Dokumentation zur IHK-Abschlussprüfung Sommer 2020

Entwicklung eines Softwaresystems

**Geschrieben von: Felix Warschewski**

**Prüflingsnummer 101 20580**

**Tag der Einreichung: 26.06.2020**

**Programmiersprache: C#**

Inhaltsverzeichnis

[1 Eigenhändigkeitserklärung 3](#_Toc43913856)

[2 Änderungen zu Tag 1 4](#_Toc43913857)

[3 Benutzeranleitung 4](#_Toc43913858)

[3.1 Laufzeitumgebung 4](#_Toc43913859)

[3.2 Installation 4](#_Toc43913860)

[3.3 Dateistruktur 4](#_Toc43913861)

[3.4 Dateiformat 4](#_Toc43913862)

[3.5 Aufrufbefehle 5](#_Toc43913863)

[4 Beschreibung der Zufallszahlengeneratoren und Verfahren 6](#_Toc43913864)

[5 Diskussion der Güte-Testverfahren und der Parameter für den LCG 7](#_Toc43913865)

[6 Diskussion der Testbeispiele 9](#_Toc43913866)

[7 Vergleich und Interpretation der Ergebnisse 9](#_Toc43913867)

[8 Zusammenfassung und Ausblick 10](#_Toc43913868)

[9 Programmcode im Anhang 10](#_Toc43913869)

# Eigenhändigkeitserklärung



# Änderungen zu Tag 1

Sämtliche Variablen und Eigenschaften mit dem Datentyp long wurden in double umgeändert. Dies betreffen vor allem die Einstellparameter, sowie Rechnungen und hat den Vorteil, dass sämtliche mathematische Funktionen nicht umgewandelt werden müssen.

Zur Speicherung der Beispiel-LCGs wird eine Konstanten-Klasse verwendet. In dieser werden die Beispielparameter für die LCGs als statische Eigenschaften festgelegt.

Darüber hinaus wurde anstatt einer einfache Verteilungsklasse eine Verteilungsschnittstelle implementiert, welche zwei Unterklassen (Gleichverteilung, Standardnormalverteilung) bereitstellt. Diese Unterklassen besitzen eine Funktion transformiere und in dieser Funktion wird für den Wechsel in die Standardnormalverteilung die Polar-Methode angewendet.

Die Polar-Klasse wird gestrichen und die Funktionalität der Polar-Methode wird in der Funktion „transformiere(x)“ der Standardnormalverteilungsklasse implementiert. Dies hat den Vorteil, dass die Funktion direkt an der richtigen Stelle ist und nicht erst noch über eine Hilfs-Klasse aufgerufen werden muss.

# Benutzeranleitung

## Laufzeitumgebung

Das verwendete Betriebssystem ist Windows 10 64-bit Version. Die Programmiersprache ist C# (Version C# 7.3) und es wurde in der Entwicklungsumgebung Visual Studio 2017 Enterprise Edition geschrieben. Das Zielframework der Konsolen-Applikation ist das .NET Standard 2.0.

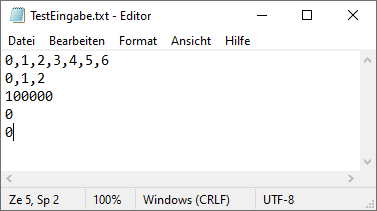
## Installation

Die Installation erfolgt über das Extrahieren der vorhandenen zip-Datei.

## Dateistruktur

## Dateiformat

Mithilfe des args-Parameter in der Main-Methode kann ein Dateipfad übergeben werden. Dieser Pfad sollte auf eine Textdatei zeigen, in der Daten zur Bedienung der Konsolenanwendung stehen.



