

Implementierung und Validierung des Palladio-Vorhersageverfahrens



Ausarbeitung zur Studienarbeit

Universität Oldenburg
Fachbereich II - Department für Informatik
Abteilung Software Engineering

Betreut durch
Jun.-Prof. Dr. Ralf Reussner
Dipl. Math. Viktoria Firus

vorgelegt von
Helge Hartmann, Mat.-Nr. 7092910

Oldenburg, 14. Oktober 2005

Zusammenfassung

Das Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren basiert auf Kontrollflüssen einer Anwendung und der Performanz eingesetzter Komponenten. In dieser Arbeit wird dieses Verfahren validiert. Hierzu wurden zwei Verfahren implementiert, die auf dem gleichen Modell aufbauen, jedoch unterschiedliche Berechnungen verwenden. Beide Verfahren werden im Rahmen von Fallstudien auf Performanz und Genauigkeit untersucht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielstellung	1
1.3	Gliederung der Arbeit	2
2	Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren	3
2.1	Voraussetzungen	3
2.1.1	Komponente	3
2.1.2	Design-by-Contract und Parametrisierte Verträge	4
2.1.3	Service-Effektspezifikation	5
2.1.4	Quality of Service Modelling Language	5
2.2	Palladio-Performanz-Vorhersagemodell	6
2.2.1	Service-Effektautomat	7
2.2.2	Zufallsvariablen	7
2.2.3	Transitionswahrscheinlichkeiten	9
2.3	Verfahren	9
3	Implementierung	12
3.1	Gemeinsamkeiten	12
3.1.1	Idee der Implementierung	12
3.1.2	Datenstruktur	14
3.1.3	Anpassung der Abtastrate	15
3.1.4	Approximation der Schleifenberechnung	16
3.1.5	Regulärer Ausdruck als Abstrakter Syntaxbaum	17
3.1.6	Berechnung der Transitionswahrscheinlichkeiten	18
3.2	Unterschiede	19
3.2.1	Berechnung im Zeitbereich	19
3.2.2	Berechnung im Frequenzbereich	19
3.2.3	Komplexität	20
4	Validierungsmethode	22
4.1	Präzision der gemessenen Funktionen	22
4.2	Validität der Untersuchung	22
4.3	Fallstudie	23
4.4	Vergleich von Funktionen	24
4.4.1	Schätzfunktion	24
4.4.2	χ^2 Anpassungstest	24
4.5	Goal-Question-Metric-Plan	25
4.5.1	Ziele der Fallstudie	25
4.5.2	Fragestellungen und Metriken	25
4.6	Variablen	26
4.6.1	Störvariablen	27
4.6.2	Unabhängige Variablen	27
4.6.3	Abhängige Variablen	28

Inhaltsverzeichnis

5	Vergleich der implementierten Ansätze	29
5.1	Anwendung	29
5.2	Durchführung der Fallstudie	30
5.2.1	Vergleich der Berechnungen	31
5.2.2	Vergleich von Messung und Berechnung	36
6	Webserver	47
6.1	Beschreibung der Anwendung	47
6.2	Service-Effektautomaten	47
6.2.1	Schnittstelle IRequestParser	52
6.2.2	Schnittstelle IRequestProcessor	52
6.3	Erzeugung der Attribute	53
6.4	Anwendungsszenarien	54
6.5	Ergebnisse	55
6.5.1	Probleme	55
6.5.2	HTTPRequestParser	56
6.5.3	DynamicFileProvider	61
6.5.4	StaticFileProvider	64
6.5.5	BibTexProvider	67
6.6	Bewertung des Verfahrens	70
7	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	72
A	Berechnete und gemessene Funktionen	75
A.1	Funktionen für Abschnitt 5.2.1	75
A.1.1	Vorgegebene Funktionen	75
A.1.2	Sequenz	76
A.1.3	Alternative	78
A.1.4	Schleife	82
A.2	Funktionen für Abschnitt 5.2.2	84
A.2.1	Sequenz	84
A.2.2	Alternative	86
A.2.3	Schleife	91
A.3	Webserver	139

1 Einleitung

1.1 Motivation

Performanz ist ein entscheidender Faktor für den Erfolg der meisten Softwareprodukte. Dabei findet heute eine Betrachtung des Kriteriums Performanz nur bei sicherheitskritischen Eingang in den Entwurfsprozess. Da sich mangelnde Performanz jedoch meist auf Entscheidungen im Entwurfsprozess zurückführen lässt, kann eine zu späte Berücksichtigung dazu führen, dass Änderungen am Design vorgenommen werden müssen, die sehr kostspielig sein können. Aus diesem Grund sollte die Performanz schon frühzeitig berücksichtigt und der Einfluss von Design-Alternativen analysiert werden. Dafür benötigt man Modelle, die es ermöglichen, den Einfluss von Design-Entscheidungen auf die Performanz vorherzusagen.

Betrachtet man das Kriterium Performanz in der komponentenbasierten Softwareentwicklung, so ist man zum einen an dem Einfluss einer Komponente auf die Performanz des fertigen Produktes interessiert. So kann man schon bei der Auswahl bestehender Komponenten den Einfluss auf das Gesamtsystem bestimmen. Zum anderen ist man aber auch an der Performanz alternativer Architekturen interessiert. Dabei erhofft man sich von vorgefertigten Komponenten, dass diese bereits Informationen beinhalten, die für die Berechnung der Performanz benötigt werden. Zum einen werden Informationen über die Performanz der eingesetzten Komponenten selbst benötigt, welche zum Beispiel durch Messungen auf einem Referenzsystem ermittelt werden können, dass nötig ist, um vergleichbare Werte zu ermitteln. Zum anderen werden Informationen über die Aufrufreihenfolgen benötigt, die in Form von Graphen dargestellt werden können (1). Entsprechend der Häufigkeit von Aufrufen eines Dienstes fällt die Performanz einiger Komponenten mehr ins Gewicht als die Performanz anderer Komponenten.

Von der Palladio-Gruppe der Universität Oldenburg wird ein Verfahren entwickelt, dass die Vorhersage der Performanz von Software-Architekturen aus den Kontrollflüssen und den Performanzinformationen der Komponenten ermöglicht.

1.2 Zielstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Implementierung und die Validierung des in Kapitel 2 vorgestellten Verfahrens zur Performanzvorhersage. Dies beinhaltet die beiden Teilziele Implementierung und Validierung.

Implementierung Für die Berechnung der Performanz existieren zwei unterschiedliche Algorithmen, die beide implementiert werden müssen und in Bezug auf Komplexität und Genauigkeit der Berechnung miteinander verglichen werden sollen. Als Eingabe dienen sogenannte Service-Effektautomaten, die endlichen Automaten entsprechen und den Dienst einer Komponente spezifizieren.

Validierung Im weiteren soll das Verfahren validiert werden. In einem ersten Schritt werden für sehr kleine Service-Effektautomaten feste Verteilungsfunktionen angegeben, die die Ausführungszeiten vorgeben. Basierend auf diesen Automaten wird ein Programm entwickelt, dass die Ausführungszeiten simuliert. Die Ausführungszeiten des Programms werden mit den Berechnungen basierend auf den Service-Effektautomaten verglichen, wobei der Grad der Übereinstimmung der Funktionen einen ersten Hinweis auf die Validität des Verfahrens gibt.

1 Einleitung

Um genauer zu untersuchen wie die Vorhersagen für echte Programme und die Verteilungsfunktionen realer Dienste aussehen, müssen die Dienste einer realen Anwendung gemessen werden. Dazu soll das Verfahren an einem Webserver validiert werden, der zu Studienzwecken von der Palladio-Gruppe entwickelt wurde. Da sich reale Programme je nach Voraussetzungen unterschiedlich verhalten, werden hier verschiedene Testfälle zu identifizieren sein.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich entsprechend der Aufgabenstellung in zwei Teile. Kapitel 2 enthält eine Beschreibung des Palladio-Performanz-Vorhersageverfahrens, dessen Implementierung in Kapitel 3 vorgestellt wird. Die Validierung wird in den Abschnitten 4 bis 6 beschrieben. Dazu wird in Abschnitt 4 zunächst die Validierungsmethode erläutert, Abschnitt 5 enthält einen Vergleich der beiden implementierten Ansätze anhand einer kleineren Anwendung und Abschnitt 6 beschreibt die Validierung anhand des Palladio-Webserver. Der abschließende Abschnitt 7 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse und einen Ausblick auf offene Fragestellungen.

2 Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren

In diesem Abschnitt wird das Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren beschrieben. Dieses Verfahren ermöglicht die Vorhersage der Performanzeigenschaften verschiedener Architekturen aus ihren verwendeten Komponenten und deren Beziehungen. Dazu werden zunächst in dem Abschnitt 2.1 einige Grundlagen erläutert, die dann zu dem eigentlichen Modell in Abschnitt 2.2 führen. Das abschließende Kapitel 2.3 erläutert ein Verfahren zur Realisierung des Modells.

2.1 Voraussetzungen

In diesem Abschnitt werden einige Grundlagen vorgestellt, auf denen das Vorhersagemodell aufbaut. Abschnitt 2.1.1 beschreibt den Grundbaustein der komponentenbasierten Softwareentwicklung, die Komponente. Um die Abhängigkeiten der verschiedenen Schnittstellen von Komponente zu beschreiben, wird in Abschnitt 2.1.2 das Konzept des „Design-by-Contract“ und „Parametrisierte Verträge“ vorgestellt. „Parametrisierte Verträge“ werden dabei als Service-Effektspezifikationen angegeben, die in Abschnitt 2.1.3 vorgestellt werden. Abschnitt 2.1.4 enthält schließlich einen kurzen Einblick in die „Quality of Service Modelling Language“ zur Spezifikation von Qualitätseigenschaften, mit der bestimmte Arten von Service-Effektspezifikationen angereichert werden können.

2.1.1 Komponente

Die komponentenbasierte Softwareentwicklung ist ein auf Wiederverwendung basierender Ansatz für die Entwicklung von Softwaresystemen. Eine Komponente kann als abstrakter Dienstanbieter angesehen werden (2) und wird in einer Umgebung zusammen mit anderen Komponenten, die die Umgebung der Komponente repräsentieren, eingesetzt. Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Komponente. Die Details der Implementierung sind für den Verwender in der Regel nicht sichtbar. Alle Interaktionen mit der Umgebung finden über die Schnittstellen statt, wobei eine Komponente zwei Schnittstellen besitzt. Die Angebotsschnittstelle definiert die Menge der verfügbaren Dienste, die die Komponente der Umgebung zur Verfügung stellt. Eine Bedarfsschnittstelle hingegen spezifiziert die Menge der Dienste, die die Komponente aus der Umgebung benötigt.

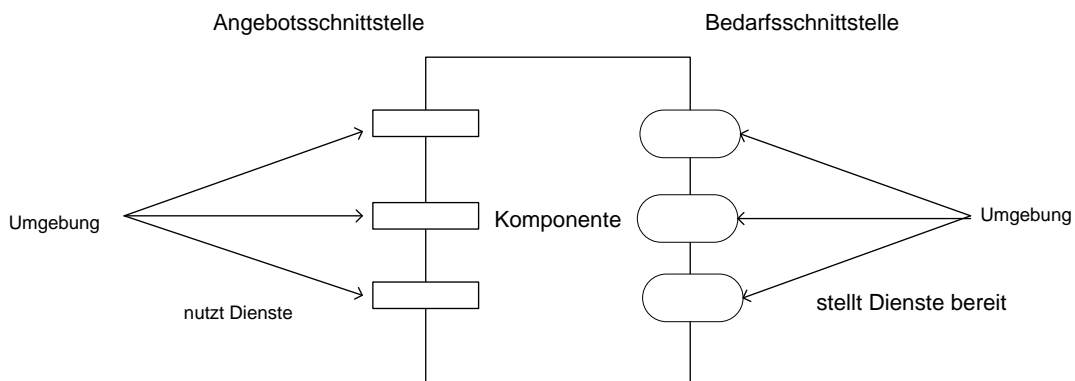


Abbildung 1: Komponente

2.1.2 Design-by-Contract und Parametrisierte Verträge

Komponenten werden in einer Umgebung zusammen mit anderen Komponenten eingesetzt. Dabei kann eine Komponente die Dienste der Angebotsschnittstelle nur anbieten, wenn die Umgebung die Dienste der Bedarfsschnittstelle bereitstellt, wodurch die Einsatzmöglichkeiten einer Komponente eingeschränkt ist.

Die Abhängigkeiten zwischen Komponenten können durch Verträge spezifiziert werden. Bertrand Meyer (3) definierte Abhängigkeiten zuerst zwischen Methoden durch das Konzept des „Design-by-Contract“, dessen Definition auf Komponenten ausgeweitet werden kann.

Design-by-Contract für Methoden Ein Vertrag wird geschlossen, indem für eine Methode Vor- und Nachbedingungen definiert werden. Vorbedingungen definieren die Erwartungen, die eine Methode an den Aufrufer stellt. Eine Methode erwartet zum Beispiel eine Liste von Parametern, die der Aufrufer übergeben muss. Die Parameter können dabei zusätzlich in ihrem Wertebereich eingeschränkt werden. Nachbedingungen spezifizieren den Zustand, der erreicht wird, wenn die Vorbedingungen erfüllt sind und die Methode ausgeführt wurde. Dieser Zustand oder ein Teil davon wird an den Aufrufer zurück gegeben.

Design-by-Contract für Komponenten Das Konzept des „Design-by-Contract“ lässt sich auch auf Komponenten übertragen. Eine Komponente C ruft einen Dienst einer anderen Komponente C' auf. Die Bedarfsschnittstelle R_C von C entspricht hier der Vorbedingung und die Angebotsschnittstellen $P_{C'}$ von C' entspricht der Nachbedingung. Somit ist die Komponente C nur nutzbar, wenn die Bedarfsschnittstelle R_C eine Teilmenge der Angebotsschnittstelle $P_{C'}$ ist, also $R_C \subseteq P_{C'}$ gilt.

Die Definition solcher Verträge hat den Vorteil, dass klar gestellt wird, von welchen Voraussetzungen ausgegangen wird. Dies führt zu weniger Fehlern, da Missverständnisse vermieden werden können. Zudem reduziert sich der Umfang der Fehlerbehandlung, da ein definierter Zustand vorausgesetzt werden kann.

Um solche Verträge definieren zu können, müssen die Voraussetzungen schon während des Designs bekannt sein, was jedoch nicht immer der Fall ist. Aus diesem Grunde wird eine flexiblere Anpassung benötigt. Dies führt zu den parametrischen Verträgen (4).

Parametrisierte Verträge Ein parametrischer Vertrag verknüpft die Bedarfsschnittstelle mit der Angebotsschnittstelle der selben Komponente durch eine bijektive Abbildung:

$$p : \{\text{Angebotsschnittstelle}\} \rightarrow \{\text{Bedarfsschnittstelle}\}$$

Die Bedarfsschnittstelle entspricht der Vorbedingung und die Angebotsschnittstelle entspricht der Nachbedingung. Durch die Definition einer solchen Abbildung lassen sich zur Einsatzzeit die angebotenen Dienste einer Komponente in Abhängigkeit von den Diensten der Umgebung berechnen. Ist zum Beispiel nur eine Teilmenge der in der Bedarfsschnittstelle angegebenen Dienste verfügbar, so kann man aufgrund der parametrisierten Verträge bestimmen, welche Dienste angeboten werden können. Damit lässt sich eine Komponente flexibel in unterschiedlichen Umgebungen einsetzen, auch wenn nicht alle Voraussetzungen erfüllt sind.

Parametrische Verträge lassen sich in Form von Service-Effektspezifikationen angeben, die für einen Dienst der Angebotsschnittstelle die benötigten Dienste der Umgebung auflistet.

2.1.3 Service-Effektspezifikation

Eine Service-Effektspezifikation gibt für einen Dienst der Angebotsschnittstelle die von ihm aufgerufenen externen Dienste an. Als Teil der Schnittstellenmodelle (4) lassen sich drei Arten von Service-Effektspezifikationen mit unterschiedlichem Informationsgehalt festhalten.

- Service-Effektspezifikationen für Signaturlisten-basierte Schnittstellen,
- Service-Effektspezifikationen für Protokoll-basierte Schnittstellen und
- Service-Effektspezifikationen für Quality-of-Service-basierte Schnittstellen.

Signaturlisten-basierte Service-Effektspezifikationen Bei Signaturlisten-basierten Service-Effektspezifikationen werden die benötigten externen Dienste in einer Liste angegeben, die keinerlei Informationen über die Häufigkeit und Reihenfolge selbiger enthält. In Abbildung 2 ist ein Beispiel einer Spezifikation zu sehen.

```
void Methode()  
requires  
    externeMethode1  
    externeMethode2  
    ...  
{  
    Programmcode  
}
```

Abbildung 2: Service-Effektspezifikation

Protokoll-basierte Service-Effektspezifikation Protokoll-basierte Service-Effektspezifikationen enthalten zusätzlich Informationen über die Aufrufreihenfolgen der externen Dienste, die zum Beispiel durch endliche Automaten modelliert werden können.

Quality-of-Service-basierte Service-Effektspezifikationen Quality-of-Service-basierte Service-Effektspezifikationen enthalten zusätzlich Informationen über Qualitätseigenschaften. Diese können zum Beispiel in der „Quality of Service Modelling Language“ (QML) (5) angegeben werden (siehe nächsten Abschnitt).

2.1.4 Quality of Service Modelling Language

Mit der „Quality of Service Modelling Language“ lassen sich Qualitätseigenschaften von Software spezifizieren. Es handelt sich hier um nicht funktionale Eigenschaften der Software wie die Performanz,

2 Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren

Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit. Eine Beschreibung der QML ist in (5) zu finden. Ich werde hier nur kurz auf die Spezifikation der Performanz eingehen, da die anderen Möglichkeiten der QML für diese Arbeit irrelevant sind.

In der QML werden Qualitätseigenschaften in Form von Verträgen spezifiziert. Die Performanz eines Dienstes kann durch Angabe der Aspekte in Form von Quantilen angegeben werden. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel eines solchen Vertrages, der die Performanz für einen Dienst „transfer“ folgendermaßen definiert.

1. 100% aller Ausführungen benötigen weniger als 30 Millisekunden,
2. 50% aller Ausführungen benötigen höchstens 10 Millisekunden und
3. 30% aller Ausführungen benötigen höchstens 5 Millisekunden.

```
from latest require Performance contract {  
  transfer {  
    percentile 30 < 5 msec;  
    percentile 50 < 10 msec;  
    percentile 100 < 30 msec;  
  };  
};
```

Abbildung 3: Performanzvertrag

Mit Hilfe der Service-Effektspezifikation lassen sich die Sequenzen von externen Aufrufen für einen Dienst der Angebotsschnittstelle einer Komponente beschreiben. Die *QML* bietet darüber hinaus die Möglichkeit Performanzeigenschaften von Diensten zu spezifizieren. Dies sind die Informationen, die das Palladio-Performanz-Vorhersagemodell benötigt, das in dem nächsten Abschnitt beschrieben wird.

2.2 Palladio-Performanz-Vorhersagemodell

Dieser Abschnitt beschreibt das Palladio-Performanz-Vorhersagemodell. Ziel des Modells ist die Vorhersage der Performanz von Anwendungen basierend auf den verwendeten Komponenten, wobei man insbesondere an dem Vergleich verschiedener Architekturen interessiert ist.

Das Modell besteht aus

- den Service-Effektautomaten, die im Abschnitt 2.2.1 beschrieben werden,
- Zufallsvariablen, die im Abschnitt 2.2.2 beschrieben werden und
- den Transitionswahrscheinlichkeiten (Abschnitt 2.2.3).

2.2.1 Service-Effektautomat

Bei einem Service-Effektautomaten handelt es sich um einen endlichen Automaten, der die möglichen Aufrufreihenfolgen externer Dienste für einen Dienst der Angebotsschnittstelle einer Komponente beschreibt.

```
public bool IsAccepted(State s0, Symbol[] symbols)
{
    State[] S = EpsilonClosure(s0);
    Symbol input = symbols[0];

    for (int i=1; i< symbols.Length; i++) {
        S = EpsilonClosure(Move(S, input));
        input = symbols[i];
    }

    return(IsFinalState(S));
}
```

Abbildung 4: Beispiel eines Dienstes

Abbildung 4 enthält ein Beispiel eines Dienstes, der von einer Komponente angeboten werden könnte. Es handelt sich hier um einen leicht veränderten Algorithmus aus (6), der entscheidet, ob eine Folge von Symbolen von einem nichtdeterministischen Automaten akzeptiert wird. Abbildung 5 enthält den zugehörigen Service-Effektautomaten. Man kann erkennen, dass externe Methodenaufrufe mit den Transitionen korrespondieren und die Zustände interne Berechnungen darstellen.

Die erste Aktion des Dienstes ist die Bestimmung aller von dem Startzustand s_0 durch Epsilonübergänge erreichbaren Zustände mit Hilfe der externen Methode *EpsilonClosure*. Danach wird eine Schleife betreten, in der zuerst die externe Methode *Move()* aufgerufen wird, die die Menge der von S über *input* erreichbaren Zustände liefert. Als zweites wird in der Schleife wieder *EpsilonClosure()* aufgerufen, um die Epsilonübergänge zu berücksichtigen. Nachdem alle Symbole der Eingabe des Automaten abgearbeitet wurden, wird die Methode *IsFinalState()* aufgerufen, die überprüft, ob in S ein Endzustand enthalten ist.

Wie man sieht, bildet der Service-Effektautomat die möglichen Abläufe eines Dienstes nach. Für die Berechnung der Performanz werden allerdings noch weitere Informationen benötigt, da noch keine Aussage darüber gemacht wurde, wann welcher Pfad betreten wird und wie die externen Dienste die Performanz beeinflussen.

2.2.2 Zufallsvariablen

Um das Zeitverhalten eines Dienstes anzugeben, werden in dem Modell Zufallsvariablen verwendet. Eine diskrete Zufallsvariable ist eine Abbildung, die einem Ereignis eines Zufallsexperiments eine reelle Zahl zuordnet (7). Zufallsvariablen können durch ihre

- Dichtefunktion oder ihre
- Verteilungsfunktion

angegeben werden. Die Verteilungsfunktion F einer diskreten Zufallsvariable X mit einer endlichen Anzahl m von Ereignissen $X_i, i \in [0, m - 1]$ ist eine monoton steigende Treppenfunktion und wie folgt defi-

2 Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren

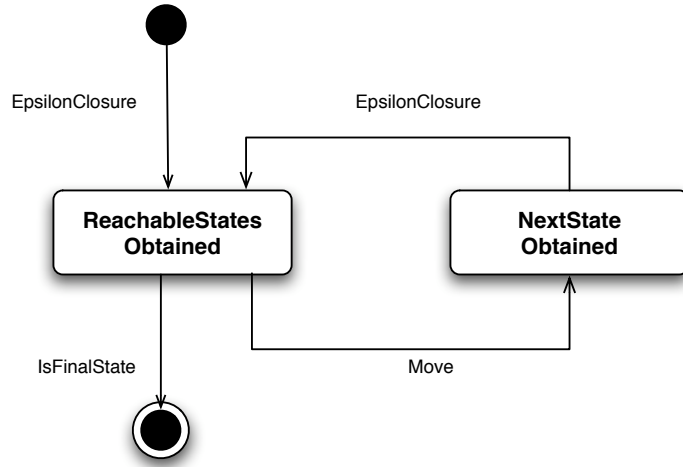


Abbildung 5: Service-Effektautomat. Die Zustände symbolisieren interne Berechnungen, die Transitionen stellen den Aufruf eines externen Dienstes dar. Transitionswahrscheinlichkeiten und Zufallsvariablen sind hier nicht dargestellt.

niert:

$$F : x_i \rightarrow P(X < x_i) \quad i = 0, \dots, m-1, \quad (1)$$

Die Dichtefunktion der Zufallsvariablen ist eine Abbildung,

$$p : x_i \rightarrow P(X = x_i) \quad i = 0, \dots, m-1, \quad (2)$$

die jedem Ereignis eine Wahrscheinlichkeit zuordnet. In dem Modell werden die Zufallsvariablen als Dichtefunktionen angegeben. Da die Funktionswerte Wahrscheinlichkeiten für eine bestimmte Ausführungszeit angeben, sollte die Summe der Funktionswerte stets eins ergeben.

Da für die Berechnung der Performanz die Fouriertransformation verwendet wird, ist es notwendig, dass die Funktionswerte der Dichtefunktionen den gleichen Abstand haben.

Bei der Wahrscheinlichkeitsfunktion konzentrieren sich die Werte eines Intervalls $[x_{i-1}, x_i]$ auf den einzelnen Punkt x_i . Es fehlt allerdings die Information der Verteilung innerhalb dieses Intervalls. Daher wird für dieses Modell angenommen, dass die Wahrscheinlichkeiten in diesem Intervall gleich verteilt sind. Auf dieser Annahme kann man jede Wahrscheinlichkeitsfunktion mit ungleichen Abständen in eine Wahrscheinlichkeitsfunktion mit gleichen Abständen transformieren. Der gemeinsame Abstand α , der auch als Abtastrate bezeichnet wird, wird durch den größten gemeinsamen Teiler der Intervalllängen bestimmt. Jedes Intervall $[x_{i-1}, x_i]$ wird in $\frac{x_i - x_{i-1}}{\alpha}$ Teilintervalle aufgeteilt, so dass jedes Intervall anschließend eine Länge von α besitzt. Die Wahrscheinlichkeit wird zu gleichen Teilen auf die Teilintervalle verteilt, so dass die neue Wahrscheinlichkeit für die aufgeteilten Intervalle $\frac{p_i \alpha}{x_i - x_{i-1}}$ beträgt.

Da in einem Service-Effektautomaten sowohl die Transitionen (externe Berechnungen) als auch die Zustände (interne Berechnungen) Zeit verbrauchen, wird jeder Transition und jedem Zustand eine Zufallsvariable zugewiesen.

2 Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren

Um die Zufallsvariablen für einen Dienst zu ermitteln gibt es unter anderem folgende für diese Arbeit relevanten Möglichkeiten: Die Zufallsvariablen für einen Dienst kann durch

- Messungen der Ausführungszeiten oder durch
- Berechnungen eines Performanz-Vorhersageverfahrens

ermittelt werden.

Die Zufallsvariable eines Dienstes kann aus den Aspekten eines *QML*-Vertrages, die die Punkte der Verteilungsfunktion angeben, gewonnen werden. Abbildungen 6 und 7 zeigen die Dichte- und Verteilungsfunktion des Beispiels in Abbildung 3 auf Seite 6

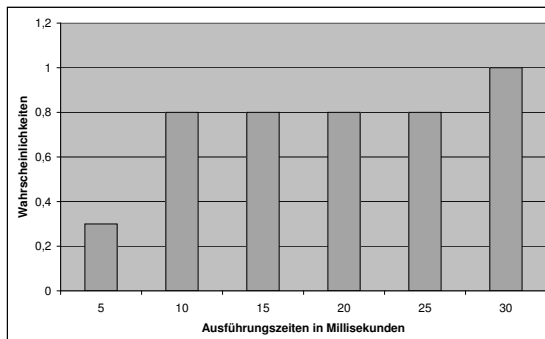


Abbildung 6: Verteilungsfunktion

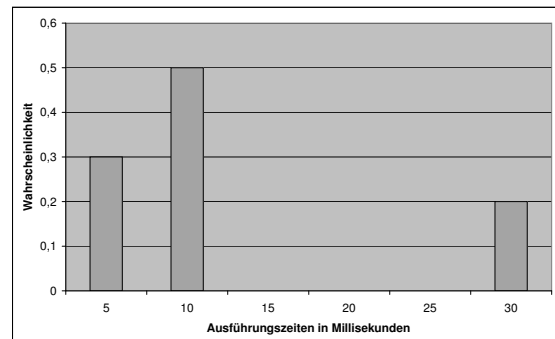


Abbildung 7: Dichtefunktion

Der Grund, für das Zeitverhalten eines Dienstes Zufallsvariablen zu verwenden, liegt in den Eigenschaften derselben. Zum einen erhält man eine sehr differenzierte Repräsentation des Zeitverhaltens. Zum anderen sind auf einer Zufallsvariablen verschiedenen Operationen wie z.B. die Addition definiert, die ebenfalls eine differenzierte Berechnung ermöglichen. Die QML bietet auch die Möglichkeit, das Zeitverhalten durch Mittelwerte und die Varianz anzugeben. Mit diesen Werten lassen sich die Ausführungszeiten allerdings nicht so detailliert angeben wie mit Zufallsvariablen.

2.2.3 Transitionswahrscheinlichkeiten

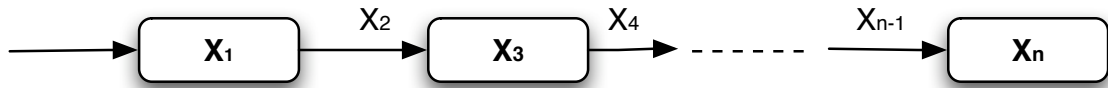
In einem Service-Effektautomaten kann es mehrere Pfade von dem Startzustand zum Endzustand geben. Um die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Pfade und die Gewichtung der Zufallsvariablen zu bestimmen, wird für jede Transition eine Aufrufwahrscheinlichkeit benötigt. Dabei sollte die Summe der Wahrscheinlichkeiten für alle ausgehenden Transitionen eines Zustands eins ergeben.

2.3 Verfahren

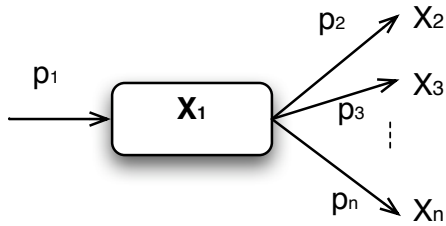
In diesem Abschnitt wird das Verfahren vorgestellt, um mit den Informationen des Modells die Performanz von Diensten zu berechnen. Ausgangspunkt der Berechnungen sind die Service-Effektautomaten, bei denen es sich um endliche Automaten bestehend aus den drei Basiskonstrukten

- Sequenz,
- Alternative und
- Schleife

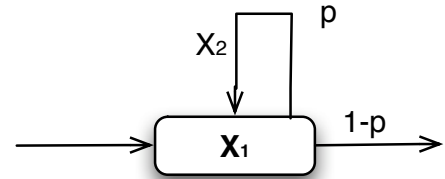
handelt (1). Jedes dieser Konstrukte besteht aus einer Kombination von Zufallsvariablen, aus denen das Vorhersageverfahren ein Ergebnis berechnet, das wieder eine Zufallsvariable ist. Die Berechnungen, die entweder im Zeit- oder im Frequenzbereich durchgeführt werden können, werden auf den Dichtefunktionen der Zufallsvariablen durchgeführt. Für eine Berechnung im Frequenzbereich müssen die Dichtefunktionen mit Hilfe der Laplace- oder Fouriertransformation transformiert werden. Das Ergebnis der Berechnung wird anschließend durch eine inverse Transformation in den Zeitbereich zurück transformiert.



(a) Sequenz



(b) Alternative



(c) Schleife

Abbildung 8: Service-Effektautomaten

Sequenz (Abbildung 8 a) Um das Zeitverhalten $x_{seq}[n]$ der Sequenz zu berechnen, muss man die Summe der einzelnen Ausführungszeiten berechnen bzw. die Summe der Zufallsvariablen X_i bestimmen. Die Dichtefunktion der Summe der Zufallsvariablen X_i entspricht der Faltung der zugehörigen Dichtefunktionen x_i .

$$x_{seq}[n] = \otimes_{i=1}^n x_i[n] \quad (3)$$

Im Frequenzbereich wird die Addition von Zufallsvariablen durch punktweise Multiplikation der fouriertransformierten Dichtefunktionen berechnet.

$$\mathcal{F}(x_{seq}[n]) = \prod_{i=1}^n \mathcal{F}(x_i[n]) \quad (4)$$

Alternative (Abbildung 8 b) Die Ausführungszeit für die Alternativen $x_{alt}[n]$ wird durch die gewichtete Summe der alternativen Aufrufe berechnet. Die einzelnen Summanden x_i sind dabei mit der Wahr-

2 Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren

scheinlichkeit p_i ihres Aufrufs gewichtet.

$$x_{alt}[n] = x_1[n] \otimes \sum_{i=2}^n p_i x_i[n] \quad (5)$$

Die Berechnung im Frequenzbereich entspricht der im Zeitbereich.

$$\mathcal{F}(x_{alt}[n]) = \mathcal{F}(x_1[n]) * \sum_{i=2}^n p_i \mathcal{F}(x_i[n]) \quad (6)$$

Schleife (Abbildung 8 c) Die Schleife wird durch die gewichtete Summe der Selbstfaltung beschrieben. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit für eine Schleifeniteration p und für das Verlassen der Schleife $1 - p$.

$$x_{loop}[n] = (1 - p) \sum_{k=0}^{\infty} p^k \otimes_{i=1}^k (x_1[n] \otimes x_2[n]) \quad (7)$$

Der erste Summand (für $k = 0$) entspricht dem Fall, dass die Schleife nicht durchlaufen wird, also eine Ausführungszeit von null hat. Dies wird durch den Dirac-Impuls angegeben, bei dem es sich laut Heinz Unbehauen (8, Seite 43) eigentlich nicht um eine Funktion der klassischen Analysis handelt. Es ist eine Funktion, die an der Stelle null einen unendlichen Wert und für alle anderen Stellen den Wert null besitzt. Definiert wird der Dirac-Impuls als Integral:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (8)$$

Der Dirac-Impuls wird näherungsweise als Rechteckfunktion angegeben. Für diese Arbeit ist diese Definition zweckhaft.

$$\delta(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (9)$$

Hier steht der Dirac-Impuls also für eine Zufallsvariable, die keine Zeit verbraucht. Dann lässt sich die Formel (7) auch so schreiben:

$$x_{loop}[n] = (1 - p) \left(\delta(t) + \sum_{k=1}^{\infty} p^k \otimes_{i=1}^k (x_1[n] \otimes x_2[n]) \right) \quad (10)$$

Die Summe konvergiert und kann approximiert werden. Im Frequenzbereich lässt sich der Grenzwert der Reihe direkt berechnen (9):

$$\sum_{k=0}^{\infty} p^k \mathcal{F}\{x_a[n]\} = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \frac{1}{\alpha} + \frac{p \mathcal{F}\{x_a[n]\}}{1 - p \alpha \mathcal{F}\{x_a[n]\}} \right\} \quad (11)$$

Der nächste Abschnitt beschreibt die Implementierung des Verfahrens.

3 Implementierung

In dem vorigen Kapitel wurde das Palladio-Performanz-Vorhersageverfahren für Dienste der Angebotschnittstelle einer Komponente beschrieben. In diesem Abschnitt geht es darum, wie dieses Verfahren implementiert wurde. Die Implementierung beinhaltet die beiden Ansätze

- Berechnung im Zeitbereich und
- Berechnung im Frequenzbereich.

Abschnitt 3.1 beschreibt die Gemeinsamkeiten in der Implementierung beider Ansätze, wohingegen in Abschnitt 3.2 auf Seite 19 die Unterschiede in den Berechnungen aufgezeigt werden.

3.1 Gemeinsamkeiten

In diesem Abschnitt werden die Gemeinsamkeiten der beiden implementierten Ansätze beschrieben. Beide Implementierungen erhalten die gleiche Eingabe in Form eines Service-Effektautomaten, der für die algorithmische Auswertung vorverarbeitet wird. Dies ist in Abschnitt 3.1.1 beschrieben. Abschnitt 3.1.2 beschreibt die Datenstrukturen für die Qualitätseigenschaften der Dienste. Bei der Berechnung kann es nötig sein, die Abtastrate auf einen anderen Wert anzupassen. Dies wird in Abschnitt 3.1.3 beschrieben. Abschnitt 3.1.4 beschäftigt sich mit dem Problem der Schleifenberechnung, da die Anzahl der Schleifeniterationen unbekannt ist. In dem Abschnitt 3.1.5 wird die Datenstruktur des regulären Ausdrucks für die Berechnung betrachtet. Schließlich geht es im Abschnitt 3.1.6 um die Bestimmung der Gewichtung der Zufallsvariablen.

3.1.1 Idee der Implementierung

Eingabe der Berechnung sind die Service-Effektautomaten der Anwendung. Für eine algorithmische Auswertung ist es jedoch vorteilhaft, den Automaten in einen regulären Ausdruck zu transformieren, da sich diese aufgrund ihrer rekursiven Struktur komfortabler auswerten lassen.

Ein endlicher Automat lässt sich in einen regulären Ausdruck transformieren, der die gleiche Sprache akzeptiert (10). Die Service-Effektautomaten enthalten allerdings zusätzliche Informationen in Form von Zufallsvariablen und Transitionswahrscheinlichkeiten, die für die Berechnung der Performanz notwendig sind. Damit diese Informationen bei der Transformation in den regulären Ausdruck erhalten bleiben, müssen sie mit den Eingabesymbolen assoziiert werden. Das ist bei den Transitionen kein Problem, da zu jeder Transition ein Eingabesymbol gehört. Allerdings enthalten auch die Knoten des Automaten Zufallsvariablen. Die Lösung besteht in der Einführung eines Zustands und einer Transition mit einem neuen Eingabesymbol für jeden Knoten.

Der reguläre Ausdruck wird als abstrakter Syntaxbaum (6) repräsentiert, der die rekursive Struktur von regulären Ausdrücken nachbildet. Für die Berechnung wird dieser Baum in einem Tiefendurchlauf durchlaufen und schrittweise ausgewertet.

3 Implementierung

Einführung eines Zwischenzustands Für jeden Zustand des Automaten wird ein Zwischenzustand mit einer neuen Transition und einem neuen Eingabesymbol definiert. Des weiteren werden die eingehenden Transitionen zu dem neuen Zustand umgeleitet.

Gegeben sei ein Service-Effektautomat mit Zuständen *States* und Eingabesymbolen *Inputs*. Für jeden Zustand $S \in States$ des Service-Effektautomaten wird ein neuer Zustand S' und eine Transition $S' \xrightarrow{s} S$ mit einem neuen Eingabesymbol $s := Name(S)$ definiert, wobei $Name(S)$ den Namen des Zustandes liefert. Die Zufallsvariable von S wird nun mit dem neuen Eingabesymbol s assoziiert. Die Transitionswahrscheinlichkeit für die neue Transition beträgt 100%. Für alle Transitionen $t := X \xrightarrow{a} S$ mit $a \in Inputs$ und $X \in States$ wird t durch eine neue Transition $t' := X \xrightarrow{a} S'$ ersetzt. Alle Zufallsvariablen und Transitionswahrscheinlichkeiten werden mit den Eingabesymbolen assoziiert.

Der Effekt der Transformation ist in Abbildung 9 dargestellt. Das Ergebnis ist ein Automat, bei dem alle für die Berechnung benötigten Informationen in den Eingabesymbolen enthalten sind. Jeder Zustand mit einer Zufallsvariable hat eine eingehende Transition, dessen Eingabesymbol mit der Zufallsvariable assoziiert ist.

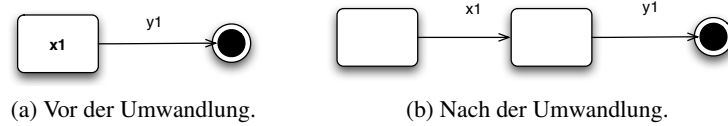


Abbildung 9: Bei der Umwandlung des Service-Effektautomaten werden Transitionen erzeugt, die das Zeitverhalten der internen Berechnungen enthalten.

Umwandlung des Automaten in einen regulären Ausdruck Zu jedem endlichen Automat existiert ein regulärer Ausdruck, der die gleiche Sprache akzeptiert. Reguläre Ausdrücke sind induktiv definiert (10):

R ist ein regulärer Ausdruck, wenn R folgende Form hat:

1. a für $a \in \Sigma$, für ein Eingabealphabet Σ
2. ε , die leere Zeichenfolge
3. \emptyset , ein leeres Eingabealphabet
4. $(R_1 \cup R_2)$, die Vereinigung zweier regulärer Ausdrücke R_1 und R_2
5. $(R_1 \circ R_2)$, die Komposition zweier regulärer Ausdrücke R_1 und R_2
6. (R_1^*) , die Iteration eines regulären Ausdruckes R_1

Die letzten drei Teile der Definition entsprechen den drei Basiskonstrukten der Service-Effektautomaten, die in Kapitel 2.3 vorgestellt wurden. Aufgrund der rekursiven Definition ist ein regulärer Ausdruck allerdings einfacher auszuwerten. Für die Transformation des obigen Automaten in einen regulären Ausdruck wird der in (10) beschriebene GNFA-Algorithmus verwendet.

3.1.2 Datenstruktur

Für die Erzeugung der Service-Effektautomaten wird die Palladio.FiniteStateMachine-Bibliothek verwendet, die es ermöglicht, den Transitionen und Zuständen Informationen in Form von Attributen hinzuzufügen. Für die Berechnung werden folgende Attribute definiert:

1. Ein Attribut *RandomVariable*, dass die Dichtefunktion einer Zufallsvariablen enthält.
2. Ein Attribut *QMLAttribut*, das Aspekte eines QML-Vertrages enthält.
3. Ein Attribut *ProbabilityAttribute*, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Transition enthält.
4. Ein Attribut *MeasureAttribute*, dass die Ergebnisse von einer oder mehreren Messungen enthält.

Einige dieser Attribute sind nur unterschiedliche Repräsentationen der gleichen Daten. Aus diesem Grund existiert eine Klasse *AttributeTransformer*, die Methoden für die Transformation eines Attributes in ein anderes bereitstellt. Der Berechnungsalgorithmus erwartet für jede Transition und für jeden Zustand des Automaten ein Attribut *RandomVariable*. Existiert dieses Attribut für einen Zustand oder eine Transition nicht, so wird es aus dem *QMLAttribut* oder dem *MeasureAttribute* erzeugt. Fehlen auch diese Attribute, so wird ein Fehler gemeldet, da für die Berechnung der Performanz nicht alle Informationen vorliegen.

RandomVariable Das Attribut enthält eine diskrete Funktion, die der Dichtefunktion der Zufallsvariable entspricht. Es werden folgende Werte definiert:

- Die Abtaste α , welche die Länge der Intervalle der diskreten Dichtefunktion wiedergibt.
- Die kürzeste Ausführungszeit $xMin$.
- Vektor v , der die Wahrscheinlichkeiten für die Ausführungszeiten enthält.

Aus diesen Werten lassen sich die Ausführungszeiten für die einzelnen Wahrscheinlichkeiten des Vektors berechnen. Sei n die Länge des Vektors v , so gilt für einen Index $i \in [0, n - 1]$:

$$Ausfuehrungszeit(v[i]) = P(X = xMin + \alpha * i) \quad (12)$$

Die Summe der Wahrscheinlichkeiten sollte eins ergeben. Ist der Wert höher, so liegt ein Fehler vor. Bei einem geringeren Wert werden nicht alle möglichen Ereignisse angegeben. Es können sich bei der Berechnungen allerdings geringe Abweichungen ergeben, auch wenn alle Dichtefunktionen der Zufallsvariablen mit einer Summe von eins angegeben werden. Bei diesen Abweichungen handelt es sich um Rundungsfehler, die durch die Verwendung von Gleitkommazahlen entstehen. Die Abweichungen sind allerdings im Bereich von 10^{-8} und somit zu vernachlässigen.

Um eine Zufallsvariable zu beschreiben kann man einerseits die Dichtefunktion angeben. Andererseits kann eine Zufallsvariable auch als Verteilungsfunktion mit Hilfe des *QMLAttribute* (siehe unten) beschrieben werden. Da die Datenstruktur der Zufallsvariable allerdings eine Dichtefunktion erwartet, muss die Verteilungsfunktion in eine Dichtefunktion transformiert werden. Der *AttributeTransformer* stellt eine Funktion für die Transformation bereit.

3 Implementierung

QMLAttribute Wie in Abschnitt 2.1.4 beschrieben, kann die Verteilungsfunktion einer Zufallsvariablen in Form eines QML-Vertrages angegeben werden. Die Aspekte des Vertrages werden in einem Vektor gehalten und entsprechen den Punkten der Verteilungsfunktion einer Zufallsvariablen.

ProbabilityAttribute Das Attribut enthält die Transitions Wahrscheinlichkeit in einem double.

MeasureAttribute Das *MeasureAttribute* enthält die Ergebnisse von Messungen in einer Liste von Ausführungszeiten. Jedes Messergebnis kann als Ereignis eines Zufallsexperiments angesehen werden und aus der Menge der Ereignisse lässt sich eine Zufallsvariable generieren.

Seien a_1, \dots, a_n die einzelnen Messwerte. Dann wird zunächst eine Abbildung definiert, die jedem Vorkommen eines Messwertes eine absolute Häufigkeit H_a zuordnet.

$$a_i \rightarrow H_a(a_i) \quad (13)$$

Sind die absoluten Häufigkeiten bekannt, dann lässt sich die Funktion in eine Dichtefunktion transformieren:

$$a_i := \frac{H_a(a_i)}{\sum_{i=1}^n H_a(a_i)} \quad (14)$$

Für die Berechnung müssen die Stützstellen der Funktion noch auf eine feste Abtastrate α (siehe Abschnitt 3.1.3) angepasst werden.

3.1.3 Anpassung der Abtastrate

Die Abtastrate α beschreibt den zeitlichen Abstand zwischen zwei Werten einer Dichtefunktion. Ein Funktionswert gibt also die Wahrscheinlichkeit für ein Intervall der Länge α an.

Seien zwei Dichtefunktionen f und g mit Abtastraten α_f und α_g gegeben. Dann werden die Funktionen auf den größten gemeinsamen Teiler (GGT) der Abtastraten angepasst: $\alpha_{fg} = \text{GGT}(\alpha_f, \alpha_g)$. Jedes Intervall von f wird in $n = \frac{\alpha_f}{\alpha_{fg}}$ und jedes Intervall von g in $m = \frac{\alpha_g}{\alpha_{fg}}$ Teilintervalle unterteilt. Da keine Informationen darüber vorliegen, wie die Wahrscheinlichkeiten in den Intervallen verteilt sind, wird der Einfachheit halber eine Gleichverteilung angenommen. Die Wahrscheinlichkeit p wird also zu gleichen Teilen auf die Teilintervalle verteilt, so dass jedes Teilintervall eine Wahrscheinlichkeit von $\frac{p}{n}$ bzw. $\frac{p}{m}$ erhält.

Manchmal kann es auch sinnvoll sein die Abtastrate zu erhöhen. Auf Grund einer sehr kleinen Abtastrate kann das Ergebnis der Berechnung möglicherweise sehr viele Funktionswerte haben. Dann gibt es die Möglichkeit, die Abtastrate auf ein Vielfaches der Abtastrate zu setzen und somit mehrere Funktionswerte zu einem zusammenzufassen. Sei α die Abtastrate der berechneten Funktion und sei α_v ein Vielfaches der Abtastrate, dann werden jeweils $\frac{\alpha_v}{\alpha}$ Funktionswerte zusammengefasst. Die Wahrscheinlichkeiten der Werte werden dabei zu einem neuen Wert addiert.

Bei der Anpassung von Abtastraten muss man beachten, dass bei der Verringerung der Abtastrate kein Informationsgewinn stattfindet, da über die Intervalle die nicht bewiesene Annahme der Gleichverteilung gemacht wird. Will man die Funktionen mit einem größeren Informationsgehalt darstellen, so muss man die Verteilung innerhalb dieser Intervalle untersuchen.

Andererseits findet bei der Erhöhung der Abtaste eine Informationsverlust statt, da bei einer weiteren Verarbeitung wieder eine Gleichverteilung für die Intervalle angenommen wird.

3.1.4 Approximation der Schleifenberechnung

Bei der Berechnung der Schleife steht man vor dem Problem, dass die Anzahl der Schleifeniterationen nicht bestimmt werden kann, da die Menge der möglichen Iterationen nicht endlich ist. Das hat zur Folge, dass die Dichtefunktion, die die Performanz der Schleife beschreibt, ebenfalls nicht endlich ist. Da sich eine solche Funktion aber nicht berechnen lässt, wird eine geeignete Approximation benötigt.

Man kann eine Schleife daher als eine unendliche Menge von alternativen Pfaden auffassen (1). Sei p die Wahrscheinlichkeit einer Schleifeniteration, dann ist $1 - p$ die Wahrscheinlichkeit, dass die Schleife verlassen wird. Die Zufallsvariable, die das Zeitverhalten des Schleifenkonstrukts (Abbildung 8 c) beschreibt, hat folgende Gestalt:

$$X_{loop} = \begin{cases} X_1 & \text{mit Wahrscheinlichkeit } 1 - p \\ X_1 + (X_2 + X_1) & \text{mit Wahrscheinlichkeit } (1 - p)p \\ \vdots & \\ X_1 + \underbrace{(X_2 + X_1) \dots + (X_2 + X_1)}_n & \text{mit Wahrscheinlichkeit } (1 - p)p^n \\ \vdots & \end{cases}$$

Durch die unendliche Reihe (7) lässt sich die Dichtefunktion der Zufallsvariablen berechnen. Gilt $p < 1$, dann existiert für diese Reihe ein Grenzwert.

Die Idee der Approximation ist folgende: Mit jedem Glied der Reihe erhöht sich die Summe der Wahrscheinlichkeiten von X_{loop} . Das n -te Glied der Reihe beschreibt die n -te Schleifeniteration. Es existiert ein n , ab dem die Wahrscheinlichkeit $(1 - p)p^n$ monoton fällt und gegen null konvergiert. Daraus kann man schließen, dass ab einem bestimmten n die Summanden nicht mehr allzu sehr ins Gewicht fallen und man die Berechnung abbrechen kann.

