

## Verständnis Berechenbarkeitstheorie

Beantworten Sie kurz, präzise und mit Begründung folgende Fragen: (Die Begründungen müssen keine formellen mathematischen Beweise sein)

- (a) Warum genügt es, sich auf Funktionen zu beschränken, die natürliche Zahlen auf natürliche Zahlen abbilden, wenn man untersuchen will, was heutige Computer im Prinzip berechnen können?

Funktionen über beliebige Mengen können durch eine geeignete Nummerierung auf Zahlenfunktionen abgebildet werden <sup>a</sup>

<sup>a</sup><https://de.wikipedia.org/wiki/Zahlenfunktion>

- (b) Was besagt die Church-Turing These? Könnte man sie beweisen oder widerlegen?

Die Church-Turing-These besagt, dass die Klasse der turing-berechenbaren Funktionen mit der Klasse der intuitiv berechenbaren Funktionen übereinstimmt. Die These kann nicht bewiesen oder widerlegt werden, weil es sich bei dem Begriff „*intuitiv berechenbare Funktion*“ um keinen mathematisch exakt definierten Begriff handelt. Würde man ihn genau definieren, würde ein konkretes Berechnungsmodell festgelegt werden, was der Kernaussage dieses Begriffes widersprechen würde.

- (c) Für reelle Zahlen, wie z. B.  $\pi$ , lässt sich die Dezimaldarstellung durch entsprechende Programme beliebig genau approximieren. Gilt das für alle reellen Zahlen, d. h. lässt sich für jede reelle Zahl die Dezimaldarstellung mit entsprechenden Programmen beliebig genau approximieren?

Die Voraussetzung für numerisches Rechnen mit reellen Zahlen ist deren Darstellung durch ein Ziffernsystem.

Überabzählbarkeit von  $\mathbb{R}$ : Die Menge  $\mathbb{R}$  der reellen Zahlen ist nicht abzählbar.

Es gibt kein Ziffernsystem zur Darstellung von  $\mathbb{R}$ .

<sup>a</sup>

<sup>a</sup><https://www3.math.tu-berlin.de/Vorlesungen/SS07/DiskrMaLS/MitZahlenRechnen.pdf>

- (d) Was ist für die Berechnungskraft der wesentliche Unterschied zwischen While-Berechenbarkeit und Loop-Berechenbarkeit.

Alle Loop-berechenbaren Funktionen  $f: N^n \rightarrow N$  sind total. Die Rede ist von partiellen Funktionen, die in Abschnitt 2.2 eingeführt wurden und in der theoretischen Informatik eine wichtige Rolle spielen. Partielle Funktionen sind für uns die formale Grundlage, um Programme zu beschreiben, die nicht für alle Eingabekombinationen ter-

minieren.

- (e) Die Ackermannfunktion ist ein Beispiel einer totalen Funktion, die While-berechenbar, aber nicht Loop-berechenbar ist. Sie verallgemeinert die Idee, dass Multiplikation die wiederholte Addition ist, Exponentiation die wiederholte Multiplikation, Hyperexponentiation die wiederholte Exponentiation usw. Die Stufe dieser hyper-hyper ... Exponentiation ist ein Parameter der Ackermannfunktion. Generieren Sie aus dieser Idee ein Argument, das illustriert, warum die Ackermannfunktion nicht Loop-berechenbar ist.

Gäbe es ein Loop-Programm, das  $\text{ack}(n, m)$  tatsächlich für beliebige Werte von  $n$  berechnet, so müsste dieses aufgrund von Satz 6.1 – im Widerspruch zum endlichen Aufbau eines Loop-Programms – unendlich viele Schleifenkonstrukte enthalten.

Jedes Loop-Programm zur Berechnung der Funktion  $x \uparrow^n y$  benötigt mindestens  $n + 2$  Schleifen.

- $x \uparrow^{-1} y = x + y$
- $x \uparrow^0 y = x \cdot y$
- $x \uparrow^1 y = x^y$

- (f) Geben Sie ein Beispiel einer Menge an, die abzählbar, aber nicht rekursiv aufzählbar ist, und begründen Sie es.

Das Komplement des Halteproblems. Das Halteproblem ist rekursiv aufzählbar. Wäre das Komplement des Halteproblems auch rekursiv aufzählbar, dann wäre das Halteproblem entscheidbar, was es aber nicht ist.

- (g) Wie ist der Zusammenhang zwischen rekursiv aufzählbar und semi-entscheidbar?

Die beiden Begriffe sind äquivalent.