Die erste Zeile beschreibt die Zufallszahlengeneratoren, welche überprüft werden sollen. Die zweite Zeile beschreibt die Güte-Testverfahren, die angewendet werden sollen. Die dritte Zeile legt fest, wie hoch die Sequenzlänge ist, also wie viele Zufallszahlen für die Prüfungen erstellt werden. Die vierte Zeile legt ein k fest. Bei der seriellen Autokorrelation ist das k die Ordnung der Autokorrelation und steht für den Abstand der verglichenen Paare. Bei dem Sequenz-Up-Down-Test bestimmt das k die Länge einer bestimmten Bitfolge. Gibt man 0 für k an, erstellt die serielle Autokorrelation einen zufälligen Abstand k und bei dem Sequenztest wird über alle k iteriert und letztlich die Differenz ausgegeben. Die letzte Zeile gibt die Art der Verteilung der Zufallszahlen an. Man kann unterscheiden zwischen standardnormalverteilten Zufallszahlen und gleichverteilten Zufallszahlen. Hierbei sind gleichverteilte Zufallszahlen der Standard.

## Aufrufbefehle

Innerhalb der aufzurufenden Textdatei:

Zeile 1 – Generatoren:

1. Ansi-C
2. Minimal Standard
3. RANDU
4. SIMSCRIPT
5. NAG’s LCG
6. Maple’s LCG
7. Datumsbasiert(eigener)

Zeile 2 – Güte-Testverfahren

1. Serielle Autokorrelation
2. Sequenz-Up-Down-Test
3. Eigener Güte-Test

Zeile 3 – Sequenzlänge

Zeile 4 – k

Wenn k = 0 dann werden die allgemeinen Bedingungen übernommen. Siehe 6.4 Dateiformat. Wenn k != 0 dann wird die k-te Ordnung des Verfahrens berechnet und zurückgegeben.

Zeile 5 – Verteilung

1. Gleichverteilung
2. Standardnormalverteilung

# Beschreibung der Zufallszahlengeneratoren und Verfahren

Zu implementieren waren folgende Generatoren und Testverfahren:

* Linearer Kongruenz-Generator mit 6 verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten
* Umwandlung gleichverteilter in normalverteilte Zufallszahlen mithilfe der Polar-Methode
* Eigener Zufallszahlengenerator (Datumsbasiert)
* Güte-Testverfahren Serielle Autokorrelation
* Güte-Testverfahren Sequenz-Up-Down-Test
* Eigenes Güte-Testverfahren

Der Lineare Kongruenz-Generator (LCG) errechnet Zufallszahlen auf Basis der Kongruenzrechnung. Hierfür sind 4 Eingabeparameter wichtig. Das Modul m, der Multiplikator a, das Inkrement c und der Startwert x0. Des Weiteren waren sechs zu implementierenden Verfahren für den LCG in Tabellenform gegeben. Diese Verfahren unterscheiden sich in der Wahl ihrer Einstellungsparameter. Der LCG funktioniert, wie eine Folge, wobei jeder Aufruf eine andere und zufällige Zahl erstellen soll.

Der LCG erzeugt vor Allem gleichverteilte Zufallszahlen. Deswegen soll eine weitere Verteilung in Betracht gezogen werden. Mithilfe der **Polar-Methode** sollen gleichverteilte Zufallszahlen in standardnormalverteilte Zufallszahlen transformiert werden. Hierbei werden euklidische Koordinaten, welche aus dem Zufallsgenerator kommen, in Polarkoordinaten umgewandelt und wenn die beiden Koordinaten im Punkt zusammen im Einheitskreis liegen, werden sie zu zwei unabhängigen standardnormalverteilten Zufallszahlen transformiert. Dieses Prinzip der Verteilungstransformation kann auf jedes Verfahren des Linearen Kongruenz-Generators angewendet werden.