Da man bei der Zufallsvariable daran interessiert ist, für möglichst alle Fälle eine Aussage zu machen, muss man darauf achten, dass die Summe der Funktionswerte der Dichtefunktion ungefähr eins ergibt. Dazu definiert man für die Berechnung eine Approximationskonstante $\varepsilon \in]0, 1]$, die den Teil der Summe beschreibt, der nicht mehr berechnet wird. Somit erhält man für X_{loop} eine Dichtefunktion dessen Summe von Funktionswerten größer als $1 - \varepsilon$ ist. Tabelle 1 gibt für ausgewählte Wahrscheinlichkeiten p und Approximationskonstanten ε die nötige Anzahl der zu berechnenden Iterationen an. Es handelt sich um das kleinste n , für das folgende Gleichung erfüllt ist:

$$(1 - p) \cdot \sum_{i=1}^n p^i > 1 - \varepsilon \quad (15)$$

Die Angabe einer Approximationskonstante ist auch für die Berechnung im Frequenzbereich nötig. Zwar lässt sich der Grenzwert mit Hilfe der Formel 11 auf Seite 11 direkt berechnen, allerdings hängen die Werte der Funktion von der Vektorgröße, also der Anzahl der Funktionswerte, ab. Der Vektor muss daher groß genug gewählt werden, um die Funktion möglichst genau darzustellen. Mit Hilfe der Approximati-

3 Implementierung

$\varepsilon \backslash p$	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
0.1	2	2	1	1	1
0.15	2	2	2	1	1
0.2	3	2	2	2	1
0.25	4	3	2	2	2
0.3	4	3	2	2	2
0.35	5	3	3	2	2
0.4	6	4	3	3	2
0.45	6	4	3	3	2
0.5	7	5	4	3	3

$\varepsilon \backslash p$	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2
0.55	8	6	4	4	3
0.6	10	6	5	4	4
0.65	11	7	6	5	4
0.7	13	9	7	6	5
0.75	17	11	9	7	6
0.8	21	14	11	9	8
0.85	29	19	15	12	10
0.9	44	29	22	19	16
0.95	90	59	45	37	32

Tabelle 1: Anzahl der benötigten Schleifeniterationen. Die obere Zeile gibt die Werte für die Approximationskonstante ε an. In der linken Spalte stehen die Werte für die Iterationswahrscheinlichkeit p einer Schleife.

onskonstante lässt sich die maximale Ausführungszeit $xMaxLoop$ der Schleife bestimmen. Sei $xMax$ die maximale Ausführungszeit für eine Schleifeniteration, dann gilt:

$$xMaxLoop = n \cdot xMax \quad (16)$$

3.1.5 Regulärer Ausdruck als Abstrakter Syntaxbaum

Reguläre Ausdrücke sind wie in Abschnitt 3.1.1 beschrieben induktiv definiert. Als Datenstruktur bietet sich daher ebenfalls eine rekursive Struktur an, so dass die regulären Ausdrücke auch als abstrakte Syntaxbäume (6) dargestellt werden können:

- Ein Symbol ist ein regulärer Ausdruck und besitzt ein Attribut *RandomVariable* für das Zeitverhalten und ein Attribut *ProbabilityAttribute*, das die Aufrufwahrscheinlichkeit definiert.
- Die Sequenz ist ein regulärer Ausdruck und besteht aus einem Vorgänger v und einem Nachfolger n . Sie besitzt ein Attribut *ProbabilityAttribute* und ein Attribut *RandomVariable*.
- Die Alternative ist ein regulärer Ausdruck und besteht aus einer Alternative a_1 und einer Alternative a_2 . Sie besitzt ein Attribut *ProbabilityAttribute* und ein Attribut *RandomVariable*.
- Die Schleife ist ein regulärer Ausdruck und besteht aus einem regulären Ausdruck r für das innere der Schleife und einer Schleifeniterationswahrscheinlichkeit p . Zusätzlich besitzt sie ein Attribut *ProbabilityAttribute* und ein Attribut *RandomVariable*.

Alle Unterausdrücke sind der Definition aus Abschnitt 3.1.1 zufolge reguläre Ausdrücke. Am Anfang enthalten nur die Symbole Attribute. Die Berechnung erfolgt ähnlich der Attributauswertung (6) eines Compilers mit Hilfe eines Visitors. Ein Visitor (11) ist ein Entwurfsmuster, dass es ermöglicht eine Folge von Objekten zu besuchen und in Abhängigkeit von der Art des Objekts seine Operationen ausführt. Den Sequenzen, Alternativen und Schleifen werden die Zwischenergebnisse der Berechnung als Attribute hinzugefügt. So wird die Berechnung im Baum von unten nach oben durchgeführt. Abbildung 10 zeigt ein Beispiel eines abstrakten Syntaxbaums für den regulären Ausdruck $a(b|c)^*$. Die oberste Struktur des Ausdrucks ist eine Sequenz aus einem *Symbol* a und einer Schleife $(b|c)^*$, wobei die Schleife wiederum aus einer Alternative mit den beiden Alternativen *Symbol* b und *Symbol* c besteht.

Da der reguläre Ausdruck durch den GNFA-Algorithmus erzeugt wird, ist die Schleife immer Teil einer Sequenz. Dies ist wichtig, wenn die Wahrscheinlichkeit für die Schleife definiert wird.

3 Implementierung

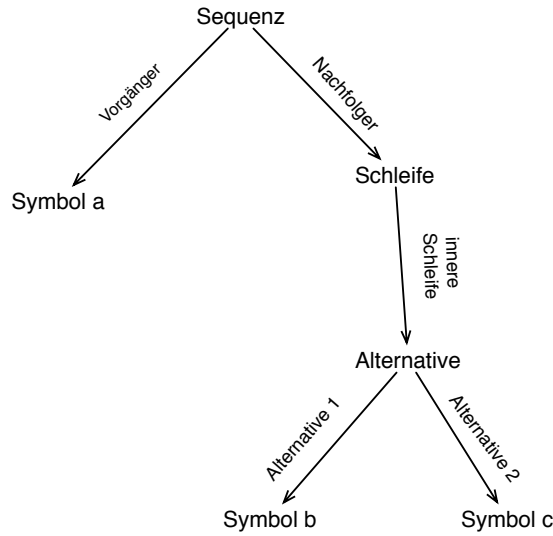


Abbildung 10: Abstrakter Syntaxbaum für den regulären Ausdruck $a(b|c)^*$.

3.1.6 Berechnung der Transitionswahrscheinlichkeiten

Im vorigen Abschnitt wurde beschrieben, dass Sequenzen, Alternativen und Schleifen nicht nur eine Zufallsvariable besitzen, sondern auch eine Aufrufwahrscheinlichkeit, die in dem *ProbabilityAttribute* enthalten ist. Im Folgenden wird angegeben, wie diese Aufrufwahrscheinlichkeiten berechnet werden.

Sequenz Die Aufrufwahrscheinlichkeit für eine Sequenz S berechnet sich aus der Multiplikation der Aufrufwahrscheinlichkeiten des Vorgängers S_V und des Nachfolgers S_N :

$$p(S) = p(S_V) \cdot p(S_N) \quad (17)$$

Alternative Für die Alternative A berechnet sich die Aufrufwahrscheinlichkeit aus der Summe der ersten Alternative A_{A_1} und der zweiten Alternative A_{A_2} :

$$p(A) = p(A_{A_1}) + p(A_{A_2}) \quad (18)$$

Schleife Die Aufrufwahrscheinlichkeit der Schleife ist der Kehrwert der Wahrscheinlichkeit des Verlassens der Schleife. Sei p_{it} die Wahrscheinlichkeit einer Schleifeniteration, dann berechnet sich die Aufrufwahrscheinlichkeit der Schleife L durch:

$$p(L) = \frac{1}{1 - p_{it}} \quad (19)$$

Es handelt sich dabei nicht wirklich um die Aufrufwahrscheinlichkeit der Schleife, sondern um ein Zwischenergebnis. Da der reguläre Ausdruck durch den GNFA-Algorithmus (10) erzeugt wird, ist die Schleife immer Teil einer Sequenz bestehend aus der Schleife selbst und dem Ausdruck E , der abgearbeitet

3 Implementierung

wird, wenn die Schleife verlassen wird. Die anschließende Multiplikation für die Schleife S_L ergibt dann

$$p(S_L) = \frac{1}{1 - p_{ii}} \cdot 1 - p_{ii} = 1. \quad (20)$$

3.2 Unterschiede

Die Berechnungen im Zeit- und Frequenzbereich unterscheiden sich in einigen wenigen Punkten. In dem Abschnitt 3.2.1 wird die Berechnung im Zeitbereich beschrieben, Abschnitt 3.2.2 enthält eine Beschreibung der Berechnung im Frequenzbereich. In dem Abschnitt 3.2.3 wird die Komplexität der beiden Ansätze untersucht und verglichen.

3.2.1 Berechnung im Zeitbereich

Der reguläre Ausdruck wird mit Hilfe eines Visitors rekursiv durchlaufen, der schrittweise die Performanz berechnet. Parallel werden die Aufrufwahrscheinlichkeiten, wie in Abschnitt 3.1.6 beschrieben, von dem gleichen Visitor ausgewertet.

Symbol Handelt es sich bei dem regulären Ausdruck um ein Symbol, dann muss nichts weiter gemacht werden. Das Symbol enthält eine Zufallsvariable und eine Aufrufwahrscheinlichkeit des Service-Effektautomaten.

Sequenz Die Sequenz ruft zunächst den Visitor für den Vorgänger und den Nachfolger auf. Sollten die Zufallsvariablen der beiden Ausdrücke nicht die gleiche Abtastrate haben, so muss die Abtastrate der Funktionen angepasst werden. Anschließend wird die Faltung der beiden Dichtefunktionen berechnet.

Alternative Die Alternative ruft den Visitor für die erste Alternative und anschließend für die zweite Alternative auf. Die Dichtefunktionen der beiden Alternativen werden mit der Wahrscheinlichkeit ihres Aufrufs skaliert und anschließend punktweise addiert. Dafür müssen die Funktionen die gleiche Abtastrate haben.

Schleife Die Schleife ruft zunächst den Visitor für das innere der Schleife auf. Anschließend wird in Abhängigkeit von der Schleifenapproximationskonstante ε und der Wahrscheinlichkeit der Schleifeniteration p die Anzahl der Schleifeniterationen bestimmt und der Grenzwert der Dichtefunktion für die Schleife berechnet.

3.2.2 Berechnung im Frequenzbereich

Die Berechnung im Frequenzbereich erfordert ein wenig mehr Vorarbeit. Es ist nicht möglich die Größe des Vektors im Frequenzbereich zu verändern, da die Funktionswerte der Fourierfunktion bei der diskreten Fouriertransformation in Abhängigkeit von der Anzahl der Funktionswerte berechnet werden.

3 Implementierung

Eine Änderung der Größe des Vektors würde somit die Funktion verfälschen, da die Anzahl der Werte verändert würde. Da die Anpassung der Vektorgroße nur im Zeitbereich stattfinden kann, müsste die Funktion also zweimal transformiert werden, was zu ineffizient ist. Aus diesem Grund muss vor der eigentlich Berechnung die Größe des Ergebnisvektors bestimmt werden und die Abtastrate der Funktionen auf einen einheitlichen Wert gebracht werden, da eine Anpassung der Abtastrate immer eine Größenänderung des Vektors beinhaltet.

Die Berechnung erfolgt in drei Schritten:

1. Bestimmung der Abtastrate α und Bestimmung des maximalen Ausführungszeit max des Ergebnisses. In diesem Schritt werden auch schon die Wahrscheinlichkeiten berechnet, die für die Bestimmung der maximalen Ausführungszeiten der Schleifen benötigt werden.
2. Die minimale Ausführungszeit wird auf null, die maximale Ausführungszeit auf max gesetzt. Für alle Dichtefunktionen werden die Stützpunkte auf eine Abtastrate von α angepasst. Zuletzt werden die Funktionen in den Frequenzbereich transformiert.
3. Die Berechnung wird im Frequenzbereich durchgeführt und das Ergebnis in den Zeitbereich transformiert.

In jedem Berechnungsschritt wird der reguläre Ausdruck mit Hilfe eines Visitors durchlaufen. Die Zwischenergebnisse werden in den Attributen gespeichert und sind so in dem nächsten Durchlauf verfügbar.

Die Berechnung im Frequenzbereich erscheint aufwendiger, weil der reguläre Ausdruck drei mal durchlaufen werden muss. Allerdings lässt sich die Addition zweier Zufallsvariablen im Frequenzbereich effizienter berechnen. Der folgende Abschnitt enthält daher einen Vergleich der beiden Ansätze.

3.2.3 Komplexität

Ein praktischer Vergleich der beiden Ansätze ist in dem Abschnitt 5 auf Seite 29 beschrieben. Dort werden die Berechnungen in Bezug auf Performanz und Genauigkeit verglichen. In diesem Abschnitt soll die Komplexität der beiden Ansätze betrachtet werden. Die beiden Ansätze unterscheiden sich in den folgenden Punkten:

- Berechnung der Faltung
- Berechnung des Grenzwertes der Schleife
- Verwendung der Fouriertransformation

Berechnung der Faltung Die Dichtefunktion der Summe zweier Zufallsvariable X und Y berechnet sich aus der Faltung der Dichtefunktionen f_n und g_n der Zufallsvariablen X und Y (1):

$$f_n \otimes g_n = \sum_{v=0}^n f_v \cdot g_{n-v} \quad (21)$$

3 Implementierung

Für große n ist die Berechnung der Faltung recht unperformant. Sie hat im Zeitbereich eine Komplexität von $O(n^2)$, wobei n die Anzahl der Funktionswerte angibt. Es ergibt sich also ein exponentieller Aufwand.

Soll die Addition zweier Zufallsvariablen im Frequenzbereich durchgeführt werden, so besteht die notwendige Voraussetzung, dass die beiden Funktionen die gleichen Stützstellen haben, was sich durch eine Anpassung der Abtastrate erreichen lässt. Dann lässt sich die Addition der beiden Zufallsvariablen durch punktweise Multiplikation der fouriertransformierten Dichtefunktionen berechnen (siehe Formel 4 auf Seite 10). Die punktweise Multiplikation hat eine Komplexität von $O(n)$. Für Funktionen mit sehr vielen Funktionswerten ist die Berechnung der Faltung im Frequenzbereich deutlich performanter. Man muss allerdings noch die Komplexität der Fouriertransformation mit einbeziehen.

Fouriertransformation Die Fouriertransformierte der Dichtefunktion lässt sich effizient mit der schnellen Fouriertransformation mit einem Aufwand von $O(n \cdot \ln(n))$ berechnen. Bei der Transformation und anschließenden Rücktransformation entstehen allerdings Rundungsfehler. Dies kann auch zu negativen Wahrscheinlichkeiten führen. Die Abweichungen sind allerdings so klein (kleiner als 10^{-17}), dass sie vernachlässigt bzw. gerundet werden können. Somit ergibt sich für die Addition der Dichtefunktionen zweier Zufallsvariablen eine Komplexität von

$$O(2 \cdot n \cdot \lg(n) + n \cdot \lg(n)) = O(n \cdot \lg(n)), \quad (22)$$

da zwei Transformationen der Komplexität $O(n \cdot \lg(n))$ und eine Multiplikation der Komplexität $O(n)$ benötigt werden.

Berechnung des Grenzwertes der Schleife Der Grenzwert der Schleife wird im Zeitbereich durch eine Summe von Selbstfaltungen berechnet. Die Anzahl der Summanden wird durch die Schleifeniterationswahrscheinlichkeit und eine Approximationskonstante bestimmt und ist konstant, wodurch die Anzahl der Summanden bei der Komplexität unberücksichtigt bleibt. Es bleibt aber die Faltung im Zeitbereich mit einer Komplexität von $O(n^2)$. Im Frequenzbereich wird der Grenzwert mit Formel 11 auf Seite 11 mit einer Komplexität von $O(n)$ berechnet.

Es muss noch erwähnt werden, dass die Funktionen bei der Berechnung im Frequenzbereich deutlich mehr Funktionswerte besitzen als bei der Berechnung im Zeitbereich. Das liegt daran, dass der Vektor während der Berechnung nicht wächst und schon zu Beginn die Größe des Ergebnisvektors haben muss. Außerdem erfordert die Verwendung der schnellen Fouriertransformation eine Vektorgröße, die eine Potenz von zwei ist. Auch wenn der Performanzvorteil dadurch verringert wird, ist er immer noch signifikant, wie die Ergebnisse in Abschnitt 5 auf Seite 29 zeigen werden.

4 Validierungsmethode

Für die Validierung des Vorhersageverfahrens wird eine Fallstudie durchgeführt. In Abschnitt 4.3 wird erläutert, worum es sich bei einer Fallstudie handelt und aus welchen Gründen diese für die Validierung gewählt wurde.

Für die Durchführung der Fallstudie ist es notwendig, die Performanz von Anwendungen zu messen. Abschnitt 4.1 beschreibt, wie man aus Messungen präzise Funktionen erhält. Abschnitt 4.2 definiert den Begriff der Validität in Bezug auf die Durchführung einer Fallstudie.

In Abschnitt 4.4 wird beschrieben, wie Funktionen auf Übereinstimmung überprüft werden können.

Da bei einer Fallstudie eine große Anzahl von Daten anfallen, wird der Goal-Question-Metric-Ansatz (12) (GQM) von Basili und Rombach für eine zielgerichtete Vorgehensweise verwendet. Dieser Ansatz wird in Abschnitt 4.5 erläutert und auf die Validierung angewandt.

Abschnitt 4.6 enthält eine Beschreibung der bei der Untersuchung des Webserverns beteiligten Variablen.

4.1 Präzision der gemessenen Funktionen

Für die Validierung des Vorhersageverfahrens wird die berechnete Funktion mit der gemessenen Funktion verglichen. Damit ein Vergleich der Funktionen auch aussagekräftig ist, muss die gemessene Funktion präzise ermittelt werden. Eine Funktion ist präzise, wenn bei Wiederholungen der Messung unter gleichen Voraussetzungen die gleiche Funktion gemessen wird (13).

Es liegt auf der Hand, dass die Präzision der Funktionen von der Anzahl der Messwerte abhängt. Man muss also untersuchen, wie viele Messwerte benötigt werden, um eine präzise Funktion zu erhalten. Es handelt sich in diesem Fall um eine Schätzfunktion (siehe Abschnitt 4.4.1), da die Menge aller Ausführungszeiten unbekannt und nicht endlich ist.

4.2 Validität der Untersuchung

Bei allen Untersuchungen muss die Validität gewährleistet sein. Prechelt (14) unterscheidet dabei unter anderem zwei Arten der Validität:

Interne Validität Der Grad, in dem die Änderungen in den Werten der abhängigen Variablen tatsächlich wie gewünscht nur auf Änderungen in den unabhängigen Variablen zurückzuführen sind, d.h. wie gut letztlich alle relevanten Störvariablen kontrolliert wurden.

Externe Validität Der Grad, in dem sich die Resultate eines Experimentes korrekt auf andere Anwendungsfälle übertragen lassen.

Beide Arten der Validität sind in gleichem Maße wichtig. Ein Experiment sollte sowohl intern als auch extern valide sein. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in dieser Arbeit kein kontrolliertes

Experiment, sondern eine Fallstudie durchgeführt wird. Dabei sollte besonders die interne Validität berücksichtigt werden, indem die Störvariablen kontrolliert werden. Die Externe Validität ist bei einer Fallstudie meist gering, da nur eine Anwendung untersucht wird.

4.3 Fallstudie

Um die Validität eines Verfahrens zu untersuchen, sollten alle beteiligten Variablen berücksichtigt werden. Das vertrauenswürdigste Vorgehen wäre die Durchführung eines kontrollierten Experiments (14). In einem Experiment werden zunächst die beteiligten Variablen identifiziert:

Unabhängige Variable Unabhängige Variablen (UV) sind Variablen, die in einem Experiment variiert werden, um einen Einfluss auf beobachtete Variablen zu erkennen. In einem Experiment wird immer nur eine UV zur Zeit variiert, da ansonsten nicht mehr nachvollzogen werden kann, wodurch Veränderungen in den Ergebnissen hervorgerufen wurden.

Abhängige Variable Die abhängige Variable (AV) ist die Variable, die während der Variation der UV beobachtet wird.

Störvariablen Störvariablen (SV) sind Variablen, die neben der UV einen (unerwünschten) Effekt auf die AV haben. Störvariablen verfälschen das Ergebnis. Es ist daher wichtig die Störvariablen in einem Experiment zu identifizieren.

Ziel eines Experiments ist es, den Zusammenhang zwischen der unabhängigen und der abhängigen Variable zu erkennen.

Dabei werden alle Variablen, die für das Ergebnis relevant sind, konstant gehalten und nur eine oder wenige Variablen (unabhängige Variable) variiert, um die Auswirkungen auf die beobachteten Faktoren (abhängige Variablen) zu untersuchen. Es handelt sich bei einem kontrollierten Experiment also um einen Vergleich von mehreren Fällen, die sich nur in einem Merkmal unterscheiden.

In dieser Arbeit soll nur die Richtigkeit der Performanz-Vorhersagen validiert werden. Zu diesem Zweck ist ein kontrolliertes Experiment zu aufwendig und auch unnötig, da man nicht an den Auswirkungen aller Variablen interessiert ist. Für die Überprüfung der Korrektheit der Vorhersagen wird daher eine Fallstudie durchgeführt. Eine Fallstudie ist ein Experiment mit abgeschwächten Anforderungen. Prechelt definiert eine Fallstudie folgendermaßen.

Fallstudie Eine Fallstudie ist die Beschreibung und Bewertung eines Werkzeugs oder einer Methode anhand eines konkreten Anwendungsbeispiels, das eigens zu diesem Zweck unter künstlichen oder unter typischen Bedingungen ausgeführt wird. Fallstudien können auch mehrere Werkzeuge oder Methoden im Vergleich betrachten, sorgen jedoch im Gegensatz zu kontrollierten Experimenten nicht dafür, dass alle übrigen Faktoren konstant gehalten werden.

Auf dieser Definition soll die Validierung des Vorhersageverfahrens zunächst an einer Applikation untersucht werden, die basierend auf einer Verteilungsfunktion Zeit verbraucht. Anschließend wird die Fallstudie auf den Palladio-Webserver ausgeweitet. Dies stellt einen Schritt von einer eher künstlichen zu einer eher typischen Bedingung dar. Der Nachteil einer Fallstudie ist die geringere externe Validität

der Untersuchungen. Andere Anwendungen als der hier untersuchte Webserver können ein anderes zeitliches Verhalten haben. Es ist daher unklar, ob sich die Ergebnisse der Fallstudie auf andere Anwendungen übertragen lassen. Ein weiterer Nachteil ist die Menge an Daten, die bei der Studie anfallen. Daher sollte schon im Vorfeld definiert werden, welche Daten für die Fragestellung relevant sind. Dazu soll der Goal-Question-Metric-Ansatz verwendet werden.

4.4 Vergleich von Funktionen

4.4.1 Schätzfunktion

In Kapitel 2.2.2 wurde beschrieben, dass die Performanz eines Dienstes als Zufallsvariable angegeben wird. Die Menge aller Realisationen einer Zufallsvariablen wird Grundgesamtheit (15) genannt. In den meisten Fällen kann die Grundgesamtheit nicht vollständig betrachtet werden, weil sie zu groß oder wie in unserem Fall nicht endlich ist. Daher muss die Zufallsvariable durch eine Schätzfunktion, die durch Messungen ermittelt wird, angegeben werden. Durch endlich viele Performanzmessungen eines Dienstes entnimmt man der Grundgesamtheit eine ebenfalls endliche Anzahl von Elementen und generiert aus der Verteilung der Ergebnisse die Zufallsvariable. Je höher die Anzahl der Messungen ausfällt, desto zuverlässiger wird die Schätzfunktion werden.

4.4.2 χ^2 Anpassungstest

Bei dem χ^2 -Anpassungstest (16) handelt es sich um ein statistisches Testverfahren zur Überprüfung der Hypothese, dass die Ergebnisse eines Zufallsversuchs bestimmte Wahrscheinlichkeiten besitzen.

In dieser Arbeit wird durch das Vorhersageverfahren die Dichtefunktion f_v mit Funktionswerten x_i einer Zufallsvariablen X berechnet, deren Übereinstimmung mit einer gemessenen Dichtefunktion f_m mit Funktionswerten y_i bestimmt werden soll.

Für den Anpassungstest wird eine Prüfgröße berechnet, die näherungsweise χ^2 -verteilt ist. Dazu werden die absoluten Häufigkeiten beider Funktionen benötigt. Sei n die Anzahl der Messungen, die zur Bestimmung von f_m durchgeführt wurden und sei k die Anzahl der Funktionswerte von f_m . Dann berechnet sich die Prüfgröße durch

$$T = \sum_{j=1}^k \frac{(nx_j - ny_j)^2}{ny_j} \quad (23)$$

Um die Übereinstimmung zweier Funktionen mit Hilfe dieses Tests beurteilen zu können, wird vorausgesetzt, dass die absoluten Häufigkeiten der Ausprägungen der Funktionen größer gleich fünf sind. Aus diesem Grund werden bei der Berechnung der Prüfgröße nur Funktionswerte berücksichtigt, die eine absolute Häufigkeit von wenigstens fünf haben.

Geprüft wird die Hypothese, dass die berechnete Dichtefunktion mit der gemessenen Dichtefunktion übereinstimmt. Um zu entscheiden, ob die Hypothese abgelehnt werden muss, wird eine Fehlertoleranz α definiert. Die Hypothese wird dann auf dem Signifikanzniveau $1 - \alpha$ abgelehnt, wenn der Wert von T größer als $\chi_{k-1, 1-\alpha}^2$ ist.

Der χ^2 -Test kann in Excel für zwei Funktionen direkt berechnet werden. Die Excel-Funktion liefert das Signifikanzniveau $1 - \alpha$ für die Hypothese, dass die Funktionen übereinstimmen.

In den Fallstudien wird kein festes α definiert, sondern das Signifikanzniveau des Tests angegeben.

4.5 Goal-Question-Metric-Plan

Bei dem Goal-Question-Metric-Ansatz handelt es sich um eine systematische Vorgehensweise zur Definition von zielgerichteten Metriken. Die Metriken werden in einem Top-Down-Ansatz definiert. Zuerst werden die übergeordneten Ziele (*Goal*) der Studie formuliert. Für jedes Ziel wird anschließend eine Menge von Fragen (*Question*) entwickelt, die für die Zielerreichung relevant sind. Danach werden für jede Frage Metriken (*Metric*) definiert, die für die Beantwortung der Fragen hilfreich sind. Die Ziele, Fragen und Metriken bilden zusammen den GQM-Plan. In einem anschließenden Bottom-Up-Ansatz werden zunächst die gemessenen Daten anhand der Fragen interpretiert. Die beantworteten Fragestellungen können am Ende die Zielstellung erfüllen. Der Plan für die Validierung ist der Tabelle 2 zu entnehmen.

4.5.1 Ziele der Fallstudie

Ziele werden in vier Teilaspekten definiert:

Zweck (Purpose) Beschreibt den Inhalt des Ziels.

Sachverhalt (issue) Beschreibt die Qualitätseigenschaften, die betrachtet werden sollen.

Objekt (Object) Beschreibt den Gegenstand der Betrachtung.

Standpunkt (Viewpoint) Beschreibt den Blickwinkel, aus dem das Ziel betrachtet wird.

Das GQM-Ziel ist die

Validierung (Zweck) der Genauigkeit (Sachverhalt) des Palladio-Performanz-Vorhersageverfahrens (Objekt) aus der Sicht eines Entwicklers (Standpunkt).

4.5.2 Fragestellungen und Metriken

Im folgenden werden die Fragen entwickelt, deren Beantwortung der Zielerreichung dienen sollen.

1. Wie gut sind die Performanzvorhersagen?

Die Metrik, um diese Fragestellung zu beantworten, liegt in dem Vergleich der berechneten Funktion mit der gemessenen Funktion. Für die Beurteilung der Übereinstimmung der beiden Funktionen wird der χ^2 -Anpassungstest verwendet. Metrik:

- Signifikanzniveau des Vergleiches der berechneten und gemessenen Funktion.

- Berechnungszeit.

2. Welchen Einfluss hat die Abtastrate α auf die Vorhersage?

Die Abtastrate gibt den Abstand zwischen zwei Funktionswerten an. Sie ist aber auch ein Maß für die Genauigkeit der Funktion. Ein Funktionswert der Dichtefunktion gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass die Ausführungszeit des Dienstes in einem bestimmten Bereich der Länge α liegt. Wird das α klein gewählt, so erhält man eine differenziertere Funktion mit mehr Funktionswerten. Das hat eventuell auch einen Einfluss auf die Genauigkeit der Berechnungen. Zumindest aber wird die Berechnungszeit variieren, da der Wert für α die Vektorgröße der Funktionen beeinflusst.

Metrik:

- Signifikanzniveau des Vergleiches der berechneten und gemessenen Funktion.
- Berechnungszeit.

Ziel	Zweck Sachverhalt Objekt Standpunkt	Validierung der Genauigkeit des Palladio-Performanz-Vorhersageverfahrens aus Sicht des Entwicklers
Frage	F1	Wie gut sind die Performanzvorhersagen?
Metrik	M1a	Signifikanzniveau des Vergleiches der gemessenen und berechneten Funktion.
	M1b	Berechnungszeit.
Frage	F2	Welchen Einfluss hat die Abtastrate auf die Vorhersage?
Metrik	M2a	Signifikanzniveau des Vergleiches der gemessenen und berechneten Funktion.
	M2b	Berechnungszeit.

Tabelle 2: GQM-Modell zur Validierung des Vorhersageverfahrens.

4.6 Variablen

Auch wenn in dieser Arbeit kein kontrolliertes Experiment durchgeführt wird, so macht es trotzdem Sinn, die beteiligten Variablen zu identifizieren. Das Vorhandensein von Störvariablen kann zum Beispiel Hinweise darauf geben, warum die gemessene und die berechnete Funktion voneinander abweichen. Bei einer großen Abweichung sollten zunächst die Einflüsse untersucht werden, die eine Verfälschung des Messergebnisses verursachen können.

Um unterschiedliche Aspekte des Verfahrens zu untersuchen, müssen die Variierungsmöglichkeiten bekannt sein, die man durch Identifikation der unabhängigen Variablen erhält. Die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen bilden schließlich die untersuchte Größe, die abhängigen Variablen.

Es soll hier angemerkt werden, dass die Liste der Variablen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Auch können in einer Fallstudie nicht alle Variablen berücksichtigt werden. Die Auflistung gibt daher einen Hinweis auf weitere Möglichkeiten der Untersuchung.

Bei der Messung der Performanz von Diensten gibt es einige Faktoren, die die Messergebnisse verfälschen können (Störvariablen). Soweit möglich, sollte man diese Faktoren konstant halten.

4.6.1 Störvariablen

Bei der Messung der Performanz von Diensten gibt es einige Faktoren, die die Messergebnisse verfälschen können (Störvariablen). Soweit möglich, sollte man diese Faktoren konstant halten.

Betriebssystem Das Betriebssystem verwaltet die Ressourcen wie Speicher und Prozessorzeit. Da unter einem Betriebssystem zu jeder Zeit mehrere Prozesse laufen können, muss es die Ressourcen entsprechend auf die Prozesse verteilen. Programme, die im Hintergrund laufen, können zum Teil sehr viel Prozessorzeit in Anspruch nehmen. Daher sollten alle nicht benötigten Programme während des Messvorgangs beendet werden. Trotz allem gibt es jedoch auch Programme, die das Betriebssystem selbst verwaltet, und die von dem Benutzer nicht beendet werden können. Besonders zeitintensiv können Grafikausgaben oder auch Ausgaben in der Konsole sein.

Messvorgang Für die Auswertung der Messungen müssen Informationen gesammelt werden. Diese beinhalten neben der Start- und Endzeit der Dienste auch Informationen über die Aufrufreihenfolge und die Namen der Dienste. Die Ausführungszeiten für das Sammeln der Daten liegen jedoch im Bereich von Mikrosekunden und werden die Messergebnisse nur geringfügig verfälschen. Für die Validierung ist dieser Faktor zu vernachlässigen, da die Ausführungszeiten annähernd konstant verlängert werden.

Caching Die erste Anfrage einer Datei an den Webserver dauert immer am längsten. Danach wird die Datei im Cache bereitgehalten. Dies erklärt zeitliche Ausreißer bei den Messungen. Da man für die Messungen die Voraussetzungen konstant halten möchte, kann man zum Beispiel die erste Messung unberücksichtigt lassen. Führt man sehr viele Messungen durch, dann fallen diese Ausreißer kaum ins Gewicht und können somit vernachlässigt werden.

Ausgaben Ausgaben auf der Konsole oder in Dateien sind sehr zeitintensiv. Die Messdaten sollten daher zunächst in den Hauptspeicher abgelegt werden. Erst nachdem alle Messungen abgeschlossen wurden, können die Ergebnisse in eine Datei geschrieben werden.

4.6.2 Unabhängige Variablen

Als Eingabe der Berechnung dienen die Service-Effektautomaten, Zufallsvariablen und Transitionswahrscheinlichkeiten. Die Service-Effektautomaten werden durch die Anwendung bestimmt, das Zeitverhalten der einzelnen Dienste und die Wahrscheinlichkeit eines Dienstaufrufs lässt sich aber noch weiter beeinflussen. Als Variationsquellen (unabhängige Variablen) kommen in Frage:

Hardware Jedes Programm und somit auch der Webserver laufen auf unterschiedlicher Hardware unterschiedlich schnell. Dadurch ergeben sich andere Verteilungen für die Zufallsvariablen.

Framework Der Webserver ist für Windows in Verbindung mit dem .NET Framework entworfen worden. Eine Alternative zu .NET ist das freie Mono Framework (17), dass auch für Unix-Systeme verfügbar ist. Ein alternatives Framework besitzt ein ganz anderes Zeitverhalten und beeinflusst somit auch das Zeitverhalten der Dienste.

Deployment .NET bietet die Möglichkeit die einzelnen Komponenten auf unterschiedliche Hardware-Ressourcen zu verteilen. Am naheliegendsten ist dies bei der Datenbank, die in der Regel ohnehin auf einem anderen Rechner läuft. Die Verteilung der Komponenten beeinflusst das Antwortverhalten der Dienste, dass von der Verbindungsgeschwindigkeit der Komponenten abhängig ist.

Auslastung Der Webserver unterstützt Multithreading. Wenn mehrere Clients ihre Anfragen senden, dann wird der Webserver für jede Anfrage einen Thread starten und versuchen diese parallel abzuarbeiten. Da die Threads auf einer Einprozessormaschine aber nur pseudoparallel laufen können, wird sich diese Parallelität vermutlich negativ auf das Laufzeitverhalten des Webserver auswirken.

Anwendungsprofil Nicht jeder Anwender wird die gleichen Dokumente von dem Webserver anfordern wollen. Ein reales Anwendungsszenario wären Anfragen aller Art, die der Webserver unterstützt. Dabei dürfen auch Fehleingaben nicht unberücksichtigt bleiben. Für eine kontrollierte Validierung wird jedoch zunächst bei den Versuchen eine hohe Anzahl von Anfragen eines einzelnen Dokumentes an den Webserver geschickt. So lassen sich die besuchten Pfade in den Service-Effektautomaten kontrollieren. Dabei soll insgesamt eine komplette Pfadüberdeckung der Automaten erreicht werden. In einem abschließenden Versuch soll dann versucht werden ein der Realität näheres Szenario mit mehreren Clients zu simulieren.

In der Fallstudie wird nur das Anwendungsprofil variiert. Es ergeben sich dadurch ausreichend Daten, mit denen die Validität des Verfahrens beurteilt werden kann.

4.6.3 Abhängige Variablen

Die unabhängigen Variablen beeinflussen direkt das Zeitverhalten der Dienste. Man variiert damit also die Zufallsvariablen des Service-Effektautomaten. Unterschiedliche Anwendungsprofile führen darüber hinaus zu unterschiedlichen Transitionswahrscheinlichkeiten, wodurch sich auch die berechnete Funktion ändert. Für die Validierung des Performanz-Vorhersageverfahrens ist nur folgendes interessant:

Übereinstimmung der gemessenen Zeit und der berechneten Funktion Die Übereinstimmung ist das eigentlich Interessante an der Validierung. Der Grad der Übereinstimmung zeigt die Tauglichkeit des Vorhersagemodells. Eine Metrik für die Überprüfung der Ähnlichkeit zweier Funktionen wurde in Abschnitt 4.4 auf Seite 24 vorgestellt.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

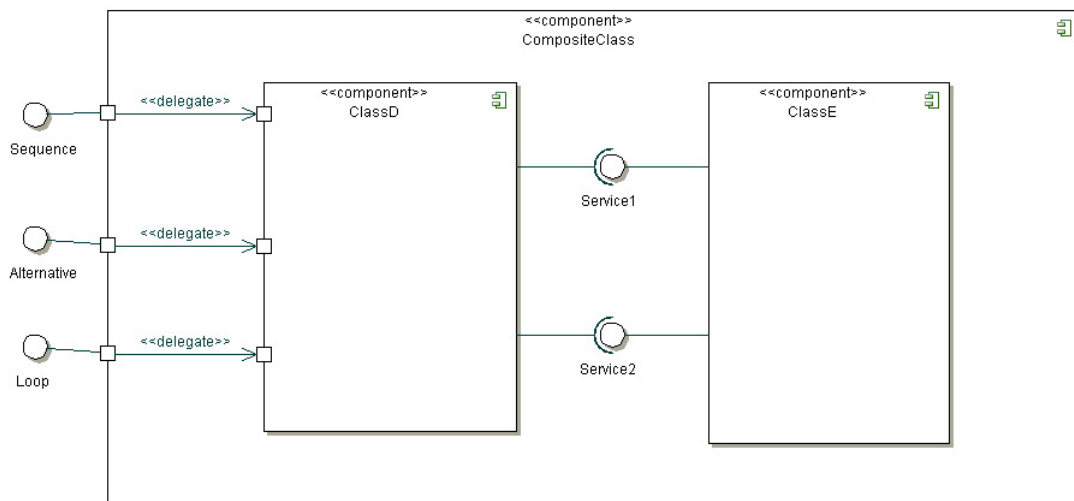


Abbildung 11: Komponentendiagramm der Anwendung.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

In diesem Abschnitt sollen die beiden implementierten Ansätze anhand von minimalen Service-Effekt-automaten einer Anwendung (Abschnitt 5.1) verglichen werden. In Abschnitt 5.2 werden die Ergebnisse des Vergleichs vorgestellt.

5.1 Anwendung

Es wurde eine Applikation implementiert, die aus einer zusammengesetzten Komponente *Composite-Component* mit zwei Unterkomponenten besteht. Abbildung 11 zeigt das Komponentendiagramm der Anwendung. Die Komponente bietet drei Dienste an, deren Service-Effektautomaten den drei Basiskonstrukten entsprechen, die in Abschnitt 2.3 vorgestellt wurden, und ebenso benannt sind.

Alle Dienste der Angebotsschnittstelle werden von der ersten Komponente *ComponentD* realisiert und an die zusammengesetzte Komponente delegiert. Für die Bereitstellung der Dienste greift die Komponente auf die angebotenen Dienste der Komponente *ComponentE* zurück.

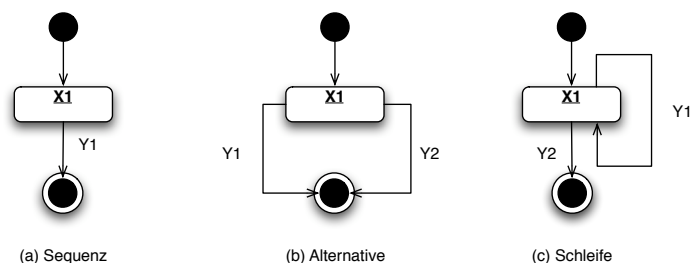


Abbildung 12: Service-Effektautomaten

Die Dienste sind reine „Zeitverbraucher“. Ein Hauptprogramm generiert eine Folge von Zufallszahlen

5 Vergleich der implementierten Ansätze

Ausführungszeit (ms)	X1	Y1	Ausführungszeit (ms)	Y2
1	0,272761789	0,452309527	6	0,593503584
2	0,202066903	0,248232732	7	0,24130055
3	0,149694844	0,136233012	8	0,098105483
4	0,110896668	0,074766262	9	0,039886713
5	0,082154272	0,041032595	10	0,016216727
6	0,060861382	0,022519165	11	0,006593229
7	0,04508722	0,01235878	12	0,002680607
8	0,033401434	0,006782642	13	0,001089853
9	0,024744391	0,003722393	14	0,000443101
10	0,018331096	0,002042893	15	0,000180152

Tabelle 3: Werte der Dichtefunktion für X_1 , Y_1 und Y_2 .

zwischen null und eins und ermittelt mit Hilfe der in (18) beschriebenen Inversionsmethode und fest vorgegebenen Zufallsvariablen die Ausführungszeit, die in lokalen Variablen gehalten werden. Danach führt das Hauptprogramm einen Dienst mehrfach in einer Schleife aus und misst die Performanz.

Der folgende Abschnitt vergleicht die Berechnungen im Zeitbereich und im Frequenzbereich.

5.2 Durchführung der Fallstudie

Untersucht werden sollen die Service-Effektautomaten der *CompositeComponent*, die in Abbildung 12 angegeben sind. Die Performanz der Dienste wird durch fest vorgegebene Wahrscheinlichkeitsfunktionen vorgegeben, die Exponentialverteilungen entsprechen.

Exponentialfunktionen sind folgendermaßen definiert:

$$f_{\lambda}(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (24)$$

Es werden drei Zufallsvariablen mit unterschiedlichem λ definiert:

X_1 mit $\lambda = 0.9$

Y_1 mit $\lambda = 0.6$

Y_2 mit $\lambda = 0.3$

Die Funktionen werden für einen Datenbereich von $0 \dots n$ berechnet und anschließend mit einem Faktor s skaliert, so dass die Funktionswerte in der Summe eins ergeben. Sei *Summe()* eine Funktion, die die Summe der Funktionswerte liefert, dann ist $s = \frac{1}{\text{Summe}()}$. Die Funktionen entsprechen dann den Dichtefunktionen der Zufallsvariablen.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

Anzahl der Funktionswerte	Zeitbereich	Frequenzbereich
10	74	31
100	77	35
1.000	146	83
10.000	6689	1059
20.000	27576	2206

Tabelle 4: Mittlere Ausführungszeiten in Millisekunden bei der Berechnung der Sequenz. Die linke Spalte gibt die Anzahl der Funktionswerte die beiden Funktionen wieder. Die anderen beiden Spalten enthalten die benötigten Zeiten für die Berechnung.

5.2.1 Vergleich der Berechnungen

Die Berechnung wird mit Hilfe der vorgegebenen Dichtefunktion durchgeführt. In Tabelle 3 auf der vorherigen Seite sind die Funktionswerte für $n = 10$ angegeben. Um den χ^2 -Test durchzuführen, werden die absoluten Häufigkeiten H_a für die Ausführungszeiten benötigt, die man erhält, indem die Wahrscheinlichkeiten $p(x_i)$ mit der Anzahl m der Messungen multipliziert werden:

$$H_a(x_i) = m \cdot p(x_i) \quad (25)$$

Da in diesen Abschnitt nur die Berechnungen miteinander verglichen und keine Messungen durchgeführt werden, wird für m ein fester Wert gewählt. Somit ergeben sich hypothetische absolute Häufigkeiten, mit denen sich der χ^2 -Test durchführen lässt.

Sequenz Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Berechnung für die Sequenz. Zunächst fällt auf, dass die berechnete Funktion im Fourierbereich mehr Werte enthält. Dies liegt an der Verwendung der schnellen Fouriertransformation, die als Datenlänge eine Potenz von zwei erwartet. Bei dem Vergleich der Funktionswerte erkennt man eine minimale Abweichung der beiden Funktionen, wobei bei der im Frequenzbereich berechnete Funktion sogar negative Werte auftauchen können. Die Abweichungen liegen allerdings in einem Bereich von 10^{-8} und können somit vernachlässigt werden. Tabelle 6 zeigt die absoluten Häufigkeiten der beiden Funktion für $m = 1.000.000$ Messwerte. Wie man erkennen kann, stimmen die Häufigkeiten bei den Vorkommastellen überein. Der χ^2 -Test bestätigt mit einem Signifikanzniveau von eins, dass die beiden Funktionen identisch sind. Die Berechnungen wurden für $n = 100$ Funktionswerte wiederholt. Tabelle 22 auf Seite 76 zeigt die Funktionswerte. Auch hier bestätigt der χ^2 -Test die Gleichheit der Funktionen mit einem Signifikanzniveau von eins.

Die Unterschiede in der Berechnungszeit sind dafür umso deutlicher. Tabelle 4 zeigt die Ausführungszeiten für die Berechnung der Sequenz. In der linken Spalte steht die Anzahl der Funktionswerte der beteiligten Funktionen. Bei bis zu hundert Werten benötigt die Berechnung im Zeitbereich etwa doppelt so lange wie die Berechnung im Frequenzbereich. Mit zunehmender Anzahl von Funktionswerten vergrößert sich der Abstand.

Alternative Bei der Berechnung der Alternative gibt es in dem Service-Effektautomaten alternative Pfade. Daher muss für jede Transition eine Transitionswahrscheinlichkeit angegeben werden. Die Alternative wird für zwei unterschiedliche Verteilungen der Transitionswahrscheinlichkeiten $p \in \{0.2, 0.6\}$ von Y_1 und $1 - p$ für Y_2 berechnet. In Tabelle 9 auf Seite 34 ist der Vergleich der Berechnungen für $n = 10$ und $p = 0.2$ enthalten. Man kann der Tabellen entnehmen, dass die berechneten Funktionen genau wie

5 Vergleich der implementierten Ansätze

Ausführungszeit	Frequenzbereich	Zeitbereich	Ausführungszeit	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	-5,20417E-12	0	16	1237,327067	1237,327067
1	8,67362E-13	0	17	610,8239492	610,8239492
2	123372,7559	123372,7559	18	284,6771574	284,6771574
3	159105,1895	159105,1895	19	118,7856765	118,7856765
4	155027,1834	155027,1834	20	37,44845998	37,44845998
5	135240,3415	135240,3415	21	2,77556E-11	0
6	111380,6331	111380,6331	22	6,93889E-12	0
7	88655,17024	88655,17024	23	2,08167E-11	0
8	69048,36841	69048,36841	24	1,38778E-11	0
9	53002,33507	53002,33507	25	2,08167E-11	0
10	40280,42213	40280,42213	26	6,93889E-12	0
11	30397,69369	30397,69369	27	1,73472E-11	0
12	16376,79752	16376,79752	28	1,38778E-11	0
13	8761,22706	8761,22706	29	2,60209E-12	0
14	4640,431003	4640,431003	30	5,63785E-12	0
15	2422,389265	2422,389265	31	7,37257E-12	0

Tabelle 5: Die Berechneten Funktionen für die Sequenz im Zeitbereich und im Frequenzbereich.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich	Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	-5,20417E-12	0	16	1237,327067	1237327067
1	8,67362E-13	0	17	610,8239492	610823949,2
2	123372,7559	1,23373E+11	18	284,6771574	284677157,4
3	159105,1895	1,59105E+11	19	118,7856765	118785676,5
4	155027,1834	1,55027E+11	20	37,44845998	37448459,98
5	135240,3415	1,3524E+11	21	2,77556E-11	0
6	111380,6331	1,11381E+11	22	6,93889E-12	0
7	88655,17024	88655170241	23	2,08167E-11	0
8	69048,36841	69048368411	24	1,38778E-11	0
9	53002,33507	53002335066	25	2,08167E-11	0
10	40280,42213	40280422129	26	6,93889E-12	0
11	30397,69369	30397693688	27	1,73472E-11	0
12	16376,79752	16376797519	28	1,38778E-11	0
13	8761,22706	8761227060	29	2,60209E-12	0
14	4640,431003	4640431003	30	5,63785E-12	0
15	2422,389265	2422389265	31	7,37257E-12	0

Tabelle 6: Absolute Häufigkeiten für 1.000.000 Messwerte für die Sequenz im Zeitbereich und im Frequenzbereich.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

Anzahl der Funktionswerte	Zeitbereich	Frequenzbereich
10	84	32
100	84	39
1.000	159	100
10.000	6697	1341
20.000	27822	2844

Tabelle 7: Die mittleren Ausführungszeiten in Millisekunden für die Berechnung der Alternative.

Anzahl der Funktionswerte	Zeitbereich	Frequenzbereich
10	10	1
100	7	4
1.000	13	17
10.000	8	282
20.000	246	638

Tabelle 8: Die mittleren Ausführungszeiten in Millisekunden für die Berechnung der Alternative abzüglich der Berechnungszeiten für die Sequenz.

bei der Sequenz nahezu identisch sind. Die Absoluten Häufigkeiten für die beiden Funktionen sind in Tabelle 23 auf Seite 78 zu finden. Der χ^2 -Test ergibt wieder eine Übereinstimmung der beiden Funktionen mit einem Signifikanzniveau von eins. Für $p = 0.6$ ergibt sich ein ähnliches Bild. Die berechneten Funktionen sind in Tabelle 24 auf Seite 78 zu finden. Für $n = 100$ und $p = 0.2$ sind die Ergebnisse in Tabelle 25 auf Seite 79 und für $n = 100$ und $p = 0.6$ in Tabelle 26 auf Seite 81 zu sehen. Auch hier ergibt sich eine Übereinstimmung der berechneten Funktionen.

