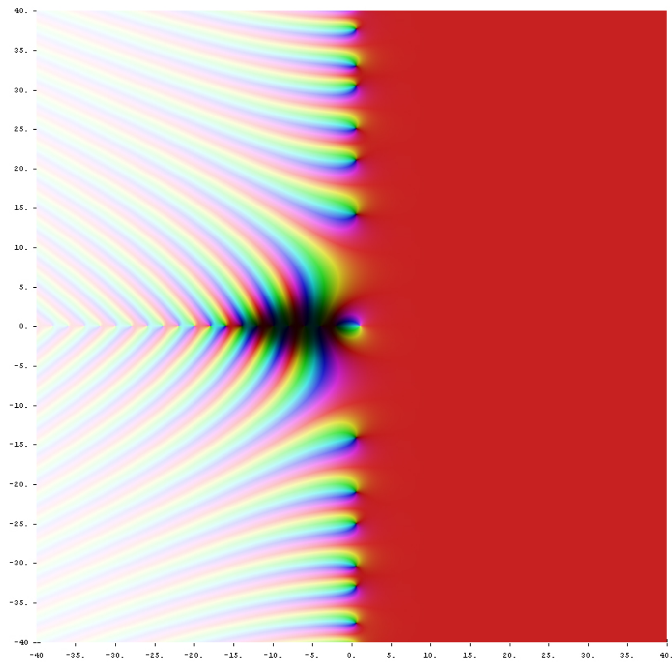
Triviale Nullstellen $N_j$ sind solche, für die $\mathrm{Re}(N_j) < 0$, $\mathrm{Im}(N_j) = 0$ und $N_j \bmod 2 = 0$ gilt.

### 4.3.4 Komplexe Nullstellen

Komplexe Nullstellen $N_j$ sind solche, für die $\mathrm{Re}(N_j) = \frac{1}{2}$ gilt.

### 4.3.5 Vermutung

*Es gibt keine Nullstellen anderer Art und alle nichttrivialen Nullstellen der Zetafunktion liegen auf einer Geraden parallel zur imaginären Achse.*
Aber: Nicht bewiesen


40.
35.
30.
25.
20.
15.
10.
5.
0.
-5.
-10.
-15.
-20.
-25.
-30.
-35.
-40
-40
-35.
-30.
-25.
-20.
-15.
-10.
-5.
0.
5.
10.
15.
20.
25.
30.
35.
40.