Der eigene Zufallszahlengenerator funktioniert auf Basis der Zeit und Laufzeit des Programmes. Es werden die Sekunden, Minuten, Stunden, Tage, Monate als Integer aufsummiert, sowie die aktuelle Laufzeit des Programmes in Millisekunden. Darüber hinaus wird gespeichert, wie viele Zufallszahlen bereits mit einer Instanz des Generators erzeugt wurden. Die Summe wird mit der Anzahl der bereits erzeugten Zufallszahlen multipliziert. Das Ergebnis wird anschließend mit Modulo 1000 gerechnet

und durch die 1000 geteilt. So ergibt sich eine Zufallszahl zwischen 0 und 1 mit 3 Nachkommastellen. Das bedeutet sie kann bis 1000 hochskaliert werden generierte Nullen angehängt zu bekommen. Will man höher skalieren benötigt man ein höheres Modul.

Das Güte-Testverfahren mithilfe der seriellen Autokorrelation misst die Abhängigkeit einer Folge von Zahlen. Die Zufallszahlen sollen paarweise möglichst unabhängig sein und im Optimalfall eine Korrelation von p=0 aufweisen. Das Verfahren verwendet eine Sequenz von Zufallszahlen, einen Mittelwert berechnet aus dieser Sequenz und eine Ordnung k. Je nachdem wie hoch die Ordnung ist, prüft man auf weiter entferntere oder näher aneinanderlegende Paare in der Sequenz. Die Wahl von k kann das Ergebnis des Güte-Tests stark beeinflussen. Daher sollte man zum Testen von bestimmten Generatoren die Verfahren mehrmals mit unterschiedlichen Ordnungen durchlaufen lassen. Nur so erhält man ein gültiges Ergebnis.

Das nächste Güte-Testverfahren ist der Sequenz-Up-Down-Test. Dieser prüft wie viele Folgen bestimmter Länge von stetig größer oder kleiner werdenden Zahlen in einer Zufallszahlensequenz vorhanden sind. Es wird eine Bit Maske erstellt mit den Werten 0 und 1. Der Wert 0 wird in die Maske eingefügt, sobald ein folgender Wert kleiner ist als der jetzige. Wenn der folgende Wert hingegen größer als der derzeitige ist, wird eine 1 in die Bit Maske eingefügt. Das Ergebnis des Verfahrens gibt einen Aufschluss darüber, wie viele Folgen es mit einer bestimmten Länge gab. Je höher die Zahl bei niedrigen Werten für k (Kettenlänge) ist, desto besser funktioniert Zufallszahlengenerator, da die Werte öfter hin und her springen und sich nicht stetig aufbauen.

Das eigene Güte-Testverfahren erstellt auch eine Bitmaske. Hier werden alle Werte gleich dem Sequenz-Up-Down-Verfahren in die Bitmaske geschrieben. Anschließend wird die Bitmaske aufsummiert und durch die Anzahl der vorhandenen Bits der Bitmaske dividiert. Dies gibt Aufschluss über den Mittelwert der Wechsel der Zahlenfolgen. Wenn der Mittelwert deutlich unter 0.5 liegt, ist das ein Zeichen für sehr wenige Wechsel zwischen längeren Folgen. Das bedeutet die Güte des Generators eher schlecht wäre, als wenn der Mittelwert über 0.5 liegt. Je höher desto öfter wechselt er innerhalb der Zufallszahlensequenz und desto zufälliger werden die Zahlen generiert.