Bei den Berechnungszeiten in Tabelle 7 zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Sequenz. Das liegt daran, dass in dem Service-Effektautomaten der Alternative auch eine Sequenz enthalten ist (der reguläre Ausdruck ergibt $X_1(Y_1|Y_2)$). Um die reine Berechnungszeit für die Alternative zu erhalten, kann man daher die mittleren Berechnungszeiten der Sequenz subtrahieren. Das Ergebnis ist in Tabelle 8 angegeben. Hier kann man erkennen, dass die Ausführungszeiten bis 1000 Funktionswerte nur wenig differieren. Für eine höhere Anzahl von Funktionswerten liegt die Zeit für die Berechnung im Frequenzbereich höher. Dies mag zum einen daran liegen, dass die Anzahl der Werte aufgrund der Verwendung der schnellen Fouriertransformation, auf eine Potenz von zwei angepasst werden muss, wodurch mehr Additionen als im Zeitbereich durchgeführt werden müssen. Zum anderen werden für die Fourierfunktion komplexe Zahlen verwendet, deren Datenstruktur komplexer ist als für die Funktionswerte im Zeitbereich.

Schleife Der Service-Effektautomat der Schleife bietet ähnlich wie für die Alternative alternative Pfade. Die Transitionswahrscheinlichkeit für Y_1 gibt die Wahrscheinlichkeit p für eine Schleifeniteration wieder, Y_2 erhält die Wahrscheinlichkeit $1 - p$ und steht für das Verlassen der Schleife. Die Performanz wird jeweils für eine Schleifenapproximationskonstante $\varepsilon = 0.05$ und $\varepsilon = 0.01$ und eine Schleifeniterationswahrscheinlichkeit von $p = 0.4$ bzw. $p = 0.8$ berechnet. Für $n = 10, p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.05$ sind die Ergebnisse in Tabelle 27 auf Seite 82 zu finden. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten ist im Frequenzbereich immer eins, im Zeitbereich immer größer als $1 - \varepsilon$.

Abbildung 13 veranschaulicht einen Ausschnitt der beiden Funktionen. Man kann in der Abbildung erkennen, dass sie bei einer Ausführungszeit von 20 Millisekunden auseinander gehen. Der χ^2 -Test kann die Gleichheit der beiden Funktionen nicht bestätigen. Daher wurde die Berechnung mit $\varepsilon = 0.01$ wiederholt. Tabelle 28 auf Seite 83 enthält die berechneten Funktionen, der χ^2 -Test bestätigt die Gleichheit

5 Vergleich der implementierten Ansätze

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich	Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	-1,04083E-17	0	16	0,019490166	0,019490166
1	-8,67362E-19	0	17	0,007929681	0,007929681
2	0,024674551	0,024674551	18	0,003219394	0,003219394
3	0,031821038	0,031821038	19	0,001300746	0,001300746
4	0,031005437	0,031005437	20	0,000520176	0,000520176
5	0,027048068	0,027048068	21	0,000203629	0,000203629
6	0,022276127	0,022276127	22	7,92232E-05	7,92232E-05
7	0,147239114	0,147239114	23	2,95678E-05	2,95678E-05
8	0,162405675	0,162405675	24	1,00642E-05	1,00642E-05
9	0,142090634	0,142090634	25	2,6419E-06	2,6419E-06
10	0,114170053	0,114170053	26	1,38778E-17	0
11	0,088229343	0,088229343	27	2,08167E-17	0
12	0,065572136	0,065572136	28	0	0
13	0,048487766	0,048487766	29	1,04083E-17	0
14	0,035788428	0,035788428	30	3,46945E-18	0
15	0,026406343	0,026406343	31	-5,20417E-18	0

Tabelle 9: Die berechneten Funktionen für die Alternative mit $p = 0.2$ im Zeitbereich und im Frequenzbereich.

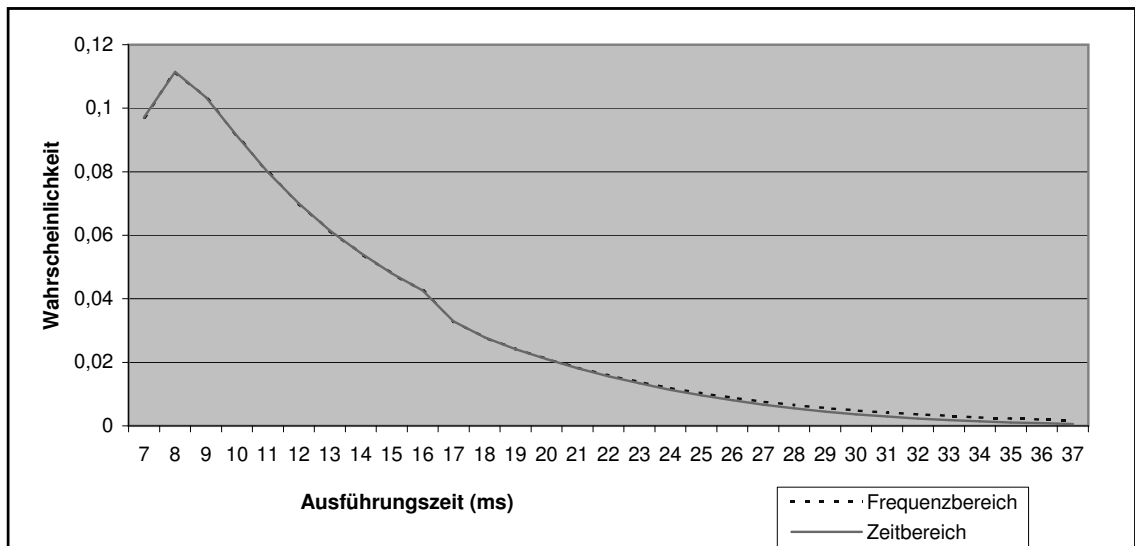


Abbildung 13: Vergleich der berechneten Dichtefunktionen für die Schleife mit $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.05$

5 Vergleich der implementierten Ansätze

Epsilon	p	Anzahl Funktionswerte	Zeitbereich	Frequenzbereich
0.05	0.4	10	172 ms	42 ms
		100	186 ms	71 ms
		1000	3 s 656 ms	400 ms
	0.8	10	170 ms	55 ms
		100	489 ms	235 ms
		1000	28 s 554 ms	1 s 710 ms
0.01	0.4	10	167 ms	40 ms
		100	222 ms	121 ms
		1000	6 s 456 ms	829 ms
	0.8	10	171 ms	55 ms
		100	815 ms	414 ms
		1000	1 min 797 ms	3 s 501 ms

Tabelle 10: Vergleich der Berechnungszeiten für die Schleife.

der beiden Funktionen mit einem Signifikanzniveau von eins.

Untersucht man die berechneten Funktionen für die beiden unterschiedlichen Schleifenapproximationskonstanten, so fällt auf, dass sich die Summe der Wahrscheinlichkeiten der Funktion für den Zeitbereich von 0.9744 auf 0.9949 erhöht hat, wohingegen die Funktion für den Frequenzbereich gleich geblieben ist. Das liegt daran, dass die benötigte Vektorgröße (entspricht der Anzahl der Funktionswerte) im Frequenzbereich von dem Ergebnis der Berechnung im Zeitbereich abhängt. Für $\varepsilon = 0.05$ ergab sich eine Vektorgröße von 85 und für $\varepsilon = 0.01$ eine Vektorgröße von 125. In beiden Fällen ist die nächste Zweierpotenz 128. Da die Berechnung des Schleifengrenzwerts im Frequenzbereich von der Vektorgröße abhängig ist, erklärt sich die unveränderte Dichtefunktion.

Für $p = 0.8$ sind die Funktionen in Abbildung 14 und 15 angegeben. Man kann erkennen, dass die Funktionen 71 bzw. 109 Millisekunden auseinander gehen. Obwohl die Funktionen sehr ähnlich erscheinen, kann die Gleichheit der beiden Funktionen mit dem χ^2 -Test nicht bestätigt werden. Die berechnete Funktion im Fourierbereich hat mehr Werte. Es scheint, dass hier mehr Schleifeniterationen berücksichtigt werden, wodurch sich eine höhere Genauigkeit ergeben würde. Dies wird im nächsten Abschnitt zu prüfen sein.

In Tabelle 10 sind die Berechnungszeiten für die Schleife angegeben. Sie unterscheiden sich schon bei Funktionen mit 10 oder 100 Funktionswerten deutlich. Bei Funktionen mit 1000 Funktionswerten ist der Unterschied überdeutlich. Dies lässt sich auf die Komplexität der Berechnung zurückführen (siehe Abschnitt 3.2.3 auf Seite 20).

Betrachtet man die geringen Abweichungen der berechneten Funktionen und den Performanzvorteil im Frequenzbereich, so fällt die Wahl des Verfahrens nicht schwer. Die geringen Abweichungen der berechneten Funktion im Frequenzbereich kommen wahrscheinlich von der begrenzten Genauigkeit der Fließkommazahlen und der Fouriertransformation. Sie sind aber so gering, dass man sie vernachlässigen kann. Die Berechnung im Zeitbereich kommt aufgrund der Komplexität der Faltung nur in Frage, wenn Funktionen mit wenigen Funktionswerten beteiligt sind. Man sollte dabei auch beachten, dass bei jeder Faltung die Anzahl der Funktionswerte wächst. So kann sich selbst wenn die Funktionen wenige Funktionswerte haben bei einem großen Service-Effektautomaten eine lange Berechnungszeit ergeben. Für die Fallstudie im Zusammenhang mit dem Webserver wird daher der Fourier-Ansatz für die Berechnung verwendet.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

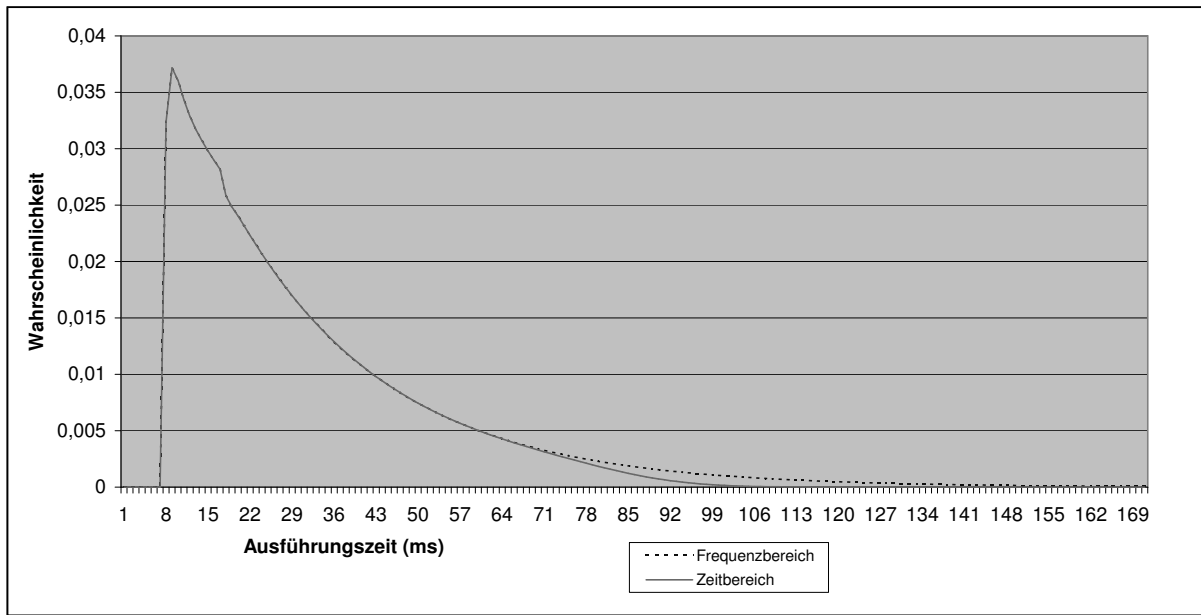


Abbildung 14: Berechnete Dichtefunktionen für $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.05$.

Anzahl der Messungen	Signifikanzniveau
1000	0.8
10000	0.67

Tabelle 11: Signifikanzniveau für die Sequenz.

5.2.2 Vergleich von Messung und Berechnung

Im folgenden soll die Performanz der drei Dienste durch Messungen ermittelt werden. Dazu werden die Dichtefunktionen der Zufallsvariablen mittels der Inversionsmethode basierend auf den vorgegebenen Funktionen ermittelt. Die Zufallszahlen, die dazu benötigt werden, werden von einem Webservice (19) bezogen, da diese eine bessere Verteilung ergeben als die unter .NET erzeugten Zufallszahlen. Um die Einflüsse von Störvariablen zu minimieren, wird der Zeitverbrauch einer Zeiteinheit auf 10 Millisekunden festgelegt. Der Vergleich der gemessenen und berechneten Funktion wird einmal mit 1.000 und einmal mit 10.000 Messwerten durchgeführt, um den Einfluss der Anzahl der Messungen zu untersuchen. Für die Berechnung wird der Fourier-Ansatz verwendet, da dieser für die Sequenz und die Alternative die gleiche Funktion berechnet. Bei der Schleife wird der χ^2 -Test für beide Ansätze durchgeführt, um die Genauigkeit der Schleifenberechnung zu untersuchen.

Sequenz Die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen sind in den Tabellen 29 bis 30 auf Seiten 84–85 zu finden. In Abbildung 16 auf Seite 38 ist die gemessene Funktion der berechneten Funktion für 1000 Messungen gegenübergestellt. Der χ^2 -Test liefert ein Signifikanzniveau von 0.8. Abbildung 17 auf Seite 38 zeigt den Vergleich der Funktionen für 10000 Messwerte. Hier liefert der χ^2 -Test ein Signifikanzniveau von 0.67. Es zeigt sich also, dass die Anzahl der Messungen nicht unbedingt einen Einfluss auf das Ergebnis des Tests hat. Betrachtet man die Grafiken, so scheinen die Funktionen bei 10000 Messungen ähnlicher.

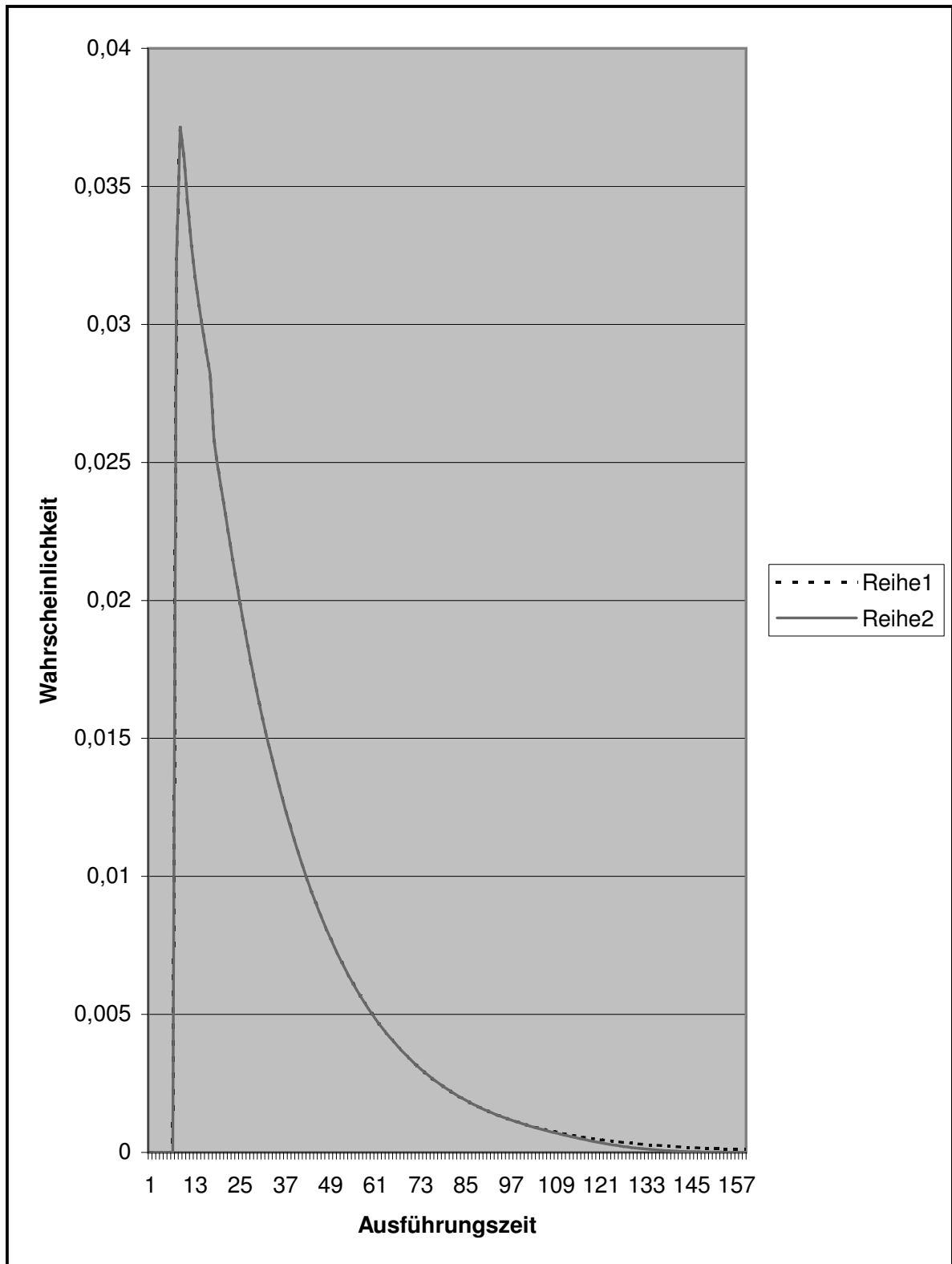


Abbildung 15: Berechnete Dichtefunktionen für $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.01$.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

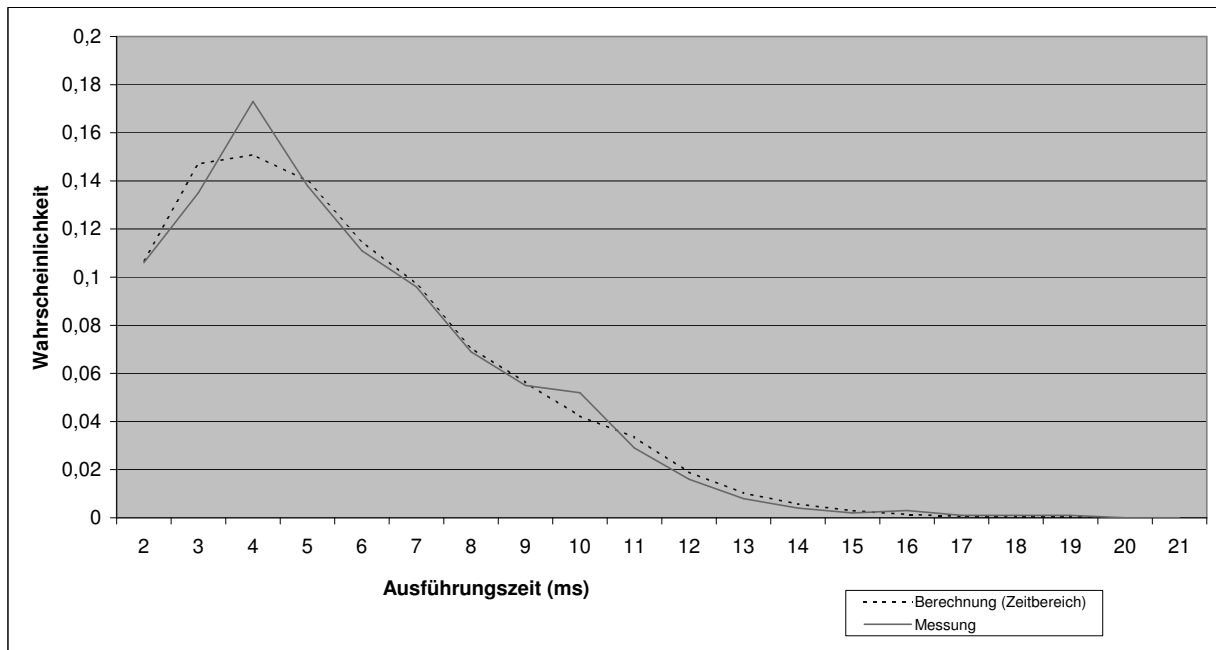


Abbildung 16: Vergleich der Messung und Berechnung für die Sequenz bei 1000 Messungen.

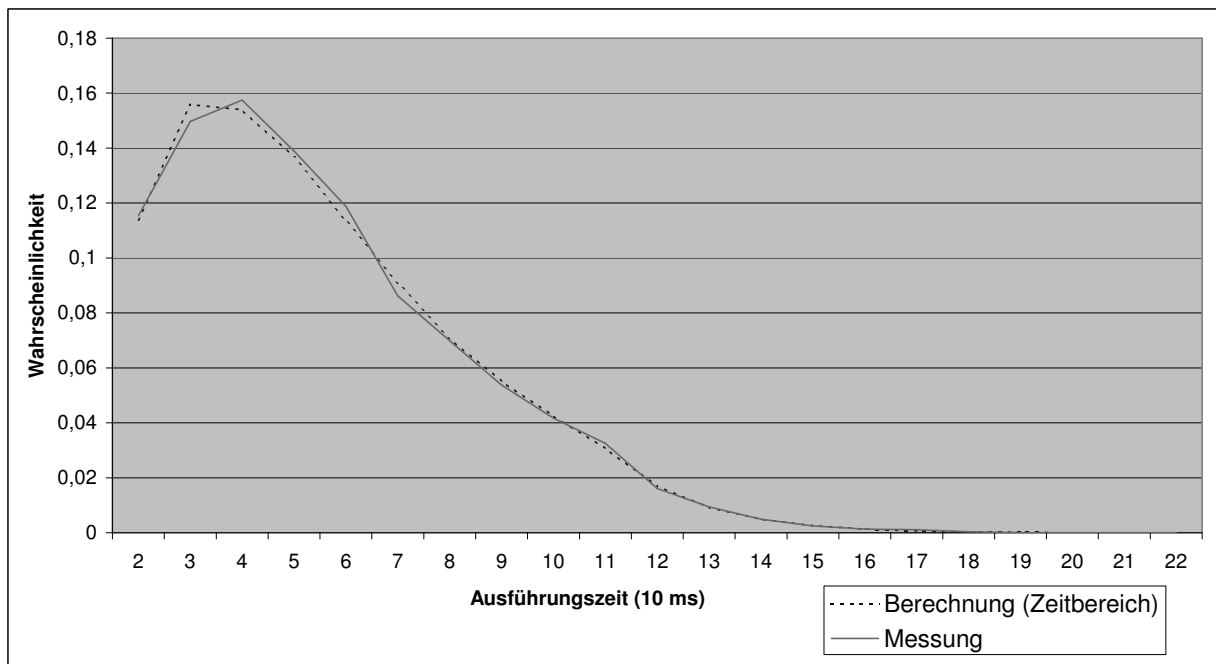


Abbildung 17: Vergleich der Messung und Berechnung für die Sequenz bei 10000 Messungen.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

Anzahl der Messungen	p	χ^2 -Signifikanzniveau
1000	0.4	0.83
	0.8	0.79
10000	0.4	0.2
	0.8	0.82

Tabelle 12: Ergebnisse des χ^2 -Tests für die Alternative.

Alternative Die Tabellen 31 bis 32 auf Seiten 86–87 zeigen die Messergebnisse für die Alternative für $p = 0.4$. In den Abbildungen 18 bis 19 auf Seiten 39–40 ist der Vergleich der berechneten und gemessenen Funktion zu sehen. Die Ergebnisse des χ^2 -Tests sind in Tabelle 12 zu finden. Bei 10000 Messwerten ergibt sich ein geringeres Signifikanzniveau als bei 1000 Messwerten. Eine Wiederholung der Messung brachte auch kein besseres Ergebnis. Betrachtet man die beiden Abbildungen 20 und 21, so scheinen die Funktionen bei 10000 Messwerten näher beieinander zu liegen.

In den Tabellen 33 bis 34 auf Seiten 89–90 sind die Ergebnisse für $p = 0.8$ zu finden. Abbildung 21 auf Seite 41 enthält den Vergleich der Messung und Berechnung. Die Signifikanzniveaus der beiden Vergleiche liegen auf etwa gleicher Höhe, wobei der Vergleich der Abbildungen 20 und 21 wieder eine hohe Ähnlichkeit aufweist.

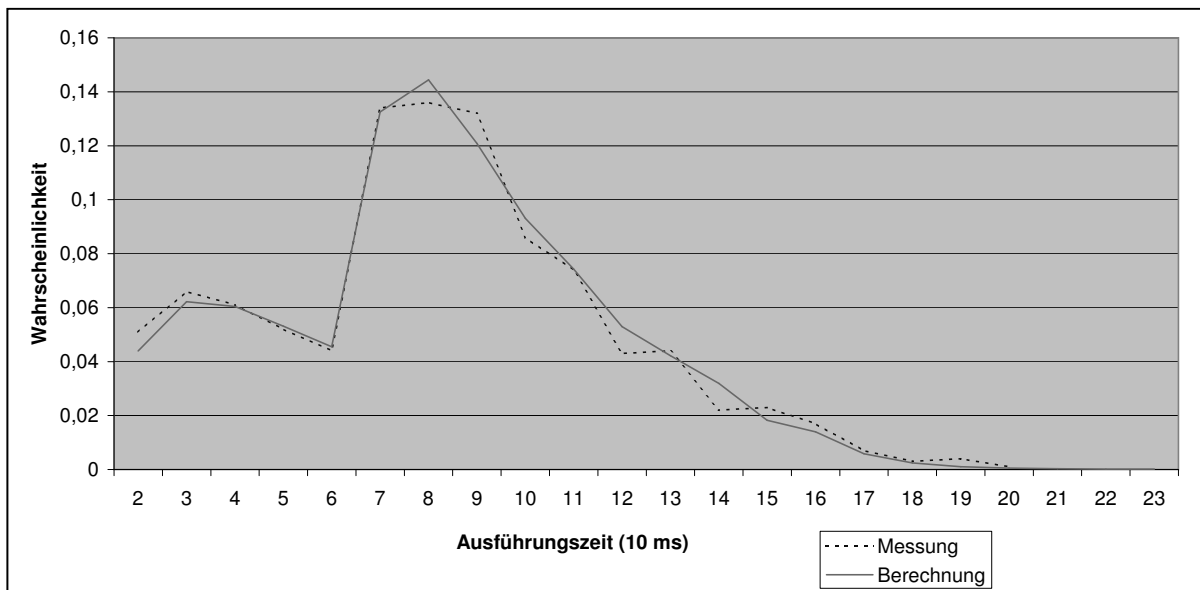


Abbildung 18: Vergleich der Messung und Berechnung für die Alternative mit $p=0.4$ bei 1000 Messwerten.

Schleife Die Tabellen 35 bis 38 auf Seiten 91–102 enthalten die Messdaten für die Schleife bei 1000 Messungen. In den Abbildungen 22 bis 25 auf Seiten 42–43 sind die Vergleiche der Berechnungen und Messungen zu finden. Tabelle 13 auf Seite 41 enthält die Ergebnisse des χ^2 -Tests. Man kann den Abbildungen entnehmen, dass die Funktionen ähnlich sind, obwohl die Ergebnisse des χ^2 -Tests ein Signifikanzniveau von weniger als 0.5 ergeben. Auffallend ist auch, dass das Signifikanzniveau geringer wird, wenn man die Anzahl der Messungen erhöht. Vergleicht man das Signifikanzniveau für die Berechnung im Zeit- und Frequenzbereich, so lässt sich erkennen, dass die Werte meist gleich sind. In einigen Fällen ergibt sich für die Berechnung im Frequenzbereich ein höheres Signifikanzniveau.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

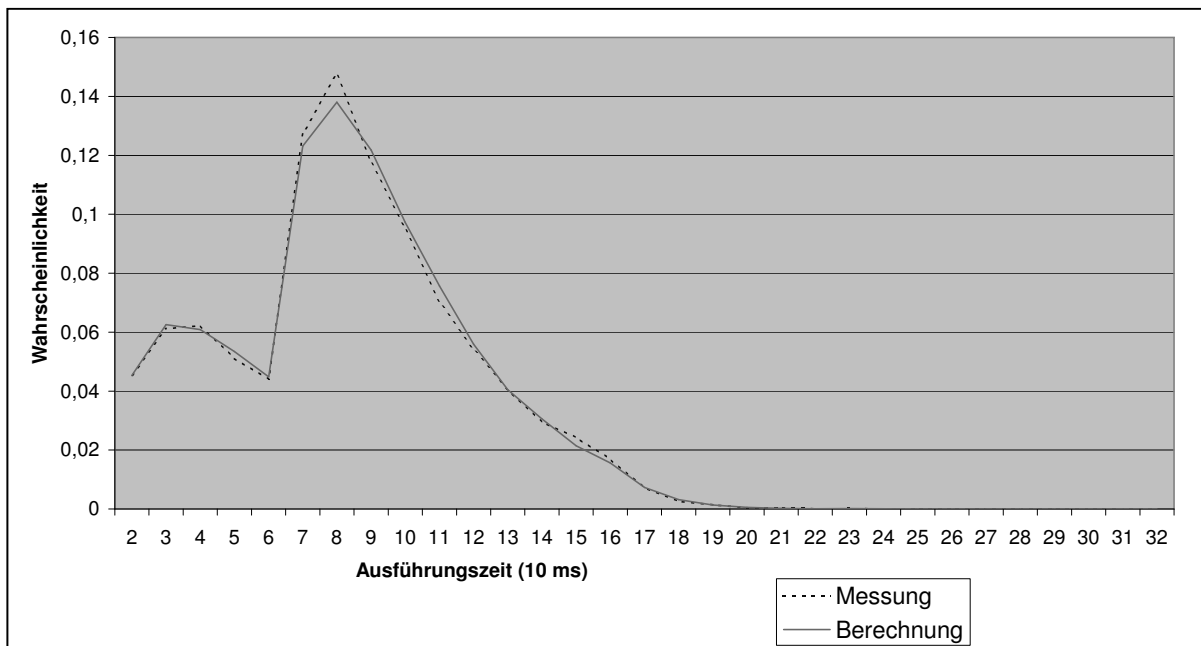


Abbildung 19: Vergleich der Messung und Berechnung für die Alternative mit $p=0.4$ bei 10000 Messwerten.

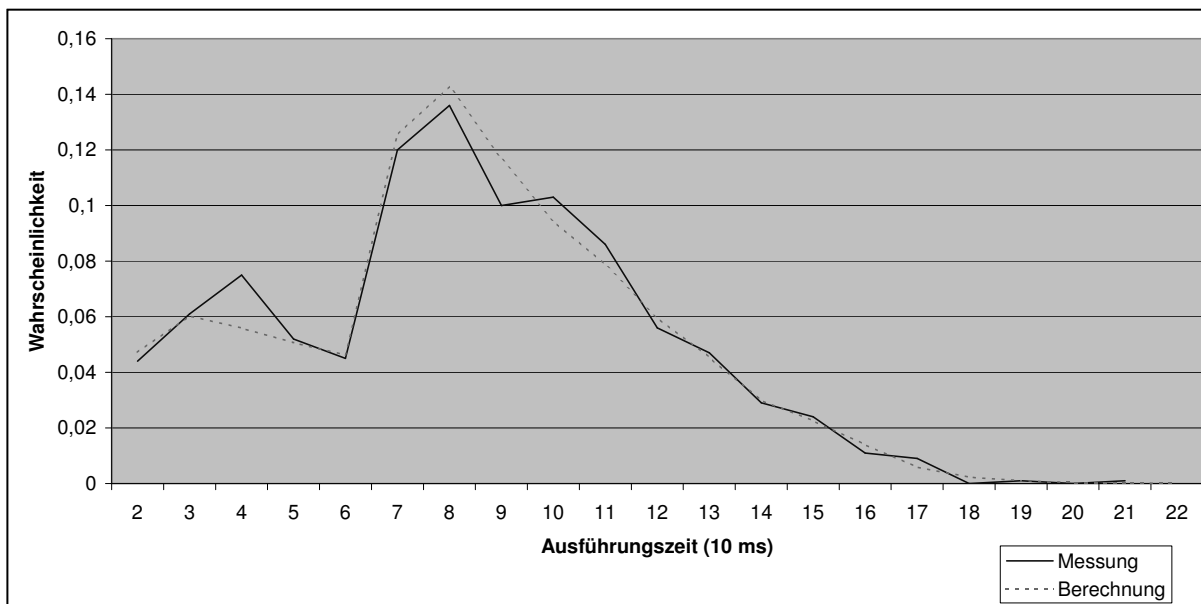


Abbildung 20: Vergleich der Messung und Berechnung für die Alternative mit $p=0.8$ bei 1000 Messwerten.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

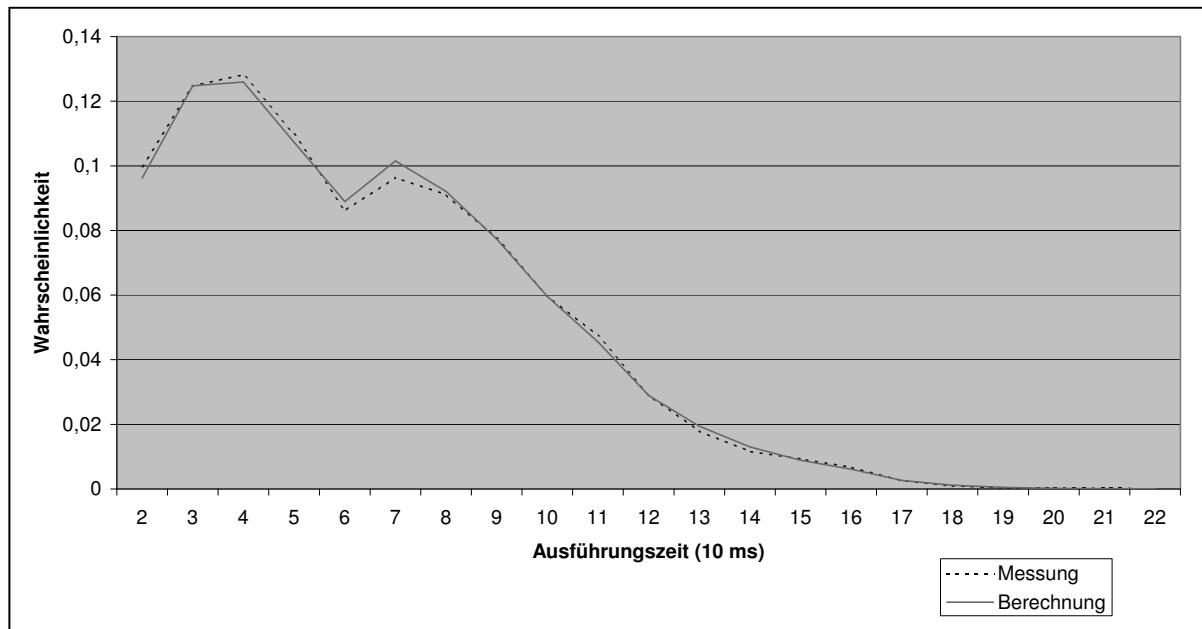


Abbildung 21: Vergleich der Messung und Berechnung für die Alternative mit $p=0.8$ bei 10000 Messwerten.

Anzahl der Messungen	p	ε	χ^2 -Signifikanzniveau (Zeitbereich)	χ^2 -Signifikanzniveau (Frequenzbereich)
1000	0.4	0.05	0.455	0.454
		0.01	0.454	0.454
	0.8	0.05	0.372	0.372
		0.01	0.372	0.372
10000	0.4	0.05	0	0.81
		0.01	0.66	0.81
	0.8	0.05	0	0.008
		0.01	0.003	0.008
30000	0.8	0.01	0	0

Tabelle 13: Ergebnisse des χ^2 -Tests für die Schleife.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

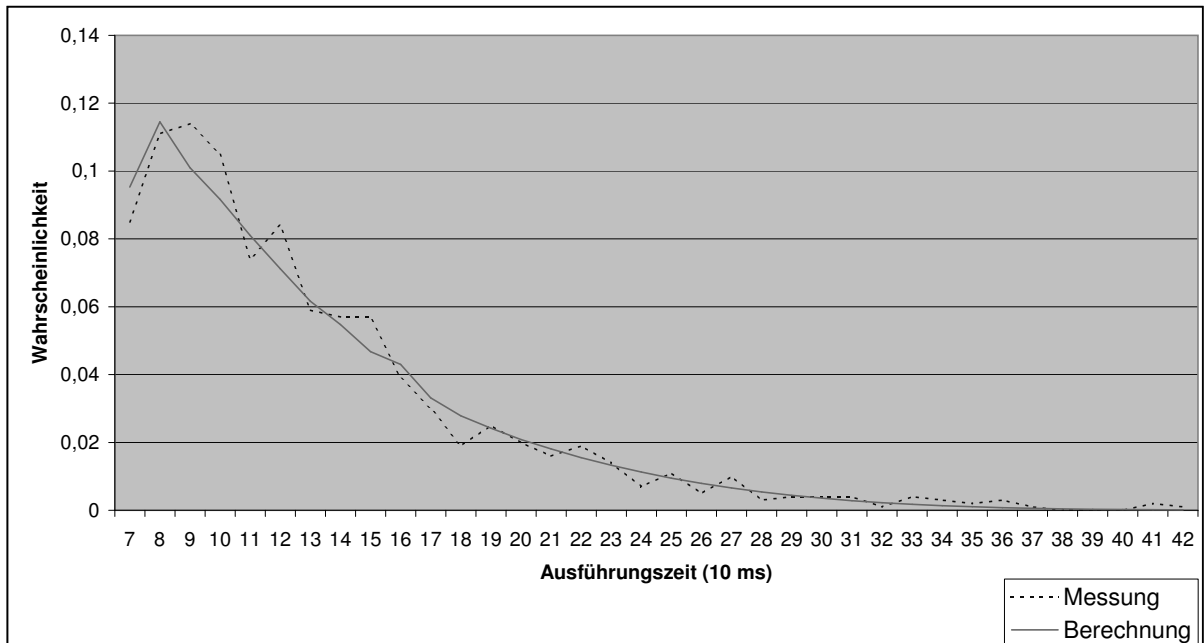


Abbildung 22: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.05$ bei 1000 Messwerten.

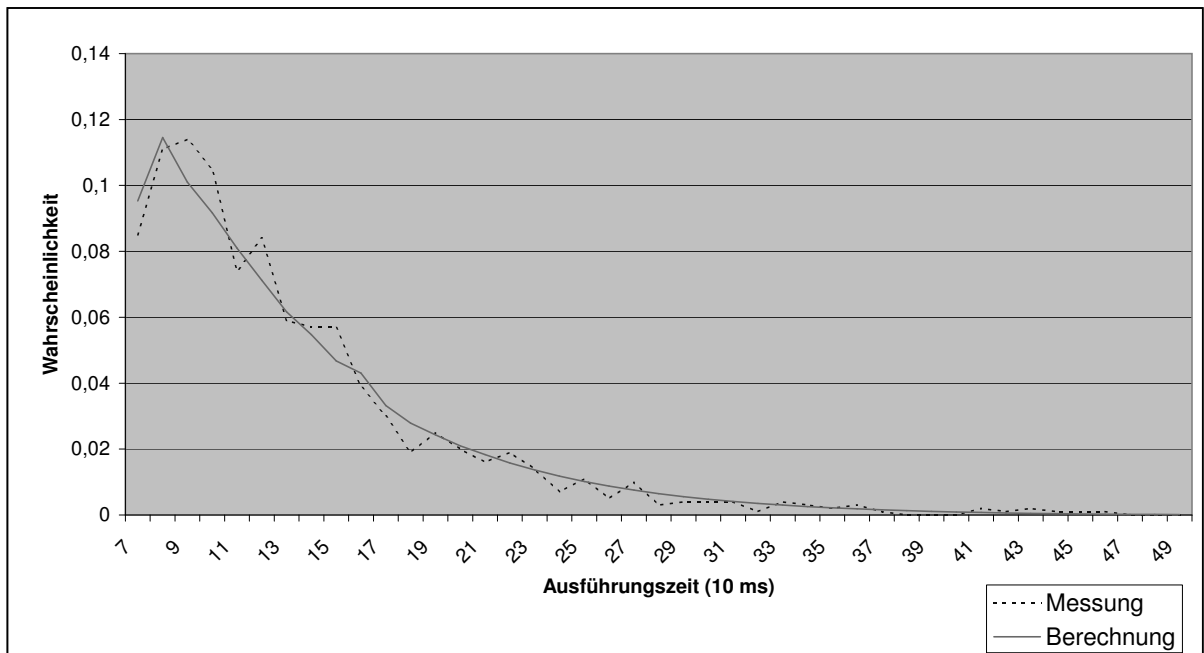


Abbildung 23: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.01$ bei 1000 Messwerten.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

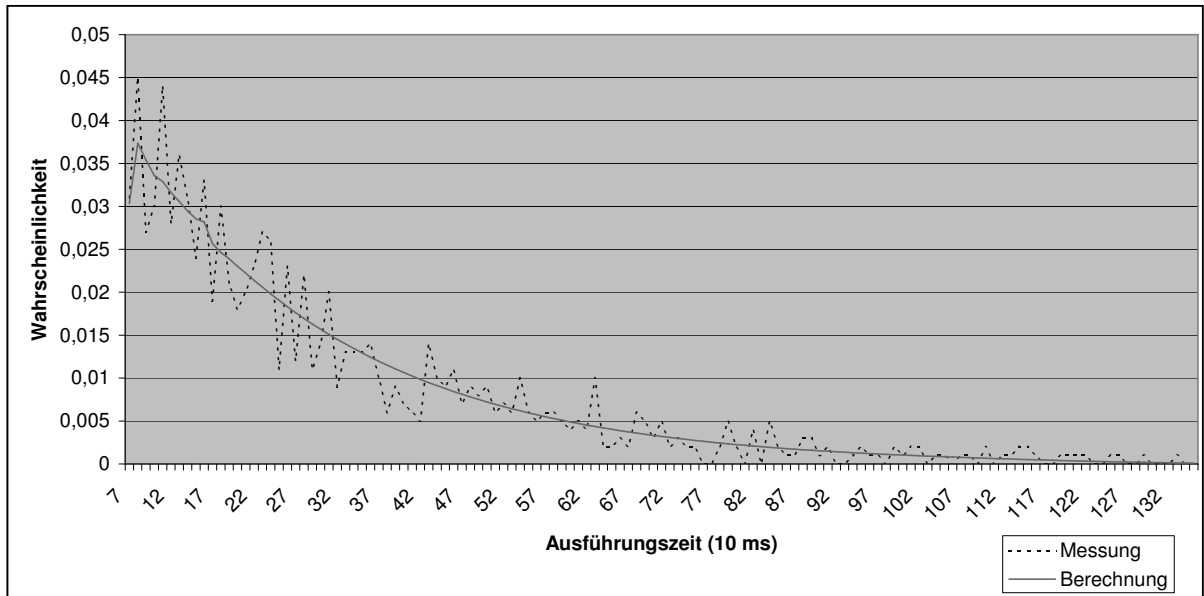


Abbildung 24: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.05$ bei 1000 Messwerten.

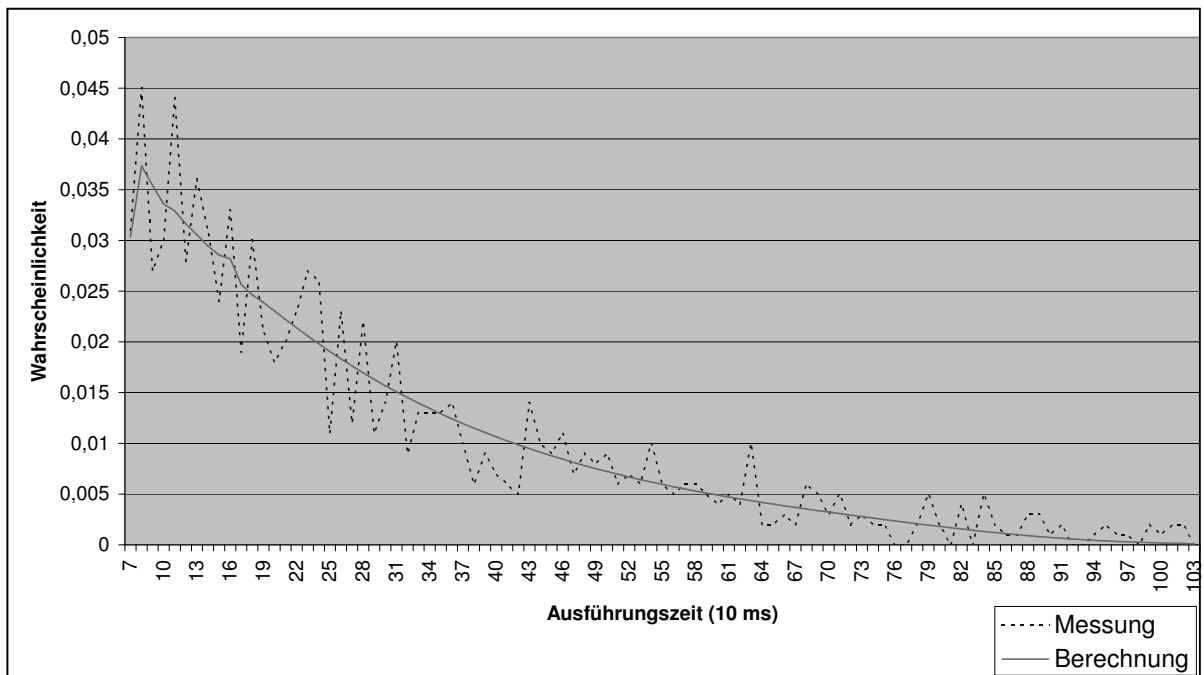


Abbildung 25: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.01$ bei 1000 Messwerten.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

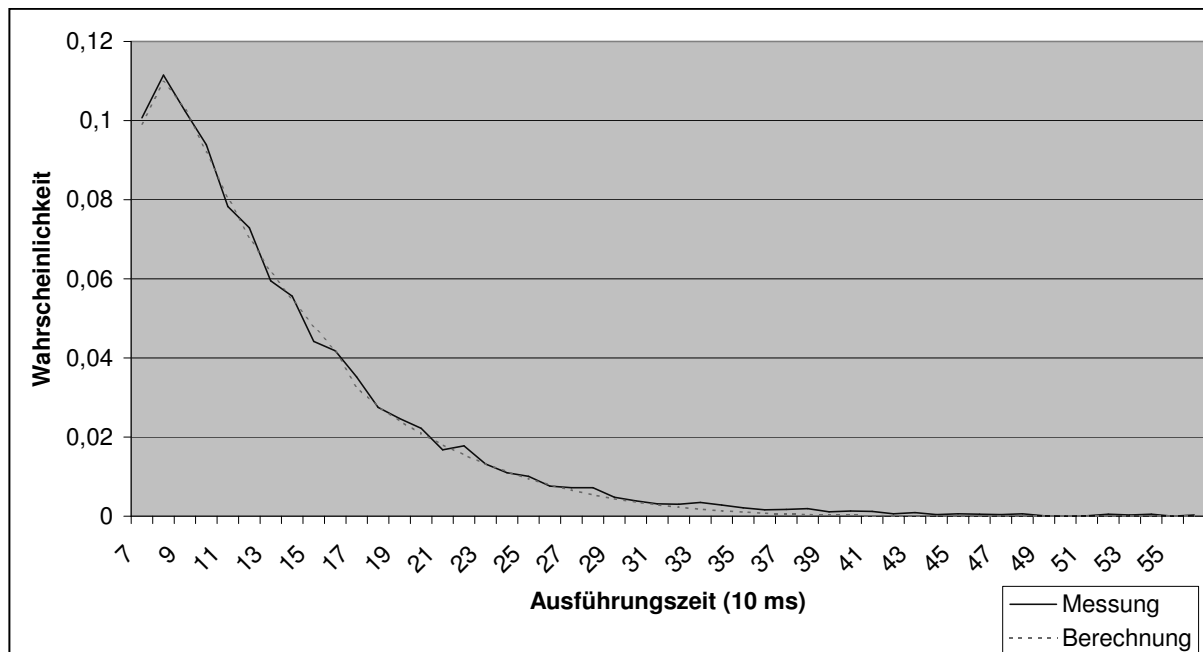


Abbildung 26: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.05$ bei 10000 Messwerten.

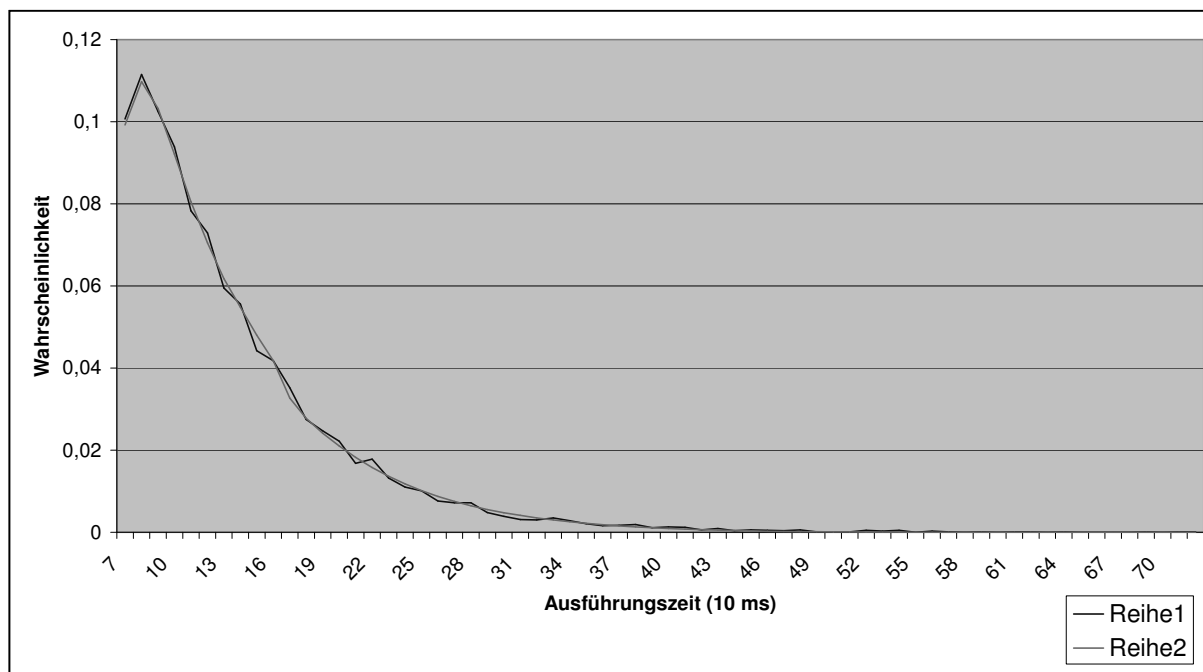


Abbildung 27: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.01$ bei 10000 Messwerten.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

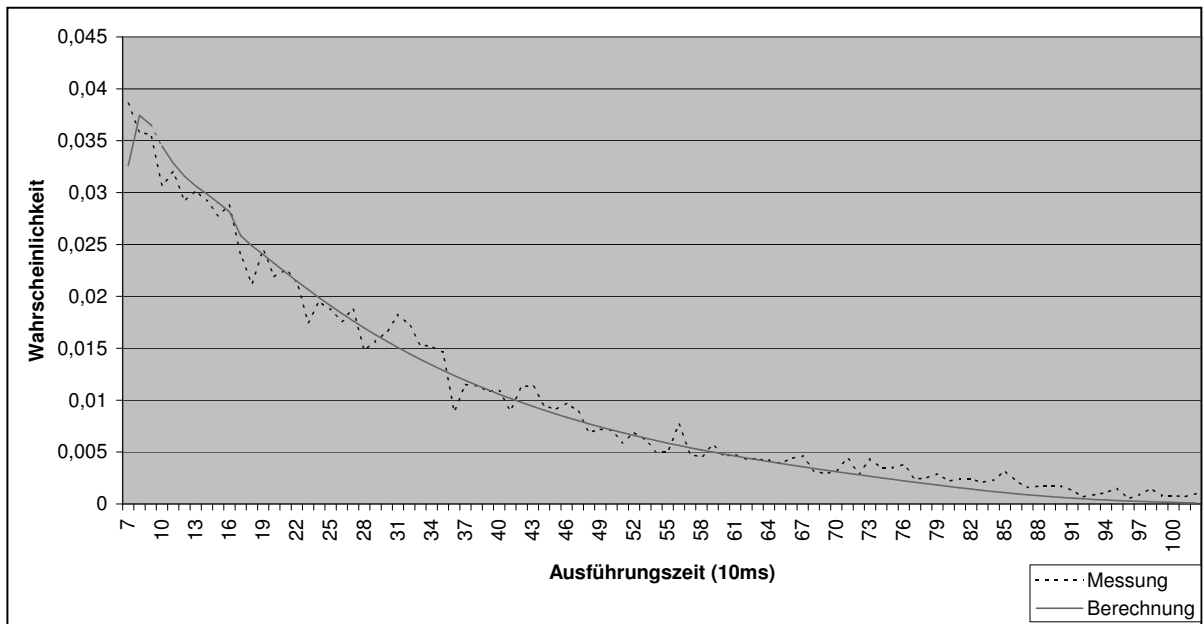


Abbildung 28: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.05$ bei 10000 Messwerten.

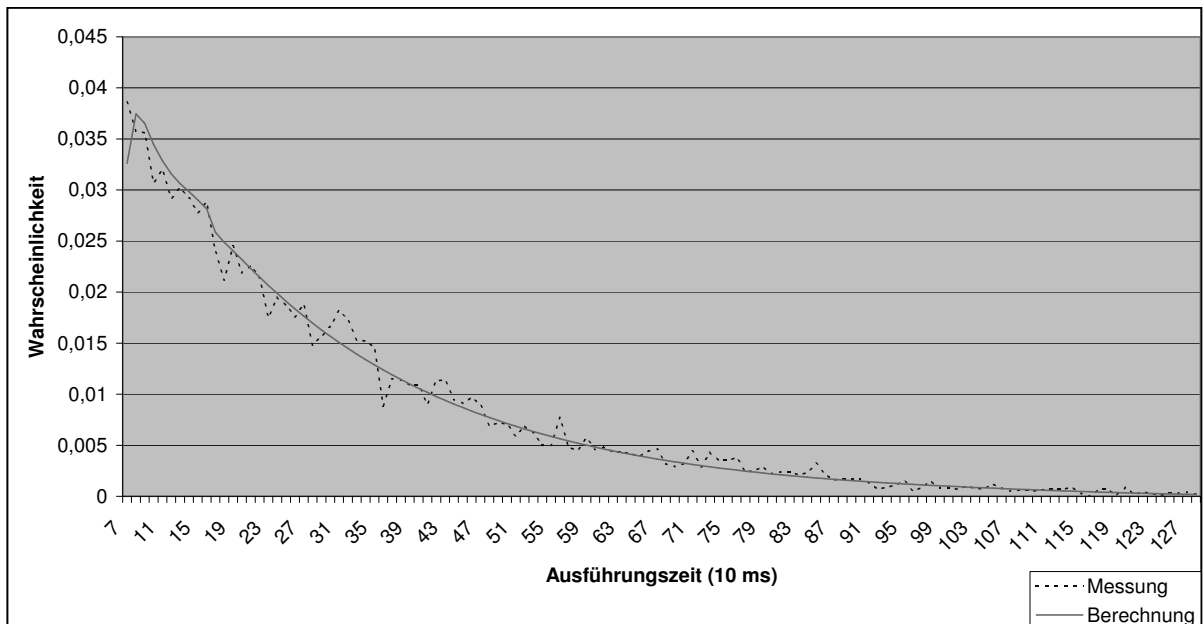


Abbildung 29: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.01$ bei 10000 Messwerten.

5 Vergleich der implementierten Ansätze

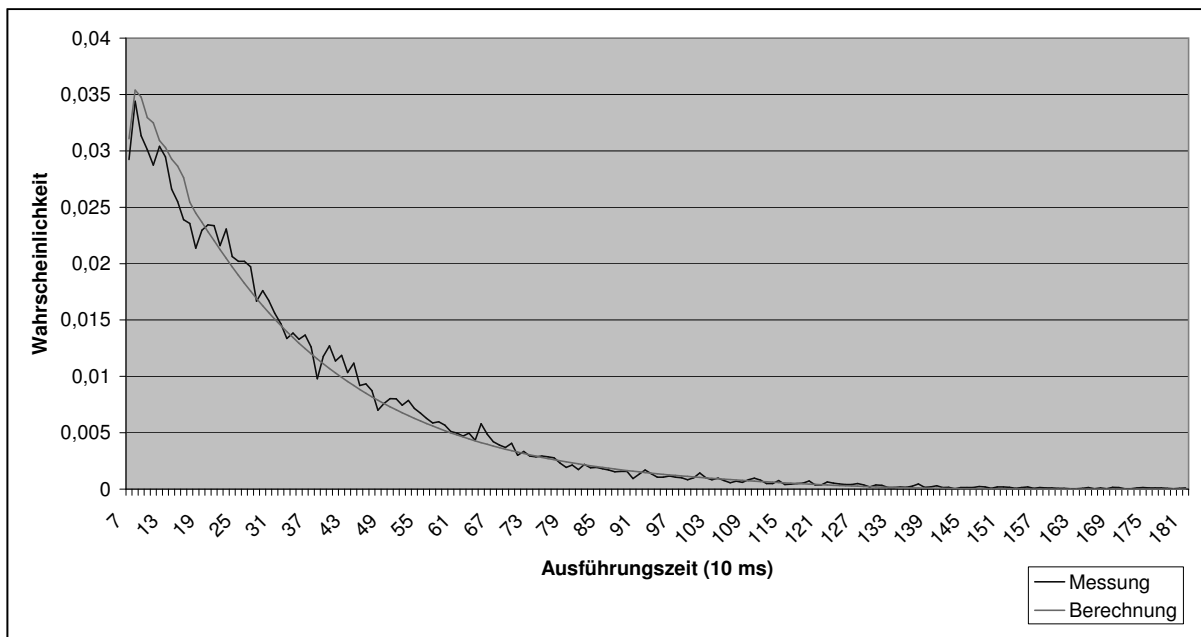


Abbildung 30: Vergleich der Messung und Berechnung für die Schleife mit $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.01$ bei 30000 Messwerten.

Die Funktionsverläufe zeigen, dass die berechnete Funktion der gemessenen Funktion ähnlich ist, obwohl der χ^2 -Test die Übereinstimmung nicht immer bestätigen kann. Es scheint, dass der χ^2 -Test nur bei einer sehr hohen Übereinstimmung ein positives Ergebnis liefert. Bei der Schleifenberechnung fällt auf, dass die Berechnung im Frequenzbereich ein mindestens so gutes Ergebnis liefert wie die Berechnung im Zeitbereich. Aus diesem Grund, und wegen des Performanzvorteils, wird in dem nächsten Abschnitt die Berechnung im Frequenzbereich verwendet.

6 Webserver

Eine Beschreibung des Webserver ist in (9) enthalten. Daher soll hier nur ein kurzer Überblick über die Teile der Anwendung gegeben werden, die für das Verständnis der Studie nötig sind.

6.1 Beschreibung der Anwendung

Abbildung 31 (die Abbildung wurde aus (9) übernommen) gibt das Komponentenmodell des Webserver wieder. Der Webserver besteht aus zwei zusammengesetzten Komponenten, deren interne Komponenten in einer Zuständigkeitskette (*Chain of Responsibility*) organisiert sind. Eine Zuständigkeitskette ist ein Entwurfsmuster von Gamma et al. (11), dass die enge Kopplung zwischen dem Sender einer Anfrage und dessen Empfänger vermeidet und mehr als einem Objekt die Möglichkeit gibt, die Anfrage zu bearbeiten. Dazu werden die Objekte, die als Empfänger in Frage kommen, sequentiell verkettet. Der Reihe nach prüfen die Objekte, ob sie die Anfrage bearbeiten können. Falls sie dies nicht können, wird die Anfrage an den Nachfolger der Kette weitergereicht. Am Ende jeder Zuständigkeitskette befindet sich ein „Default-Objekt“, dass die Anfrage bearbeitet, wenn es kein anderes Objekt konnte.

Beim Start des Webserver befindet sich die *DefaultDispatcher*-Komponente in einer Wartestellung und überwacht eine Menge von Ports auf Anfragen (*Request*). Sobald eine Anfrage am Webserver eintrifft, wird diese an die *RequestParser*-Komponente weitergeleitet. Handelt es sich um eine Http-Anfrage, dann wird der Http-Kopf von der *HttpRequestParser*-Komponente untergliedert und an die *HttpRequestProcessor*-Komponente weitergeleitet. Die *HttpRequestProcessor*-Komponente ist dafür zuständig, eine Antwort an den Client zu schicken. Ihre Subkomponenten sind in einer Zuständigkeitskette organisiert, wobei die zuständige Komponente anhand der Dateiendung ausgewählt wird. Der *DynamicFileProvider* ist zur Zeit noch nicht implementiert und reicht die Anfrage an den *TemplateFileProvider* weiter. Dieser implementiert einen einfachen Ersetzungsalgorithmus und ersetzt Zeichenketten einer Seite durch die Variablen des HTTP-Kopfs. Ist die Komponente für die angefragte Datei nicht zuständig, dann wird die Anfrage an den *BibTexProvider* weitergeleitet, der auf eine Datenbank zugreift, die BibTex-Dateien enthält, und aus den Informationen eine Webseite generiert. Ist die *BibTexProvider*-Komponente nicht zuständig, gibt sie die Anfrage an den *StaticFileProvider* weiter. Dieser bearbeitet Anfragen von statischen Dateien und sendet diese an den Klienten zurück.

Die *Request*-Komponente speichert Daten des Klienten, der die Anfrage an den Webserver richtet. Im Moment werden nur Anfragen bearbeitet, die dem HTTP in der Version 1.1 entsprechen. Der *Webserver-Monitor* wird von den meisten anderen Komponenten benutzt, um Status- und Debug-Informationen zu loggen. Diese werden zur Zeit auf der Konsole ausgegeben. Die *ConfigReader*-Komponente liest beim Starten des Webserver die Konfigurationsdatei ein, wodurch die Konfiguration über den *ConfigReader* im weiteren Verlauf für die anderen Komponenten zugreifbar ist.

6.2 Service-Effektautomaten

Nicht alle Dienste des Webserver sind für die Validierung gleichermaßen interessant. Ich habe mich daher entschieden, mich auf den Dienst der beiden Schnittstellen *IRequestParser* und *IHttpRequestProcessor* zu beschränken. Die Signaturliste der beiden Schnittstellen sieht folgendermaßen aus:

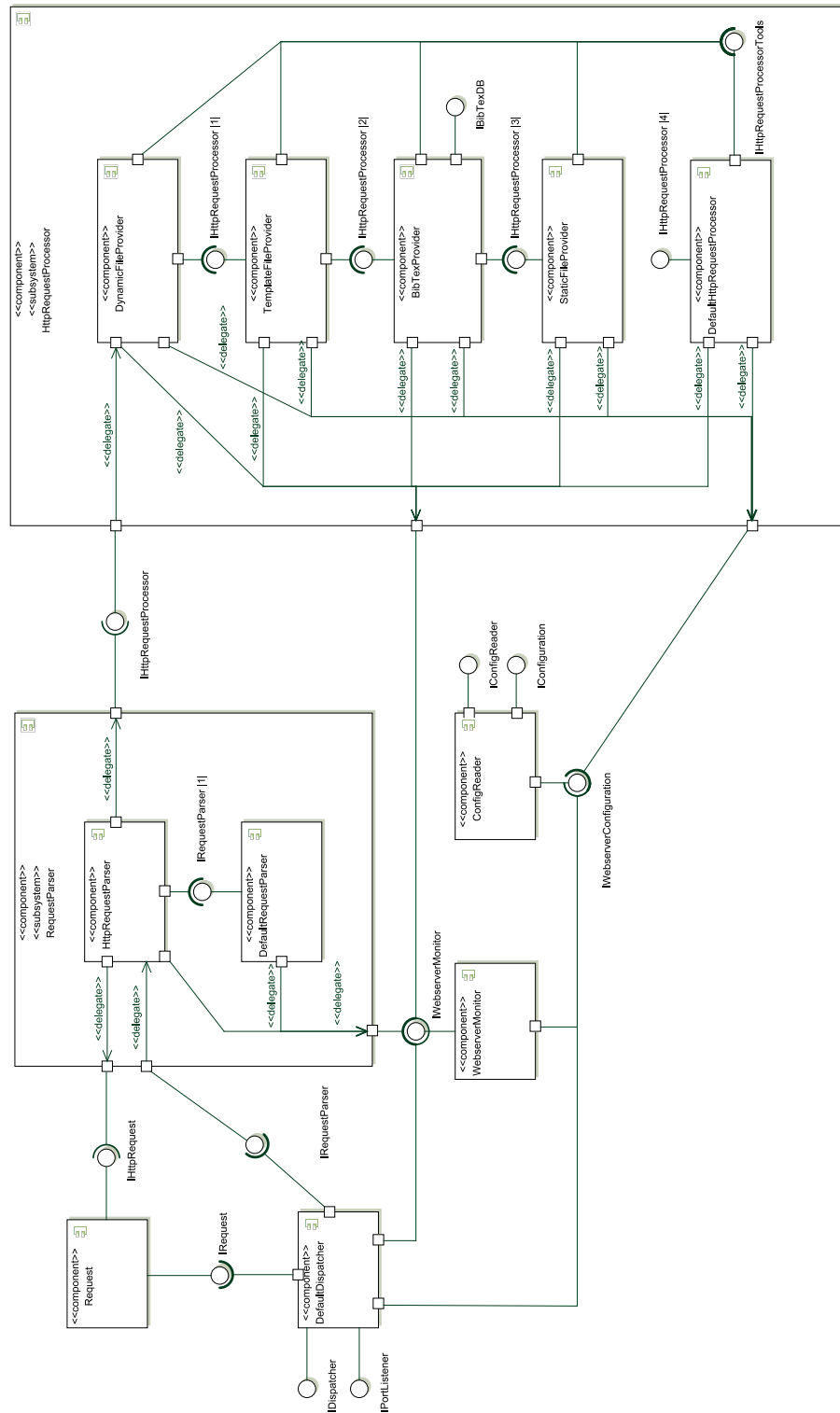


Abbildung 31: Webserver

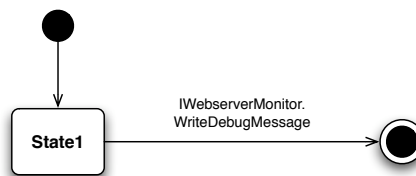
- Signaturliste des IRequestParser

```
public interface IRequestParser
{
    void HandleRequest(IRequest request);
}
```

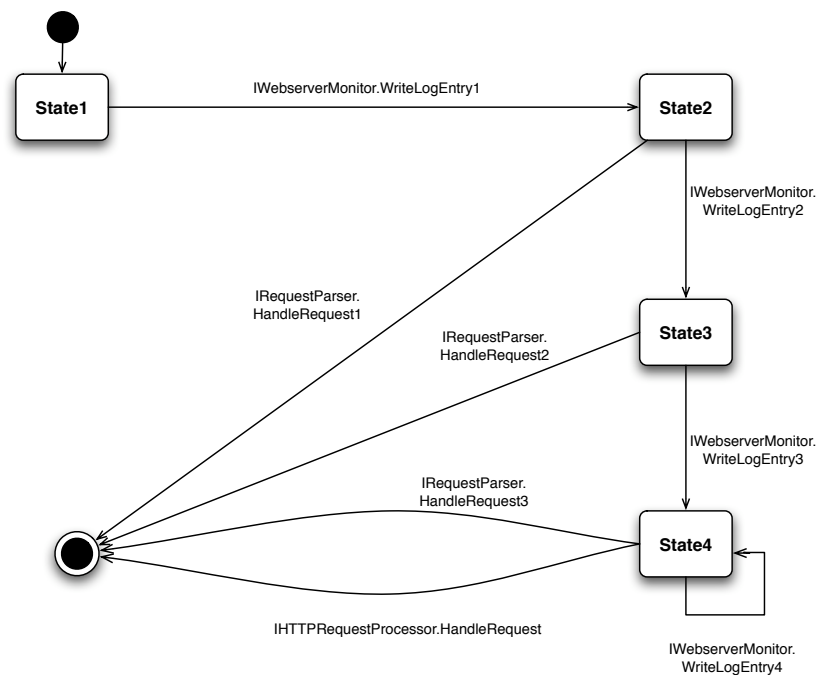
- Signaturliste des IHttpRequestProcessor

```
public interface IHttpRequestProcessor
{
    void HandleRequest(IHttpRequest httpRequest);
}
```

Die Schnittstellen enthalten jeweils einen Dienst, der von den Subkomponenten implementiert wird. Abbildungen 32 bis 34 auf Seiten 49–51 zeigen die Service-Effektautomaten.



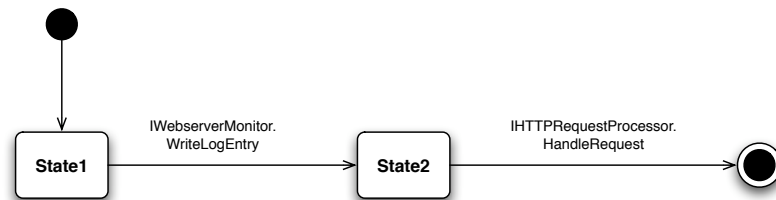
(a) DefaultRequestParser



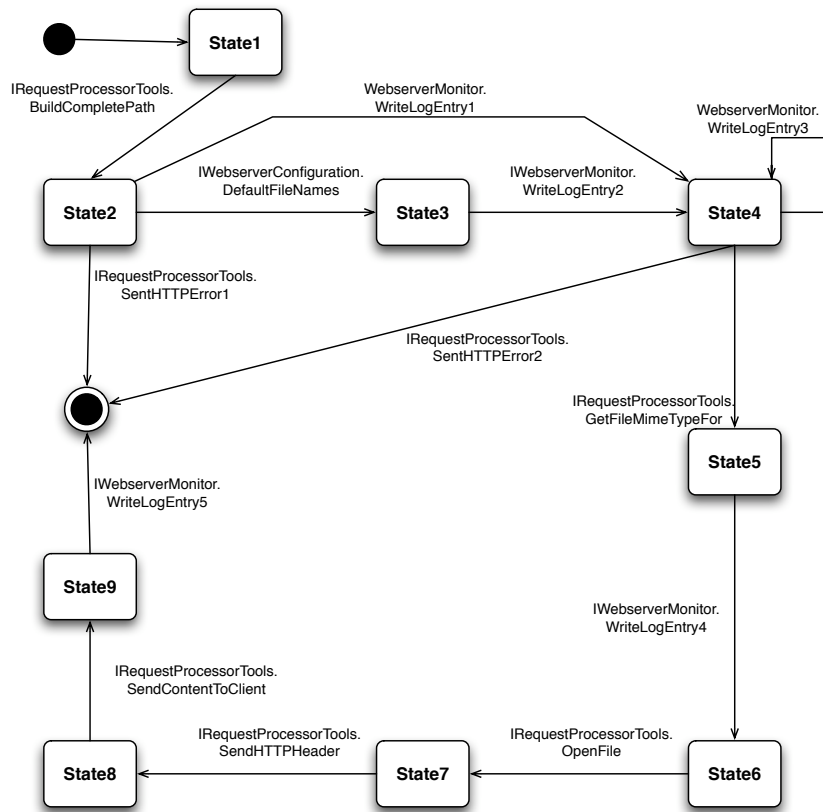
(b) HTTPRequestParser

Abbildung 32: Service-Effektautomaten für den Dienst *HandleRequest* der *IRequestParser*-Schnittstelle.

Die Service-Effektautomaten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Größe und der verwendeten Konstrukte. Es folgt eine Beschreibung der Automaten.



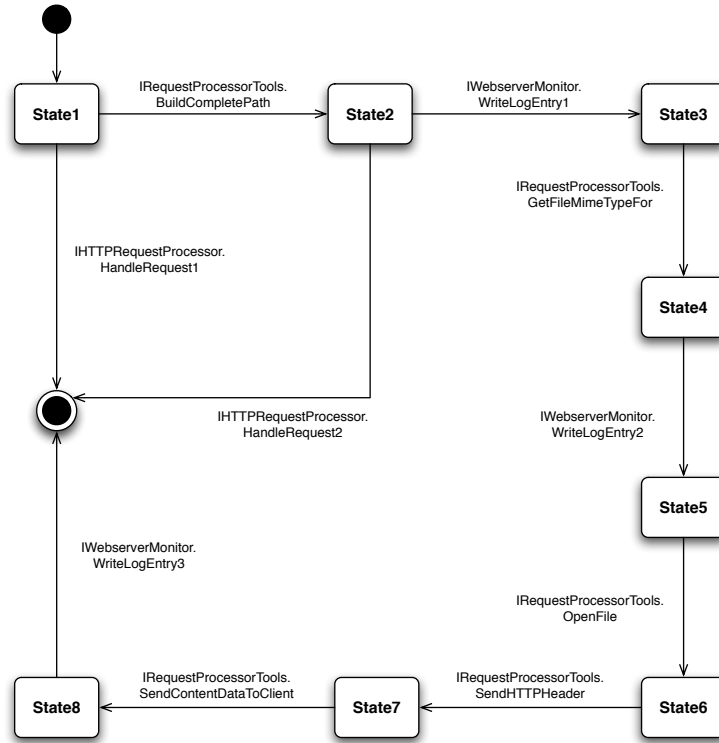
(a) *DynamicFileProvider*



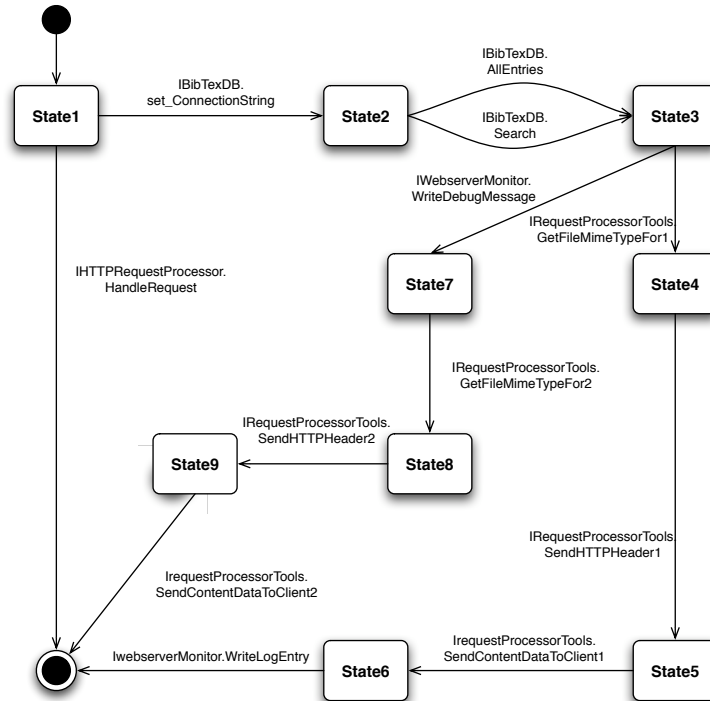
(b) *StaticFileProvider*

Abbildung 33: Service-Effektautomaten für den Dienst *HandleRequest* der Schnittstelle *IHttpRequestProcessor*.

6 Webserver



(a) TemplateFileProvider



(b) BibTexProvider

Abbildung 34: Service-Effektautomaten für den Dienst *HandleRequest* der Schnittstelle *IHttpRequestProcessor*.

6.2.1 Schnittstelle IRequestParser

```
public interface IRequestParser
{
    void HandleRequest(IRequest request);
}
```

DefaultRequestParser Die *DefaultRequestParser*-Komponente wird nur aufgerufen, wenn die Anfrage nicht von dem *HttpRequestParser* bearbeitet werden kann, oder wenn ein Fehler auftritt. Der Service-Effektautomat enthält nur einen Dienstaufwurf: Das Schreiben einer Log-Nachricht. Für die Validierung des Performanz-Vorhersageverfahrens ist dieser Service-Effektautomat daher uninteressant.

HttpRequestParser In dem Service-Effektautomaten existieren sechs Pfade, wovon vier Pfade aber nur ausgelöst werden, wenn eine *WebException* auftritt, die dazu führt, dass der Nachfolger in der Zuständigkeitskette aufgerufen wird, um die Fehlerbehandlung zu übernehmen. Die beiden anderen Pfade unterscheiden sich in der Schleife, die nur betreten wird, wenn der HTTP-Kopf Variablen enthält.

6.2.2 Schnittstelle IRequestProcessor

DynamicFileProvider Der *DynamicFileProvider* ist bisher noch nicht implementiert. Es wird eine Log-Nachricht geschrieben und dann der Nachfolger in der Zuständigkeitskette aufgerufen. Der Service-Effektautomat enthält nur einen Pfad mit Sequenzen.

TempalteFileProvider In dem Service-Effektautomaten existieren drei alternative Pfade. Im Zustand 1 wird geprüft, ob die angefragte Ressource eine Dateiendung besitzt, die von dem *TemplateFileProvider* bearbeitet wird. Handelt es sich um eine andere Dateiendung, so wird gleich der Nachfolger in der Zuständigkeitskette aufgerufen. Andernfalls wird der Pfad zu der angefragten Ressource bestimmt. Im Zustand 2 wird dann geprüft, ob der Pfad existiert und im negativen Falle der Nachfolger der Zuständigkeitskette aufgerufen, um die Fehlerbehandlung zu übernehmen. Existiert der Pfad, so wird die Anfrage bearbeitet.

BibTexProvider Der Service-Effektautomat enthält fünf Pfade. Zuerst wird wieder geprüft, ob die angefragte Ressource eine unterstützte Dateiendung besitzt. Im negativen Fall wird der Nachfolger der Zuständigkeitskette aufgerufen. Ansonsten wird die Anfrage bearbeitet. Die Transition *State3* → *State7* wird nur durchlaufen, wenn bei der Verbindung zur Datenbank eine Ausnahme auftritt. Andernfalls wird in den Zustand *State4* gewechselt. Vom Zustand *State2* gibt es zwei alternative Aufrufe. Hier gibt es die Möglichkeit alle Einträge oder ein Auswahl an Werken abzufragen.

StaticFileProvider Der *StaticFileProvider* behandelt alle Anfragen von statischen Seiten, die nicht von Vorgängern der Zuständigkeitskette bearbeitet wurden. Zunächst wird der Pfad zu der Datei aufgebaut und überprüft, ob dieser existiert. Im negativen Falle wird eine Fehlernachricht generiert und an

den Client zurückgeschickt. Als nächstes wird überprüft, ob die angefragte Ressource eine Datei oder ein Verzeichnis ist. Handelt es sich um eine Datei, dann wird direkt von Zustand 2 in den Zustand 4 gewechselt. Existiert die Datei nicht, so wird ein Fehler an den Client gesendet. Andernfalls wird die Anfrage weiter bearbeitet. Wird ein Verzeichnis angefragt, so werden die Default-Dateinamen ausgelesen und der Automat geht in Zustand 3. Jetzt wird die Liste der Default-Dateinamen durchsucht, bis eine Datei gefunden wurde, die existiert, oder die Liste keine Elemente mehr hat. Während der Iteration durch die Liste werden Log-Nachrichten geschrieben und die Schleife betreten. Wird keine Datei gefunden, so wird ein Fehler an den Client geschickt. Andernfalls wird die Anfrage bearbeitet.

6.3 Erzeugung der Attribute

Um die Service-Effektautomaten mit den Attributen zu versehen, müssen neben den reinen Ausführungszeiten der einzelnen Dienste auch Informationen über die Aufrufreihenfolgen ermittelt werden. Dazu werden *Interceptoren* (20) benutzt, die vor und nach jedem Methodenaufruf die erforderlichen Informationen auf einem Stack sichern, um die Messungen nicht durch Dateizugriffe zu verfälschen. ein *Interceptor* ist ein Entwurfsmuster, mit dem vorhandenen Methoden Funktionalitäten hinzugefügt werden, ohne die Methoden selbst zu verändern. Nach Beendigung der Messungen werden die Informationen in einer XML-Datei gesichert.

In Abbildung 35 auf der nächsten Seite ist ein Ausschnitt aus einer XML-Datei mit Messdaten zu sehen. Der Ausschnitt enthält die Informationen für einen Aufruf des Dienstes *HandleRequest* des *StaticFileProviders*. Jeder Dienstaufruf erhält neben den geloggten Zeiten eine ID (Attribut *CallNumber*) und Referenzen (Attribut *Calls*) auf die von ihm aufgerufenen Dienste, so dass die Informationen über *GetElementsById* leicht abgerufen werden können. Die Einzelnen XML-Elemente haben folgende Bedeutung:

ClassName Bezeichnet die Klasse zu der der Dienst gehört.

MethodName Bezeichnet den Namen des Dienstes.

CallTime Zeitpunkt des Dienstaufrufs in Mikrosekunden ab Start des Webservers.

ReturnTime Zeitpunkt des Beendens des Diensts in Mikrosekunden ab Start des Webservers.

ExecutionTime Ausführungszeit in Mikrosekunden.

Für die Erzeugung der Service-Effektautomaten wurde ein *WebserverAnalyser* implementiert, der aus den Informationen der XML-Datei Attribute generiert. Da jede Messung einen möglichen Pfad in dem Automaten entspricht, kann der Automat für jede Messung eines Diensts durchlaufen werden, wobei die Reihenfolge durch die aufgerufenen Dienste bestimmt wird. Das Durchlaufen des Automaten funktioniert, solange es sich um deterministische Automaten handelt. Andernfalls ist ein Lookahead erforderlich. Aus den Messdaten werden zunächst für jeden Zustand und jede Transition Attribute *MeasureAttribute* erzeugt, die am Ende der Durchläufe in Attribute *RandomVariable* konvertiert werden. Anschließend wird die Berechnung durchgeführt.

Die Ausführungszeiten für die Transitionen können direkt aus den Messungen entnommen werden, wohingegen sie für die Zustände berechnet werden müssen, da in den Messungen nur die Ausführungszeiten von Diensten enthalten sind. Für den Startzustand *S* eines Service-Effektautomaten für den Dienst *Service*

6 Webserver

```
<Palladio.Webserver.StaticFileProvider.StaticFileProvider.IHttpRequestProcessor.HandleRequest CallNumber="_37"
  CallerID="_36" Calls="_38_40_41_42_43_46_47_48_49_50">
  <ClassName>Palladio.Webserver.StaticFileProvider.StaticFileProvider</ClassName>
  <InterfaceName>IHttpRequestProcessor</InterfaceName>
  <MethodName>HandleRequest</MethodName>
  <CallTime>14629138</CallTime>
  <ReturnTime>14816000</ReturnTime>
  <ExecutionTime>186862</ExecutionTime>
</Palladio.Webserver.StaticFileProvider.StaticFileProvider.IHttpRequestProcessor.HandleRequest>
```

Abbildung 35: Auszug aus einer XML-Datei mit Messergebnissen.

mit ausgehender Transition für einen externen Dienstaufwurf E berechnet sich die Ausführungszeit für einen Aufruf durch

$$ExecutionTime(S) = CallTime(E) - CallTime(Service). \quad (26)$$

Bei dem Endzustand F mit eingehender Transition für einen externen Dienstaufwurf E wird die Ausführungszeit durch

$$ExecutionTime(F) = ReturnTime(Service) - ReturnTime(E) \quad (27)$$

berechnet. Für alle anderen Zustände S' zwischen zwei externen Dienstaufwürfen E_1 und E_2 (also $E_1 \xrightarrow{} S' \xrightarrow{} E_2$) berechnet sich die Ausführungszeit durch

$$ExecutionTime(S') = CallTime(E_2) - ReturnTime(E_1). \quad (28)$$

Die Ergebnisse der Berechnung werden wieder in einer XML-Datei gespeichert, die außerdem auch die Dichtefunktionen des Service-Effektautomaten enthält. Für die Auswertung in Excel wurde eine VBA-Applikation implementiert, die die Funktionen ausliest und Grafiken erstellt. Da die Auflistung der Messergebnisse den Umfang der Arbeit nur unnötig erhöhen würde, wurde darauf verzichtet. Die Messdaten und Ergebnisse liegen der Arbeit als CD bei.

6.4 Anwendungsszenarien

Die Anfragen wurden mit Hilfe des Programms WAPT (Web Application Testing) (21), einem Performanz-Testwerkzeug für Webseiten, erzeugt. So lassen sich Anwendungsszenarien aufzeichnen und später in einer erhöhten Frequenz an den Webserver schicken. Die Datenbank lief auf einem separaten Rechner im Netzwerk. Folgende Anwendungsszenarien wurden aufgezeichnet:

- 1 Aufruf einer statischen Seite mit einer Größe von 15 kb.
- 2 Aufruf einer statischen Seite mit einer Größe von 58 kb.
- 3 Absenden eines Posts mit 3 Variablen.
- 4 Aufruf eines Verzeichnis mit einer Default-Datei.
- 6 BibTeX-Anfragen:
 - Anfragen „SearchAll“.
 - Anfragen „Search“.

- 7 Zusammengesetztes Szenario bestehend aus:

- Aufruf mehrerer statischer Seiten.
- Aufruf von Verzeichnissen.
- Absenden von Formularen (mit 4 Variablen)

8 Zusammengesetztes Szenario, bestehend aus:

- Aufruf mehrerer statischer Seiten.
- Aufruf von Verzeichnissen.
- Absenden von Formularen (mit 2-5 Variablen).

9 Zusammengesetztes Szenario aus:

- Aufruf mehrerer statischer Seiten.
- Aufruf von Verzeichnissen.
- Absenden von Formularen (mit 4 Variablen).
- BibTeX-Anfragen.

10 BibTeX-Anfragen:

- Anfragen „SearchAll“.
- Anfragen „Search“.
- Es wurde zeitweise die Datenbank gestoppt, um Fehler zu produzieren.

Die Anwendungsszenarien wurden in einer Schleife mehrfach ausgeführt. Der Webserver lief auf einem AMD Athlon mit 1.2 Mhz und 1 GB Speicher, wobei die Anfragen von einem anderen Rechner im Netzwerk gestellt wurden.

6.5 Ergebnisse

Entsprechend des GQM-Plans werden wird bei dem Vergleich der berechneten und gemessenen Funktion das Signifikanzniveau des χ^2 -Tests und die Berechnungszeit angegeben. Die Berechnung der Schleifen erfolgt für $\varepsilon = 0.05$.

6.5.1 Probleme

Bei einigen Anwendungsszenarien führten die Berechnungen mit einer Abtastrate von eins zu einer *OutOfMemoryException*, die ausgelöst wird, wenn der Hauptspeicher nicht mehr ausreicht. Hier scheinen die erzeugten Funktionen zu viele Werte zu haben. Bei der Berechnung für die BibTeX-Komponente ergab sich für die Funktionen eine Vektorgröße größer als 33 Millionen. Die Ausnahme wurde bei der Fouriertransformation ausgelöst. Eine Erhöhung der Abtastrate auf 100 für die Berechnung behob das Problem.

Das verwendete Programm zur Erzeugung der Anfragen erzeugte teilweise Http-Köpfe, die der Webserver nicht verarbeiten kann. Hier blieb der Webserver bei dem *HTTPRequestParser* hängen. Der Parser erwartet eine fest vorgegebene Reihenfolge, die offenbar nicht von allen Programmen eingehalten wird.

So tauchte das Problem auch bei *ApacheBench* (in dem Webserver von *Apache* (22) enthalten) und bei dem *WebPerformanceTrainer* (23) auf. Letzterer verwendet den *InternetExplorer*, um eine Anwendungsszenario aufzuzeichnen. Nur mit dem *Opera-Browser* war es möglich, eine BibTex-Anfrage zu senden, die der Webserver korrekt bearbeitete. Um die BibTex-Komponente bei den Messungen mit einzubeziehen, wurde eine Methode implementiert, die eine Socket-Verbindung aufbaut und den HTTP-Kopf, der in einer Konfigurationsdatei angegeben werden muss, direkt sendet. Eine Anpassung der *RequestParser*-Komponente wäre jedoch wünschenswert.

Die Messungen liefern Ergebnisse im Mikrosekundenbereich. Differenzierte Werte sind für die Richtigkeit der Berechnungen von Vorteil, jedoch lassen sich die Funktionen nicht immer gut vergleichen. Für den Vergleich der Funktionen wurde daher die Abtastrate auf einen höheren Wert gesetzt.

6.5.2 HTTPRequestParser

Die Szenarien wurden jeweils mit 10000 Messungen durchgeführt. Bei den Anwendungsszenarien eins und zwei wird die Schleife nicht durchlaufen. Da auch keine Fehler auftraten, wurde auch der Nachfolger der Zuständigkeitskette nicht aufgerufen. Es handelt sich also um eine Sequenz, die berechnet wird. Abbildungen 36 bis 39 auf Seiten 57–59 zeigen den Vergleich der Berechnungen mit den Messungen, wobei die Funktion mit einer Abtastrate von eins berechnet wurde. Der optische Eindruck zeigt eine hohe Ähnlichkeit, der χ^2 -Test liefert allerdings in allen Fällen ein Signifikanzniveau von null.

In dem Anwendungsszenario drei wird die Schleife durchlaufen, wobei die Häufigkeit der Schleifeniteration von der Anzahl der Variablen im HTTP-Kopf abhängig ist. Die Iterationswahrscheinlichkeit für die Schleife beträgt 0.67. Da die Anzahl der Variablen in diesem Szenario konstant ist, ergibt sich eine geringe Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Funktion (Siehe Abbildung 40 auf Seite 59). In dem Szenario 8 wurden Anfragen mit drei bis fünf Variablen in dem HTTP-Kopf an den Webserver geschickt. Es sollte sich daher eine bessere Verteilung ergeben. Die Iterationswahrscheinlichkeit beträgt 0.672. In Abbildung 41 auf Seite 60 ist der Vergleich der berechneten und gemessenen Funktion zu finden. Die Berechnung wurde bei einer Abtastrate von zehn durchgeführt, da es bei der Berechnung mit einer Abtastrate von eins zu einer *OutOfMemoryException* kam. Man kann eine tendenziell höhere Ähnlichkeit erkennen, allerdings keine Gleichheit bestätigen.

Bei dem Palladio-Webserver wird sich die Anzahl der übermittelten Variablen immer in konstanten Werten widerspiegeln, da die Anzahl der Variablen in den Html-Seiten festgelegt wird. Es stellt sich somit die Frage, ob der Webserver die richtige Anwendung ist, um diesen Teil des Vorhersageverfahrens (die Berechnung der Schleife) zu untersuchen.

Schließlich wurde die Performanz für das Szenario eins bei einer Abtastrate von zehn und hundert berechnet. Der Vergleich der Funktionen ist in den Abbildungen 42 bis 43 auf Seiten 60–61 zu sehen. Wie man sieht ergibt sich eine Verschiebung der Funktionen, der χ^2 -Test ergibt ein Signifikanzniveau von null. Die Verschiebung lässt sich durch die Zusammenfassung von Funktionswerten erklären. Als Beispiel dienen zwei Zufallsvariablen X_1 und X_2 , deren Dichtefunktionen nur einen Wert haben. Sei also für X_1 die Dichtefunktion $P(44) = 1$ und für X_2 $P(54) = 1$. Dann ergibt sich bei der Faltung der beiden Zufallsvariable die Zufallsvariable X_3 mit einer Dichtefunktion $P(98) = 1$. Wird die Abtastrate vor der Berechnung allerdings auf zehn festgelegt, dann ergibt sich für die Dichtefunktionen von X_1 $P(50) = 1$ und X_2 $P(60) = 1$ und für X_3 $P(110) = 1$. Es kommt also zu Fehlern in der Berechnung, die sich umso stärker bemerkbar machen, je höher die Abtastrate gewählt wird.

Anwendungsszenario	Anzahl der Messungen	Abtaste bei Berechnung	Erstellung des Service-Effektautomaten	Berechnung (Frequenzbereich)
1	10000	1	2 Min 27 s	3 Min 53 s
		10	2 Min 21 s	24 s
		100	2 Min 20 s	1 s
2	10000	1	2 Min 22 s	3 Min 22 s
3	10000	1	5 Min 11 s	3 Min 37 s
8	10000	10	3 Min 31 s	1 Min 41 s

Tabelle 14: Zeiten des Erstellens des Service-Effektautomaten und der Berechnung für den *HTTPRequestParser*.

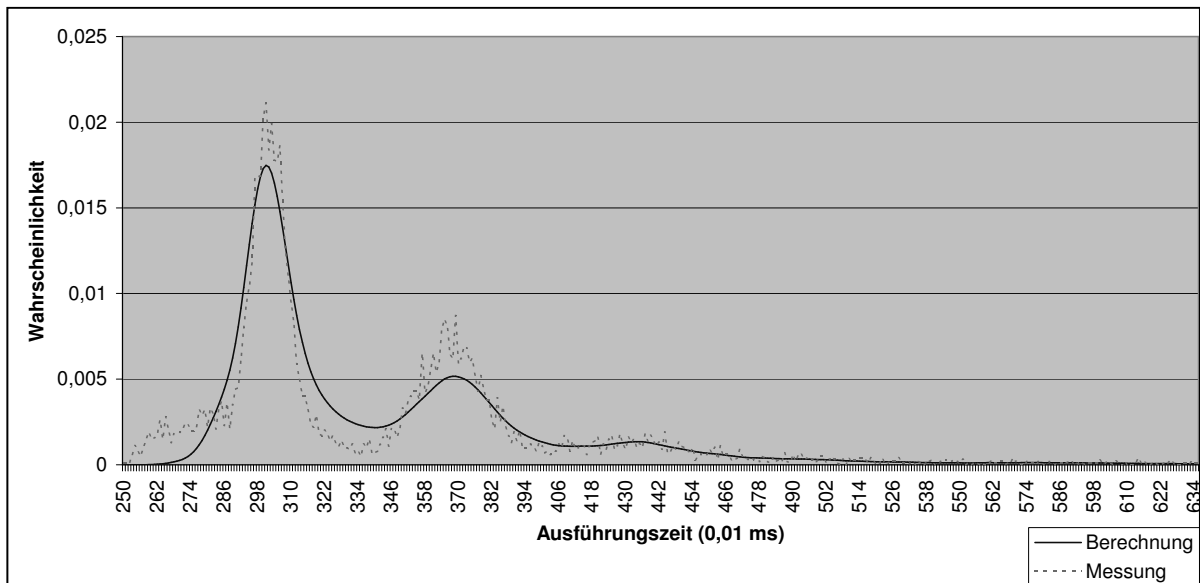


Abbildung 36: Vergleich der Messung und Berechnung für den *HTTPRequestParser* im Anwendungsszenario 1 bei 10000 Messungen. Die Funktion wurde bei einer Abtaste von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtaste beider Funktionen auf zehn gesetzt.

In Tabelle 14 sind die Zeiten für die Berechnung und für die Erstellung des Service-Effektautomaten angegeben. Es zeigt sich, dass die Berechnungszeit durch eine Erhöhung der Abtaste erheblich verringert wird.

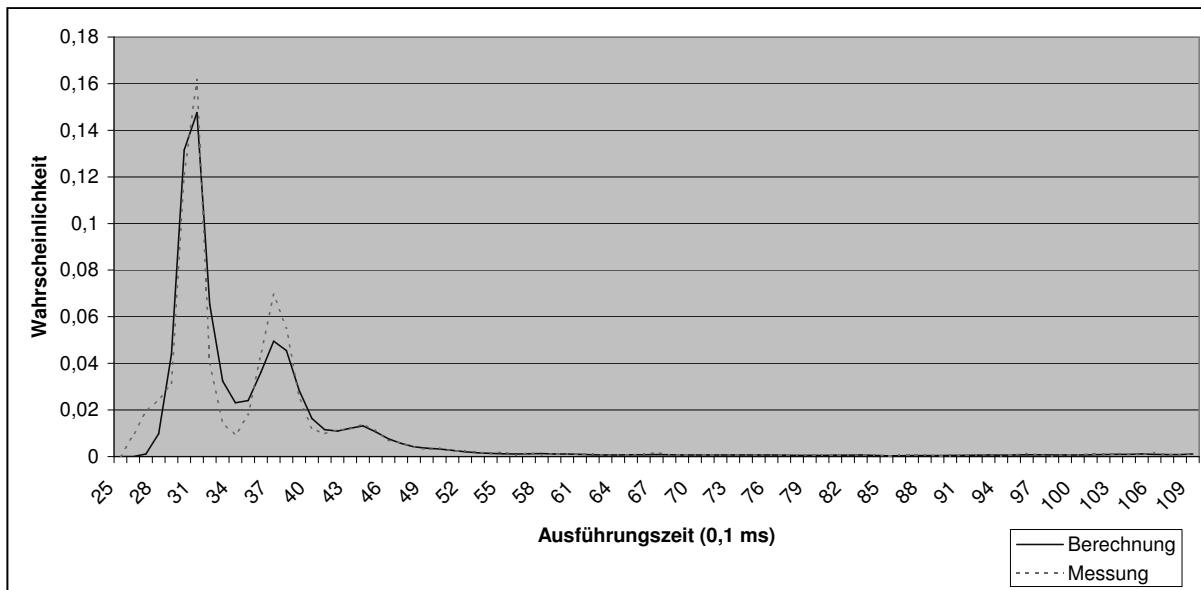


Abbildung 37: Vergleich der Messung und Berechnung für den HTTPRequestParser im Anwendungsszenario 1 bei 10000 Messungen. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf 100 gesetzt.