# Diskussion der Güte-Testverfahren und der Parameter für den LCG

Es werden sechs verschiedene Verfahren für den Linearen Kongruenz-Generator vorgestellt. Diese unterscheiden sich teils stark und haben deswegen auch eine andere Abfolge zur Erzeugung von Zufallszahlen. Um zwei Beispielverfahren aus der Menge der sechs gegebenen Verfahren zu wählen, verwende ich den Ansi-C LCG und den RANDU LCG. Beide haben ein Modul von 2 hoch 31. Der Ansi-C hat einen deutlich höheren Multiplikator von 1103515245 im Vergleich zu dem RANDU-Multiplikator von 65539. Das Inkrement und der Startwert bei dem Ansi-C ist auch höher. Allein dies gibt eine Aussage darüber, wie schnell der Algorithmus den Wert des Moduls erreicht und überschlägt. Wenn er den Wert des Moduls übertrifft fängt er wieder bei 0 an und zählt sich nach oben. Daher kann man sagen, dass der Ansi-C deutlich schneller sein Modul erreicht und einen Wechsel von größeren und kleineren Zahlen besitzt. Der RANDU hingegen braucht länger und besitzt mehr Folgen von aufeinander größer werdenden Zufallszahlen. Dies sagt aus, dass für das Sequenz-Up-Down-Verfahren der Ansi-C LCG eine bessere Güte für eine kleine Sequenzlänge besitzt. Sobald aber der Parameter x eine gewisse Größe erreicht hat, werden die Sprünge immer größer und das Ergebnis überschlägt öfter das Modul. Dies bedeutet, dass die Werte öfter variieren und die Folgen von aufeinanderfolgenden größer werdenden Zufallszahlen deutlich kleiner werden. Daher sollte man die beiden Zufallszahlengeneratoren mit mehreren beliebig großen Sequenzlängen testen. Es wird also angenommen, je länger die Sequenzlänge desto besser ist die Güte für den RANDU LCG im Up-Down-Test. Der Ansi-C sollte hingegen schon relativ früh eine gute Güte besitzen und keine drastische Verbesserung bei steigender Sequenzlänge erhalten.

Wenn man nun die beiden LCGs RANDU und Ansi-C hinsichtlich des seriellen Autokorrelation-Testverfahrens vergleicht und die bisher genannten Aspekte betrachtet, besitzt der Ansi-C für eine kleine Sequenzlänge und ein klein gewähltes k (Abstand verglichener Zahlen in Sequenz) eine deutlich schlechtere Güte als der RANDU. Der RANDU ist anfangs nicht so sehr gestreut und besitzt kleinere Abweichungen zum Mittelwert. Der Ansi-C besitzt deutlich größere Abweichungen, da er viel stärker skaliert. Wenn man den Abstand der verglichenen Zufallszahlen erhöht, kann das Phänomen auftreten, dass der Ansi-C wieder besser wird, da die Zahlen recht willkürlich werden. Hingegen kann es beim RANDU LCG passieren, dass die Werte, bei höherem k, deutlich auseinandergehen, da sie nicht so schnell den Wert des Moduls erreichen und wieder von vorne anfangen.

Die Vermutung besagt also, dass mit der seriellen Autokorrelation für eine kleine Sequenzmenge mit kleinem k (Abstand der verglichenen Zufallszahlen) der RANDU LCG eine bessere Güte besitzt. Aber sobald der Abstand der verglichenen Zufallszahlen größer wird, nimmt die Güte von RANDU ab und der Ansi-C wird besser.

Im Endeffekt kann man aber sagen: Je höher die Sequenzlänge, desto besser wird die Güte der Zufallszahlengeneratoren. Das „Lag“ k kann bei verschiedenen LCGs die Wirkung auf die Güte variabel beeinflussen.

Der Ansi-C besitzt vergleichsweise hohe Parameter zu dem Rest der Verfahren. Schon im zweiten Schritt wird das Modul häufig übersprungen. Da das Verfahren so hoch skaliert ist, bekommt es für längere Zahlenfolgen auch immer gleichere Muster heraus und wird bei einer hohen Sequenzlänge schlechter abschneiden als Verfahren mit kleineren Multiplikatoren. Das Ansi-C Verfahren weist auch ein Muster von Geraden und Ungeraden Zufallszahl im dauerhaften Wechsel auf. Dies liegt daran, dass das Modul eine gerade Zahl ist und der Multiplikator ungerade. Nun kommt aber noch das ungerade Inkrement hinzu, welches die Zahl für jeden Durchgang wechseln lässt.