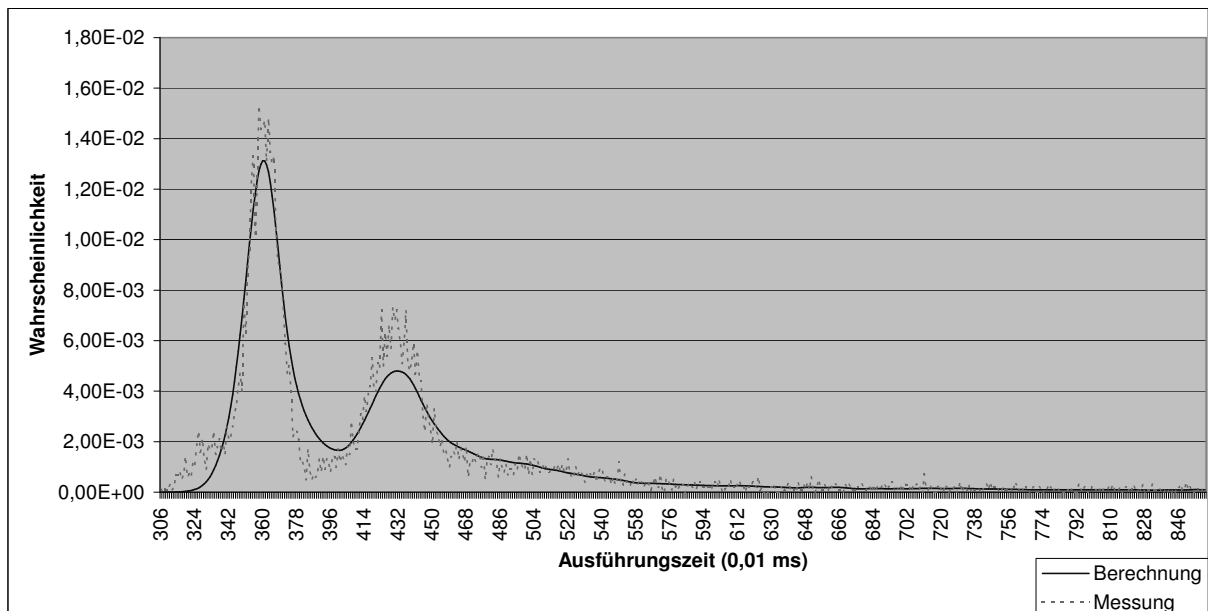


Abbildung 38: Vergleich der Messung und Berechnung für den HTTPRequestParser im Anwendungsszenario 2 bei 10000 Messungen. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf zehn gesetzt.

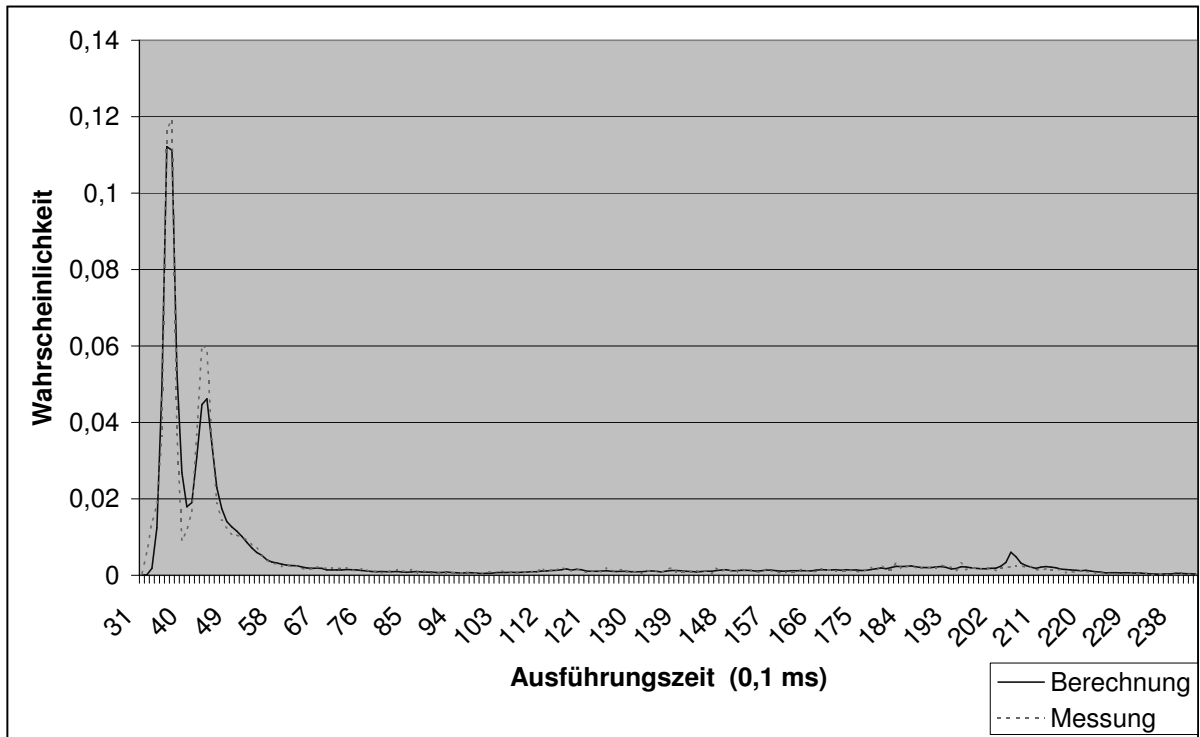


Abbildung 39: Vergleich der Messung und Berechnung für den HTTPRequestParser im Anwendungsszenario 2 bei 10000 Messungen. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf 100 gesetzt.

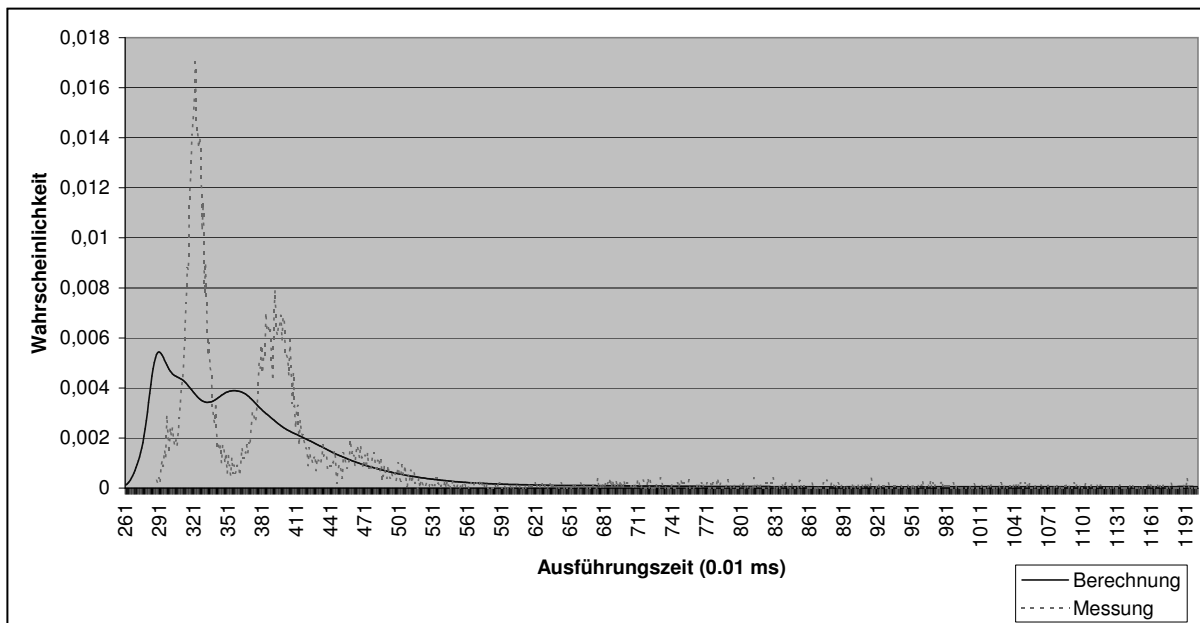


Abbildung 40: Vergleich der Messung und Berechnung für den HTTPRequestParser im Anwendungsszenario 3 bei 10000 Messungen. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf zehn gesetzt.

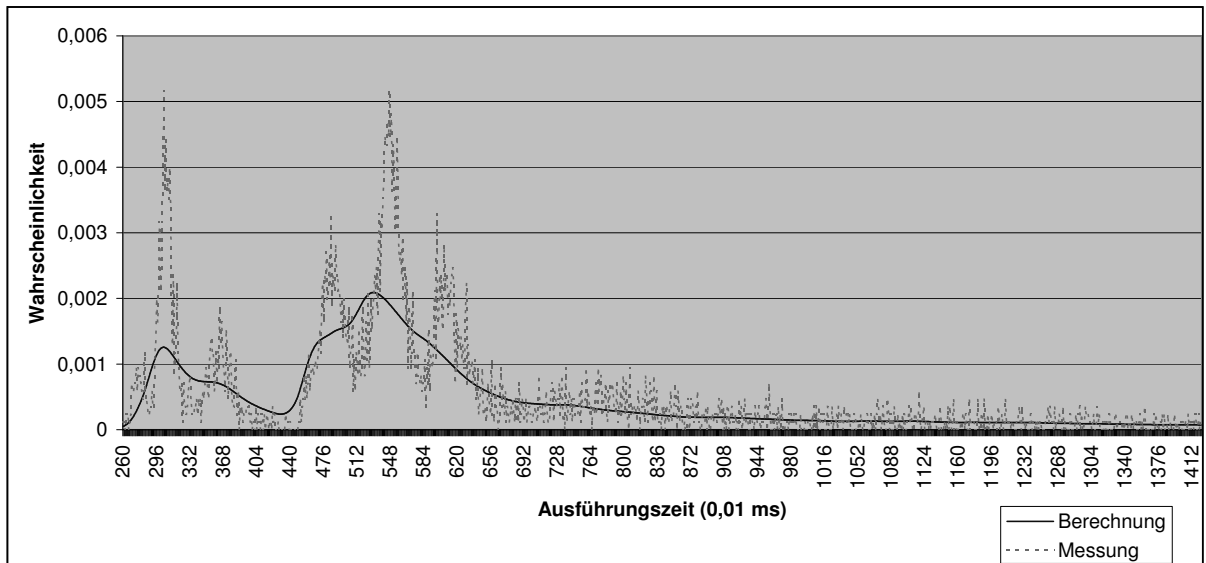


Abbildung 41: Vergleich der Messung und Berechnung für den HTTPRequestParser im Anwendungsszenario 8 bei 10000 Messungen. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf 100 gesetzt.

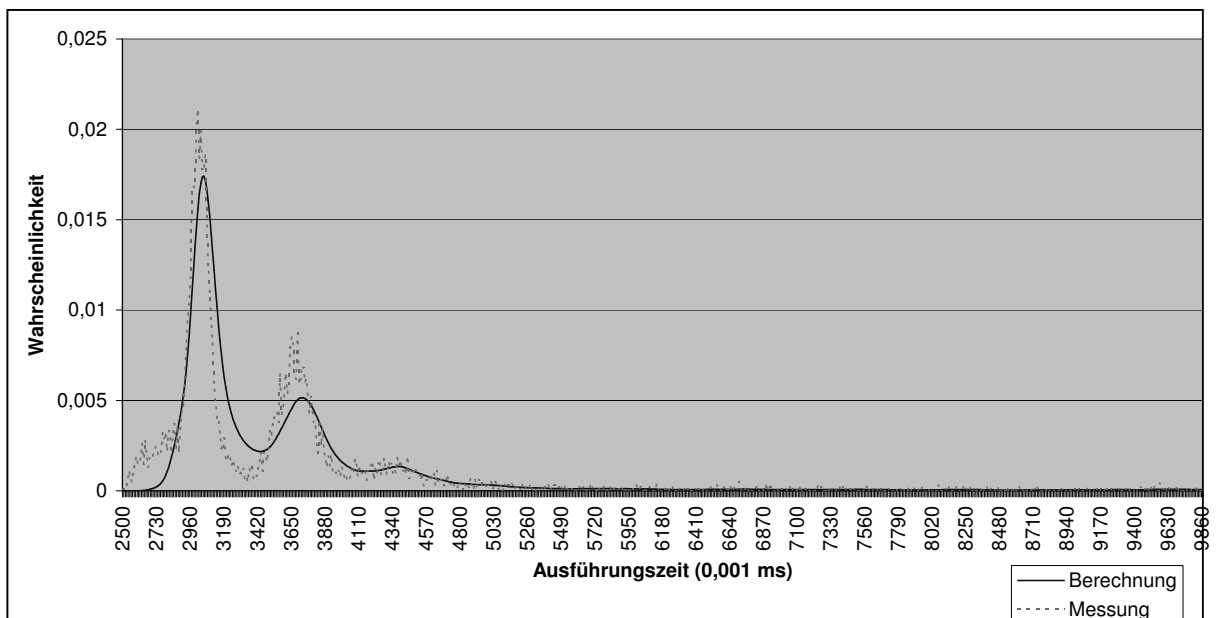


Abbildung 42: Vergleich der Messung und Berechnung für den HTTPRequestParser im Anwendungsszenario 1 bei 10000 Messungen. Die Berechnung wurde mit einer Abtastrate von 10 durchgeführt.

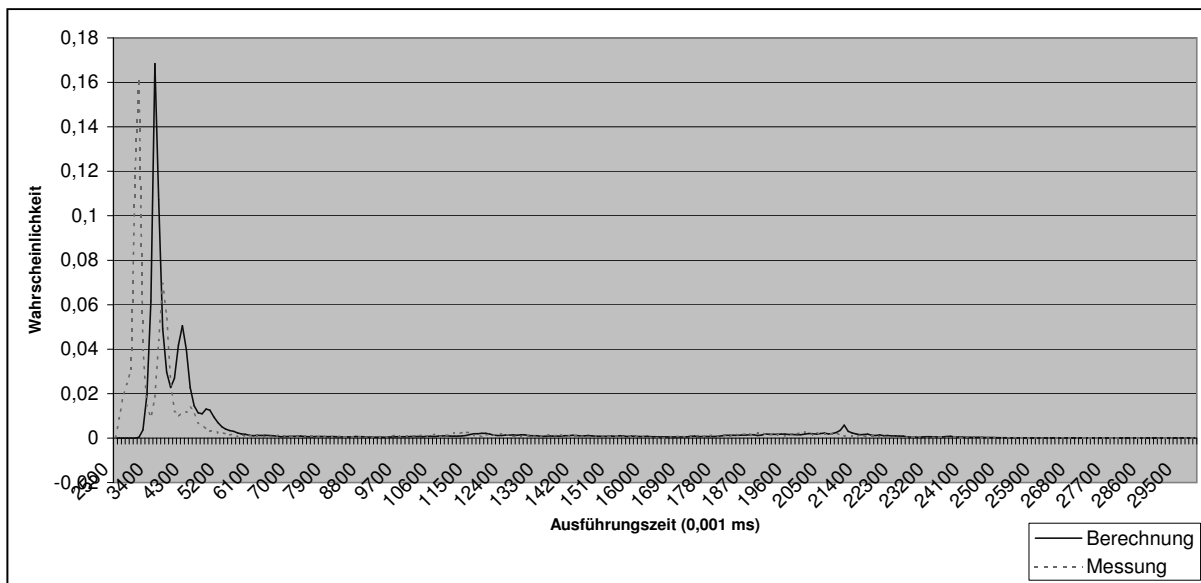


Abbildung 43: Vergleich der Messung und Berechnung für den HTTPRequestParser im Anwendungsszenario 1 bei 10000 Messungen. Die Berechnung wurde mit einer Abtastrate von 100 durchgeführt.

6.5.3 DynamicFileProvider

Da es in dem Service-Effektautomaten nur einen möglichen Pfad gibt, unterscheiden sich in den Anwendungsszenarien nur die beteiligten Funktionen. In den Abbildungen 44 bis 47 auf Seiten 62–63 sind die Ergebnisse für den *DynamicFileProvider* bei 10000 Messwerten zu sehen. Die Funktionen wurden bei einer Abtastrate von eins berechnet und die berechnete und die gemessene Funktion anschließend auf eine Abtastrate von zehn bzw. 100 angepasst. Wird die Funktion mit einer Abtastrate von eins dargestellt, dann fällt auf, dass sich die Werte um die berechnete Funktion gruppieren. Eine Erhöhung der Abtastrate führt zu einer Glättung der gemessenen Funktion und einer besseren Übereinstimmung. Tabelle 16 auf der nächsten Seite zeigt das Signifikanzniveau des χ^2 -Tests für die Anwendungsszenarien eins und zwei. Wird die Abtastrate nach der Berechnung auf 100 gesetzt, so ergibt sich eine recht hohe Übereinstimmung der verglichenen Funktionen. Tabelle 15 gibt die Zeiten für das Erstellen des Service-Effektautomaten und die Berechnung der Performanz an.

Anwendungsszenario	Anzahl der Messungen	Abtastrate bei Berechnung	Erstellung des Service-Effektautomaten	Berechnung (Frequenzbereich)
1	10000	1	1 Min 53 s	15 s
2	10000	1	1 Min 54 s	15 s

Tabelle 15: Zeiten des Erstellens des Service-Effektautomaten und der Berechnung für den *DynamicFileProvider*.

Anwendungsszenario	Abtastrate Berechnung	Abtastrate Ergebnis	Signifikanzniveau
1	1	10	0,0168
		100	0,7759
2	1	10	0
		100	0,99

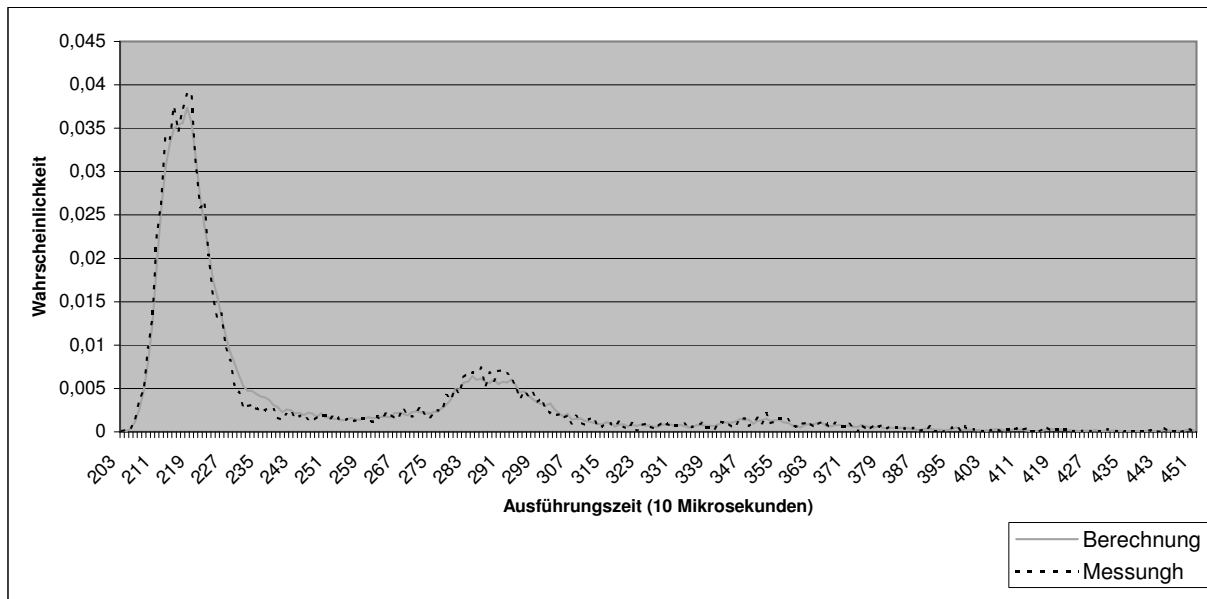
Tabelle 16: Signifikanzniveau für die *DynamicFileProvider*-Komponente.

Abbildung 44: Vergleich der Messung und Berechnung für den DynamicFileProvider im Anwendungsszenario 1 bei 10000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf zehn gesetzt.

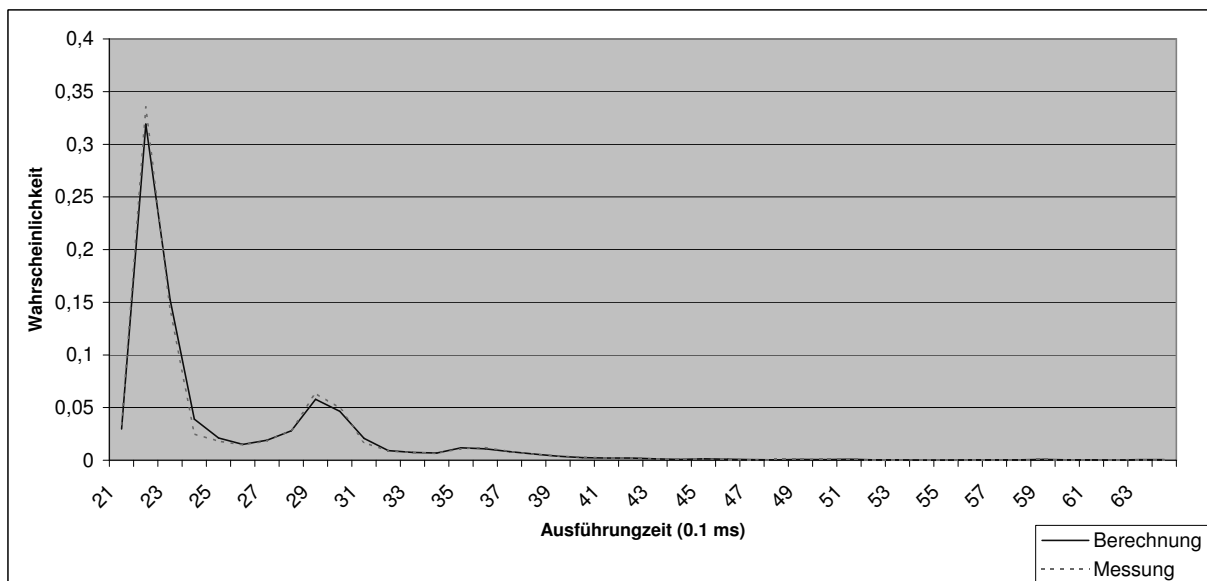


Abbildung 45: Vergleich der Berechnung und Messung für den DynamicFileProvider im Anwendungsszenario 1 bei 10000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf 100 gesetzt.

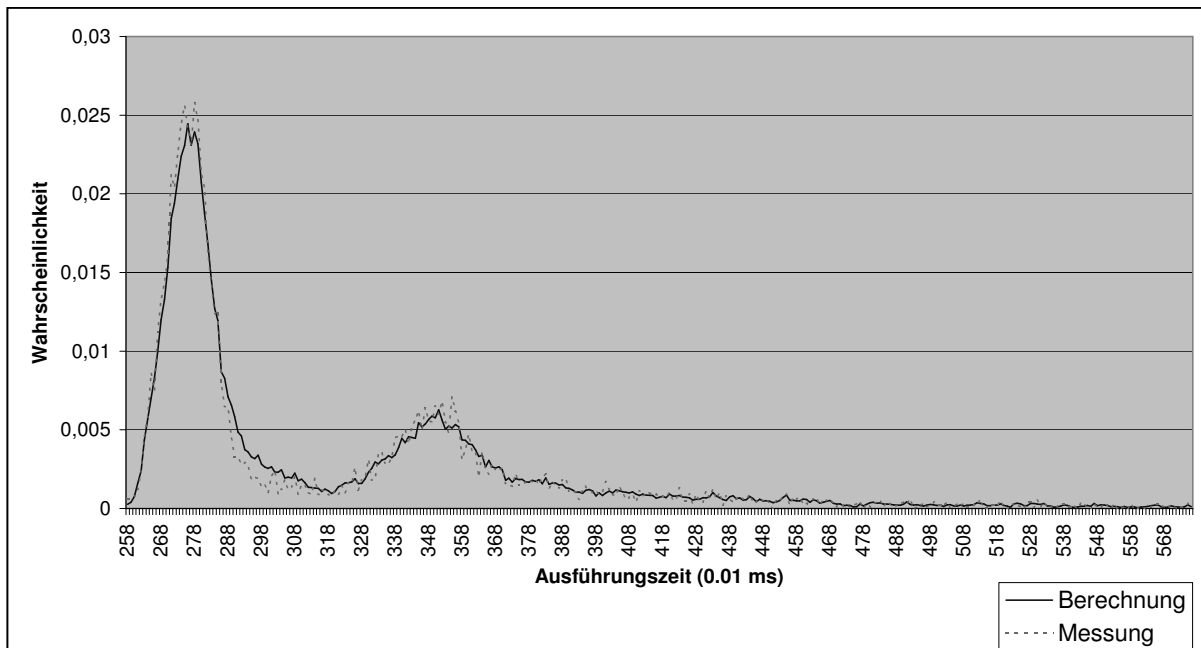


Abbildung 46: Vergleich der Messung und Berechnung für den DynamicFileProvider im Anwendungsszenario 2 bei 10000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf zehn gesetzt.

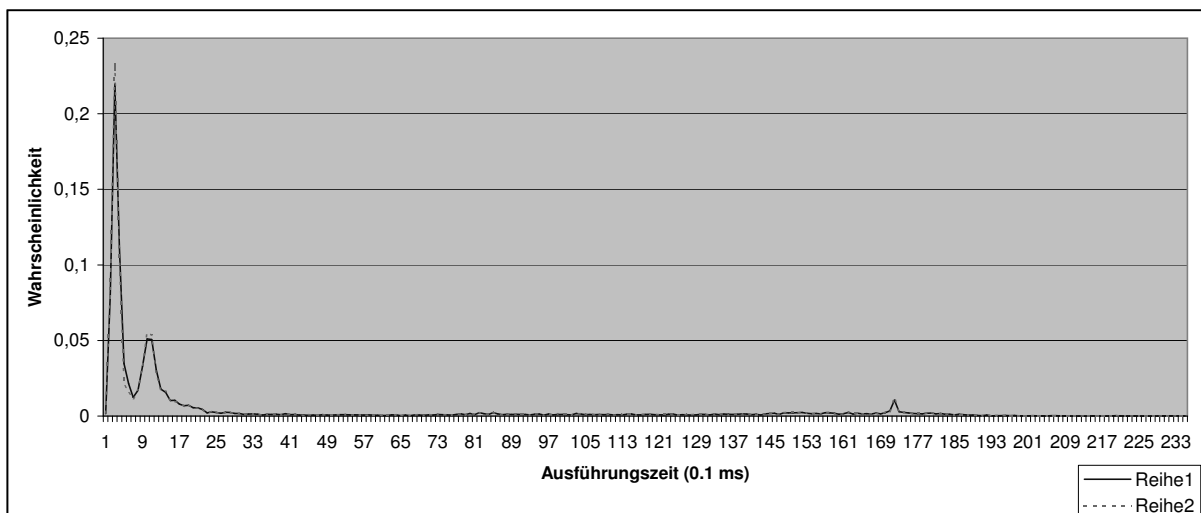


Abbildung 47: Vergleich der Messung und Berechnung für den DynamicFileProvider im Anwendungsszenario 2 bei 10000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf 100 gesetzt.

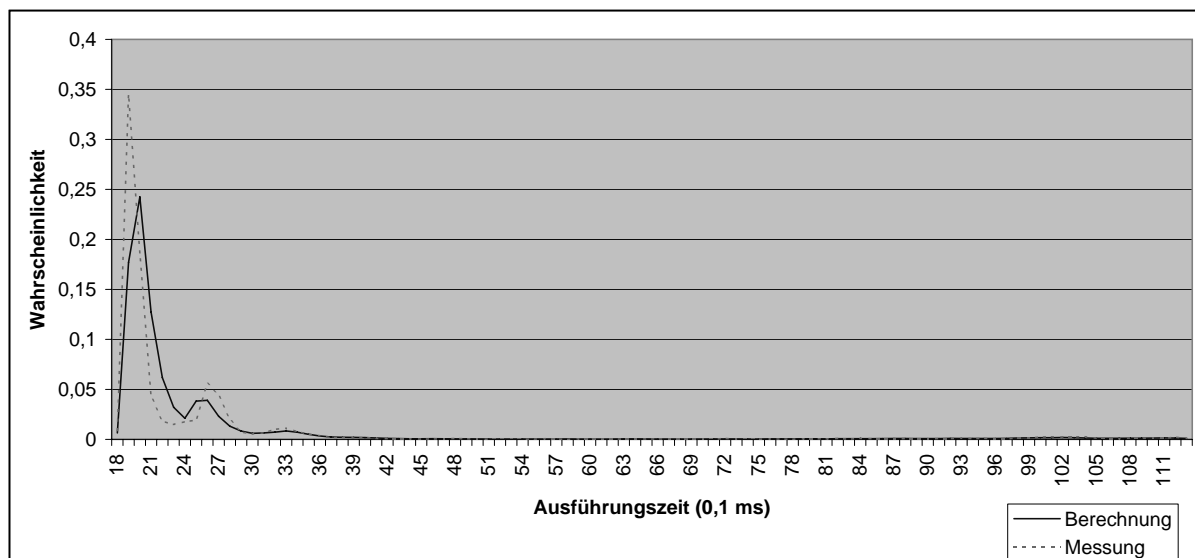
6.5.4 StaticFileProvider

Im Anwendungsszenario eins ließ sich die Performanz noch bei einer Abtastrate von eins berechnen. Bei den Anwendungsszenarien vier und sieben war die Berechnung nur bei einer Abtastrate von 100 möglich. Da bei den Anfragen an den Webserver keine nicht existierenden Daten angefragt wurden, ist die Wahrscheinlichkeit für *SendHTTPError* in allen Fällen null, die übrigen Wahrscheinlichkeiten sind in Tabelle 18 auf der nächsten Seite zu finden. Im Anwendungsszenario eins wird wieder eine reine Sequenz berechnet. Der Vergleich der Funktionen ist in Abbildung 48 auf der nächsten Seite zu sehen und lässt eine Ähnlichkeit vermuten, der χ^2 -Test liefert allerdings ein Signifikanzniveau von null. In dem Anwendungsszenario vier wird auch die Schleife berechnet, wobei aber die Anzahl der Schleifeniterationen konstant ist. Abbildung 49 auf Seite 66 enthält den Vergleich der berechneten und gemessenen Funktion. Die beiden Funktionen scheinen überhaupt keine Ähnlichkeit aufzuweisen. Dies liegt, wie schon bei der *HTTPRequestParser*-Komponente entdeckt, daran, dass die Schleife mit einer konstanten Anzahl von Iterationen durchlaufen wird, wodurch sich eine Dichtefunktion ergibt, die nicht mit der Berechnung übereinstimmt. In dem Szenario sieben ist die Anzahl der Iterationen nicht konstant. Hier wurde die Schleife zwei bis fünf mal durchlaufen. Abbildung 50 auf Seite 66 enthält den Vergleich der berechneten und gemessenen Funktion. Es ergibt sich eine größere Ähnlichkeit der berechneten und gemessenen Funktion, der χ^2 -Test liefert jedoch wieder ein Signifikanzniveau von null. In der Tabelle 17 sind die Zeiten für das Erstellen des Service-Effektautomaten und die Zeiten für die Berechnung enthalten. Im Szenario vier und sieben dauert die Erstellung des Service-Effektautomaten länger als im Szenario eins, da hier die Abtastrate von eins auf hundert angepasst werden muss.

Anwendungsszenario	Anzahl der Messungen	Abtastrate bei Berechnung	Erstellung des Service-Effektautomaten	Berechnung (Frequenzbereich)
1	10000	1	3 Min 24 s	12 Min 58 s
4	10000	100	7 Min 4 s	3 Min 20 s
7	12000	100	6 Min 13 s	1 Min 1 s

Tabelle 17: Zeiten des Erstellens des Service-Effektautomaten und der Berechnung für den *StaticFileProvider*.

Anwendungsszenario	externer Dienst	Aufrufwahrscheinlichkeit
1	IWebserverMonitor.WrietLogEntry1	1
	IWebserverMonitor.WrietLogEntry3	0
	IWebserverConfiguration.DefaultFileNames	0
4	IWebserverMonitor.WrietLogEntry1	1
	IWebserverMonitor.WrietLogEntry3	0.66
	IWebserverConfiguration.DefaultFileNames	0
7	IWebserverMonitor.WrietLogEntry1	0.2857
	IWebserverMonitor.WrietLogEntry3	0.1427
	IWebserverConfiguration.DefaultFileNames	0.5716

Tabelle 18: Aufrufwahrscheinlichkeiten für den *StaticFileProvider*.Abbildung 48: *StaticFileProvider* im Anwendungsszenario 1 mit 10000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von eins berechnet. Für den Vergleich wurde die Abtastrate beider Funktionen auf 100 gesetzt.

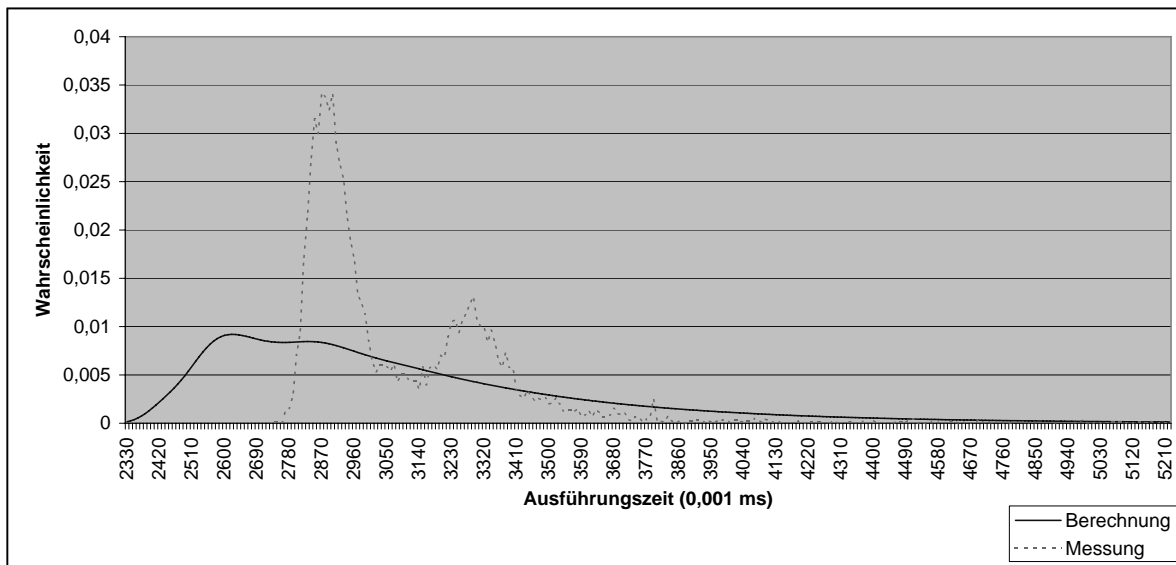


Abbildung 49: *StaticFileProvider* im Anwendungsszenario 4 bei 10000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von 100 berechnet.

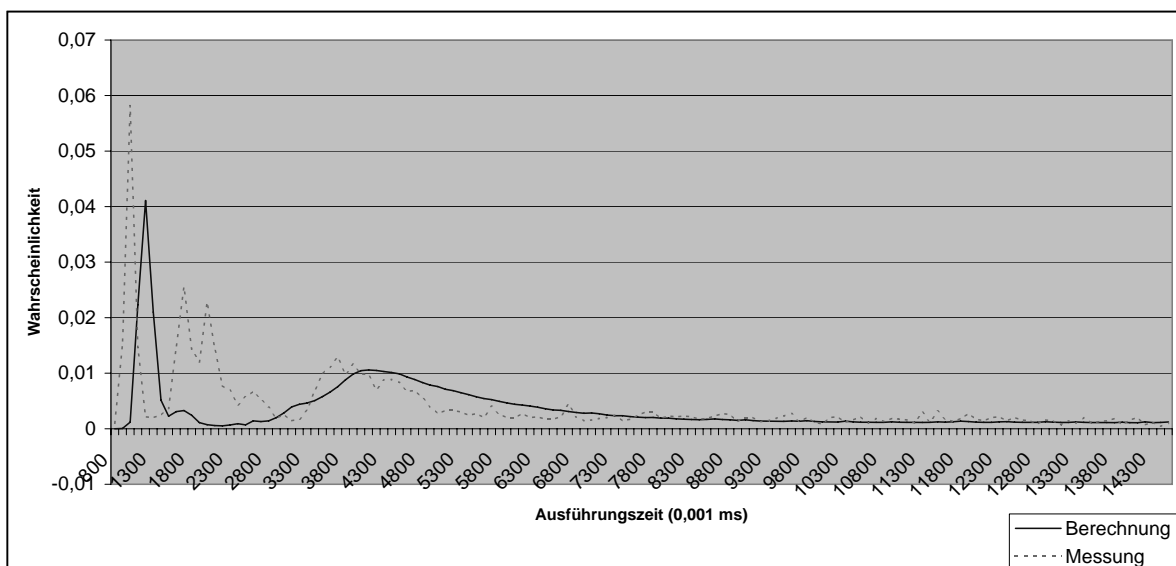


Abbildung 50: *StaticFileProvider* bei Anwendungsszenario 7 mit 12000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von 100 berechnet.

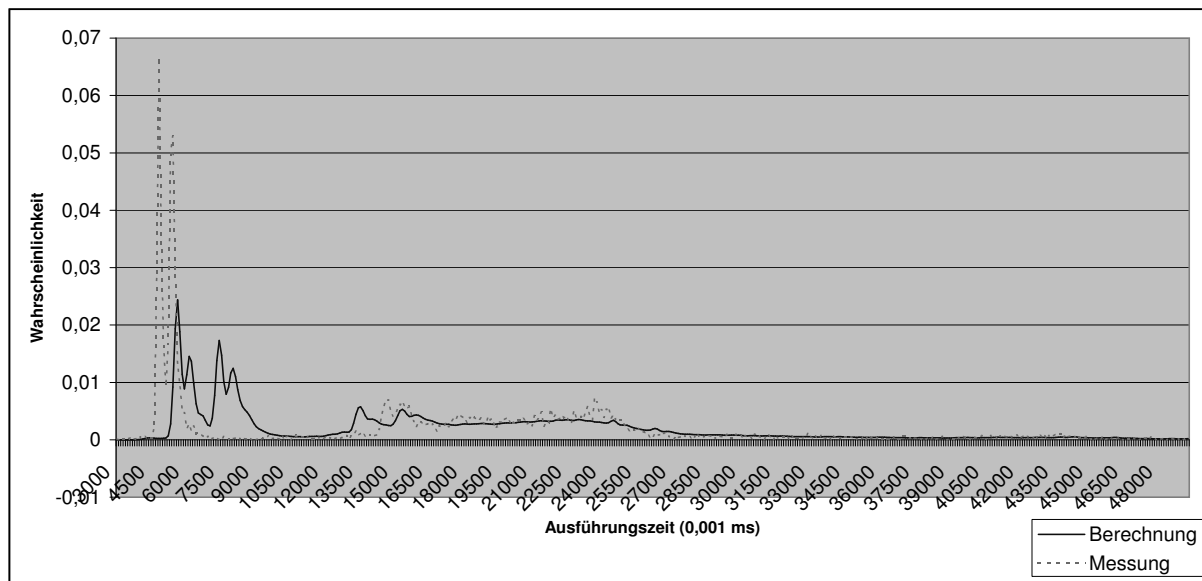
6.5.5 BibTexProvider

Wie in Abschnitt 6.5.1 beschrieben, ließ sich die Performanz für diese Komponente nicht mit einer Abtastrate von eins berechnen. Auch bei einer Abtastrate von zehn wurde eine *OutOfMemoryException* ausgelöst. Erst mit einer Abtastrate von 100 ließ sich die Performanz für den Dienst berechnen. Ein Vergleich der Berechnungen und Messungen ist in den Abbildungen 51 bis 54 auf Seiten 68–70 zu sehen. Eine grobe Ähnlichkeit ist zu erkennen, jedoch sind die Funktionen durch die hohe Abtastrate leicht zueinander verschoben. Aus diesem Grund ergibt auch der χ^2 -Test in allen Fällen ein Signifikanzniveau von null. In Tabelle 20 sind die Transitionwahrscheinlichkeiten für die Anwendungsszenarien enthalten. Das Anwendungsszenario zehn taucht zwei mal auf, da er einmal mit 15000 Messungen (10.1) und einmal mit 7000 Messungen (10.2) durchgeführt wurde. Tabelle 19 enthält die Zeiten für das Erstellen des Service-Effektautomaten und die Zeiten für die Berechnung.

Anwendungsszenario	Anzahl der Messungen	Abtastrate bei Berechnung	Erstellung des Service-Effektautomaten	Berechnung (Frequenzbereich)
6	10000	100	2 Min 57 s	10 s
9	12000	100	2 Min 26 s	20 s
10.1	15000	100	4 Min 48 s	21 s
10.2	7000	100	1 Min 54 s	1 Min 22 s

Tabelle 19: Zeiten des Erstellens des Service-Effektautomaten und der Berechnung für den *BibTexProvider*.

Anwendungsszenario	externer Dienst	Aufrufwahrscheinlichkeit
6	IBibTexDB-set_ConnectionString	1
	IHTTPRequestProcessor.HandleRequest	0
	IBibTexDB.AllEntries	0.5
	IBibTexDB.Search	0.5
	IWebserverMonitor.WriteDebugMessage	0
	IRequestProcessingTools.GetFileMimeTypeFor1	1
9	IBibTexDB-set_ConnectionString	0.3
	IHTTPRequestProcessor.HandleRequest	0.7
	IBibTexDB.AllEntries	0.66
	IBibTexDB.Search	0.33
	IWebserverMonitor.WriteDebugMessage	0
	IRequestProcessingTools.GetFileMimeTypeFor1	1
10.1	IBibTexDB-set_ConnectionString	1
	IHTTPRequestProcessor.HandleRequest	0
	IBibTexDB.AllEntries	0.5
	IBibTexDB.Search	0.5
	IWebserverMonitor.WriteDebugMessage	0.262
	IRequestProcessingTools.GetFileMimeTypeFor1	0.738
10.2	IBibTexDB-set_ConnectionString	1
	IHTTPRequestProcessor.HandleRequest	0
	IBibTexDB.AllEntries	0.715
	IBibTexDB.Search	0.345
	IWebserverMonitor.WriteDebugMessage	0.345
	IRequestProcessingTools.GetFileMimeTypeFor1	0.655

Tabelle 20: Wahrscheinlichkeiten für den *BibTexProvider*.Abbildung 51: *BibTexFileProvider* im Anwendungsszenario 6 bei 10.000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von 100 berechnet.

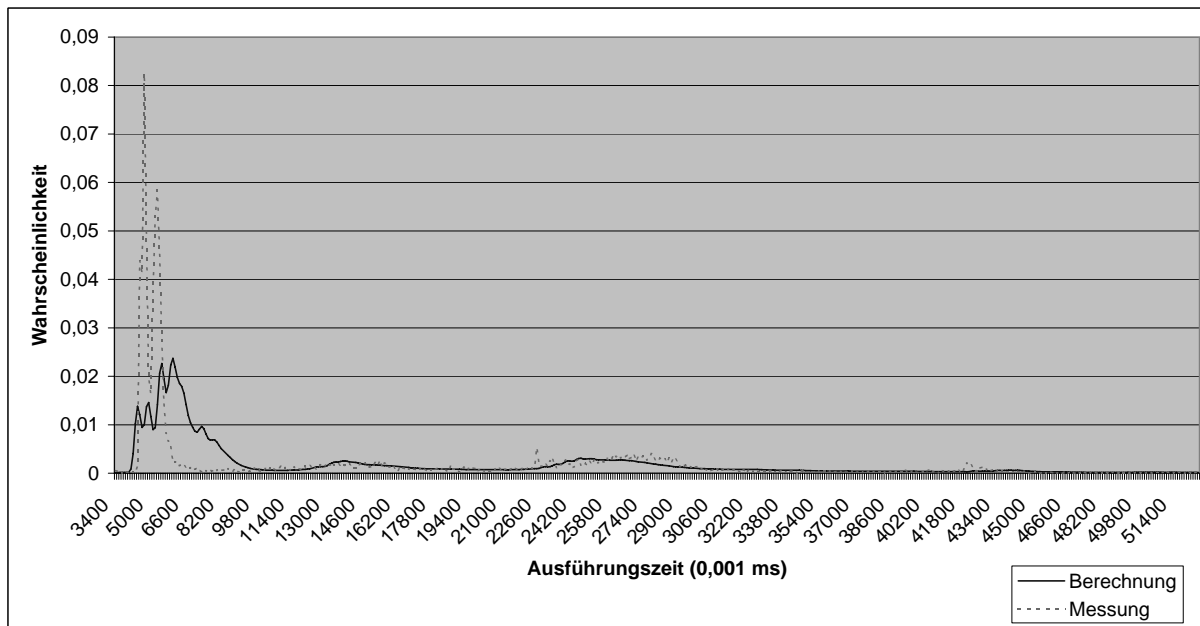


Abbildung 52: *BibTexFileProvider* im Anwendungsszenario 10.1 bei 15.000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von 100 berechnet.

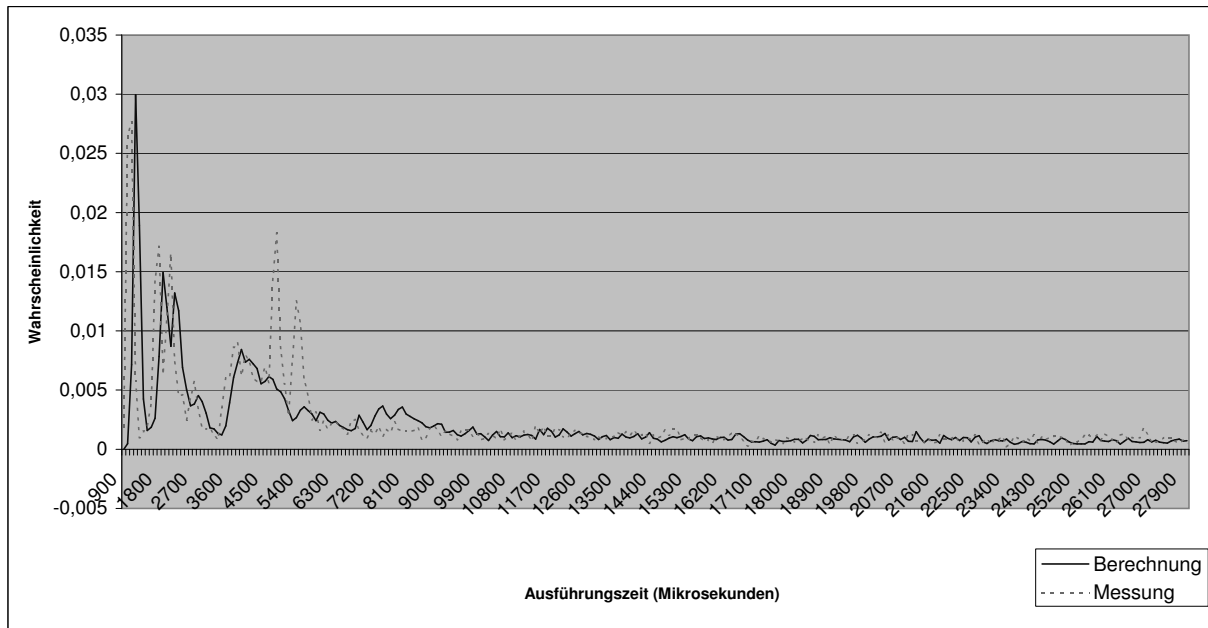


Abbildung 53: *BibTexFileProvider* im Anwendungsszenario 9 bei 12.000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von 100 berechnet.

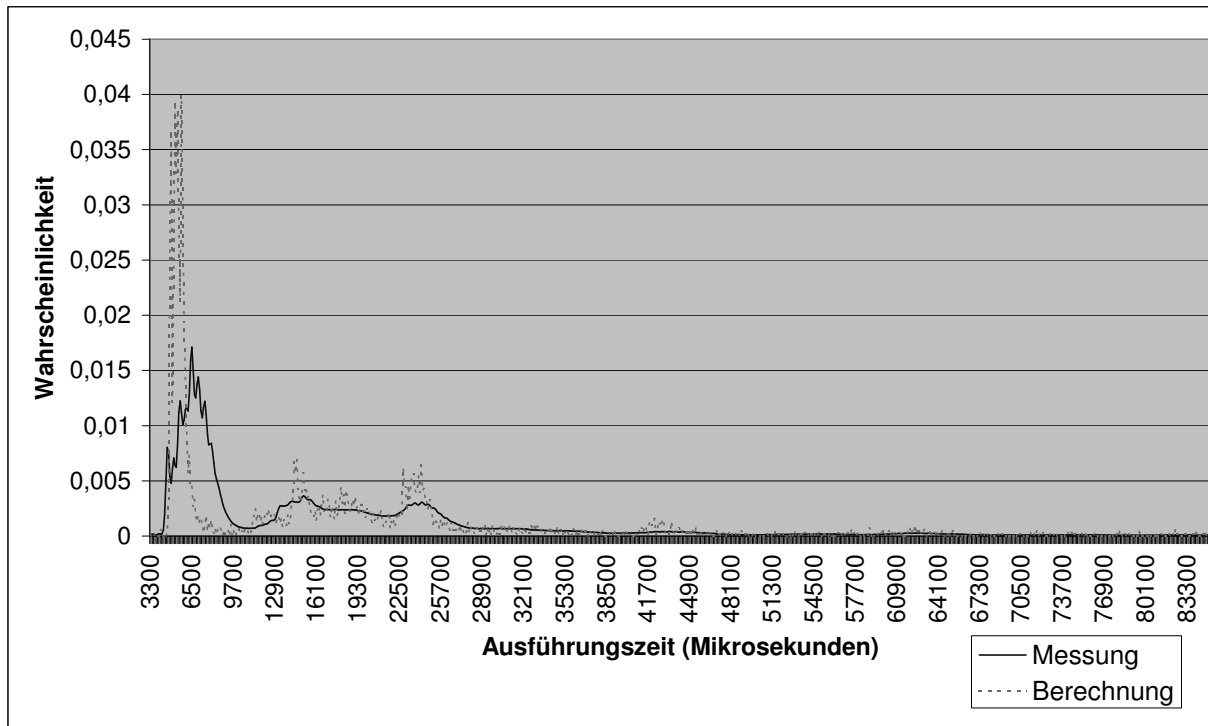


Abbildung 54: *BibTexFileProvider* im Anwendungsszenario 10.2 bei 7.000 Messwerten. Die Funktion wurde bei einer Abtastrate von 100 berechnet.