Für das Minimal Standard-Verfahren wird ein ungeraderes Modulo verwendet und ein deutlich kleinerer Multiplikator als bei anderen Verfahren. Der kleinere Multiplikator sorgt dafür, dass die Zahlen anfangs nicht so häufig über das Modul herauskommen. Jedoch gibt es die Eigenschaft, dass anfangs auch schon willkürlicher

RANDU: Das RANDU -Verfahren fängt mit dem Startwert 1 an und wird mit einem ungeraden Multiplikator multipliziert. Da das Modulo gerade ist, bekommen wir nur ungerade Zahlen heraus. Das bedeutet die mögliche Zahlenmenge des RANDU -Verfahren ist halbiert. Genauso steigt die Zahl beim RANDU-Verfahren für die ersten zehn Durchläufe an, obwohl das Modulo mehrmals überschritten wird.

SIMSCRIPT besitzt als einziges Verfahren einen geraden Multiplikator und ein ungerades Modul. Daher kann es

NAG‘s LCG gibt nur ungerade Zahlen aus, wobei die Sprünge über das Modul nicht so hoch sind, wie bei den anderen Verfahren nach einer beliebigen Sequenzlänge. Des Weiteren ist der Startwert relativ hoch und das Verfahren hat früh eine gewisse Länge der Zufallszahlen erreicht. Im Verhältnis stehen die Zahlen aber auch näher, als bei anderen Verfahren. Man kriegt zwar sehr hohe Zufallszahlen heraus, aber dafür sind alle Zufallszahlen sehr hoch und es wird nicht oft zwischen stark verschiedenen Größen hin und hergesprungen. Dies müsste ein Vorteil für die Serielle Autokorrelation sein. Da die Zufallszahlen stark runterskaliert werden auf einen Bereich zwischen 0 und 1. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die meisten Zahlen einen sehr ähnlichen Abstand zum Mittelwert besitzen.

Bei dem Maple’s LCG wird als Modul ein in Relation niedriges Modul gewählt in Kombination mit einem sehr hohen Multiplikator. Dies führt dazu, dass das Modul oft übertroffen wird. Da der Multiplikator beinahe so groß wie das Modul ist, werden vor allem Zahlen generiert, welche das Modul beinahe annähern. Daher haben diese auch im Verhältnis zueinander keine allzu großen Abweichungen und sind relativ konstant.

# Diskussion der Testbeispiele

Die Testbeispiele geben Aufschluss über die Güte der Zufallszahlengeneratoren. Deswegen muss man einen differenzierten Blick auf die Testverfahren werfen und kann nicht nur ein Testverfahren mit einer bestimmten Sequenzlänge und einer bestimmten Ordnung verwenden. Es müssen mehrere unterschiedliche Testvorgänge entstehen, welche sich möglichst unterscheiden.

Aus dem Punkt 5 kann angenommen werden, dass sich die Güte der Testverfahren je nach Sequenzlänge ändern kann. Genauso können Rückschlüsse über einen Zufallszahlengenerator gewonnen werden, indem man die Abstände der verglichenen Zufallszahlen beziehungsweise die Kettenlängen der überprüften Folgen ändert. Die Änderungen kann man mit der Variable „K“ setzen, welche in der Eingabe-Datei gesetzt werden kann.

Fall 1:

Alle LCG-Verfahren mit serieller Autokorrelation für eine Sequenzlänge von 10

Fall 2:

Alle LCG-Verfahren mit serieller Autokorrelation für eine Sequenzlänge von 1000

Fall 3:

Alle LCG-Verfahren mit serieller Autokorrelation für eine Sequenzlänge von 100000

Fall 4:

Alle LCG-Verfahren mit Sequenz-Up-Down-Test für eine Sequenzlänge von 10

Fall 5:

Alle LCG-Verfahren mit Sequenz-Up-Down-Test für eine Sequenzlänge von 1000

Fall 6:

Alle LCG-Verfahren mit Sequenz-Up-Down-Test für eine Sequenzlänge von 100000

Fall 7:

Alle LCG-Verfahren mit Sequenzlänge 100000 und einem k von 1

Fall 8:

Alle LCG-Verfahren mit Sequenzlänge 100000 und einem k von 10000

Fall 9:

Alle LCG-Verfahren mit beiden vorgegebenen Testverfahren und einer Länge von 100000 und Standardnormalverteilung

Fall 10:

Eigener Datumsbasierter Zufallszahlengenerator für eine Sequenzlänge von 1000

Fall 11:

Alle LCG-Verfahren auf den eigenen Güte-Test für eine Sequenzlänge von 100000

# Vergleich und Interpretation der Ergebnisse

Das Güte-Testverfahren der seriellen Autokorrelation fällt besser aus je näher das Ergebnis an null liegt. Wenn das Ergebnis sich signifikant von null unterscheidet, wird der Zufallsgenerator abgelehnt. In dem Fall ist dieser nicht brauchbar, da er Muster aufzeigt und voneinander abhängige Zufallszahlen bildet.

Der Sequenz-Up-Down-Test gibt einen Wert für die Gesamtdifferenz zu dem optimalen Wert aller Kettenlängen zurück. So kann gesagt werden, wie stark ein Verfahren von der optimalen Verteilung abweicht.

Der Vergleich der Testergebnisse, sowie der Vergleich folgt zuerst in Reihenfolge der Testfälle. Es wird zu jedem Fall Stellung bezogen und direkte Zusammenhänge interpretiert. Die Zusammenfassung über alle Generatoren und Verfahren folgt im Kapitel 8 „Zusammenfassung und Ausblick“.

Fall 1: Alle LCG-Verfahren mit serieller Autokorrelation für eine Sequenzlänge von 10

Die Folge, die am schlechtesten abschneidet, ist das RANDU-Verfahren. Es wird ein Wert von 1 zurückgegeben. Dies ist der schlechtmöglichste Wert, der erreicht werden kann. Dies liegt daran, dass die Werte für RANDU in dem Intervall 1-10 stetig größer werden. Die generierten Zahlen sehen nicht aus wie Zufallszahlen, sondern wie eine immer größer werdende Folge. Das beste Ergebnis für eine derartig kleine Sequenzlänge liefert das Minimal Standard-Verfahren mit -0,2. Ein negatives Ergebnis kommt zustande, wenn mehr Zufallszahlen unter dem Stichprobenmittelwert von 0.5 liegen als darüber. Das Ergebnis ist das beste von allen sechs Generatoren. Dennoch ist der Wert keineswegs optimal. Dies liegt vor allem daran, dass die Verfahren alle auf dem Linearen Kongruenz-Generator basieren und dieser wie eine Folge mit spezifischen Eingabeparametern funktioniert. Der LCG braucht eine bestimmte Menge an Durchläufen, bis er zuverlässige Zufallszahlen ausgibt. Nun wird geprüft, wie lange die verschiedenen Verfahren brauchen, um eine gute Güte zu erreichen.

Fall 2: Alle LCG-Verfahren mit serieller Autokorrelation für eine Sequenzlänge von 1000

Die Werte für die Güte der Verfahren hat sich deutlich gebessert. Der einzige Zufallszahlengenerator, welcher eine unbrauchbare Güte aufweist, ist der NAG’s LCG mit einer Güte von -0,42. Dieser Generator besitzt das größte Modulo. Durch die extreme Breite des Zahlenraums, der mithilfe des gewählten Modulo zur Verfügung gestellt wird, treten auch stärkere Abweichungen von einem Mittelwert auf. Nun ist abzuwarten, ob bei einer größeren Sequenzmenge sich die Güte des Verfahrens verbessert.