6.6 Bewertung des Verfahrens

Die Fragen des GQM-Planes lauten:

- Wie gut sind die Performanzvorhersagen?
- Welchen Einfluss hat die Abtastrate auf die Vorhersage?

Als Metriken dienen das Signifikanzniveau des χ^2 -Tests und die Berechnungszeit. Zieht man das Signifikanzniveau für die Beurteilung des Verfahrens heran, so muss man die Brauchbarkeit des Verfahrens verneinen, da die Ergebnisse für den Webserver fast ausschließlich ein Signifikanzniveau von null ergaben. Nur für den *DynamicFileProvider* ergab der Test eine Übereinstimmung. Aber auch bei den kleinen Service-Effektautomaten in Abschnitt 5 ergab sich höchstens ein Signifikanzniveau von 0.83. Betrachtet man allerdings die Vergleiche in den Abbildungen, so entsteht der Eindruck, dass die Funktionen doch zum Teil sehr ähnlich sind. Dieser Eindruck stimmt zumindest für die untersuchten Service-Effektautomaten in Abschnitt 5. Bei den untersuchten Service-Effektautomaten in Abschnitt 6 sind die Ergebnisse nicht eindeutig. Werden nur Sequenzen berechnet, so ergab sich eine relativ gute Übereinstimmung. Enthielt der Service-Effektautomat auch alternative Pfade, so ergab sich eine geringere Ähnlichkeit. So kann man zum Beispiel bei den Ergebnissen für den *BibTexProvider* eine tendenzielle Ähnlichkeit erkennen, jedoch weichen die Funktionen am Anfang recht stark voneinander ab.

Eine Schwachstelle des Verfahrens ist die Schleifenberechnung. In Abschnitt 5 konnte eine Ähnlichkeit der Funktionen festgestellt werden. Hier wurde während der Ausführung des Diensts anhand einer Zufallszahl entschieden, ob die Schleife betreten wird. Es ergab sich somit eine relativ gleichmäßige Verteilung der Ausführungszeiten. Bei den Service-Effektautomaten des Webserver liegt die Sache anders.

Hier wird die Anzahl der Schleifeniterationen durch die Anwendungsszenarien und die Konfiguration des Webservers bestimmt. Bei dem *HTTPRequestParser* hängt die Anzahl der Schleifeniterationen von der Anzahl der Variablen in dem HTTP-Kopf ab. Für jede angefragte Datei ist die Anzahl der Schleifeniterationen somit konstant, was bei der Messung zu einer anderen Funktion führt als bei der Berechnung, weil für die Berechnung keine Iterationsanzahl angegeben wird. Wird die Schleife zum Beispiel immer zwei mal durchlaufen, so ergibt sich eine Schleifeniterationswahrscheinlichkeit von 0.66 und für das Verlassen der Schleife eine Wahrscheinlichkeit von 0.33 (wenn man davon ausgeht, dass die Wahrscheinlichkeit für das Aufrufen des Nachfolgers der Zuständigkeitskette null ist). Bei der Berechnung wird nun auch die Möglichkeit berücksichtigt, dass die Schleife gar nicht, nur einmal oder mehrfach durchlaufen wird. Dies entspricht aber nicht den Tatsachen, so dass sich bei dem Vergleich der Funktionen keine Ähnlichkeit herausstellen kann. Werden die angefragten Dateien variiert, ergibt sich eine bessere Verteilung bei der gemessenen Funktion, da die Schleife für jede angefragte Datei unterschiedlich oft durchlaufen wird. Will man allerdings eine Verteilung erreichen, die der Berechnung entspricht, so müssten auch Anfragen mit 20 oder mehr Variablen in die Messung eingehen. Dies ist allerdings kein realistische Anwendungsszenario mehr.

Für die Schleife bei dem *StaticFileProvider* ergibt sich das gleiche Problem. Die Schleife wird bei einem Aufruf eines Verzeichnis durchlaufen, wobei die Anzahl der Schleifeniteration von der Konfiguration des Webservers abhängig ist. In der Konfigurationsdatei wird eine Liste von Default-Dateien angegeben nach denen gesucht wird. Wird die erste Default-Datei nicht gefunden, so wird nach der zweiten Datei gesucht, wobei für jede gesuchte Datei die Schleife einmal durchlaufen wird. Nun wird man in der Konfigurationsdatei nur eine begrenzte Anzahl (in der Regel nicht mehr als zwei) von Default-Dateien angeben. In den Anwendungsszenarien sieben bis neun werden in der Konfigurationsdatei sechs Default-Dateien angegeben und Verzeichnisse mit unterschiedlichen Dateien aufgerufen, so dass sich eine bessere Verteilung ergibt. Trotzdem entsprechen die Ausführungszeiten nicht denen der berechneten Funktion.

Die Abtastrate bestimmt die Genauigkeit und Performanz der Berechnung. Am genauesten sind die Berechnungen bei einer Abtastrate von eins. Wird die Abtastrate erhöht, so ergeben sich Fehler in der Berechnung, die zu einer Verschiebung der berechneten Funktion führen können. Allerdings hat die Erhöhung der Abtastrate auch einen positiven Effekt auf die Berechnungszeit, da die Anzahl der Werte für die Funktion abnimmt.

Die Berechnungszeiten liegen in einem vertretbaren Rahmen.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Die Ergebnisse der beiden Fallstudien sind nicht unbedingt homogen. In der ersten Studie konnte die Korrektheit der Berechnungen im Vergleich mit den gemessenen Funktionen bestätigt werden. Dabei stehen sich die beiden implementierten Verfahren in puncto Präzision in nichts nach. Bei der Berechnungszeit fällt allerdings die Berechnung im Zeitbereich wegen des exponentiellen Aufwands der Faltung extrem ab. Bei der Untersuchung des Webservers konnte man erkennen, dass selbst für eine kleine Applikation Zufallsvariablen benötigt werden, deren Dichtefunktionen sehr viele Funktionswerte haben. Dies disqualifiziert die Berechnung im Zeitbereich.

Bei der Berechnung im Frequenzbereich ergeben sich geringe Abweichungen, die wahrscheinlich durch die beschränkte Genauigkeit der Fließkommazahlen zustande kommen. Dadurch entstehen zum Teil sogar negative Werte. Die Abweichungen sind jedoch so gering (10^{-17}), dass sie vernachlässigt werden können.

Wichtig zu bemerken ist es, dass die Berechnung der Schleife immer eine Approximation darstellt. Im Zeitbereich ist dies klar ersichtlich, da nicht unendlich viele Faltungen berechnet werden können. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten der Dichtefunktion des Ergebnisses ist dabei immer kleiner als eins. Im Frequenzbereich kann der Grenzwert zwar theoretisch direkt berechnet werden, allerdings hängt die Richtigkeit des Ergebnisses von der Vektorgröße der Funktion ab.

In der Fallstudie mit dem Webserver viel auf, dass sich dieser weniger gut für die Überprüfung der Korrektheit der Schleifenberechnung eignet. Die Anzahl der Schleifeniterationen hängt von der Konfiguration des Webservers und den Anfragen ab. Dadurch ergibt sich eine durch das Anwendungsszenario fest vorgegebene Häufigkeit der Schleifeniteration. Eine Anwendung, in der die Anzahl der Schleifeniterationen mehr oder weniger zufällig erfolgt, ist hierfür sinnvoller. Zudem sind die Ausführungszeiten für die Schleifen sehr gering, weil es sich lediglich um das schreiben einer Log-Nachricht handelt. So kann aus den Untersuchungen des Webservers nicht auf die Korrektheit der Schleifenberechnung geschlossen werden. Dazu sollte eine weitere Fallstudie an einer geeigneteren Anwendung durchgeführt werden.

Zu der Abtastrate ist zu bemerken, dass eine hohe Abtastrate die Berechnung verfälscht und sich eine Verschiebung der berechneten Funktion ergibt. Obwohl der χ^2 -Test in diesem Fall keine Übereinstimmung ergibt, so erkennt man im Funktionsverlauf die Ähnlichkeit. Eine Berechnung bei kleinster Abtastrate war leider nicht immer möglich, da die Berechnung die Speicherkapazität des verwendeten Rechners überforderte. Für die Anwendbarkeit des Verfahrens bedeutet das, dass entweder ein leistungsstarker Rechner mit viel Speicher benötigt wird, oder dass man sich mit einer geringeren Präzision der Berechnung zufrieden geben muss.

Bei der Durchführung der Messungen erwies sich die *HTTPRequestParser*-Komponente als schwierig. Bei einigen Anfragen, die vom Internet-Explorer gestellt wurden, geriet ein Dienst der Komponente in eine Endlosschleife. Das Problem bestand auch mit den verwendeten Load-Tools.

Die Verwendung von XML-Dateien für die Datenspeicherung erwies sich als praktisch, da sich diese aufgrund der Referenzierung mittels einer ID gut auswerten ließen. Da die Datei für die Auswertung in den Hauptspeicher geladen werden muss, sind die Anzahl der Messungen allerdings begrenzt, da es ansonsten zu Auslagerungen von Daten auf das Dateisystem kommt, die sehr zeitintensiv sind. Für Messungen mit mehr Messwerten könnte daher die Verwendung einer Datenbank sinnvoll sein.

Der GNFA-Algorithmus erzeugt einen regulären Ausdruck, der gemeinsame Teilausdrücke enthält. Das

7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

führt dazu, dass eine Reihe von Berechnungen mehrfach ausgeführt werden. Hier besteht noch Optimierungsbedarf.

Literatur

- [1] V. Firus, S. Becker, and J. Happe, "Parametric Performance Contracts for QML-specified Software Components," *ETAPS2005 - 2nd International Workshop on Formal Foundations of Embedded Software and Component-Based Software Architectures*, 2005.
- [2] I. Sommerville, *Software Engineering*. Pearson Studium, 2001.
- [3] B. Meyer, *Object-Oriented Software Construction*, 2nd ed. Prentice Hall, 1997.
- [4] R. H. Reussner, *Parametrisierte Verträge zur Protokolladaption bei Software-Komponenten*. Logos Verlag, Berlin, 2001.
- [5] S. Frølund and J. Koistinen, "Quality-of-Service Specification in Distributed Object System," *Distributed System Engineering*, vol. 5, pp. 179–202, 1998.
- [6] A. V. Aho, R. Sethi, and J. D. Ullman, *Compilerbau, 2 Tle., Tl.1*. Oldenbourg, 1999.
- [7] P. Hartmann, *Mathematik für Informatiker*. Vieweg, 2003.
- [8] H. Unbehauen, *Regelungstechnik I*. Vieweg Verlag, 2002.
- [9] J. Happe, "Reliability Prediction of component-based software architectures," Master's thesis, Department of Computing Science, Universität Oldenburg, 2004.
- [10] M. Sipser, *Introduction to the Theory of Computation*. PWS Publishing Company, 2001.
- [11] E. Gamma, R. Helm, and R. Johnson, *Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software*, ser. Addison-Wesley Professional Computing Series. Addison-Wesley, 1995.
- [12] V. R. Basili, G. Caldiera, and H. D. Rombach, "The Goal Question Metric Approach," in *Encyclopedia of Software Engineering*, 1994.
- [13] "Präzision, Richtigkeit und Genauigkeit." [Online]. Available: <http://www.kowoma.de/gps/zusatzerklaerungen/Praezision.htm>
- [14] L. Prechelt, *Kontrollierte Experimente in der Softwaretechnik. Potenzial und Methodik*. Springer, 2001.
- [15] "Schätzen und Testen," zuletzt besucht am 7.10.2005. [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schaetzen.und.Testen>
- [16] H. Scheid, *Schüler Duden Die Mathematik*. Dudenverlag, 1991, vol. II.
- [17] "Mono Project," zuletzt besucht am 7.10.2005. [Online]. Available: http://www.mono-project.com/Main_Page
- [18] "Inversionsmethode." [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Inversionsmethode>
- [19] "random.org - True Random Number Service -," zuletzt besucht am 7.10.2005. [Online]. Available: <http://www.random.org/>
- [20] D. C. Schmidt, M. Stal, and H. Rohnert, *Pattern-Oriented Software Architecture, Vol.2 : Patterns for Concurrent and Networked Objects*. John Wiley & Sons, 2000.
- [21] "Web Application Tester," zuletzt besucht am 7.10.2005. [Online]. Available: <http://www.loadtestingtool.com>
- [22] "The Apache Software Foundation," zuletzt besucht am 9.10.2005. [Online]. Available: <http://www.apache.org/>
- [23] "Web Performance Trainer," zuletzt besucht am 9.10.2005. [Online]. Available: <http://www.webperformanceinc.com/>

A Berechnete und gemessene Funktionen

A.1 Funktionen für Abschnitt 5.2.1

A.1.1 Vorgegebene Funktionen

Tabelle 21: Vorgegebene Dichtefunktionen für $n = 100$.

Ausführungszeit (ms)	X_1	Y_1	Y_2
1	0,259181779	0,451188364	0
2	0,192006585	0,247617424	0
3	0,142241976	0,135895324	0
4	0,105375448	0,074580935	0
5	0,078064052	0,040930885	0
6	0,057831272	0,022463346	0,59343034
7	0,04284246	0,012328146	0,241270772
8	0,031738475	0,00676583	0,098093375
9	0,023512441	0,003713166	0,03988179
10	0,017418444	0,002037829	0,016214726
11	0,012903901	0,001118384	0,006592416
12	0,009559445	0,000613782	0,002680276
13	0,007081811	0,000336851	0,001089719
14	0,005246335	0,000184868	0,000443047
15	0,00388658	0,000101458	0,000180129
16	0,002879249	5,56811E-05	7,32351E-05
17	0,002133	3,05584E-05	2,97752E-05
18	0,001580166	1,67708E-05	1,21057E-05
19	0,001170615	9,20402E-06	4,9218E-06
20	0,000867213	5,05127E-06	2,00106E-06
21	0,000642447	2,7722E-06	8,13569E-07
22	0,000475937	1,52141E-06	3,30772E-07
23	0,000352583	8,3497E-07	1,34482E-07
24	0,0002612	4,58241E-07	5,46763E-08
25	0,000193501	2,51488E-07	2,22297E-08
26	0,000143349	1,3802E-07	9,03793E-09
27	0,000106196	7,57467E-08	3,67455E-09
28	7,86718E-05	4,15707E-08	1,49396E-09
29	5,82815E-05	2,28145E-08	6,07399E-10
30	4,3176E-05	1,25209E-08	2,4695E-10
31	3,19856E-05	6,87159E-09	1,00402E-10
32	2,36955E-05	3,77121E-09	4,08206E-11
33	1,75541E-05	2,06968E-09	1,65964E-11
34	1,30044E-05	1,13587E-09	6,74759E-12
35	9,63387E-06	6,23377E-10	2,74337E-12
36	7,13695E-06	3,42116E-10	1,11537E-12
37	5,28718E-06	1,87757E-10	4,53475E-13
38	3,91684E-06	1,03043E-10	1,84369E-13
39	2,90167E-06	5,65514E-11	7,4959E-14
40	2,14961E-06	3,10361E-11	3,0476E-14
41	1,59247E-06	1,7033E-11	1,23906E-14
42	1,17973E-06	9,34789E-12	5,03766E-15
43	8,73965E-07	5,13023E-12	2,04816E-15
44	6,47449E-07	2,81553E-12	8,32719E-16
45	4,79642E-07	1,5452E-12	3,38558E-16
46	3,55328E-07	8,48022E-13	1,37648E-16
47	2,63233E-07	4,65404E-13	5,59633E-17
48	1,95008E-07	2,55419E-13	2,2753E-17
49	1,44465E-07	1,40177E-13	9,25067E-18
50	1,07023E-07	7,69308E-14	3,76104E-18
51	7,92843E-08	4,22205E-14	1,52913E-18
52	5,87353E-08	2,31711E-14	6,21696E-19
53	4,35122E-08	1,27166E-14	2,52763E-19
54	3,22346E-08	6,979E-15	1,02766E-19
55	2,388E-08	3,83016E-15	4,17814E-20
56	1,76907E-08	2,10204E-15	1,69871E-20
57	1,31056E-08	1,15362E-15	6,90642E-21
58	9,70887E-09	6,33121E-16	2,80794E-21
59	7,19251E-09	3,47464E-16	1,14162E-21
60	5,32834E-09	1,90692E-16	4,6415E-22
61	3,94733E-09	1,04654E-16	1,88709E-22
62	2,92426E-09	5,74354E-17	7,67234E-23
63	2,16634E-09	3,15212E-17	3,11934E-23
64	1,60487E-09	1,72992E-17	1,26823E-23
65	1,18891E-09	9,49401E-18	5,15624E-24
66	8,80769E-10	5,21042E-18	2,09637E-24
67	6,5249E-10	2,85954E-18	8,5232E-25

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Ausführungszeit (ms)	X_1	Y_1	Y_2
68	4,83376E-10	1,56935E-18	3,46527E-25
69	3,58094E-10	8,61277E-19	1,40888E-25
70	2,65283E-10	4,72679E-19	5,72806E-26
71	1,96526E-10	2,59412E-19	2,32886E-26
72	1,4559E-10	1,42368E-19	9,46842E-27
73	1,07856E-10	7,81333E-20	3,84957E-27
74	7,99016E-11	4,28805E-20	1,56512E-27
75	5,91925E-11	2,35333E-20	6,3633E-28
76	4,38509E-11	1,29154E-20	2,58712E-28
77	3,24856E-11	7,08809E-21	1,05185E-28
78	2,40659E-11	3,89003E-21	4,27649E-29
79	1,78285E-11	2,13489E-21	1,73869E-29
80	1,32076E-11	1,17165E-21	7,06899E-30
81	9,78446E-12	6,43017E-22	2,87404E-30
82	7,24851E-12	3,52895E-22	1,1685E-30
83	5,36983E-12	1,93673E-22	4,75075E-31
84	3,97806E-12	1,0629E-22	1,93151E-31
85	2,94702E-12	5,83332E-23	7,85294E-32
86	2,18321E-12	3,2014E-23	3,19277E-32
87	1,61736E-12	1,75696E-23	1,29808E-32
88	1,19817E-12	9,64242E-24	5,27761E-33
89	8,87626E-13	5,29187E-24	2,14571E-33
90	6,5757E-13	2,90424E-24	8,72382E-34
91	4,8714E-13	1,59388E-24	3,54684E-34
92	3,60882E-13	8,7474E-25	1,44204E-34
93	2,67348E-13	4,80068E-25	5,86289E-35
94	1,98056E-13	2,63467E-25	2,38367E-35
95	1,46724E-13	1,44594E-25	9,69129E-36
96	1,08696E-13	7,93547E-26	3,94019E-36
97	8,05236E-14	4,35508E-26	1,60196E-36
98	5,96534E-14	2,39012E-26	6,51308E-37
99	4,41923E-14	1,31172E-26	2,64802E-37
100	3,27385E-14	7,19898E-27	1,07661E-37
101	0	0	4,37715E-38
102	0	0	1,77962E-38
103	0	0	7,23538E-39
104	0	0	2,94169E-39
105	0	0	1,196E-39

A Berechnete und gemessene Funktionen

A.1.2 Sequenz

Tabelle 22: Vergleich der Dichtefunktionen für die Sequenz für $n = 100$.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	-2,76472E-17	0
1	-1,62551E-17	0
2	0,116939803	0,116939803
3	0,150809061	0,150809061
4	0,146943692	0,146943692
5	0,128188584	0,128188584
6	0,105572978	0,105572978
7	0,084032476	0,084032476
8	0,06544802	0,06544802
9	0,050238666	0,050238666
10	0,038180104	0,038180104
11	0,028812685	0,028812685
12	0,021634827	0,021634827
13	0,016186555	0,016186555
14	0,0120786	0,0120786
15	0,008995962	0,008995962
16	0,006690668	0,006690668
17	0,004971	0,004971
18	0,003690528	0,003690528
19	0,002738357	0,002738357
20	0,00203101	0,00203101
21	0,001505919	0,001505919
22	0,00111633	0,00111633
23	0,000827392	0,000827392
24	0,000613164	0,000613164
25	0,000454362	0,000454362
26	0,000336665	0,000336665
27	0,000249443	0,000249443
28	0,000184812	0,000184812
29	0,000136923	0,000136923
30	0,000101441	0,000101441
31	7,51523E-05	7,51523E-05
32	5,5676E-05	5,5676E-05
33	4,12468E-05	4,12468E-05
34	3,05569E-05	3,05569E-05
35	2,26374E-05	2,26374E-05
36	1,67704E-05	1,67704E-05
37	1,24239E-05	1,24239E-05
38	9,20388E-06	9,20388E-06
39	6,81843E-06	6,81843E-06
40	5,05123E-06	5,05123E-06
41	3,74205E-06	3,74205E-06
42	2,77218E-06	2,77218E-06
43	2,05369E-06	2,05369E-06
44	1,52141E-06	1,52141E-06
45	1,12709E-06	1,12709E-06
46	8,34969E-07	8,34969E-07
47	6,1856E-07	6,1856E-07
48	4,58241E-07	4,58241E-07
49	3,39473E-07	3,39473E-07
50	2,51488E-07	2,51488E-07
51	1,86307E-07	1,86307E-07
52	1,3802E-07	1,3802E-07
53	1,02247E-07	1,02247E-07
54	7,57467E-08	7,57467E-08
55	5,61146E-08	5,61146E-08
56	4,15707E-08	4,15707E-08
57	3,07963E-08	3,07963E-08
58	2,28145E-08	2,28145E-08
59	1,69014E-08	1,69014E-08
60	1,25209E-08	1,25209E-08
61	9,27568E-09	9,27568E-09
62	6,87159E-09	6,87159E-09
63	5,0906E-09	5,0906E-09
64	3,77121E-09	3,77121E-09
65	2,79378E-09	2,79378E-09
66	2,06968E-09	2,06968E-09
67	1,53326E-09	1,53326E-09
68	1,13587E-09	1,13587E-09
69	8,4147E-10	8,4147E-10
70	6,23377E-10	6,23377E-10
71	4,61809E-10	4,61809E-10
72	3,42116E-10	3,42116E-10
73	2,53446E-10	2,53446E-10
74	1,87757E-10	1,87757E-10
75	1,39094E-10	1,39094E-10
76	1,03043E-10	1,03043E-10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
77	7,63365E-11	7,63365E-11
78	5,65514E-11	5,65514E-11
79	4,18943E-11	4,18943E-11
80	3,10361E-11	3,10361E-11
81	2,29921E-11	2,29921E-11
82	1,7033E-11	1,7033E-11
83	1,26183E-11	1,26183E-11
84	9,34788E-12	9,34789E-12
85	6,92508E-12	6,92509E-12
86	5,13022E-12	5,13023E-12
87	3,80056E-12	3,80057E-12
88	2,81552E-12	2,81553E-12
89	2,08579E-12	2,0858E-12
90	1,54519E-12	1,5452E-12
91	1,14471E-12	1,14471E-12
92	8,48012E-13	8,48022E-13
93	6,28223E-13	6,2823E-13
94	4,65395E-13	4,65404E-13
95	3,44774E-13	3,4478E-13
96	2,55408E-13	2,55419E-13
97	1,89213E-13	1,89219E-13
98	1,40165E-13	1,40177E-13
99	1,0383E-13	1,03846E-13
100	7,69158E-14	7,69308E-14
101	5,69785E-14	5,69917E-14
102	3,12647E-14	3,12777E-14
103	1,71501E-14	1,71656E-14
104	9,40482E-15	9,42067E-15
105	5,16048E-15	5,17017E-15
106	2,82148E-15	2,83745E-15
107	1,55121E-15	1,55723E-15
108	8,42634E-16	8,54624E-16
109	4,59531E-16	4,69027E-16
110	2,4357E-16	2,57408E-16
111	1,31308E-16	1,41268E-16
112	6,41544E-17	7,75297E-17
113	3,49565E-17	4,25492E-17
114	1,31049E-17	2,33515E-17
115	6,46993E-18	1,28156E-17
116	-5,05305E-18	7,03334E-18
117	-2,35076E-18	3,85998E-18
118	-7,48429E-18	2,1184E-18
119	-4,663E-18	1,1626E-18
120	-5,86446E-18	6,3805E-19
121	-2,70598E-18	3,50169E-19
122	-3,128E-18	1,92177E-19
123	-4,46659E-18	1,05469E-19
124	-5,76654E-18	5,78826E-20
125	-5,07926E-18	3,17666E-20
126	-1,01578E-17	1,74339E-20
127	-1,19838E-17	9,56793E-21
128	-1,4203E-17	5,25099E-21
129	-1,13146E-17	2,8818E-21
130	-1,38778E-17	1,58157E-21
131	-1,38778E-17	8,67983E-22
132	-4,16334E-17	4,76359E-22
133	-4,16334E-17	2,61431E-22
134	-3,46945E-17	1,43477E-22
135	-3,46945E-17	7,87416E-23
136	-1,38778E-17	4,32143E-23
137	-2,42861E-17	2,37165E-23
138	-1,73472E-17	1,30159E-23
139	-1,21431E-17	7,14328E-24
140	-1,21431E-17	3,92031E-24
141	-1,21431E-17	2,15151E-24
142	-1,38778E-17	1,18078E-24
143	-1,04083E-17	6,48024E-25
144	-1,47451E-17	3,55643E-25
145	-9,97466E-18	1,95181E-25
146	-1,12757E-17	1,07118E-25
147	-9,75782E-18	5,87874E-26
148	-1,45283E-17	3,22632E-26
149	-8,89046E-18	1,77064E-26
150	-7,80626E-18	9,71749E-27
151	-5,3668E-18	5,33307E-27
152	-1,02999E-17	2,92685E-27
153	-8,34836E-18	1,60629E-27
154	-1,2631E-17	8,8155E-28
155	-8,61941E-18	4,83805E-28
156	-1,21973E-17	2,65518E-28
157	-9,02598E-18	1,45719E-28
158	-1,37355E-17	7,99723E-29
159	-9,89334E-18	4,38897E-29

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich	Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
160	-1,22718E-17	2,40871E-29	243	1,00339E-18	0
161	-9,8764E-18	1,32193E-29	244	-8,13926E-18	0
162	-1,01237E-17	7,25488E-30	245	-7,0058E-18	0
163	-1,64951E-17	3,98155E-30	246	-1,33022E-17	0
164	-1,1191E-17	2,18511E-30	247	-1,14889E-17	0
165	-1,15688E-17	1,19921E-30	248	-1,91183E-17	0
166	-1,4159E-17	6,58135E-31	249	-1,08758E-17	0
167	-1,041E-17	3,61189E-31	250	-1,37355E-17	0
168	-1,59814E-17	1,98222E-31	251	-1,29945E-17	0
169	-8,72613E-18	1,08785E-31	252	-1,78965E-17	0
170	-6,71485E-18	5,97009E-32	253	-1,51598E-17	0
171	-3,00633E-18	3,27635E-32	254	-2,40537E-17	0
172	-9,15134E-18	1,79802E-32	255	-1,41161E-17	0
173	-1,31989E-17	9,86717E-33			
174	-1,43953E-17	5,41479E-33			
175	-8,41125E-18	2,97138E-33			
176	-1,43648E-17	1,6305E-33			
177	-1,00885E-17	8,94662E-34			
178	-1,03755E-17	4,90873E-34			
179	-1,346E-18	2,69302E-34			
180	-8,06005E-18	1,47725E-34			
181	-5,53124E-18	8,10212E-35			
182	-1,29616E-17	4,44267E-35			
183	-1,21181E-17	2,43533E-35			
184	-1,57493E-17	1,33441E-35			
185	-9,2535E-18	7,3077E-36			
186	-1,21375E-17	3,99891E-36			
187	-4,75912E-18	2,18602E-36			
188	-1,00997E-17	1,19332E-36			
189	-6,2475E-18	6,50177E-37			
190	-9,10885E-18	3,53318E-37			
191	-4,69148E-18	1,91307E-37			
192	-1,21431E-17	1,03067E-37			
193	-7,351E-18	5,51385E-38			
194	-1,35115E-17	2,92044E-38			
195	-1,4707E-17	1,52452E-38			
196	-2,38839E-17	7,78708E-39			
197	-1,98961E-17	3,8442E-39			
198	-1,56764E-17	1,79161E-39			
199	-1,59689E-17	7,47574E-40			
200	-1,61346E-17	2,35681E-40			
201	-1,2042E-17	0			
202	-1,32096E-17	0			
203	-7,40393E-18	0			
204	-1,65681E-17	0			
205	-8,14994E-18	0			
206	-1,13889E-17	0			
207	-7,78259E-18	0			
208	-1,13511E-17	0			
209	-6,34824E-18	0			
210	-7,51768E-18	0			
211	-6,67161E-18	0			
212	-2,00471E-17	0			
213	-9,14113E-18	0			
214	-1,41485E-17	0			
215	-7,16852E-18	0			
216	-1,57094E-17	0			
217	-4,66687E-18	0			
218	-1,1841E-17	0			
219	-8,45803E-18	0			
220	-1,25822E-17	0			
221	-1,27593E-17	0			
222	-1,42901E-17	0			
223	-1,09043E-17	0			
224	-1,49373E-17	0			
225	-9,36323E-18	0			
226	-1,90982E-17	0			
227	-1,72865E-17	0			
228	-1,33591E-17	0			
229	-2,24507E-17	0			
230	-2,39655E-17	0			
231	-1,51955E-17	0			
232	-2,25466E-17	0			
233	-1,04953E-17	0			
234	-1,25828E-17	0			
235	-7,40149E-18	0			
236	-9,94861E-18	0			
237	-8,5065E-18	0			
238	-1,23701E-17	0			
239	-3,41363E-18	0			
240	-9,42534E-18	0			
241	-6,00315E-18	0			
242	-6,24438E-18	0			

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

A.1.3 Alternative

Tabelle 23: Vergleich der absoluten Häufigkeiten für die Alternative für $n = 10$.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	0	0
1	0	0
2	246745	246745
3	318210	318210
4	310054	310054
5	270480	270480
6	222761	222761
7	1472391	1472391
8	1624056	1624056
9	1420906	1420906
10	1141700	1141700
11	882293	882293
12	655721	655721
13	484877	484877
14	357884	357884
15	264063	264063
16	194901	194901
17	79296	79296
18	32193	32193
19	13007	13007
20	5201	5201
21	2036	2036
22	792	792
23	295	295
24	100	100
25	26	26
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0

Tabelle 24: Vergleich der Dichtefunktionen für die Alternative für $n = 10$ und $p = 0.6$.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	-5,20417E-18	0
1	6,07153E-18	0
2	0,074023654	0,074023654
3	0,095463114	0,095463114
4	0,09301631	0,09301631
5	0,081144205	0,081144205
6	0,06682838	0,06682838
7	0,117947142	0,117947142
8	0,115727022	0,115727022
9	0,097546484	0,097546484
10	0,077225237	0,077225237
11	0,059313518	0,059313518
12	0,040974467	0,040974467
13	0,028624497	0,028624497
14	0,020214429	0,020214429
15	0,014414366	0,014414366
16	0,010363747	0,010363747
17	0,004270252	0,004270252
18	0,001752036	0,001752036
19	0,000709766	0,000709766
20	0,000278812	0,000278812
21	0,000101815	0,000101815
22	3,96116E-05	3,96116E-05
23	1,47839E-05	1,47839E-05
24	5,03211E-06	5,03211E-06
25	1,32095E-06	1,32095E-06
26	1,38778E-17	0
27	2,08167E-17	0
28	1,73472E-17	0
29	8,67362E-18	0
30	3,46945E-18	0
31	7,80626E-18	0

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 25: Vergleich der berechneten Dichtefunktionen für die Alternative für $n = 100$ und $p = 0.2$.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeithereich	Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeithereich
0	0	-1,99493E-17	79	1,21866E-10	1,21866E-10
1	0	-1,39477E-17	80	9,02803E-11	9,02803E-11
2	0,023387961	0,023387961	81	6,68813E-11	6,68813E-11
3	0,030161812	0,030161812	82	4,95469E-11	4,95469E-11
4	0,029388738	0,029388738	83	3,67052E-11	3,67052E-11
5	0,025637717	0,025637717	84	2,71919E-11	2,71919E-11
6	0,021114596	0,021114596	85	2,01443E-11	2,01443E-11
7	0,13985156	0,13985156	86	1,49232E-11	1,49232E-11
8	0,154270021	0,154270021	87	1,10554E-11	1,10554E-11
9	0,134975971	0,134975971	88	8,19005E-12	8,19004E-12
10	0,108454442	0,108454442	89	6,06734E-12	6,06733E-12
11	0,08381271	0,08381271	90	4,49479E-12	4,49479E-12
12	0,063514863	0,063514863	91	3,32982E-12	3,32982E-12
13	0,047640527	0,047640527	92	2,46679E-12	2,46678E-12
14	0,03553638	0,03553638	93	1,82745E-12	1,82744E-12
15	0,026427444	0,026427444	94	1,35381E-12	1,3538E-12
16	0,01962054	0,01962054	95	1,00292E-12	1,00292E-12
17	0,014553325	0,014553325	96	7,42984E-13	7,42976E-13
18	0,010789126	0,010789126	97	5,50416E-13	5,50406E-13
19	0,007996161	0,007996161	98	4,07758E-13	4,0775E-13
20	0,005925199	0,005925199	99	3,02075E-13	3,02069E-13
21	0,004390172	0,004390172	100	2,23783E-13	2,23775E-13
22	0,003252632	0,003252632	101	1,65782E-13	1,65774E-13
23	0,002409756	0,002409756	102	1,20626E-13	1,20621E-13
24	0,001785263	0,001785263	103	8,81608E-14	8,81503E-14
25	0,00132259	0,00132259	104	6,46519E-14	6,46421E-14
26	0,000979817	0,000979817	105	4,75336E-14	4,7519E-14
27	0,000725875	0,000725875	106	3,50152E-14	3,50085E-14
28	0,000537746	0,000537746	107	1,43168E-14	1,42966E-14
29	0,000398375	0,000398375	108	5,86509E-15	5,8505E-15
30	0,000295124	0,000295124	109	2,40888E-15	2,39144E-15
31	0,000218634	0,000218634	110	9,92721E-16	9,83254E-16
32	0,000161969	0,000161969	111	4,10933E-16	3,97301E-16
33	0,00011999	0,00011999	112	1,71092E-16	1,58732E-16
34	8,88905E-05	8,88905E-05	113	7,17663E-17	5,76882E-17
35	6,58518E-05	6,58518E-05	114	3,03885E-17	2,07874E-17
36	4,87842E-05	4,87842E-05	115	1,30193E-17	1,55035E-18
37	3,61403E-05	3,61403E-05	116	5,65785E-18	-7,85892E-18
38	2,67734E-05	2,67734E-05	117	2,5004E-18	-1,0693E-17
39	1,98342E-05	1,98342E-05	118	1,1264E-18	-7,13686E-18
40	1,46935E-05	1,46935E-05	119	5,18224E-19	-3,98112E-18
41	1,08853E-05	1,08853E-05	120	2,43768E-19	-8,11731E-18
42	8,06399E-06	8,06399E-06	121	1,1726E-19	-7,67238E-18
43	5,97395E-06	5,97395E-06	122	5,76362E-20	-8,67128E-18
44	4,42561E-06	4,42561E-06	123	2,89003E-20	-3,14654E-18
45	3,27858E-06	3,27858E-06	124	1,47504E-20	-5,39976E-18
46	2,42883E-06	2,42883E-06	125	7,64373E-21	-5,92807E-18
47	1,79932E-06	1,79932E-06	126	4,01142E-21	-9,09323E-18
48	1,33297E-06	1,33297E-06	127	2,12689E-21	-1,58178E-17
49	9,87488E-07	9,87488E-07	128	1,13692E-21	-1,43115E-17
50	7,31549E-07	7,31549E-07	129	6,11619E-22	-1,85949E-17
51	5,41945E-07	5,41945E-07	130	3,30649E-22	-1,73472E-17
52	4,01483E-07	4,01483E-07	131	1,79425E-22	-1,73472E-17
53	2,97426E-07	2,97426E-07	132	9,76414E-23	-1,73472E-17
54	2,20338E-07	2,20338E-07	133	5,32497E-23	-1,56125E-17
55	1,63231E-07	1,63231E-07	134	2,9087E-23	-1,73472E-17
56	1,20924E-07	1,20924E-07	135	1,59076E-23	-2,77556E-17
57	8,95829E-08	8,95829E-08	136	8,70761E-24	-4,16334E-17
58	6,63646E-08	6,63646E-08	137	4,76963E-24	-4,16334E-17
59	4,91641E-08	4,91641E-08	138	2,61388E-24	-2,77556E-17
60	3,64217E-08	3,64217E-08	139	1,43301E-24	-2,08167E-17
61	2,69818E-08	2,69818E-08	140	7,85832E-25	-2,08167E-17
62	1,99886E-08	1,99886E-08	141	4,31022E-25	-1,38778E-17
63	1,4808E-08	1,4808E-08	142	2,36448E-25	-1,04083E-17
64	1,097E-08	1,097E-08	143	1,29724E-25	-2,60209E-17
65	8,12678E-09	8,12678E-09	144	7,11769E-26	-1,73472E-17
66	6,02046E-09	6,02046E-09	145	3,90558E-26	-2,1684E-17
67	4,46007E-09	4,46007E-09	146	2,14315E-26	-1,47451E-17
68	3,3041E-09	3,3041E-09	147	1,17607E-26	-1,04083E-17
69	2,44774E-09	2,44774E-09	148	6,45396E-27	-1,34441E-17
70	1,81333E-09	1,81333E-09	149	3,54182E-27	-9,54098E-18
71	1,34335E-09	1,34335E-09	150	1,94372E-27	-6,50521E-18
72	9,95176E-10	9,95176E-10	151	1,0667E-27	-1,73472E-18
73	7,37245E-10	7,37245E-10	152	5,85406E-28	-2,27682E-18
74	5,46164E-10	5,46164E-10	153	3,21272E-28	-9,97466E-18
75	4,04608E-10	4,04608E-10	154	1,76316E-28	-7,80626E-18
76	2,99741E-10	2,99741E-10	155	9,67634E-29	-2,81893E-18
77	2,22054E-10	2,22054E-10	156	5,31045E-29	-6,28837E-18
78	1,64501E-10	1,64501E-10	157	2,91442E-29	-3,38813E-18
			158	1,59946E-29	-4,49944E-18
			159	8,778E-30	-8,68717E-18
			160	4,81745E-30	-1,14925E-17
			161	2,64387E-30	-9,70361E-18

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich	Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
162	1,45098E-30	-9,20894E-18	245	0	-5,75084E-18
163	7,96312E-31	-1,48197E-17	246	0	-5,67285E-18
164	4,37023E-31	-1,22481E-17	247	0	-2,73126E-18
165	2,39842E-31	-1,2902E-17	248	0	-1,20552E-17
166	1,31627E-31	-8,83117E-18	249	0	-5,45514E-18
167	7,22378E-32	-1,56786E-17	250	0	-6,4566E-18
168	3,96444E-32	-1,07421E-17	251	0	-8,704E-18
169	2,17569E-32	-1,67653E-17	252	0	-1,64189E-17
170	1,19402E-32	-1,41217E-17	253	0	-1,82076E-17
171	6,5527E-33	-1,80443E-17	254	0	-1,05558E-17
172	3,59604E-33	-1,44999E-17	255	0	-2,07001E-17
173	1,97343E-33	-1,29287E-17			
174	1,08296E-33	-5,35642E-18			
175	5,94277E-34	-1,24734E-17			
176	3,26099E-34	-9,62791E-18			
177	1,78932E-34	-1,52056E-17			
178	9,81745E-35	-1,25457E-17			
179	5,38603E-35	-1,23198E-17			
180	2,95451E-35	-1,12739E-17			
181	1,62042E-35	-1,58398E-17			
182	8,88535E-36	-7,65138E-18			
183	4,87065E-36	-1,14159E-17			
184	2,66883E-36	-1,09516E-17			
185	1,46154E-36	-8,86752E-18			
186	7,99782E-37	-5,93079E-18			
187	4,37205E-37	-5,76707E-18			
188	2,38665E-37	-4,37926E-18			
189	1,30035E-37	-8,86425E-18			
190	7,06635E-38	-3,97103E-18			
191	3,82614E-38	-4,05904E-18			
192	2,06134E-38	-4,01156E-18			
193	1,10277E-38	-4,09191E-18			
194	5,84088E-39	-6,86623E-18			
195	3,04905E-39	-5,53887E-18			
196	1,55742E-39	-6,35539E-18			
197	7,6884E-40	-7,62174E-18			
198	3,58321E-40	-6,59176E-18			
199	1,49515E-40	-8,12928E-18			
200	4,71361E-41	-2,4623E-17			
201	2,41437E-51	-1,34022E-17			
202	9,39324E-52	-2,04802E-17			
203	3,50577E-52	-9,01252E-18			
204	1,19328E-52	-1,18555E-17			
205	3,13242E-53	-1,14347E-17			
206	0	-8,74728E-18			
207	0	-9,92195E-18			
208	0	-1,04178E-17			
209	0	-1,49905E-17			
210	0	-1,37126E-17			
211	0	-1,181E-17			
212	0	-1,11459E-17			
213	0	-1,00148E-17			
214	0	-7,60169E-18			
215	0	-6,31473E-18			
216	0	-1,14436E-17			
217	0	-9,05382E-18			
218	0	-7,50741E-18			
219	0	-4,14224E-18			
220	0	-6,19148E-18			
221	0	-7,40055E-18			
222	0	-4,0313E-18			
223	0	-1,32679E-17			
224	0	-1,43884E-17			
225	0	-9,7643E-18			
226	0	-9,72956E-18			
227	0	-9,68793E-18			
228	0	-1,37726E-17			
229	0	-1,40559E-17			
230	0	-1,23515E-17			
231	0	-1,94218E-17			
232	0	-3,32519E-17			
233	0	-3,09761E-17			
234	0	-1,45648E-17			
235	0	-1,54986E-17			
236	0	-1,44495E-17			
237	0	-1,39676E-17			
238	0	-8,13043E-18			
239	0	-1,16942E-17			
240	0	-1,36262E-17			
241	0	-9,71268E-18			
242	0	-9,10042E-18			
243	0	-7,9193E-18			
244	0	-9,68165E-18			

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 26: Vergleich der Dichtefunktion für die Alternative für $n = 100$ und $p(X_1) = 0.6$.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	-2,53703E-17	0
1	-1,83373E-17	0
2	0,070163882	0,070163882
3	0,090485437	0,090485437
4	0,088166215	0,088166215
5	0,07691315	0,07691315
6	0,063343787	0,063343787
7	0,111942018	0,111942018
8	0,10985902	0,10985902
9	0,092607318	0,092607318
10	0,073317273	0,073317273
11	0,056312697	0,056312697
12	0,042574845	0,042574845
13	0,031913541	0,031913541
14	0,02380749	0,02380749
15	0,017711703	0,017711703
16	0,013155604	0,013155604
17	0,009762163	0,009762163
18	0,007239827	0,007239827
19	0,005367259	0,005367259
20	0,003978105	0,003978105
21	0,002948045	0,002948045
22	0,002184481	0,002184481
23	0,001618574	0,001618574
24	0,001199213	0,001199213
25	0,000888476	0,000888476
26	0,000658241	0,000658241
27	0,000487659	0,000487659
28	0,000361279	0,000361279
29	0,000267649	0,000267649
30	0,000198283	0,000198283
31	0,000146893	0,000146893
32	0,000108822	0,000108822
33	8,06181E-05	8,06181E-05
34	5,97237E-05	5,97237E-05
35	4,42446E-05	4,42446E-05
36	3,27773E-05	3,27773E-05
37	2,42821E-05	2,42821E-05
38	1,79886E-05	1,79886E-05
39	1,33263E-05	1,33263E-05
40	9,87239E-06	9,87239E-06
41	7,31365E-06	7,31365E-06
42	5,41809E-06	5,41809E-06
43	4,01382E-06	4,01382E-06
44	2,97351E-06	2,97351E-06
45	2,20283E-06	2,20283E-06
46	1,6319E-06	1,6319E-06
47	1,20894E-06	1,20894E-06
48	8,95605E-07	8,95605E-07
49	6,63481E-07	6,63481E-07
50	4,91519E-07	4,91519E-07
51	3,64126E-07	3,64126E-07
52	2,69751E-07	2,69751E-07
53	1,99837E-07	1,99837E-07
54	1,48043E-07	1,48043E-07
55	1,09673E-07	1,09673E-07
56	8,12475E-08	8,12475E-08
57	6,01896E-08	6,01896E-08
58	4,45896E-08	4,45896E-08
59	3,30328E-08	3,30328E-08
60	2,44713E-08	2,44713E-08
61	1,81288E-08	1,81288E-08
62	1,34301E-08	1,34301E-08
63	9,94928E-09	9,94928E-09
64	7,3706E-09	7,3706E-09
65	5,46028E-09	5,46028E-09
66	4,04507E-09	4,04507E-09
67	2,99666E-09	2,99666E-09
68	2,21998E-09	2,21998E-09
69	1,6446E-09	1,6446E-09
70	1,21835E-09	1,21835E-09
71	9,02578E-10	9,02578E-10
72	6,68646E-10	6,68646E-10
73	4,95345E-10	4,95345E-10
74	3,66961E-10	3,66961E-10
75	2,71851E-10	2,71851E-10
76	2,01392E-10	2,01392E-10
77	1,49195E-10	1,49195E-10
78	1,10526E-10	1,10526E-10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
79	8,188E-11	8,188E-11
80	6,06582E-11	6,06582E-11
81	4,49367E-11	4,49367E-11
82	3,32899E-11	3,32899E-11
83	2,46618E-11	2,46618E-11
84	1,82699E-11	1,82699E-11
85	1,35347E-11	1,35347E-11
86	1,00267E-11	1,00267E-11
87	7,42798E-12	7,42799E-12
88	5,50278E-12	5,50279E-12
89	4,07656E-12	4,07657E-12
90	3,01999E-12	3,01999E-12
91	2,23726E-12	2,23727E-12
92	1,6574E-12	1,65741E-12
93	1,22783E-12	1,22784E-12
94	9,09595E-13	9,09605E-13
95	6,73842E-13	6,73852E-13
96	4,99189E-13	4,99202E-13
97	3,69808E-13	3,69818E-13
98	2,73959E-13	2,73968E-13
99	2,02949E-13	2,0296E-13
100	1,50347E-13	1,50357E-13
101	1,11375E-13	1,11387E-13
102	7,59414E-14	7,59518E-14
103	5,2648E-14	5,26632E-14
104	3,70232E-14	3,70363E-14
105	2,63374E-14	2,63519E-14
106	1,89109E-14	1,89263E-14
107	7,92301E-15	7,93703E-15
108	3,34805E-15	3,35986E-15
109	1,42611E-15	1,43895E-15
110	6,13591E-16	6,25064E-16
111	2,66576E-16	2,76101E-16
112	1,14571E-16	1,24311E-16
113	5,00311E-17	5,71578E-17
114	1,81631E-17	2,687E-17
115	8,4648E-18	1,29175E-17
116	-3,75396E-18	6,34559E-18
117	-5,44088E-18	3,18019E-18
118	-3,75504E-18	1,6224E-18
119	-4,24423E-18	8,40413E-19
120	-6,11523E-19	4,40909E-19
121	-3,83239E-18	2,33715E-19
122	-7,20385E-18	1,24907E-19
123	-4,03112E-18	6,71846E-20
124	-4,51428E-18	3,63165E-20
125	-3,08361E-18	1,97052E-20
126	-8,12076E-18	1,07227E-20
127	-1,16484E-17	5,84741E-21
128	-1,36609E-17	3,19395E-21
129	-1,19796E-17	1,74671E-21
130	-1,38778E-17	9,56108E-22
131	-2,08167E-17	5,23704E-22
132	-2,08167E-17	2,87E-22
133	-2,08167E-17	1,57341E-22
134	-2,08167E-17	8,62818E-23
135	-4,16334E-17	4,73246E-23
136	-3,46945E-17	2,5961E-23
137	-2,77556E-17	1,42431E-23
138	-2,08167E-17	7,81489E-24
139	-2,08167E-17	4,28814E-24
140	-1,73472E-17	2,35307E-24
141	-1,38778E-17	1,29127E-24
142	-1,21431E-17	7,08612E-25
143	-1,73472E-17	3,88874E-25
144	-1,38778E-17	2,1341E-25
145	-1,47451E-17	1,17118E-25
146	-1,12757E-17	6,42745E-26
147	-8,67362E-18	3,5274E-26
148	-6,93889E-18	1,93586E-26
149	-6,72205E-18	1,06241E-26
150	-4,77049E-18	5,8306E-27
151	-3,25261E-18	3,19989E-27
152	-4,22839E-18	1,75613E-27
153	-5,25838E-18	9,63781E-28
154	-7,69784E-18	5,28933E-28
155	-4,58075E-18	2,90284E-28
156	-7,18284E-18	1,59311E-28
157	-7,12863E-18	8,74316E-29
158	-7,67073E-18	4,79834E-29
159	-7,27771E-18	2,63338E-29
160	-9,73071E-18	1,44523E-29
161	-1,08624E-17	7,93157E-30

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
162	-1,23802E-17	4,35293E-30
163	-1,57616E-17	2,38893E-30
164	-1,50467E-17	1,31107E-30
165	-1,26801E-17	7,19525E-31
166	-1,07353E-17	3,94881E-31
167	-1,44487E-17	2,16713E-31
168	-1,63638E-17	1,18933E-31
169	-1,06027E-17	6,52708E-32
170	-1,1839E-17	3,58205E-32
171	-7,85665E-18	1,96581E-32
172	-1,13096E-17	1,07881E-32
173	-1,09394E-17	5,9203E-33
174	-1,23491E-17	3,24887E-33
175	-1,0519E-17	1,78283E-33
176	-1,44401E-17	9,78298E-34
177	-1,01838E-17	5,36797E-34
178	-1,47639E-17	2,94524E-34
179	-8,95102E-18	1,61581E-34
180	-1,22366E-17	8,86352E-35
181	-7,54209E-18	4,86127E-35
182	-1,28079E-17	2,6656E-35
183	-7,77687E-18	1,4612E-35
184	-1,25841E-17	8,00649E-36
185	-7,16415E-18	4,38462E-36
186	-9,3399E-18	2,39935E-36
187	-5,23629E-18	1,31161E-36
188	-8,21776E-18	7,15995E-37
189	-6,92879E-18	3,90106E-37
190	-8,61122E-18	2,11991E-37
191	-5,7799E-18	1,14784E-37
192	-8,45678E-18	6,18401E-38
193	-4,25335E-18	3,30831E-38
194	-1,7559E-17	1,75226E-38
195	-1,31874E-17	9,14714E-39
196	-1,28203E-17	4,67225E-39
197	-1,23188E-17	2,30652E-39
198	-9,54195E-18	1,07496E-39
199	-8,23529E-18	4,48544E-40
200	-1,66912E-17	1,41408E-40
201	-1,35899E-17	1,20718E-41
202	-1,02474E-17	4,69662E-52
203	-1,16747E-17	1,75288E-52
204	-1,09547E-17	5,96641E-53
205	-1,2938E-17	1,56621E-53
206	-9,69941E-18	0
207	-1,13512E-17	0
208	-1,17665E-17	0
209	-9,87807E-18	0
210	-1,046E-17	0
211	-9,89077E-18	0
212	-1,2513E-17	0
213	-8,51761E-18	0
214	-7,68556E-18	0
215	-9,13522E-18	0
216	-1,18699E-17	0
217	-1,05639E-17	0
218	-1,112E-17	0
219	-7,91533E-18	0
220	-7,85875E-18	0
221	-9,7585E-18	0
222	-1,04397E-17	0
223	-1,51298E-17	0
224	-1,41054E-17	0
225	-9,9169E-18	0
226	-1,60217E-17	0
227	-1,11303E-17	0
228	-1,64743E-17	0
229	-1,41204E-17	0
230	-2,05757E-17	0
231	-2,26268E-17	0
232	-2,79066E-17	0
233	-1,65012E-17	0
234	-1,3688E-17	0
235	-9,0186E-18	0
236	-1,31864E-17	0
237	-1,11567E-17	0
238	-1,04738E-17	0
239	-1,19715E-17	0
240	-1,07888E-17	0
241	-8,79284E-18	0
242	-7,93747E-18	0
243	-5,02748E-18	0
244	-6,91731E-18	0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
245	-4,79723E-18	0
246	-9,04537E-18	0
247	-6,11604E-18	0
248	-1,1422E-17	0
249	-1,04509E-17	0
250	-7,51055E-18	0
251	-8,88348E-18	0
252	-1,52585E-17	0
253	-1,53316E-17	0
254	-1,58839E-17	0
255	-1,73684E-17	0

A.1.4 Schleife

Tabelle 27: Vergleich der berechneten Dichtefunktionen für die Schleife für $n = 10p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.05$.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	2,44656E-09	0
1	2,10996E-09	0
2	1,81966E-09	0
3	1,56931E-09	0
4	1,3534E-09	0
5	1,1672E-09	0
6	1,00661E-09	0
7	0,097131061	0,09713106
8	0,111447002	0,111447001
9	0,103410956	0,103410956
10	0,091266908	0,091266908
11	0,079831492	0,079831491
12	0,069973151	0,069973151
13	0,061568532	0,061568532
14	0,054342368	0,054342367
15	0,048062624	0,048062047
16	0,042560469	0,042556836
17	0,032866243	0,032853576
18	0,027869677	0,027837383
19	0,024230208	0,024162966
20	0,021118629	0,020997388
21	0,018359189	0,018163033
22	0,015915943	0,015624358
23	0,01376913	0,013364227
24	0,011894206	0,011362522
25	0,010262968	0,00959679
26	0,008846925	0,008045127
27	0,007619955	0,006688271
28	0,006556842	0,005507531
29	0,005649716	0,004500628
30	0,004872599	0,003645786
31	0,004203788	0,002923853
32	0,003626823	0,002319226
33	0,003128712	0,00181822
34	0,00269868	0,001408096
35	0,002327518	0,001076748
36	0,002007266	0,000812711
37	0,001731014	0,000605295
38	0,001492772	0,000444732
39	0,001287315	0,00032226
40	0,001110169	0,000230265
41	0,000957427	0,000162207
42	0,000825713	0,000112621
43	0,00071212	7,70477E-05
44	0,000614152	5,19247E-05
45	0,000529659	3,44631E-05
46	0,000456788	2,25213E-05
47	0,000393942	1,44871E-05
48	0,000339741	9,17083E-06
49	0,000292998	5,71167E-06
50	0,000252686	3,49892E-06
51	0,000217921	2,1078E-06
52	0,000187939	1,24845E-06
53	0,000162082	7,2691E-07
54	0,000139782	4,15966E-07
55	0,000120551	2,33881E-07
56	0,000103965	1,2917E-07
57	8,96614E-05	7,00532E-08
58	7,73256E-05	3,72958E-08
59	6,66869E-05	1,94863E-08
60	5,7512E-05	9,98859E-09
61	4,95993E-05	5,02131E-09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
62	4,27753E-05	2,47429E-09
63	3,68902E-05	1,19438E-09
64	3,18148E-05	5,64419E-10
65	2,74376E-05	2,60925E-10
66	2,36627E-05	1,17917E-10
67	2,04071E-05	5,20548E-11
68	1,75994E-05	2,24293E-11
69	1,51781E-05	9,42265E-12
70	1,30898E-05	3,85377E-12
71	1,12889E-05	1,53173E-12
72	9,73575E-06	5,90503E-13
73	8,39628E-06	2,20381E-13
74	7,2411E-06	7,94847E-14
75	6,24486E-06	2,76617E-14
76	5,38567E-06	9,27299E-15
77	4,6447E-06	2,98531E-15
78	4,00567E-06	9,1712E-16
79	3,45456E-06	2,65811E-16
80	2,97927E-06	7,15552E-17
81	2,56938E-06	1,74952E-17
82	2,21588E-06	3,75529E-18
83	1,91101E-06	6,68857E-19
84	1,64809E-06	8,87441E-20
85	1,42134E-06	6,65978E-21
86	1,22579E-06	0
87	1,05714E-06	0
88	9,11699E-07	0
89	7,86265E-07	0
90	6,78089E-07	0
91	5,84796E-07	0
92	5,04338E-07	0
93	4,3495E-07	0
94	3,75109E-07	0
95	3,235E-07	0
96	2,78992E-07	0
97	2,40608E-07	0
98	2,07504E-07	0
99	1,78956E-07	0
100	1,54334E-07	0
101	1,33101E-07	0
102	1,14788E-07	0
103	9,89955E-08	0
104	8,53755E-08	0
105	7,36293E-08	0
106	6,34992E-08	0
107	5,47628E-08	0
108	4,72284E-08	0
109	4,07306E-08	0
110	3,51268E-08	0
111	3,0294E-08	0
112	2,61261E-08	0
113	2,25316E-08	0
114	1,94316E-08	0
115	1,67582E-08	0
116	1,44526E-08	0
117	1,24641E-08	0
118	1,07493E-08	0
119	9,27038E-09	0
120	7,99494E-09	0
121	6,89497E-09	0
122	5,94635E-09	0
123	5,12823E-09	0
124	4,42268E-09	0
125	3,8142E-09	0
126	3,28943E-09	0
127	2,83686E-09	0
Summe:	1	0.9744

Tabelle 28: Vergleich der berechneten Dichtefunktionen für die Schleife für $n = 10p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.01$.

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
0	2,44656E-09	0
1	2,10996E-09	0
2	1,81966E-09	0
3	1,56931E-09	0
4	1,3534E-09	0
5	1,1672E-09	0
6	1,00661E-09	0
7	0,097131061	0,09713106
8	0,111447002	0,111447001
9	0,103410956	0,103410956
10	0,091266908	0,091266908
11	0,079831492	0,079831491
12	0,069973151	0,069973151
13	0,061568532	0,061568532
14	0,054342368	0,054342367
15	0,048062624	0,048062624
16	0,042560469	0,042560469
17	0,032866243	0,032866243
18	0,027869677	0,027869677
19	0,024230208	0,024230206
20	0,021118629	0,021118616
21	0,018359189	0,018359129
22	0,015915943	0,01591574
23	0,01376913	0,013768578
24	0,011894206	0,011892928
25	0,010262968	0,010260359
26	0,008846925	0,008842105
27	0,007619955	0,007611747
28	0,006556842	0,00654379
29	0,005649716	0,00563013
30	0,004872599	0,004844639
31	0,004203788	0,004165578
32	0,003626823	0,003576578
33	0,003128712	0,003064871
34	0,00269868	0,002620034
35	0,002327518	0,00223332
36	0,002007266	0,0018973
37	0,001731014	0,001605639
38	0,001492772	0,001352915
39	0,001287315	0,001134431
40	0,001110169	0,000946165
41	0,000957427	0,000784561
42	0,000825713	0,000646478
43	0,00071212	0,000529124
44	0,000614152	0,000429996
45	0,000529659	0,000346831
46	0,000456788	0,000277573
47	0,000393942	0,000220352
48	0,000339741	0,000173469
49	0,000292998	0,000135392
50	0,000252686	0,000104747
51	0,000217921	8,03124E-05
52	0,000187939	6,10167E-05
53	0,000162082	4,59276E-05
54	0,000139782	3,42452E-05
55	0,000120551	2,52914E-05
56	0,000103965	1,8499E-05
57	8,96614E-05	1,33993E-05
58	7,73256E-05	9,61021E-06
59	6,66869E-05	6,8244E-06
60	5,7512E-05	4,7978E-06
61	4,95993E-05	3,33913E-06
62	4,27753E-05	2,30041E-06
63	3,68902E-05	1,56866E-06
64	3,18148E-05	1,05869E-06
65	2,74376E-05	7,07136E-07
66	2,36627E-05	4,67408E-07
67	2,04071E-05	3,05717E-07
68	1,75994E-05	1,97853E-07
69	1,51781E-05	1,26688E-07
70	1,30898E-05	8,02539E-08
71	1,12889E-05	5,02926E-08
72	9,73575E-06	3,11757E-08
73	8,39628E-06	1,91148E-08
74	7,2411E-06	1,15912E-08
75	6,24486E-06	6,95119E-09
76	5,38567E-06	4,12214E-09
77	4,6447E-06	2,41702E-09
78	4,00567E-06	1,40117E-09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (ms)	Frequenzbereich	Zeitbereich
79	3,45456E-06	8,0299E-10
80	2,97927E-06	4,54877E-10
81	2,56938E-06	2,54678E-10
82	2,21588E-06	1,40914E-10
83	1,91101E-06	7,70407E-11
84	1,64809E-06	4,16136E-11
85	1,42134E-06	2,2204E-11
86	1,22579E-06	1,17015E-11
87	1,05714E-06	6,08959E-12
88	9,11699E-07	3,1289E-12
89	7,86265E-07	1,58696E-12
90	6,78089E-07	7,94352E-13
91	5,84796E-07	3,92313E-13
92	5,04338E-07	1,91122E-13
93	4,3495E-07	9,18175E-14
94	3,75109E-07	4,34856E-14
95	3,235E-07	2,02967E-14
96	2,78992E-07	9,33273E-15
97	2,40608E-07	4,22595E-15
98	2,07504E-07	1,88358E-15
99	1,78956E-07	8,26001E-16
100	1,54334E-07	3,56195E-16
101	1,33101E-07	1,50958E-16
102	1,14788E-07	6,28368E-17
103	9,89955E-08	2,56719E-17
104	8,53755E-08	1,02862E-17
105	7,36293E-08	4,03865E-18
106	6,34992E-08	1,55233E-18
107	5,47628E-08	5,83485E-19
108	4,72284E-08	2,1421E-19
109	4,07306E-08	7,67033E-20
110	3,51268E-08	2,67467E-20
111	3,0294E-08	9,06639E-21
112	2,61261E-08	2,98127E-21
113	2,25316E-08	9,48597E-22
114	1,94316E-08	2,91141E-22
115	1,67582E-08	8,58374E-23
116	1,44526E-08	2,4178E-23
117	1,24641E-08	6,4586E-24
118	1,07493E-08	1,6202E-24
119	9,27038E-09	3,76744E-25
120	7,99494E-09	7,97861E-26
121	6,89497E-09	1,50125E-26
122	5,94635E-09	2,41862E-27
123	5,12823E-09	3,14158E-28
124	4,42268E-09	2,93926E-29
125	3,8142E-09	1,49433E-30
126	3,28943E-09	0
127	2,83686E-09	0
Summe:	1	0,995904

A.2 Funktionen für Abschnitt 5.2.2

A.2.1 Sequenz

Tabelle 29: Vergleich der Berechnung mit der Messung für die Sequenz bei 10.000 Messwerten.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Messung	Berechnung (Zeitbereich)
1	0,2582	0,4408		
2	0,2045	0,2544	0,1154	0,11381456
3	0,1519	0,1355	0,1497	0,15582968
4	0,1138	0,078	0,1575	0,15396842
5	0,0848	0,0414	0,1389	0,13665575
6	0,0624	0,0235	0,1188	0,11355349
7	0,0462	0,012	0,0862	0,09088114
8	0,0351	0,0082	0,0699	0,07079913
9	0,0269	0,0036	0,0537	0,05514717
10	0,0157	0,0026	0,0417	0,0425285
11	0,0004	0	0,0325	0,03071843
12	0,0001	0	0,0161	0,01696153
13			0,0094	0,00915901
14			0,0049	0,00490999
15			0,0025	0,00257204
16			0,0013	0,00133249
17			0,0011	0,000669
18			0,0004	0,00032399
19				0,00013094
20				4,31E-05
22				1,40E-06
23				2,60E-07

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 30: Vergleich der Berechnung mit der Messung für die Sequenz bei 1.000 Messwerten.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Messung	Berechnung (Zeitbereich)
1	0,243	0,44		
2	0,2	0,243	0,106	0,10692
3	0,159	0,133	0,135	0,147049
4	0,123	0,085	0,173	0,150879
5	0,079	0,05	0,138	0,140012
6	0,071	0,028	0,111	0,114946
7	0,038	0,009	0,096	0,097115
8	0,038	0,007	0,069	0,070672
9	0,025	0,003	0,055	0,056215
10	0,023	0,002	0,052	0,042277
11	0,001		0,029	0,033547
12			0,016	0,018921
13			0,008	0,01027
14			0,004	0,005724
15			0,002	0,002914
16			0,003	0,001441
17			0,001	0,0006
18			0,001	0,000321
19			0,001	0,000126
20				4,90E-05
21				2,00E-06

A.2.2 Alternative

Tabelle 31: Vergleich der Berechnung mit der Messung für die Alternative bei 1000 Messwerten für $p = 0.4$.

Ausführungszeit (10 ms)	X_1 (gemessen)	Y_1 (gemessen)	Y_2 (gemessen)	Messung	Berechnung (Zeitbereich)
1	0,252	0,43627451	0,252		
2	0,212	0,25	0,212	0,051	0,043976471
3	0,144	0,139705882	0,144	0,066	0,062196078
4	0,11	0,075980392	0,11	0,061	0,060411765
5	0,089	0,044117647	0,089	0,052	0,053101961
6	0,061	0,034313725	0,061	0,044	0,045468627
7	0,057	0,004901961	0,057	0,134	0,132534844
8	0,041	0,009803922	0,041	0,136	0,144422337
9	0,016	0,004901961	0,016	0,132	0,120841547
10	0,017		0,017	0,086	0,093089202
11	0,001		0,001	0,074	0,074284652
12				0,043	0,052962295
13				0,044	0,042165998
14				0,022	0,031909691
15				0,023	0,018266097
16				0,017	0,013956591
17				0,007	0,005799993
18				0,003	0,002468581
19				0,004	0,001000093
20				0,001	0,000535069
21					0,000268581
22					0,000151014
23					0,000117568
24					3,45E-05
25					3,45E-05
26					2,03E-06

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 32: Dichtefunktionen für die Alternative bei 10000 Messungen und $p = 0.4$

Ausführungszeit (10 ms)	X_1 (gemessen)	Y_1 (gemessen)	Y_2 (gemessen)	Messung	Berechnung (Zeitbereich)
1	0,2627	0,432064532			
2	0,2047	0,258633728		0,0454	0,045401341
3	0,1493	0,131837661		0,0611	0,062554676
4	0,1101	0,077640534		0,0622	0,060833325
5	0,0825	0,047138896		0,0511	0,053427063
6	0,0631	0,024955886	0,550638157	0,044	0,044832266
7	0,046	0,012099824	0,266699818	0,1274	0,123156729
8	0,0376	0,008066549	0,109066799	0,1477	0,138044411
9	0,0236	0,003781195	0,043262059	0,1177	0,121824907
10	0,0185	0,003781195	0,018564562	0,0953	0,097269736
11	0,0012		0,007458976	0,0702	0,075669652
12	0,0003		0,00198906	0,0542	0,055905699
13	0,0001		0,00099453	0,0405	0,040460814
14	0		0,000497265	0,0295	0,030573665
15	0		0,00066302	0,0243	0,02145079
16	0		0	0,017	0,015623718
17	0,0002		0	0,0072	0,00727499
18	0		0	0,0026	0,003153342
19	0		0,000165755	0,0014	0,001322583
20	0			0,0004	0,000570358
21	0			0,0004	0,000229081
22	0			0,0001	9,62E-05
23	0			0,0002	0,000116101
24	0			0	5,76E-05
25	0			0	2,80E-05
26	0			0	1,07E-05
27	0			0	6,42E-06
28	0			0	3,28E-06
29	0			0	2,08E-06
30	0			0	2,39E-07
31	0			0	8,95E-08
32	0			0	8,95E-08
33	0			0	0
34	0			0	0
35	0			0	0
36	0			0	1,99E-08
37	0			0	0
38	0			0	0
39	0			0	0
40	0			0	0
41	0			0	0
42	0			0	0
43	0			0	0
44	0			0	0
45	0			0	0
46	0			0	0
47	0			0	0
48	0			0	0
49	0			0	0
50	0			0	0
51	0			0	0
52	0			0	0
53	0			0	0
54	0			0	0
55	0			0	0
56	0			0	0
57	0			0	0
58	0			0	0
59	0			0	0
60	0			0	0
61	0			0	0
62	0			0	0
63	0			0	0
64	0			0	0
65	0			0	0
66	0,0001			0	0
67				0	1,73E-05
68				0	1,03E-05
69				0	5,27E-06
70				0	3,11E-06
71				0	1,89E-06
72				0,0001	3,40E-05
73					1,65E-05
74					6,87E-06
75					2,75E-06
76					1,27E-06
77					4,48E-07
78					1,19E-07
79					5,97E-08
80					2,98E-08
81					3,98E-08
82					0

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X_1 (gemessen)	Y_1 (gemessen)	Y_2 (gemessen)	Messung	Berechnung (Zeitbereich)
83					0
84					0
85					9,95E-09

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 33: Dichtefunktionen für die Alternative bei 10000 Messungen und $p = 0.8$

Ausführungszeit (10 ms)	X_1 (gemessen)	Y_1 (gemessen)	Y_2 (gemessen)	Messung	Berechnung (Zeitbereich)
1	0,277	0,465408805			
2	0,21	0,250314465		0,105	0,103134591
3	0,159	0,120754717		0,127	0,133658365
4	0,113	0,075471698		0,138	0,128012075
5	0,074	0,037735849		0,097	0,110924277
6	0,055	0,023899371	0,629268293	0,087	0,086582138
7	0,043	0,012578616	0,229268293	0,101	0,102310017
8	0,037	0,00754717	0,03902439	0,096	0,091728468
9	0,017	0,005031447	0,073170732	0,081	0,074206983
10	0,015	0,001257862	0,014634146	0,054	0,056795821
11			0,004878049	0,05	0,041075613
12			0,004878049	0,019	0,025916705
13			0	0,015	0,017135051
14			0,004878049	0,016	0,012133861
15				0,005	0,007434441
16				0,004	0,005043344
17				0,003	0,002214567
18				0	0,000876226
19				0,001	0,000496996
20				0,001	0,000165338
21					7,32E-05
22					5,07E-05
23					1,66E-05
24					1,46E-05

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 34: Dichtefunktionen für die Alternative bei 10000 Messungen und $p = 0.8$

Ausführungszeit (10 ms)	X_1 (gemessen)	Y_1 (gemessen)	Y_2 (gemessen)	Messung	Berechnung (Zeitbereich)
1	0,264	0,455470107			
2	0,1998	0,246092781		0,0998	0,096195287
3	0,1577	0,137931034		0,1247	0,124777137
4	0,1054	0,074547259		0,1282	0,125928613
5	0,0818	0,043041429		0,1098	0,107243582
6	0,06	0,021458695	0,58875129	0,0861	0,08896387
7	0,0494	0,010419251	0,234262126	0,0964	0,10149999
8	0,0364	0,006077896	0,106811146	0,0911	0,092080816
9	0,0257	0,003349045	0,043859649	0,0776	0,077343444
10	0,0195	0,001612503	0,013415893	0,0598	0,059562788
11	0,0003		0,005159959	0,0474	0,045519148
12			0,004643963	0,0291	0,028901636
13			0,000515996	0,0179	0,019403109
14			0,002063983	0,0116	0,013022751
15			0,000515996	0,0093	0,008857956
16				0,0067	0,006126502
17				0,0026	0,002638195
18				0,0009	0,001141787
19				0,0004	0,000467559
20				0,0003	0,00017955
21				0,0002	7,55E-05
22				0,0001	4,12E-05
23					1,67E-05
24					1,07E-05
25					2,14E-06
26					3,10E-08

A.2.3 Schleife

Tabelle 35: Dichtefunktionen für die Schleife bei 1000 Messungen, $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.01$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						2,17E-09
1	0,274799754	0,439807384				1,87E-09
2	0,21133703	0,277688604				1,61E-09
3	0,139864449	0,123595506				1,38E-09
4	0,109673444	0,078651685				1,19E-09
5	0,085027726	0,030497592				1,03E-09
6	0,060998152	0,030497592	0,578			8,85E-10
7	0,043746149	0,006420546	0,25	0,085	0,095300555	0,095300555
8	0,033887862	0,008025682	0,098	0,111	0,114511645	0,114511646
9	0,019716574	0,001605136	0,05	0,114	0,100970941	0,100970942
10	0,02094886	0,003210273	0,012	0,105	0,091673021	0,091673021
11			0,01	0,074	0,080992097	0,080992097
12			0	0,084	0,071191565	0,071191565
13			0,001	0,059	0,06160751	0,06160751
14			0,001	0,057	0,054737119	0,054737119
15				0,057	0,046767596	0,046767596
16				0,039	0,043033126	0,043033127
17				0,03	0,033176211	0,033176211
18				0,019	0,027884549	0,027884549
19				0,025	0,024303171	0,024303172
20				0,02	0,020992841	0,020992853
21				0,016	0,018306085	0,018306143
22				0,019	0,015806193	0,0158064
23				0,014	0,013690534	0,013691107
24				0,007	0,011805877	0,01180722
25				0,011	0,010167693	0,010170453
26				0,005	0,008751323	0,008756441
27				0,01	0,007532258	0,007540984
28				0,003	0,0064698	0,006483677
29				0,004	0,005557558	0,00557836
30				0,004	0,004776445	0,004806083
31				0,004	0,004100575	0,004140978
32				0,001	0,003516048	0,003569024
33				0,004	0,00300802	0,003075113
34				0,003	0,002567359	0,002649721
35				0,002	0,002184456	0,002282742
36				0,003	0,00185221	0,001966509
37				0,001	0,001564175	0,001693979
38				0	0,00131502	0,001459239
39				0	0,001100021	0,001257037
40				0	0,0009151	0,001082855
41				0,002	0,000756741	0,000932844
42				0,001	0,000621767	0,000803622
43				0,002	0,000507376	0,000692306
44				0,001	0,000411037	0,000596405
45				0,001	0,000330471	0,000513788
46				0,001	0,000263603	0,000442613
47				0	0,00020855	0,000381297
48				0	0,00016361	0,000328474
49				0	0,000127248	0,000282969
50				0,001	9,81E-05	0,000243769
51				0	7,49E-05	0,000209999
52				0	5,67E-05	0,000180907
53				0	4,26E-05	0,000155846
54				0	3,16E-05	0,000134256
55				0	2,33E-05	0,000115658
56				0	1,70E-05	9,96E-05
57				0,001	1,22E-05	8,58E-05
58					8,75E-06	7,39E-05
59					6,19E-06	6,37E-05
60					4,34E-06	5,49E-05
61					3,01E-06	4,73E-05
62					2,07E-06	4,07E-05
63					1,41E-06	3,51E-05
64					9,47E-07	3,02E-05
65					6,31E-07	2,60E-05
66					4,16E-07	2,24E-05
67					2,72E-07	1,93E-05
68					1,75E-07	1,66E-05
69					1,12E-07	1,43E-05
70					7,09E-08	1,24E-05
71					4,44E-08	1,06E-05
72					2,75E-08	9,17E-06
73					1,69E-08	7,90E-06
74					1,02E-08	6,80E-06
75					6,13E-09	5,86E-06
76					3,64E-09	5,05E-06
77					2,14E-09	4,35E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
78					1,24E-09	3,75E-06
79					7,13E-10	3,23E-06
80					4,05E-10	2,78E-06
81					2,27E-10	2,40E-06
82					1,26E-10	2,06E-06
83					6,93E-11	1,78E-06
84					3,76E-11	1,53E-06
85					2,02E-11	1,32E-06
86					1,07E-11	1,14E-06
87					5,61E-12	9,79E-07
88					2,91E-12	8,43E-07
89					1,49E-12	7,27E-07
90					7,52E-13	6,26E-07
91					3,75E-13	5,39E-07
92					1,85E-13	4,65E-07
93					8,99E-14	4,00E-07
94					4,32E-14	3,45E-07
95					2,04E-14	2,97E-07
96					9,55E-15	2,56E-07
97					4,40E-15	2,20E-07
98					2,00E-15	1,90E-07
99					8,93E-16	1,64E-07
100					3,93E-16	1,41E-07
101					1,71E-16	1,21E-07
102					7,27E-17	1,05E-07
103					3,05E-17	9,01E-08
104					1,26E-17	7,76E-08
105					5,09E-18	6,69E-08
106					2,02E-18	5,76E-08
107					7,85E-19	4,96E-08
108					2,99E-19	4,27E-08
109					1,11E-19	3,68E-08
110					4,05E-20	3,17E-08
111					1,44E-20	2,73E-08
112					4,96E-21	2,35E-08
113					1,66E-21	2,03E-08
114					5,41E-22	1,75E-08
115					1,70E-22	1,50E-08
116					5,13E-23	1,30E-08
117					1,49E-23	1,12E-08
118					4,10E-24	9,62E-09
119					1,06E-24	8,29E-09
120					2,56E-25	7,14E-09
121					5,58E-26	6,15E-09
122					1,07E-26	5,30E-09
123					1,62E-27	4,57E-09
124					1,77E-28	3,93E-09
125						3,39E-09
126						2,92E-09
127						2,51E-09

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 36: Dichtefunktionen für die Schleife bei 1000 Messungen, $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.05$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						2,17E-09
1	0,274799754	0,439807384				1,87E-09
2	0,21133703	0,277688604				1,61E-09
3	0,139864449	0,123595506				1,38E-09
4	0,109673444	0,078651685				1,19E-09
5	0,085027726	0,030497592				1,03E-09
6	0,060998152	0,030497592	0,578			8,85E-10
7	0,043746149	0,006420546	0,25	0,085	0,095300555	0,095300555
8	0,033887862	0,008025682	0,098	0,111	0,114511645	0,114511646
9	0,019716574	0,001605136	0,05	0,114	0,100970941	0,100970942
10	0,02094886	0,003210273	0,012	0,105	0,091673021	0,091673021
11			0,01	0,074	0,080992097	0,080992097
12			0	0,084	0,071191565	0,071191565
13			0,001	0,059	0,06160751	0,06160751
14			0,001	0,057	0,054737119	0,054737119
15				0,057	0,046767075	0,046767596
16				0,039	0,043029585	0,043033127
17				0,03	0,033163374	0,033176211
18				0,019	0,027851207	0,027884549
19				0,025	0,024233185	0,024303172
20				0,02	0,020866304	0,020992853
21				0,016	0,018101343	0,018306143
22				0,019	0,015502289	0,0158064
23				0,014	0,013269618	0,013691107
24				0,007	0,011255176	0,01180722
25				0,011	0,009480863	0,010170453
26				0,005	0,007929241	0,008756441
27				0,01	0,006583198	0,007540984
28				0,003	0,005408936	0,006483677
29				0,004	0,004405824	0,00557836
30				0,004	0,003558926	0,004806083
31				0,004	0,002844658	0,004140978
32				0,001	0,002249553	0,003569024
33				0,004	0,001757494	0,003075113
34				0,003	0,001356694	0,002649721
35				0,002	0,001033887	0,002282742
36				0,003	0,000777712	0,001966509
37				0,001	0,000577221	0,001693979
38				0	0,00042267	0,001459239
39				0	0,000305264	0,001257037
40				0	0,000217393	0,001082855
41				0,002	0,000152653	0,000932844
42				0,001	0,00010566	0,000803622
43				0,002	7,21E-05	0,000692306
44				0,001	4,84E-05	0,000596405
45				0,001	3,21E-05	0,000513788
46				0,001	2,09E-05	0,000442613
47				0	1,34E-05	0,000381297
48				0	8,48E-06	0,000328474
49				0	5,28E-06	0,000282969
50				0,001	3,23E-06	0,000243769
51				0	1,95E-06	0,000209999
52				0	1,15E-06	0,000180907
53				0	6,72E-07	0,000155846
54				0	3,85E-07	0,000134256
55				0	2,17E-07	0,000115658
56				0	1,20E-07	9,96E-05
57				0,001	6,54E-08	8,58E-05
58					3,50E-08	7,39E-05
59					1,84E-08	6,37E-05
60					9,50E-09	5,49E-05
61					4,81E-09	4,73E-05
62					2,39E-09	4,07E-05
63					1,17E-09	3,51E-05
64					5,59E-10	3,02E-05
65					2,62E-10	2,60E-05
66					1,20E-10	2,24E-05
67					5,40E-11	1,93E-05
68					2,37E-11	1,66E-05
69					1,02E-11	1,43E-05
70					4,25E-12	1,24E-05
71					1,73E-12	1,06E-05
72					6,88E-13	9,17E-06
73					2,65E-13	7,90E-06
74					9,86E-14	6,80E-06
75					3,55E-14	5,86E-06
76					1,23E-14	5,05E-06
77					4,10E-15	4,35E-06
78					1,31E-15	3,75E-06
79					4,04E-16	3,23E-06
80					1,16E-16	2,78E-06
81					3,13E-17	2,40E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82					7,57E-18	2,06E-06
83					1,53E-18	1,78E-06
84					2,45E-19	1,53E-06
85						1,32E-06
86						1,14E-06
87						9,79E-07
88						8,43E-07
89						7,27E-07
90						6,26E-07
91						5,39E-07
92						4,65E-07
93						4,00E-07
94						3,45E-07
95						2,97E-07
96						2,56E-07
97						2,20E-07
98						1,90E-07
99						1,64E-07
100						1,41E-07
101						1,21E-07
102						1,05E-07
103						9,01E-08
104						7,76E-08
105						6,69E-08
106						5,76E-08
107						4,96E-08
108						4,27E-08
109						3,68E-08
110						3,17E-08
111						2,73E-08
112						2,35E-08
113						2,03E-08
114						1,75E-08
115						1,50E-08
116						1,30E-08
117						1,12E-08
118						9,62E-09
119						8,29E-09
120						7,14E-09
121						6,15E-09
122						5,30E-09
123						4,57E-09
124						3,93E-09
125						3,39E-09
126						2,92E-09
127						2,51E-09

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 37: Dichtefunktionen für die Schleife bei 1000 Messungen, $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.05$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						1,21E-10
1	0,25852889	0,441660526				1,16E-10
2	0,207059752	0,254482928				1,12E-10
3	0,149083021	0,134610661				1,08E-10
4	0,10826267	0,087447802				1,04E-10
5	0,089331493	0,037337264				9,97E-11
6	0,063103924	0,019405551	0,587			9,60E-11
7	0,046933544	0,012527634	0,252	0,031	0,030351292	0,030351292
8	0,03293236	0,006632277	0,091	0,045	0,037338671	0,037338671
9	0,023663972	0,003193319	0,046	0,027	0,035415841	0,035415841
10	0,021100375	0,002702039	0,013	0,03	0,03359948	0,03359948
11			0,008	0,044	0,032889623	0,032889623
12			0,002	0,028	0,031617153	0,031617153
13			0	0,036	0,030567709	0,030567709
14			0,001	0,031	0,029450642	0,029450642
15				0,024	0,028552573	0,028552573
16				0,033	0,028191069	0,028191069
17				0,019	0,025664738	0,025664738
18				0,03	0,024629629	0,024629629
19				0,021	0,023884142	0,023884142
20				0,018	0,023033513	0,023033513
21				0,02	0,022217642	0,022217642
22				0,023	0,02138696	0,02138696
23				0,027	0,020580078	0,020580078
24				0,026	0,01980375	0,01980375
25				0,011	0,019047185	0,019047185
26				0,023	0,018321599	0,018321599
27				0,012	0,017623721	0,017623721
28				0,022	0,016945513	0,016945513
29				0,011	0,016299666	0,016299666
30				0,014	0,015681514	0,015681514
31				0,02	0,015086421	0,015086421
32				0,009	0,014513847	0,014513847
33				0,013	0,013962527	0,013962528
34				0,013	0,013431812	0,013431812
35				0,013	0,012921209	0,012921209
36				0,014	0,012429962	0,012429962
37				0,01	0,011957378	0,011957378
38				0,006	0,011502808	0,011502808
39				0,009	0,011065503	0,011065503
40				0,007	0,01064486	0,01064486
41				0,006	0,010240234	0,010240234
42				0,005	0,009850989	0,009850989
43				0,014	0,009476536	0,009476536
44				0,01	0,009116312	0,009116312
45				0,009	0,008769776	0,008769776
46				0,011	0,008436411	0,008436411
47				0,007	0,008115718	0,008115718
48				0,009	0,007807216	0,007807216
49				0,008	0,007510441	0,007510441
50				0,009	0,007224948	0,007224948
51				0,006	0,006950308	0,006950308
52				0,007	0,006686108	0,006686108
53				0,006	0,00643195	0,00643195
54				0,01	0,006187454	0,006187454
55				0,006	0,005952252	0,005952252
56				0,005	0,00572599	0,00572599
57				0,006	0,00550833	0,00550833
58				0,006	0,005298943	0,005298943
59				0,005	0,005097515	0,005097515
60				0,004	0,004903744	0,004903744
61				0,005	0,004717339	0,004717339
62				0,004	0,00453802	0,00453802
63				0,01	0,004365518	0,004365518
64				0,002	0,004199572	0,004199572
65				0,002	0,004039935	0,004039935
66				0,003	0,003886366	0,003886366
67				0,002	0,003738634	0,003738634
68				0,006	0,003596518	0,003596518
69				0,005	0,003459805	0,003459805
70				0,003	0,003328288	0,003328288
71				0,005	0,00320177	0,00320177
72				0,002	0,003080062	0,003080062
73				0,003	0,00296298	0,002962981
74				0,002	0,002850349	0,002850349
75				0,002	0,002741999	0,002742
76				0	0,002637767	0,002637769
77				0	0,002537497	0,0025375
78				0,002	0,002441037	0,002441042
79				0,005	0,002348243	0,002348252
80				0,002	0,002258975	0,002258988
81				0	0,002173097	0,002173118

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitreich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82				0,004	0,002090479	0,002090511
83				0	0,002010996	0,002011045
84				0,005	0,001934527	0,0019346
85				0,002	0,001860953	0,00186106
86				0,001	0,001790161	0,001790316
87				0,001	0,001722039	0,001722261
88				0,003	0,001656481	0,001656793
89				0,003	0,00159338	0,001593814
90				0,001	0,001532634	0,001533229
91				0,002	0,001474141	0,001474947
92				0	0,001417801	0,00141888
93				0	0,001363517	0,001364944
94				0,001	0,001311192	0,001313059
95				0,002	0,001260729	0,001263146
96				0,001	0,001212034	0,00121513
97				0,001	0,001165012	0,00116894
98				0	0,001119572	0,001124505
99				0,002	0,001075622	0,00108176
100				0,001	0,001033074	0,001040639
101				0,002	0,000991838	0,001001081
102				0,002	0,000951833	0,000963027
103				0	0,000912975	0,00092642
104				0,001	0,000875189	0,000891204
105				0,001	0,000838402	0,000857327
106				0	0,000802548	0,000824738
107				0,001	0,000767564	0,000793387
108				0,001	0,000733398	0,000763228
109				0	0,000700003	0,000734216
110				0,002	0,000667339	0,000706306
111				0	0,000635376	0,000679458
112				0,001	0,000604091	0,00065363
113				0,001	0,00057347	0,000628783
114				0,002	0,000543507	0,000604882
115				0,002	0,000514203	0,000581888
116				0,001	0,000485566	0,000559769
117				0	0,000457612	0,000538491
118				0	0,000430361	0,000518021
119				0,001	0,00040384	0,00049833
120				0,001	0,000378076	0,000479387
121				0,001	0,000353101	0,000461164
122				0,001	0,000328949	0,000443634
123				0	0,000305651	0,00042677
124				0	0,00028324	0,000410547
125				0,001	0,000261745	0,000394941
126				0,001	0,000241192	0,000379929
127				0	0,000221604	0,000365486
128				0	0,000202998	0,000351593
129				0,001	0,000185387	0,000338228
130				0	0,000168777	0,000325371
131				0	0,00015317	0,000313003
132				0	0,000138559	0,000301105
133				0,001	0,000124934	0,000289659
134				0	0,000112277	0,000278648
135				0	0,000100566	0,000268056
136				0,002	8,98E-05	0,000257867
137				0	7,99E-05	0,000248064
138				0	7,08E-05	0,000238635
139				0	6,26E-05	0,000229564
140				0,001	5,51E-05	0,000220837
141				0,001	4,83E-05	0,000212443
142				0,003	4,23E-05	0,000204367
143				0	3,68E-05	0,000196598
144				0	3,20E-05	0,000189125
145				0	2,76E-05	0,000181936
146				0	2,38E-05	0,00017502
147				0	2,05E-05	0,000168367
148				0	1,75E-05	0,000161967
149				0	1,49E-05	0,00015581
150				0	1,27E-05	0,000149887
151				0	1,08E-05	0,00014419
152				0	9,07E-06	0,000138709
153				0	7,63E-06	0,000133436
154				0	6,39E-06	0,000128364
155				0	5,33E-06	0,000123484
156				0	4,44E-06	0,00011879
157				0	3,68E-06	0,000114275
158				0	3,04E-06	0,000109931
159				0	2,50E-06	0,000105752
160				0	2,05E-06	0,000101732
161				0	1,67E-06	9,79E-05
162				0	1,36E-06	9,41E-05
163				0	1,11E-06	9,06E-05
164				0	8,95E-07	8,71E-05

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitreich)	Berechnung (Frequenzbereich)
165				0	7,21E-07	8,38E-05
166				0	5,79E-07	8,06E-05
167				0	4,63E-07	7,76E-05
168				0	3,69E-07	7,46E-05
169				0	2,93E-07	7,18E-05
170				0	2,32E-07	6,90E-05
171				0	1,83E-07	6,64E-05
172				0	1,44E-07	6,39E-05
173				0	1,13E-07	6,15E-05
174				0	8,81E-08	5,91E-05
175				0	6,86E-08	5,69E-05
176				0	5,32E-08	5,47E-05
177				0,001	4,11E-08	5,26E-05
178				0	3,17E-08	5,06E-05
179				0	2,43E-08	4,87E-05
180				0,001	1,86E-08	4,69E-05
181				0	1,42E-08	4,51E-05
182				0	1,08E-08	4,34E-05
183				0	8,16E-09	4,17E-05
184				0	6,16E-09	4,01E-05
185				0	4,63E-09	3,86E-05
186				0	3,47E-09	3,71E-05
187				0	2,60E-09	3,57E-05
188				0	1,93E-09	3,44E-05
189				0	1,43E-09	3,31E-05
190				0	1,06E-09	3,18E-05
191				0	7,83E-10	3,06E-05
192				0	5,75E-10	2,94E-05
193				0	4,21E-10	2,83E-05
194				0	3,08E-10	2,72E-05
195				0	2,24E-10	2,62E-05
196				0	1,62E-10	2,52E-05
197				0	1,17E-10	2,43E-05
198				0	8,46E-11	2,33E-05
199				0,001	6,08E-11	2,24E-05
200				0	4,35E-11	2,16E-05
201				0	3,10E-11	2,08E-05
202				0	2,21E-11	2,00E-05
203				0	1,57E-11	1,92E-05
204				0	1,11E-11	1,85E-05
205				0	7,79E-12	1,78E-05
206				0	5,47E-12	1,71E-05
207				0	3,83E-12	1,65E-05
208				0	2,67E-12	1,58E-05
209				0	1,86E-12	1,52E-05
210				0	1,29E-12	1,47E-05
211				0	8,90E-13	1,41E-05
212				0	6,13E-13	1,36E-05
213				0	4,21E-13	1,30E-05
214				0	2,88E-13	1,25E-05
215				0	1,96E-13	1,21E-05
216				0	1,33E-13	1,16E-05
217				0	9,05E-14	1,12E-05
218				0,001	6,11E-14	1,07E-05
219					4,12E-14	1,03E-05
220					2,76E-14	9,95E-06
221					1,85E-14	9,57E-06
222					1,23E-14	9,20E-06
223					8,21E-15	8,85E-06
224					5,44E-15	8,52E-06
225					3,60E-15	8,19E-06
226					2,37E-15	7,88E-06
227					1,56E-15	7,58E-06
228					1,02E-15	7,29E-06
229					6,64E-16	7,02E-06
230					4,32E-16	6,75E-06
231					2,80E-16	6,49E-06
232					1,81E-16	6,25E-06
233					1,17E-16	6,01E-06
234					7,49E-17	5,78E-06
235					4,80E-17	5,56E-06
236					3,06E-17	5,35E-06
237					1,95E-17	5,15E-06
238					1,24E-17	4,95E-06
239					7,81E-18	4,76E-06
240					4,92E-18	4,58E-06
241					3,09E-18	4,41E-06
242					1,94E-18	4,24E-06
243					1,21E-18	4,08E-06
244					7,52E-19	3,92E-06
245					4,66E-19	3,77E-06
246					2,88E-19	3,63E-06
247					1,78E-19	3,49E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
248					1,09E-19	3,36E-06
249					6,69E-20	3,23E-06
250					4,09E-20	3,11E-06
251					2,49E-20	2,99E-06
252					1,51E-20	2,88E-06
253					9,12E-21	2,77E-06
254					5,50E-21	2,66E-06
255					3,31E-21	2,56E-06
256					1,98E-21	2,46E-06
257					1,18E-21	2,37E-06
258					7,04E-22	2,28E-06
259					4,17E-22	2,19E-06
260					2,47E-22	2,11E-06
261					1,46E-22	2,03E-06
262					8,55E-23	1,95E-06
263					5,01E-23	1,88E-06
264					2,92E-23	1,81E-06
265					1,70E-23	1,74E-06
266					9,87E-24	1,67E-06
267					5,71E-24	1,61E-06
268					3,29E-24	1,55E-06
269					1,89E-24	1,49E-06
270					1,08E-24	1,43E-06
271					6,17E-25	1,38E-06
272					3,51E-25	1,33E-06
273					1,99E-25	1,28E-06
274					1,13E-25	1,23E-06
275					6,34E-26	1,18E-06
276					3,56E-26	1,14E-06
277					1,99E-26	1,09E-06
278					1,11E-26	1,05E-06
279					6,17E-27	1,01E-06
280					3,42E-27	9,72E-07
281					1,89E-27	9,35E-07
282					1,04E-27	9,00E-07
283					5,70E-28	8,66E-07
284					3,12E-28	8,33E-07
285					1,70E-28	8,01E-07
286					9,21E-29	7,71E-07
287					4,99E-29	7,41E-07
288					2,69E-29	7,13E-07
289					1,44E-29	6,86E-07
290					7,74E-30	6,60E-07
291					4,13E-30	6,35E-07
292					2,20E-30	6,11E-07
293					1,16E-30	5,87E-07
294					6,15E-31	5,65E-07
295					3,24E-31	5,44E-07
296					1,70E-31	5,23E-07
297					8,87E-32	5,03E-07
298					4,62E-32	4,84E-07
299					2,40E-32	4,66E-07
300					1,24E-32	4,48E-07
301					6,38E-33	4,31E-07
302					3,28E-33	4,14E-07
303					1,68E-33	3,99E-07
304					8,54E-34	3,84E-07
305					4,34E-34	3,69E-07
306					2,19E-34	3,55E-07
307					1,11E-34	3,41E-07
308					5,55E-35	3,28E-07
309					2,78E-35	3,16E-07
310					1,38E-35	3,04E-07
311					6,88E-36	2,92E-07
312					3,40E-36	2,81E-07
313					1,68E-36	2,71E-07
314					8,23E-37	2,60E-07
315					4,02E-37	2,50E-07
316					1,96E-37	2,41E-07
317					9,50E-38	2,32E-07
318					4,59E-38	2,23E-07
319					2,21E-38	2,14E-07
320					1,06E-38	2,06E-07
321					5,06E-39	1,98E-07
322					2,41E-39	1,91E-07
323					1,14E-39	1,84E-07
324					5,37E-40	1,77E-07
325					2,52E-40	1,70E-07
326					1,18E-40	1,64E-07
327					5,50E-41	1,57E-07
328					2,55E-41	1,51E-07
329					1,18E-41	1,46E-07
330					5,41E-42	1,40E-07

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
331					2,48E-42	1,35E-07
332					1,13E-42	1,30E-07
333					5,13E-43	1,25E-07
334					2,32E-43	1,20E-07
335					1,04E-43	1,15E-07
336					4,66E-44	1,11E-07
337					2,08E-44	1,07E-07
338					9,21E-45	1,03E-07
339					4,07E-45	9,88E-08
340					1,79E-45	9,50E-08
341					7,81E-46	9,14E-08
342					3,40E-46	8,80E-08
343					1,47E-46	8,46E-08
344					6,34E-47	8,14E-08
345					2,72E-47	7,83E-08
346					1,16E-47	7,53E-08
347					4,91E-48	7,25E-08
348					2,07E-48	6,97E-08
349					8,71E-49	6,71E-08
350					3,64E-49	6,45E-08
351					1,51E-49	6,21E-08
352					6,24E-50	5,97E-08
353					2,56E-50	5,74E-08
354					1,05E-50	5,52E-08
355					4,25E-51	5,31E-08
356					1,72E-51	5,11E-08
357					6,89E-52	4,92E-08
358					2,75E-52	4,73E-08
359					1,09E-52	4,55E-08
360					4,30E-53	4,38E-08
361					1,68E-53	4,21E-08
362					6,55E-54	4,05E-08
363					2,53E-54	3,90E-08
364					9,72E-55	3,75E-08
365					3,71E-55	3,61E-08
366					1,41E-55	3,47E-08
367					5,29E-56	3,34E-08
368					1,97E-56	3,21E-08
369					7,32E-57	3,09E-08
370					2,70E-57	2,97E-08
371					9,85E-58	2,86E-08
372					3,57E-58	2,75E-08
373					1,28E-58	2,65E-08
374					4,58E-59	2,55E-08
375					1,62E-59	2,45E-08
376					5,68E-60	2,36E-08
377					1,98E-60	2,27E-08
378					6,81E-61	2,18E-08
379					2,33E-61	2,10E-08
380					7,87E-62	2,02E-08
381					2,64E-62	1,94E-08
382					8,75E-63	1,87E-08
383					2,87E-63	1,80E-08
384					9,33E-64	1,73E-08
385					3,00E-64	1,66E-08
386					9,54E-65	1,60E-08
387					3,00E-65	1,54E-08
388					9,30E-66	1,48E-08
389					2,85E-66	1,42E-08
390					8,64E-67	1,37E-08
391					2,58E-67	1,32E-08
392					7,60E-68	1,27E-08
393					2,21E-68	1,22E-08
394					6,31E-69	1,17E-08
395					1,78E-69	1,13E-08
396					4,93E-70	1,08E-08
397					1,34E-70	1,04E-08
398					3,59E-71	1,00E-08
399					9,42E-72	9,66E-09
400					2,42E-72	9,29E-09
401					6,11E-73	8,94E-09
402					1,51E-73	8,60E-09
403					3,62E-74	8,27E-09
404					8,50E-75	7,96E-09
405					1,94E-75	7,65E-09
406					4,31E-76	7,36E-09
407					9,29E-77	7,08E-09
408					1,94E-77	6,81E-09
409					3,89E-78	6,56E-09
410					7,52E-79	6,31E-09
411					1,39E-79	6,07E-09
412					2,46E-80	5,84E-09
413					4,13E-81	5,61E-09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
414					6,54E-82	5,40E-09
415					9,71E-83	5,20E-09
416					1,34E-83	5,00E-09
417					1,70E-84	4,81E-09
418					1,95E-85	4,63E-09
419					1,99E-86	4,45E-09
420					1,76E-87	4,28E-09
421					1,30E-88	4,12E-09
422					7,50E-90	3,96E-09
423					3,02E-91	3,81E-09
424					6,41E-93	3,67E-09
425						3,53E-09
426						3,39E-09
427						3,26E-09
428						3,14E-09
429						3,02E-09
430						2,91E-09
431						2,79E-09
432						2,69E-09
433						2,59E-09
434						2,49E-09
435						2,39E-09
436						2,30E-09
437						2,21E-09
438						2,13E-09
439						2,05E-09
440						1,97E-09
441						1,90E-09
442						1,82E-09
443						1,76E-09
444						1,69E-09
445						1,62E-09
446						1,56E-09
447						1,50E-09
448						1,45E-09
449						1,39E-09
450						1,34E-09
451						1,29E-09
452						1,24E-09
453						1,19E-09
454						1,15E-09
455						1,10E-09
456						1,06E-09
457						1,02E-09
458						9,82E-10
459						9,44E-10
460						9,08E-10
461						8,74E-10
462						8,41E-10
463						8,09E-10
464						7,78E-10
465						7,48E-10
466						7,20E-10
467						6,93E-10
468						6,66E-10
469						6,41E-10
470						6,17E-10
471						5,93E-10
472						5,71E-10
473						5,49E-10
474						5,28E-10
475						5,08E-10
476						4,89E-10
477						4,70E-10
478						4,52E-10
479						4,35E-10
480						4,18E-10
481						4,03E-10
482						3,87E-10
483						3,73E-10
484						3,58E-10
485						3,45E-10
486						3,32E-10
487						3,19E-10
488						3,07E-10
489						2,95E-10
490						2,84E-10
491						2,73E-10
492						2,63E-10
493						2,53E-10
494						2,43E-10
495						2,34E-10
496						2,25E-10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
497						2,17E-10
498						2,08E-10
499						2,00E-10
500						1,93E-10
501						1,85E-10
502						1,78E-10
503						1,72E-10
504						1,65E-10
505						1,59E-10
506						1,53E-10
507						1,47E-10
508						1,41E-10
509						1,36E-10
510						1,31E-10
511						1,26E-10