Sehr gute Werte liefern die Generatoren Minimal Standard (0,0006) und Maple’s LCG (-0,0003). Das Maple’s Verfahren nähert, wie in Punkt 4 beschrieben das Modul an und liefert Zufallszahlen in einem recht konstanten Bereich. Das reflektiert das starke Güte-Testergebnis mit der seriellen Autokorrelation bei einer Sequenzlänge von 1000. Bei dem Minimal Standard-Verfahren wird genau das gegenteilige Prinzip angewandt. Hier ist der Multiplikator in Relation niedrig und das Modul größer als beim Maple’s LCG. Dies sorgt dafür, dass sich die Zahlen relativ schnell ausgleichen und nicht allzu weit voneinander entfernt liegen.

Fall 3: Alle LCG-Verfahren mit serieller Autokorrelation für eine Sequenzlänge von 100000

Für den dritten Testfall bleibt das NAG’s Verfahren das mit der schlechtesten Güte. Diese hat sich sogar mit zunehmender Sequenzlänge nochmal verschlechtert. (-0,5) Dies wird vor allem durch den großen Zahlenraum, der durch das große Modulo bereitgestellt wird, hervorgerufen. Die Werte können sich hier deutlicher unterschieden als bei kleineren Zahlen Räume.

Die Werte für die Güte der anderen Generatoren haben sich nicht sonderlich verändert. Die besten Gütewerte haben die Verfahren RANDU (0,0018), SIMSCRIPT (-0,0013) und Maple’s (-0,0024).

Das Minimal Standard-Verfahren, welches im vorherigen Testfall die beste Güte aufzeigte, hat sich verschlechter auf eine Güte von 0,01. Dies kann bedeuten, dass der Minimal Standard bis 1000 Zufallszahlen eine relativ geringe Abweichung aufweist und danach wieder mehr streut. Also wird es bei diesem Verfahren Schübe geben, in denen die Folge besser zufällig generiert werden bzw. schlechter.

Für das Güte-Testverfahren der **seriellen Autokorrelation** ist besonders der RANDU-Generator hervorzuheben. Bei einer sehr geringen Sequenzlänge hat dieser noch die schlechtmöglichste Güte und je größer die Zahlen werden, desto besser wird seine Güte. Darüber hinaus kann man über den NAG’s LCG sagen, dass der große Zahlenraum die Werte deutlich weiter streuen lässt und die Differenzen der einzelnen Zahlen zum Mittelwert sehr verschieden ausfallen können. Was die Folge nach dem Prinzip der seriellen Autokorrelation schlecht macht.

Fall 4: Alle LCG-Verfahren mit Sequenz-Up-Down-Test für eine Sequenzlänge von 10

Bei dem Sequenz-Up-Down-Test schneidet der Maple’s Generator am schlechtesten ab (3,35). Es wird die Differenz für die Häufigkeit sämtlicher Kettenlängen zu der Häufigkeit im angenäherten Optimalfall gebildet. Wenn eine hohe Zahl als Güte ausgegeben wird, bedeutet dies, dass der Generator über den ganzen Verlauf der optimalen Häufigkeit verschiedener Kettenlängen relativ schlecht war. Das beste Ergebnis erzielte RANDU mit einer Güte von 0,999. Da man pro Kettenlänge die absolute Differenz auf die Gesamtgüte aufsummiert, besagt das Ergebnis wie sehr die Kurve der Optimal Verteilung approximiert wird.

Fall 5: Alle LCG-Verfahren mit Sequenz-Up-Down-Test für eine Sequenzlänge von 1000

Für diesen Testfall schneidet der NAG’s LCG am schlechtesten ab (150,15). Am besten verläuft das Testverfahren für den SIMSCRIPT-Generator mit 23,47.

Das NAG’s-Verfahren hat stärkere Ausreißer für die Anzahl mancher Kettenlängen vorhanden. Also gibt es Stellen an denen das Verfahren besonders häufig oder selten auf oder absteigende Zahlenfolgen erstellt, die an den Stellen der optimalen Verteilung liegen.

Der SIMSCRIPT hingegen hat eine relativ ähnliche Verteilung, wie die optimale Verteilung.

Fall 6: Alle LCG-Verfahren mit Sequenz-Up-Down-Test für eine Sequenzlänge von 100000

Das Maple’s LCG-Verfahren approximiert am besten die optimale Verteilung mit einer Gesamtdifferenz von 242,9. Der NAG’s LCG sticht deutlich mit einer schlechten Approximation hervor. Die Gesamtdifferenz liegt bei 15000. Durch den immensen Zahlenraum und den hohen Startwert, sowie den großen Multiplikator werden die Zufallszahlen vor allem in der zweiten Hälfte des Zahlenraums generiert. Nun muss geprüft werden, ob die extremen Differenzen für kleine Zeichenketten(k) oder für große Zeichenketten(k) auftreten. Dies geschieht in den folgenden Testfällen.

Fall 7 & 8: Alle LCG-Verfahren mit Sequenzlänge 100000 und einem k von 1 und 10000

Da der NAG’s LCG eine Differenz von über 8000 für k = 1 aufweist und aus früheren Ermittlungen bekannt ist, dass das Verfahren vor allem häufiger längere ab/aufsteigende Zeichenfolge generiert, dass im Vergleich die optimale Verteilung anfangs deutlich höher ist und später abfällt. Als Anwender des Generators kann beobachten, dass hintereinander generierte Zufallszahlen häufiger mal eine Folge von a

# Zusammenfassung und Ausblick

In weiteren Schritten könnte man die Klassenbibliothek um weitere LCG-Schemas erweitern. Damit stellt man eine breitere Funktionalität des LCG-Verfahrens bereit. Darüber hinaus kann man mehr Verteilungen an die Verteilungs-Schnittstelle anbinden. Dies ermöglicht die Transformation von Koordinaten oder Zahlen in andere Verteilungen. Dafür müsste man lediglich eine neue Klasse anlegen mit der dazugehörigen „Transformiere()“-Methode der Verteilungsschnittstelle. Des Weiteren kann man Klassen an die Güte-Tests-Schnittstelle an klemmen. Man kann mehr Testverfahren benutzen um die Güte der verschiedenen Generatoren, welche erzeugt wurden, zu bestimmen. Dies kann man alles mit beliebigen Parametern für die Anzahl der zufallsgenerierten Element (Sequenzlänge) und die Ordnung k der Funktion ausführen, indem die Berechne()-Methode aus dem Interface „GüteTests“ verwendet wird. Die drei Schnittstellen sind Hauptbestandteile um diverse Funktionalitäten zu erweitern. Neue Tests einzuführen, in andere Verteilungen umzuwandeln oder komplett andere Zufallszahlen zu erstellen.

# Programmcode im Anhang

In der Programmierung für das Güte-Testverfahren Sequenz-Up-Down die Differenz zwischen Nopt(k) und N(k) gebildet. Wenn negative Werte für den Algorithmus herauskommen, bedeutet dies, dass häufig der Wert von N(k) größer als der von dem optimalen Wert Nopt(k) gewesen ist. Andererseits wenn öfter kleiner Werte für N(k) herauskommen, als die von Nopt(k), ist die Differenz der beiden Werte positiv. Ein Ergebnis für eine starke Güte eines Zufallszahlengenerators wäre hier, wenn der Wert nahe 0 liegen würden. Wenn der Wert zu weit von 0 abweicht, ist die Güte relativ schlecht für den geprüften Zufallszahlengenerator.

Das Sequenz-Testverfahren wurde so implementiert, wenn man eine Zahl für k mitgibt, gibt er die Differenz der gegebenen Folgenlänge zurück. Wenn für k eine 0 mitgegeben wird, wird die Gesamtdifferenz über alle Folgenlängen zurückgegeben.