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 38: Dichtefunktionen für die Schleife bei 1000 Messungen, $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.01$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						1,21E-10
1	0,25852889	0,441660526				1,16E-10
2	0,207059752	0,254482928				1,12E-10
3	0,149083021	0,134610661				1,08E-10
4	0,10826267	0,087447802				1,04E-10
5	0,089331493	0,037337264				9,97E-11
6	0,063103924	0,019405551	0,587			9,60E-11
7	0,046933544	0,012527634	0,252	0,031	0,030351292	0,030351292
8	0,03293236	0,006632277	0,091	0,045	0,037338671	0,037338671
9	0,023663972	0,003193319	0,046	0,027	0,035415841	0,035415841
10	0,021100375	0,002702039	0,013	0,03	0,03359948	0,03359948
11			0,008	0,044	0,032889623	0,032889623
12			0,002	0,028	0,031617153	0,031617153
13			0	0,036	0,030567709	0,030567709
14			0,001	0,031	0,029450642	0,029450642
15				0,024	0,028552573	0,028552573
16				0,033	0,028191069	0,028191069
17				0,019	0,025664738	0,025664738
18				0,03	0,024629629	0,024629629
19				0,021	0,023884142	0,023884142
20				0,018	0,023033513	0,023033513
21				0,02	0,022217642	0,022217642
22				0,023	0,02138696	0,02138696
23				0,027	0,020580078	0,020580078
24				0,026	0,01980375	0,01980375
25				0,011	0,019047185	0,019047185
26				0,023	0,018321599	0,018321599
27				0,012	0,017623721	0,017623721
28				0,022	0,016945513	0,016945513
29				0,011	0,016299666	0,016299666
30				0,014	0,015681514	0,015681514
31				0,02	0,015086421	0,015086421
32				0,009	0,014513847	0,014513847
33				0,013	0,013962527	0,013962528
34				0,013	0,013431812	0,013431812
35				0,013	0,012921209	0,012921209
36				0,014	0,012429962	0,012429962
37				0,01	0,011957378	0,011957378
38				0,006	0,011502808	0,011502808
39				0,009	0,011065503	0,011065503
40				0,007	0,01064486	0,01064486
41				0,006	0,010240234	0,010240234
42				0,005	0,009850988	0,009850989
43				0,014	0,009476536	0,009476536
44				0,01	0,009116312	0,009116312
45				0,009	0,008769775	0,008769776
46				0,011	0,008436408	0,008436411
47				0,007	0,008115712	0,008115718
48				0,009	0,007807203	0,007807216
49				0,008	0,007510415	0,007510441
50				0,009	0,007224897	0,007224948
51				0,006	0,006950212	0,006950308
52				0,007	0,006685934	0,006686108
53				0,006	0,006431646	0,00643195
54				0,01	0,00618694	0,006187454
55				0,006	0,005951408	0,005952252
56				0,005	0,005724644	0,00572599
57				0,006	0,005506239	0,00550833
58				0,006	0,005295774	0,005298943
59				0,005	0,005092824	0,005097515
60				0,004	0,004896948	0,004903744
61				0,005	0,004707695	0,004717339
62				0,004	0,004524597	0,00453802
63				0,01	0,004347177	0,004365518
64				0,002	0,004174945	0,004199572
65				0,002	0,004007412	0,004039935
66				0,003	0,00384409	0,003886366
67				0,002	0,0036845	0,003738634
68				0,006	0,003528189	0,003596518
69				0,005	0,003374734	0,003459805
70				0,003	0,003223754	0,003328288
71				0,005	0,003074925	0,00320177
72				0,002	0,002927984	0,003080062
73				0,003	0,002782742	0,002962981
74				0,002	0,002639088	0,002850349
75				0,002	0,002496994	0,002742
76				0	0,002356514	0,002637769
77				0	0,002217782	0,0025375
78				0,002	0,002081009	0,002441042
79				0,005	0,001946472	0,002348252
80				0,002	0,001814504	0,002258988
81				0	0,001685481	0,002173118

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitreich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82				0,004	0,001559808	0,002090511
83				0	0,001437904	0,0020111045
84				0,005	0,001320187	0,0019346
85				0,002	0,001207056	0,00186106
86				0,001	0,001098883	0,001790316
87				0,001	0,000995995	0,001722261
88				0,003	0,000898669	0,001656793
89				0,003	0,00080712	0,001593814
90				0,001	0,000721501	0,001533229
91				0,002	0,000641893	0,001474947
92				0	0,000568314	0,00141888
93				0	0,000500712	0,001364944
94				0,001	0,000438977	0,001313059
95				0,002	0,000382939	0,001263146
96				0,001	0,000332381	0,00121513
97				0,001	0,000287044	0,00116894
98				0	0,000246635	0,001124505
99				0,002	0,000210838	0,00108176
100				0,001	0,000179317	0,001040639
101				0,002	0,000151729	0,001001081
102				0,002	0,000127728	0,000963027
103				0	0,000106972	0,00092642
104				0,001	8,91E-05	0,000891204
105				0,001	7,39E-05	0,000857327
106				0	6,09E-05	0,000824738
107				0,001	5,00E-05	0,000793387
108				0,001	4,08E-05	0,000763228
109				0	3,31E-05	0,000734216
110				0,002	2,68E-05	0,000706306
111				0	2,15E-05	0,000679458
112				0,001	1,72E-05	0,00065363
113				0,001	1,37E-05	0,000628783
114				0,002	1,08E-05	0,000604882
115				0,002	8,54E-06	0,000581888
116				0,001	6,69E-06	0,000559769
117				0	5,22E-06	0,000538491
118				0	4,05E-06	0,000518021
119				0,001	3,12E-06	0,00049833
120				0,001	2,40E-06	0,000479387
121				0,001	1,83E-06	0,000461164
122				0,001	1,40E-06	0,000443634
123				0	1,06E-06	0,00042677
124				0	7,95E-07	0,000410547
125				0,001	5,96E-07	0,000394941
126				0,001	4,44E-07	0,000379929
127				0	3,29E-07	0,000365486
128				0	2,43E-07	0,000351593
129				0,001	1,79E-07	0,000338228
130				0	1,31E-07	0,000325371
131				0	9,51E-08	0,000313003
132				0	6,88E-08	0,000301105
133				0,001	4,96E-08	0,000289659
134				0	3,56E-08	0,000278648
135				0	2,54E-08	0,000268056
136				0,002	1,80E-08	0,000257867
137				0	1,27E-08	0,000248064
138				0	8,96E-09	0,000238635
139				0	6,27E-09	0,000229564
140				0,001	4,37E-09	0,000220837
141				0,001	3,03E-09	0,000212443
142				0,003	2,09E-09	0,000204367
143				0	1,44E-09	0,000196598
144				0	9,82E-10	0,000189125
145				0	6,68E-10	0,000181936
146				0	4,52E-10	0,00017502
147				0	3,05E-10	0,000168367
148				0	2,04E-10	0,000161967
149				0	1,36E-10	0,00015581
150				0	9,06E-11	0,000149887
151				0	5,99E-11	0,00014419
152				0	3,94E-11	0,000138709
153				0	2,58E-11	0,000133436
154				0	1,68E-11	0,000128364
155				0	1,09E-11	0,000123484
156				0	7,06E-12	0,00011879
157				0	4,53E-12	0,000114275
158				0	2,90E-12	0,000109931
159				0	1,85E-12	0,000105752
160				0	1,17E-12	0,000101732
161				0	7,38E-13	9,79E-05
162				0	4,63E-13	9,41E-05
163				0	2,89E-13	9,06E-05
164				0	1,80E-13	8,71E-05

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
165				0	1,11E-13	8,38E-05
166				0	6,86E-14	8,06E-05
167				0	4,20E-14	7,76E-05
168				0	2,57E-14	7,46E-05
169				0	1,56E-14	7,18E-05
170				0	9,41E-15	6,90E-05
171				0	5,66E-15	6,64E-05
172				0	3,39E-15	6,39E-05
173				0	2,02E-15	6,15E-05
174				0	1,20E-15	5,91E-05
175				0	7,06E-16	5,69E-05
176				0	4,14E-16	5,47E-05
177				0,001	2,42E-16	5,26E-05
178				0	1,41E-16	5,06E-05
179				0	8,15E-17	4,87E-05
180				0,001	4,69E-17	4,69E-05
181				0	2,69E-17	4,51E-05
182				0	1,53E-17	4,34E-05
183				0	8,70E-18	4,17E-05
184				0	4,91E-18	4,01E-05
185				0	2,76E-18	3,86E-05
186				0	1,54E-18	3,71E-05
187				0	8,59E-19	3,57E-05
188				0	4,75E-19	3,44E-05
189				0	2,62E-19	3,31E-05
190				0	1,43E-19	3,18E-05
191				0	7,82E-20	3,06E-05
192				0	4,24E-20	2,94E-05
193				0	2,29E-20	2,83E-05
194				0	1,23E-20	2,72E-05
195				0	6,57E-21	2,62E-05
196				0	3,49E-21	2,52E-05
197				0	1,84E-21	2,43E-05
198				0	9,70E-22	2,33E-05
199				0,001	5,07E-22	2,24E-05
200				0	2,64E-22	2,16E-05
201				0	1,37E-22	2,08E-05
202				0	7,03E-23	2,00E-05
203				0	3,60E-23	1,92E-05
204				0	1,83E-23	1,85E-05
205				0	9,29E-24	1,78E-05
206				0	4,68E-24	1,71E-05
207				0	2,34E-24	1,65E-05
208				0	1,17E-24	1,58E-05
209				0	5,78E-25	1,52E-05
210				0	2,84E-25	1,47E-05
211				0	1,39E-25	1,41E-05
212				0	6,77E-26	1,36E-05
213				0	3,28E-26	1,30E-05
214				0	1,58E-26	1,25E-05
215				0	7,53E-27	1,21E-05
216				0	3,58E-27	1,16E-05
217				0	1,69E-27	1,12E-05
218				0,001	7,93E-28	1,07E-05
219					3,70E-28	1,03E-05
220					1,71E-28	9,95E-06
221					7,90E-29	9,57E-06
222					3,61E-29	9,20E-06
223					1,64E-29	8,85E-06
224					7,41E-30	8,52E-06
225					3,32E-30	8,19E-06
226					1,48E-30	7,88E-06
227					6,54E-31	7,58E-06
228					2,87E-31	7,29E-06
229					1,25E-31	7,02E-06
230					5,42E-32	6,75E-06
231					2,33E-32	6,49E-06
232					9,93E-33	6,25E-06
233					4,20E-33	6,01E-06
234					1,76E-33	5,78E-06
235					7,34E-34	5,56E-06
236					3,03E-34	5,35E-06
237					1,24E-34	5,15E-06
238					5,05E-35	4,95E-06
239					2,03E-35	4,76E-06
240					8,11E-36	4,58E-06
241					3,21E-36	4,41E-06
242					1,26E-36	4,24E-06
243					4,88E-37	4,08E-06
244					1,88E-37	3,92E-06
245					7,14E-38	3,77E-06
246					2,69E-38	3,63E-06
247					1,00E-38	3,49E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
248					3,69E-39	3,36E-06
249					1,35E-39	3,23E-06
250					4,85E-40	3,11E-06
251					1,73E-40	2,99E-06
252					6,08E-41	2,88E-06
253					2,11E-41	2,77E-06
254					7,23E-42	2,66E-06
255					2,44E-42	2,56E-06
256					8,14E-43	2,46E-06
257					2,67E-43	2,37E-06
258					8,63E-44	2,28E-06
259					2,74E-44	2,19E-06
260					8,58E-45	2,11E-06
261					2,63E-45	2,03E-06
262					7,93E-46	1,95E-06
263					2,34E-46	1,88E-06
264					6,76E-47	1,81E-06
265					1,91E-47	1,74E-06
266					5,26E-48	1,67E-06
267					1,41E-48	1,61E-06
268					3,69E-49	1,55E-06
269					9,36E-50	1,49E-06
270					2,30E-50	1,43E-06
271					5,43E-51	1,38E-06
272					1,23E-51	1,33E-06
273					2,69E-52	1,28E-06
274					5,56E-53	1,23E-06
275					1,09E-53	1,18E-06
276					2,00E-54	1,14E-06
277					3,41E-55	1,09E-06
278					5,33E-56	1,05E-06
279					7,50E-57	1,01E-06
280					9,27E-58	9,72E-07
281					9,71E-59	9,35E-07
282					8,12E-60	9,00E-07
283					4,85E-61	8,66E-07
284					1,56E-62	8,33E-07
285						8,01E-07
286						7,71E-07
287						7,41E-07
288						7,13E-07
289						6,86E-07
290						6,60E-07
291						6,35E-07
292						6,11E-07
293						5,87E-07
294						5,65E-07
295						5,44E-07
296						5,23E-07
297						5,03E-07
298						4,84E-07
299						4,66E-07
300						4,48E-07
301						4,31E-07
302						4,14E-07
303						3,99E-07
304						3,84E-07
305						3,69E-07
306						3,55E-07
307						3,41E-07
308						3,28E-07
309						3,16E-07
310						3,04E-07
311						2,92E-07
312						2,81E-07
313						2,71E-07
314						2,60E-07
315						2,50E-07
316						2,41E-07
317						2,32E-07
318						2,23E-07
319						2,14E-07
320						2,06E-07
321						1,98E-07
322						1,91E-07
323						1,84E-07
324						1,77E-07
325						1,70E-07
326						1,64E-07
327						1,57E-07
328						1,51E-07
329						1,46E-07
330						1,40E-07

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
331						1,35E-07
332						1,30E-07
333						1,25E-07
334						1,20E-07
335						1,15E-07
336						1,11E-07
337						1,07E-07
338						1,03E-07
339						9,88E-08
340						9,50E-08
341						9,14E-08
342						8,80E-08
343						8,46E-08
344						8,14E-08
345						7,83E-08
346						7,53E-08
347						7,25E-08
348						6,97E-08
349						6,71E-08
350						6,45E-08
351						6,21E-08
352						5,97E-08
353						5,74E-08
354						5,52E-08
355						5,31E-08
356						5,11E-08
357						4,92E-08
358						4,73E-08
359						4,55E-08
360						4,38E-08
361						4,21E-08
362						4,05E-08
363						3,90E-08
364						3,75E-08
365						3,61E-08
366						3,47E-08
367						3,34E-08
368						3,21E-08
369						3,09E-08
370						2,97E-08
371						2,86E-08
372						2,75E-08
373						2,65E-08
374						2,55E-08
375						2,45E-08
376						2,36E-08
377						2,27E-08
378						2,18E-08
379						2,10E-08
380						2,02E-08
381						1,94E-08
382						1,87E-08
383						1,80E-08
384						1,73E-08
385						1,66E-08
386						1,60E-08
387						1,54E-08
388						1,48E-08
389						1,42E-08
390						1,37E-08
391						1,32E-08
392						1,27E-08
393						1,22E-08
394						1,17E-08
395						1,13E-08
396						1,08E-08
397						1,04E-08
398						1,00E-08
399						9,66E-09
400						9,29E-09
401						8,94E-09
402						8,60E-09
403						8,27E-09
404						7,96E-09
405						7,65E-09
406						7,36E-09
407						7,08E-09
408						6,81E-09
409						6,56E-09
410						6,31E-09
411						6,07E-09
412						5,84E-09
413						5,61E-09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
414						5,40E-09
415						5,20E-09
416						5,00E-09
417						4,81E-09
418						4,63E-09
419						4,45E-09
420						4,28E-09
421						4,12E-09
422						3,96E-09
423						3,81E-09
424						3,67E-09
425						3,53E-09
426						3,39E-09
427						3,26E-09
428						3,14E-09
429						3,02E-09
430						2,91E-09
431						2,79E-09
432						2,69E-09
433						2,59E-09
434						2,49E-09
435						2,39E-09
436						2,30E-09
437						2,21E-09
438						2,13E-09
439						2,05E-09
440						1,97E-09
441						1,90E-09
442						1,82E-09
443						1,76E-09
444						1,69E-09
445						1,62E-09
446						1,56E-09
447						1,50E-09
448						1,45E-09
449						1,39E-09
450						1,34E-09
451						1,29E-09
452						1,24E-09
453						1,19E-09
454						1,15E-09
455						1,10E-09
456						1,06E-09
457						1,02E-09
458						9,82E-10
459						9,44E-10
460						9,08E-10
461						8,74E-10
462						8,41E-10
463						8,09E-10
464						7,78E-10
465						7,48E-10
466						7,20E-10
467						6,93E-10
468						6,66E-10
469						6,41E-10
470						6,17E-10
471						5,93E-10
472						5,71E-10
473						5,49E-10
474						5,28E-10
475						5,08E-10
476						4,89E-10
477						4,70E-10
478						4,52E-10
479						4,35E-10
480						4,18E-10
481						4,03E-10
482						3,87E-10
483						3,73E-10
484						3,58E-10
485						3,45E-10
486						3,32E-10
487						3,19E-10
488						3,07E-10
489						2,95E-10
490						2,84E-10
491						2,73E-10
492						2,63E-10
493						2,53E-10
494						2,43E-10
495						2,34E-10
496						2,25E-10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
497						2,17E-10
498						2,08E-10
499						2,00E-10
500						1,93E-10
501						1,85E-10
502						1,78E-10
503						1,72E-10
504						1,65E-10
505						1,59E-10
506						1,53E-10
507						1,47E-10
508						1,41E-10
509						1,36E-10
510						1,31E-10
511						1,26E-10

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 39: Dichtefunktionen für die Schleife bei 10000 Messungen, $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.05$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						2,23E-09
1	0,279378088	0,45177434				1,92E-09
2	0,194889719	0,250379133				1,66E-09
3	0,15035555	0,138155899				1,43E-09
4	0,11413764	0,074916591				1,23E-09
5	0,082620224	0,036093418				1,06E-09
6	0,06080511	0,021989688	0,5918			9,13E-10
7	0,04411233	0,013800425	0,2419	0,1007	0,099201572	0,099201572
8	0,034108714	0,006369427	0,0986	0,1115	0,109750377	0,109750378
9	0,023622996	0,004094631	0,0382	0,1025	0,103210875	0,103210875
10	0,015969628	0,002426448	0,0175	0,0939	0,092093919	0,09209392
11			0,0072	0,0783	0,080508146	0,080508146
12			0,0038	0,0729	0,070463694	0,070463694
13			0,0006	0,0595	0,061783275	0,061783275
14			0,0004	0,0556	0,05481853	0,05481853
15				0,0442	0,048007593	0,048008238
16				0,0418	0,041811012	0,041814953
17				0,0352	0,032646002	0,032659475
18				0,0275	0,027740463	0,027774402
19				0,0247	0,024065278	0,024135414
20				0,0222	0,020907319	0,021033139
21				0,0168	0,018051569	0,018254393
22				0,0178	0,015500192	0,015800844
23				0,0132	0,01323227	0,013648802
24				0,011	0,011238009	0,011783845
25				0,0101	0,009475591	0,010158151
26				0,0076	0,007928178	0,008748032
27				0,0072	0,006576568	0,007527212
28				0,0072	0,005405577	0,006473851
29				0,0048	0,00440782	0,005574937
30				0,0039	0,003561622	0,004804653
31				0,0031	0,002848306	0,004141914
32				0,003	0,002252295	0,003570478
33				0,0035	0,001759791	0,003077456
34				0,0028	0,001357969	0,002652208
35				0,0021	0,001034549	0,002285559
36				0,0016	0,000777824	0,001969477
37				0,0017	0,000576979	0,00169706
38				0,0019	0,000422171	0,001462324
39				0,0011	0,000304618	0,001260063
40				0,0013	0,00021672	0,001085807
41				0,0012	0,000151995	0,000935671
42				0,0006	0,00010506	0,000806302
43				0,0009	7,16E-05	0,00069482
44				0,0004	4,80E-05	0,000598748
45				0,0006	3,17E-05	0,000515958
46				0,0005	2,06E-05	0,000444615
47				0,0004	1,32E-05	0,000383135
48				0,0006	8,33E-06	0,000330156
49				0,0001	5,17E-06	0,000284504
50				0	3,15E-06	0,000245164
51				0,0001	1,89E-06	0,000211264
52				0,0005	1,12E-06	0,000182051
53				0,0003	6,49E-07	0,000156878
54				0,0005	3,71E-07	0,000135186
55				0	2,08E-07	0,000116493
56				0,0003	1,15E-07	0,000100385
57				0,0001	6,20E-08	8,65E-05
58				0	3,30E-08	7,45E-05
59				0,0001	1,72E-08	6,42E-05
60				0	8,80E-09	5,54E-05
61				0,0001	4,42E-09	4,77E-05
62				0,0001	2,17E-09	4,11E-05
63				0	1,05E-09	3,54E-05
64				0,0001	4,94E-10	3,05E-05
65				0	2,28E-10	2,63E-05
66				0	1,03E-10	2,27E-05
67				0	4,52E-11	1,95E-05
68				0	1,94E-11	1,68E-05
69				0,0001	8,08E-12	1,45E-05
70				0	3,28E-12	1,25E-05
71				0,0001	1,29E-12	1,08E-05
72				0,0001	4,89E-13	9,28E-06
73					1,79E-13	8,00E-06
74					6,28E-14	6,89E-06
75					2,11E-14	5,94E-06
76					6,79E-15	5,12E-06
77					2,07E-15	4,41E-06
78					5,90E-16	3,80E-06
79					1,56E-16	3,27E-06
80					3,71E-17	2,82E-06
81					7,73E-18	2,43E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82					1,34E-18	2,10E-06
83					1,78E-19	1,81E-06
84					1,43E-20	1,56E-06
85						1,34E-06
86						1,16E-06
87						9,96E-07
88						8,58E-07
89						7,39E-07
90						6,37E-07
91						5,49E-07
92						4,73E-07
93						4,08E-07
94						3,51E-07
95						3,03E-07
96						2,61E-07
97						2,25E-07
98						1,94E-07
99						1,67E-07
100						1,44E-07
101						1,24E-07
102						1,07E-07
103						9,20E-08
104						7,93E-08
105						6,84E-08
106						5,89E-08
107						5,08E-08
108						4,37E-08
109						3,77E-08
110						3,25E-08
111						2,80E-08
112						2,41E-08
113						2,08E-08
114						1,79E-08
115						1,54E-08
116						1,33E-08
117						1,15E-08
118						9,87E-09
119						8,51E-09
120						7,33E-09
121						6,32E-09
122						5,45E-09
123						4,69E-09
124						4,04E-09
125						3,48E-09
126						3,00E-09
127						

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 40: Dichtefunktionen für die Schleife bei 10000 Messungen, $p = 0.4$ und $\varepsilon = 0.01$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						2,23E-09
1	0,279378088	0,45177434				1,92E-09
2	0,194889719	0,250379133				1,66E-09
3	0,15035555	0,138155899				1,43E-09
4	0,11413764	0,074916591				1,23E-09
5	0,082620224	0,036093418				1,06E-09
6	0,06080511	0,021989688	0,5918			9,13E-10
7	0,04411233	0,013800425	0,2419	0,1007	0,099201572	0,099201572
8	0,034108714	0,006369427	0,0986	0,1115	0,109750377	0,109750378
9	0,023622996	0,004094631	0,0382	0,1025	0,103210875	0,103210875
10	0,015969628	0,002426448	0,0175	0,0939	0,092093919	0,09209392
11			0,0072	0,0783	0,080508146	0,080508146
12			0,0038	0,0729	0,070463694	0,070463694
13			0,0006	0,0595	0,061783275	0,061783275
14			0,0004	0,0556	0,05481853	0,05481853
15				0,0442	0,048008238	0,048008238
16				0,0418	0,041814952	0,041814953
17				0,0352	0,032659474	0,032659475
18				0,0275	0,027774402	0,027774402
19				0,0247	0,024135413	0,024135414
20				0,0222	0,021033124	0,021033139
21				0,0168	0,018254327	0,018254393
22				0,0178	0,015800622	0,015800844
23				0,0132	0,013648205	0,013648802
24				0,011	0,011782478	0,011783845
25				0,0101	0,010155377	0,010158151
26				0,0076	0,008742934	0,008748032
27				0,0072	0,007518569	0,007527212
28				0,0072	0,006460156	0,006473851
29				0,0048	0,005554448	0,005574937
30				0,0039	0,004775486	0,004804653
31				0,0031	0,004102157	0,004141914
32				0,003	0,003518326	0,003570478
33				0,0035	0,003011353	0,003077456
34				0,0028	0,002570973	0,002652208
35				0,0021	0,002188495	0,002285559
36				0,0016	0,001856446	0,001969477
37				0,0017	0,001568515	0,00169706
38				0,0019	0,001319299	0,001462324
39				0,0011	0,001104125	0,001260063
40				0,0013	0,000918971	0,001085807
41				0,0012	0,000760295	0,000935671
42				0,0006	0,000624963	0,000806302
43				0,0009	0,000510188	0,00069482
44				0,0004	0,000413464	0,000598748
45				0,0006	0,000332525	0,000515958
46				0,0005	0,000265309	0,000444615
47				0,0004	0,000209941	0,000383135
48				0,0006	0,000164723	0,000330156
49				0,0001	0,000128121	0,000284504
50				0	9,88E-05	0,000245164
51				0,0001	7,54E-05	0,000211264
52				0,0005	5,71E-05	0,000182051
53				0,0003	4,28E-05	0,000156878
54				0,0005	3,18E-05	0,000135186
55				0	2,34E-05	0,000116493
56				0,0003	1,70E-05	0,000100385
57				0,0001	1,23E-05	8,65E-05
58				0	8,78E-06	7,45E-05
59				0,0001	6,21E-06	6,42E-05
60				0	4,35E-06	5,54E-05
61				0,0001	3,01E-06	4,77E-05
62				0,0001	2,07E-06	4,11E-05
63				0	1,40E-06	3,54E-05
64				0,0001	9,44E-07	3,05E-05
65				0	6,28E-07	2,63E-05
66				0	4,14E-07	2,27E-05
67				0	2,70E-07	1,95E-05
68				0	1,74E-07	1,68E-05
69				0,0001	1,11E-07	1,45E-05
70				0	7,00E-08	1,25E-05
71				0,0001	4,37E-08	1,08E-05
72				0,0001	2,70E-08	9,28E-06
73					1,65E-08	8,00E-06
74					9,99E-09	6,89E-06
75					5,98E-09	5,94E-06
76					3,54E-09	5,12E-06
77					2,07E-09	4,41E-06
78					1,20E-09	3,80E-06
79					6,85E-10	3,27E-06
80					3,87E-10	2,82E-06
81					2,16E-10	2,43E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82					1,20E-10	2,10E-06
83					6,53E-11	1,81E-06
84					3,53E-11	1,56E-06
85					1,88E-11	1,34E-06
86					9,90E-12	1,16E-06
87					5,15E-12	9,96E-07
88					2,65E-12	8,58E-07
89					1,34E-12	7,39E-07
90					6,72E-13	6,37E-07
91					3,32E-13	5,49E-07
92					1,62E-13	4,73E-07
93					7,76E-14	4,08E-07
94					3,68E-14	3,51E-07
95					1,72E-14	3,03E-07
96					7,89E-15	2,61E-07
97					3,57E-15	2,25E-07
98					1,59E-15	1,94E-07
99					6,96E-16	1,67E-07
100					3,00E-16	1,44E-07
101					1,27E-16	1,24E-07
102					5,26E-17	1,07E-07
103					2,14E-17	9,20E-08
104					8,53E-18	7,93E-08
105					3,33E-18	6,84E-08
106					1,27E-18	5,89E-08
107					4,72E-19	5,08E-08
108					1,71E-19	4,37E-08
109					6,02E-20	3,77E-08
110					2,06E-20	3,25E-08
111					6,82E-21	2,80E-08
112					2,18E-21	2,41E-08
113					6,70E-22	2,08E-08
114					1,97E-22	1,79E-08
115					5,54E-23	1,54E-08
116					1,47E-23	1,33E-08
117					3,65E-24	1,15E-08
118					8,40E-25	9,87E-09
119					1,76E-25	8,51E-09
120					3,27E-26	7,33E-09
121					5,22E-27	6,32E-09
122					6,78E-28	5,45E-09
123					6,45E-29	4,69E-09
124					3,43E-30	4,04E-09
125						3,48E-09
126						3,00E-09
127						2,59E-09

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 41: Dichtefunktionen für die Schleife bei 10000 Messungen, $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.05$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						9,08E-11
1	0,276206025	0,45049345				8,73E-11
2	0,206243654	0,245705621				8,39E-11
3	0,151352858	0,138116191				8,07E-11
4	0,108288371	0,074701071				7,76E-11
5	0,079479165	0,041141522				7,46E-11
6	0,058414797	0,023690556	0,5904			7,17E-11
7	0,043880781	0,012653193	0,2371	0,0386	0,032614407	0,032614407
8	0,033627332	0,006960499	0,1018	0,0358	0,03745094	0,03745094
9	0,024707826	0,00484749	0,0432	0,0356	0,036521917	0,036521917
10	0,017659824	0,001690407	0,0165	0,0307	0,034472283	0,034472283
11	0,000119458		0,0066	0,032	0,032843964	0,032843964
12	1,99E-05		0,0025	0,0292	0,031581896	0,031581896
13			0,001	0,0302	0,030625436	0,030625436
14			0,0006	0,0292	0,029859941	0,029859941
15			0,0002	0,0278	0,029023027	0,029023027
16			0,0001	0,0288	0,028149464	0,028149464
17				0,024	0,025852039	0,025852039
18				0,0212	0,024883027	0,024883027
19				0,0245	0,02403482	0,02403482
20				0,0219	0,02317445	0,02317445
21				0,0226	0,022314556	0,022314556
22				0,0214	0,021470935	0,021470935
23				0,0175	0,020653006	0,020653007
24				0,0195	0,019861974	0,019861974
25				0,0187	0,019097262	0,019097262
26				0,0176	0,018358472	0,018358472
27				0,0188	0,017644656	0,017644656
28				0,0148	0,016957148	0,016957148
29				0,0157	0,016302069	0,016302069
30				0,0166	0,015674007	0,015674007
31				0,0182	0,015070176	0,015070176
32				0,0173	0,01448927	0,01448927
33				0,0153	0,013930482	0,013930482
34				0,0152	0,013393085	0,013393085
35				0,0146	0,012876311	0,012876311
36				0,0089	0,012379414	0,012379414
37				0,0115	0,011901677	0,011901677
38				0,0114	0,01144237	0,01144237
39				0,0109	0,011000802	0,011000802
40				0,0109	0,010576313	0,010576313
41				0,009	0,010168221	0,010168221
42				0,0113	0,009775877	0,009775878
43				0,0114	0,009398669	0,009398669
44				0,0095	0,009036011	0,009036011
45				0,0091	0,008687342	0,008687345
46				0,0097	0,008352125	0,00835213
47				0,009	0,008029838	0,00802985
48				0,0069	0,007719979	0,007720006
49				0,0072	0,007422065	0,007422117
50				0,0071	0,007135624	0,007135724
51				0,0059	0,006860198	0,006860381
52				0,0069	0,006595341	0,006595664
53				0,0062	0,00634061	0,006341161
54				0,005	0,00609557	0,006096478
55				0,005	0,005859782	0,005861236
56				0,0077	0,005632805	0,005635072
57				0,0048	0,005414192	0,005417634
58				0,0045	0,005203483	0,005208587
59				0,0057	0,005000207	0,005007606
60				0,0046	0,004803878	0,00481438
61				0,0048	0,004614	0,00462861
62				0,0043	0,004430061	0,004450009
63				0,0043	0,004251548	0,004278299
64				0,0042	0,004077941	0,004113214
65				0,0039	0,003908731	0,0039545
66				0,0044	0,003743422	0,00380191
67				0,0046	0,003581546	0,003655207
68				0,0032	0,003422673	0,003514166
69				0,0029	0,003266421	0,003378567
70				0,0032	0,003112469	0,0032482
71				0,0044	0,002960565	0,003122863
72				0,0029	0,002810534	0,003002363
73				0,0043	0,002662284	0,002886512
74				0,0035	0,00251581	0,002775132
75				0,0035	0,002371187	0,00266805
76				0,0038	0,002228576	0,002565099
77				0,0024	0,00208821	0,002466121
78				0,0025	0,001950386	0,002370962
79				0,0029	0,001815454	0,002279475
80				0,0022	0,001683804	0,002191518
81				0,0024	0,001555847	0,002106955

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82				0,0024	0,001432003	0,002025655
83				0,0021	0,001312685	0,001947492
84				0,0023	0,001198284	0,001872345
85				0,0032	0,001089153	0,001800098
86				0,0022	0,000985601	0,001730639
87				0,0016	0,000887879	0,00166386
88				0,0017	0,000796175	0,001599657
89				0,0017	0,00071061	0,001537932
90				0,0017	0,000631237	0,001478589
91				0,0013	0,000558041	0,001421535
92				0,0007	0,00049094	0,001366683
93				0,0009	0,000429795	0,001313948
94				0,0011	0,000374409	0,001263247
95				0,0015	0,000324542	0,001214503
96				0,0005	0,000279913	0,00116764
97				0,0009	0,000240211	0,001122584
98				0,0015	0,000205103	0,001079268
99				0,0008	0,000174243	0,001037623
100				0,0008	0,000147279	0,000997585
101				0,0007	0,000123858	0,000959091
102				0,001	0,000103634	0,000922083
103				0,0008	8,63E-05	0,000886503
104				0,0007	7,15E-05	0,000852296
105				0,0012	5,89E-05	0,000819409
106				0,0008	4,83E-05	0,000787791
107				0,0005	3,94E-05	0,000757393
108				0,0006	3,20E-05	0,000728168
109				0,0006	2,58E-05	0,000700071
110				0,0005	2,07E-05	0,000673057
111				0,0007	1,66E-05	0,000647086
112				0,0007	1,32E-05	0,000622118
113				0,0007	1,04E-05	0,000598112
114				0,0009	8,23E-06	0,000575033
115				0,0003	6,45E-06	0,000552845
116				0	5,03E-06	0,000531512
117				0,0007	3,90E-06	0,000511003
118				0,0007	3,01E-06	0,000491285
119				0,0001	2,31E-06	0,000472328
120				0,0009	1,77E-06	0,000454103
121				0,0002	1,35E-06	0,000436581
122				0,0004	1,02E-06	0,000419735
123				0,0003	7,68E-07	0,000403539
124				0,0001	5,76E-07	0,000387967
125				0,0003	4,30E-07	0,000372997
126				0,0003	3,19E-07	0,000358605
127				0,0004	2,36E-07	0,000344767
128				0,0002	1,73E-07	0,000331464
129				0	1,27E-07	0,000318674
130				0,0004	9,24E-08	0,000306377
131				0,0001	6,70E-08	0,000294555
132				0,0002	4,83E-08	0,00028319
133				0	3,47E-08	0,000272262
134				0	2,48E-08	0,000261757
135				0,0003	1,76E-08	0,000251656
136				0	1,25E-08	0,000241946
137				0,0002	8,80E-09	0,00023261
138				0,0001	6,17E-09	0,000223634
139				0,0002	4,30E-09	0,000215005
140				0	2,99E-09	0,000206709
141				0,0003	2,07E-09	0,000198733
142				0,0001	1,42E-09	0,000191064
143				0,0003	9,74E-10	0,000183692
144				0,0001	6,64E-10	0,000176604
145				0	4,50E-10	0,000169789
146				0,0004	3,04E-10	0,000163238
147				0	2,04E-10	0,000156939
148				0	1,37E-10	0,000150883
149				0,0003	9,10E-11	0,000145061
150				0,0002	6,03E-11	0,000139464
151				0,0003	3,98E-11	0,000134082
152				0,0002	2,61E-11	0,000128909
153				0,0001	1,70E-11	0,000123934
154				0	1,11E-11	0,000119152
155				0,0004	7,17E-12	0,000114555
156				0,0003	4,62E-12	0,000110134
157				0,0002	2,96E-12	0,000105885
158				0,0005	1,89E-12	0,000101799
159				0	1,20E-12	9,79E-05
160				0,0001	7,59E-13	9,41E-05
161				0	4,78E-13	9,05E-05
162				0,0001	2,99E-13	8,70E-05
163				0	1,86E-13	8,36E-05
164				0	1,16E-13	8,04E-05

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
165				0	7,13E-14	7,73E-05
166				0,0003	4,38E-14	7,43E-05
167				0	2,68E-14	7,14E-05
168				0,0003	1,63E-14	6,87E-05
169				0,0001	9,87E-15	6,60E-05
170				0	5,95E-15	6,35E-05
171				0,0002	3,57E-15	6,10E-05
172				0,0001	2,13E-15	5,87E-05
173				0	1,27E-15	5,64E-05
174				0	7,48E-16	5,42E-05
175				0	4,40E-16	5,21E-05
176				0,0001	2,58E-16	5,01E-05
177				0,0001	1,50E-16	4,82E-05
178				0,0002	8,70E-17	4,63E-05
179				0,0003	5,02E-17	4,46E-05
180				0	2,88E-17	4,28E-05
181				0	1,64E-17	4,12E-05
182				0,0001	9,35E-18	3,96E-05
183				0	5,28E-18	3,81E-05
184				0,0003	2,97E-18	3,66E-05
185				0	1,66E-18	3,52E-05
186				0,0001	9,27E-19	3,38E-05
187				0	5,13E-19	3,25E-05
188				0	2,83E-19	3,13E-05
189				0	1,55E-19	3,01E-05
190				0	8,47E-20	2,89E-05
191				0	4,59E-20	2,78E-05
192				0	2,48E-20	2,67E-05
193				0	1,33E-20	2,57E-05
194				0,0001	7,12E-21	2,47E-05
195				0	3,78E-21	2,37E-05
196				0	2,00E-21	2,28E-05
197				0	1,05E-21	2,19E-05
198				0,0001	5,49E-22	2,11E-05
199					2,86E-22	2,03E-05
200					1,48E-22	1,95E-05
201					7,59E-23	1,87E-05
202					3,88E-23	1,80E-05
203					1,97E-23	1,73E-05
204					9,98E-24	1,67E-05
205					5,02E-24	1,60E-05
206					2,51E-24	1,54E-05
207					1,25E-24	1,48E-05
208					6,16E-25	1,42E-05
209					3,02E-25	1,37E-05
210					1,48E-25	1,32E-05
211					7,16E-26	1,26E-05
212					3,45E-26	1,22E-05
213					1,66E-26	1,17E-05
214					7,88E-27	1,12E-05
215					3,73E-27	1,08E-05
216					1,75E-27	1,04E-05
217					8,20E-28	9,99E-06
218					3,80E-28	9,60E-06
219					1,75E-28	9,23E-06
220					8,03E-29	8,88E-06
221					3,65E-29	8,53E-06
222					1,65E-29	8,20E-06
223					7,41E-30	7,89E-06
224					3,30E-30	7,58E-06
225					1,46E-30	7,29E-06
226					6,41E-31	7,01E-06
227					2,79E-31	6,74E-06
228					1,21E-31	6,48E-06
229					5,19E-32	6,23E-06
230					2,21E-32	5,99E-06
231					9,34E-33	5,76E-06
232					3,92E-33	5,53E-06
233					1,63E-33	5,32E-06
234					6,71E-34	5,12E-06
235					2,75E-34	4,92E-06
236					1,11E-34	4,73E-06
237					4,47E-35	4,55E-06
238					1,78E-35	4,37E-06
239					7,02E-36	4,20E-06
240					2,74E-36	4,04E-06
241					1,06E-36	3,88E-06
242					4,07E-37	3,73E-06
243					1,54E-37	3,59E-06
244					5,79E-38	3,45E-06
245					2,15E-38	3,32E-06
246					7,90E-39	3,19E-06
247					2,87E-39	3,07E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
248					1,03E-39	2,95E-06
249					3,65E-40	2,84E-06
250					1,28E-40	2,73E-06
251					4,42E-41	2,62E-06
252					1,51E-41	2,52E-06
253					5,08E-42	2,42E-06
254					1,68E-42	2,33E-06
255					5,51E-43	2,24E-06
256					1,77E-43	2,15E-06
257					5,61E-44	2,07E-06
258					1,75E-44	1,99E-06
259					5,34E-45	1,91E-06
260					1,60E-45	1,84E-06
261					4,71E-46	1,77E-06
262					1,36E-46	1,70E-06
263					3,83E-47	1,63E-06
264					1,05E-47	1,57E-06
265					2,83E-48	1,51E-06
266					7,42E-49	1,45E-06
267					1,89E-49	1,40E-06
268					4,66E-50	1,34E-06
269					1,11E-50	1,29E-06
270					2,57E-51	1,24E-06
271					5,72E-52	1,19E-06
272					1,22E-52	1,15E-06
273					2,50E-53	1,10E-06
274					4,88E-54	1,06E-06
275					9,04E-55	1,02E-06
276					1,58E-55	9,80E-07
277					2,62E-56	9,42E-07
278					4,05E-57	9,06E-07
279					5,84E-58	8,71E-07
280					7,82E-59	8,37E-07
281					9,67E-60	8,05E-07
282					1,10E-60	7,74E-07
283					1,15E-61	7,44E-07
284					1,10E-62	7,15E-07
285					9,60E-64	6,88E-07
286					7,74E-65	6,61E-07
287					5,74E-66	6,36E-07
288					3,93E-67	6,11E-07
289					2,50E-68	5,87E-07
290					1,48E-69	5,65E-07
291					8,12E-71	5,43E-07
292					4,17E-72	5,22E-07
293					2,00E-73	5,02E-07
294					9,01E-75	4,83E-07
295					3,80E-76	4,64E-07
296					1,50E-77	4,46E-07
297					5,58E-79	4,29E-07
298					1,95E-80	4,12E-07
299					6,37E-82	3,96E-07
300					1,97E-83	3,81E-07
301					5,63E-85	3,66E-07
302					1,53E-86	3,52E-07
303					3,81E-88	3,39E-07
304					9,02E-90	3,26E-07
305					1,93E-91	3,13E-07
306					3,95E-93	3,01E-07
307					7,11E-95	2,89E-07
308					1,23E-96	2,78E-07
309					1,78E-98	2,67E-07
310					2,55E-100	2,57E-07
311					2,73E-102	2,47E-07
312					3,08E-104	2,38E-07
313					1,92E-106	2,28E-07
314					1,56E-108	2,20E-07
315						2,11E-07
316						2,03E-07
317						1,95E-07
318						1,88E-07
319						1,80E-07
320						1,73E-07
321						1,67E-07
322						1,60E-07
323						1,54E-07
324						1,48E-07
325						1,42E-07
326						1,37E-07
327						1,32E-07
328						1,27E-07
329						1,22E-07
330						1,17E-07

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
331						1,13E-07
332						1,08E-07
333						1,04E-07
334						1,00E-07
335						9,61E-08
336						9,24E-08
337						8,89E-08
338						8,54E-08
339						8,21E-08
340						7,90E-08
341						7,59E-08
342						7,30E-08
343						7,02E-08
344						6,75E-08
345						6,49E-08
346						6,24E-08
347						5,99E-08
348						5,76E-08
349						5,54E-08
350						5,33E-08
351						5,12E-08
352						4,92E-08
353						4,73E-08
354						4,55E-08
355						4,38E-08
356						4,21E-08
357						4,04E-08
358						3,89E-08
359						3,74E-08
360						3,59E-08
361						3,46E-08
362						3,32E-08
363						3,19E-08
364						3,07E-08
365						2,95E-08
366						2,84E-08
367						2,73E-08
368						2,62E-08
369						2,52E-08
370						2,43E-08
371						2,33E-08
372						2,24E-08
373						2,15E-08
374						2,07E-08
375						1,99E-08
376						1,92E-08
377						1,84E-08
378						1,77E-08
379						1,70E-08
380						1,64E-08
381						1,57E-08
382						1,51E-08
383						1,45E-08
384						1,40E-08
385						1,34E-08
386						1,29E-08
387						1,24E-08
388						1,19E-08
389						1,15E-08
390						1,10E-08
391						1,06E-08
392						1,02E-08
393						9,81E-09
394						9,43E-09
395						9,07E-09
396						8,72E-09
397						8,38E-09
398						8,06E-09
399						7,75E-09
400						7,45E-09
401						7,16E-09
402						6,88E-09
403						6,62E-09
404						6,36E-09
405						6,12E-09
406						5,88E-09
407						5,65E-09
408						5,44E-09
409						5,23E-09
410						5,02E-09
411						4,83E-09
412						4,64E-09
413						4,47E-09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
414						4,29E-09
415						4,13E-09
416						3,97E-09
417						3,81E-09
418						3,67E-09
419						3,53E-09
420						3,39E-09
421						3,26E-09
422						3,13E-09
423						3,01E-09
424						2,90E-09
425						2,78E-09
426						2,68E-09
427						2,57E-09
428						2,47E-09
429						2,38E-09
430						2,29E-09
431						2,20E-09
432						2,11E-09
433						2,03E-09
434						1,95E-09
435						1,88E-09
436						1,81E-09
437						1,74E-09
438						1,67E-09
439						1,61E-09
440						1,54E-09
441						1,48E-09
442						1,43E-09
443						1,37E-09
444						1,32E-09
445						1,27E-09
446						1,22E-09
447						1,17E-09
448						1,13E-09
449						1,08E-09
450						1,04E-09
451						1,00E-09
452						9,62E-10
453						9,25E-10
454						8,90E-10
455						8,55E-10
456						8,22E-10
457						7,91E-10
458						7,60E-10
459						7,31E-10
460						7,02E-10
461						6,75E-10
462						6,49E-10
463						6,24E-10
464						6,00E-10
465						5,77E-10
466						5,55E-10
467						5,33E-10
468						5,13E-10
469						4,93E-10
470						4,74E-10
471						4,56E-10
472						4,38E-10
473						4,21E-10
474						4,05E-10
475						3,89E-10
476						3,74E-10
477						3,60E-10
478						3,46E-10
479						3,33E-10
480						3,20E-10
481						3,07E-10
482						2,96E-10
483						2,84E-10
484						2,73E-10
485						2,63E-10
486						2,53E-10
487						2,43E-10
488						2,33E-10
489						2,24E-10
490						2,16E-10
491						2,07E-10
492						1,99E-10
493						1,92E-10
494						1,84E-10
495						1,77E-10
496						1,70E-10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
497						1,64E-10
498						1,57E-10
499						1,51E-10
500						1,46E-10
501						1,40E-10
502						1,35E-10
503						1,29E-10
504						1,24E-10
505						1,20E-10
506						1,15E-10
507						1,11E-10
508						1,06E-10
509						1,02E-10
510						9,82E-11
511						9,44E-11

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 42: Dichtefunktionen für die Schleife bei 10000 Messungen, $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.01$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						9,08E-11
1	0,276206025	0,45049345				8,73E-11
2	0,206243654	0,245705621				8,39E-11
3	0,151352858	0,138116191				8,07E-11
4	0,108288371	0,074701071				7,76E-11
5	0,079479165	0,041141522				7,46E-11
6	0,058414797	0,023690556	0,5904			7,17E-11
7	0,043880781	0,012653193	0,2371	0,0386	0,032614407	0,032614407
8	0,033627332	0,006960499	0,1018	0,0358	0,03745094	0,03745094
9	0,024707826	0,00484749	0,0432	0,0356	0,036521917	0,036521917
10	0,017659824	0,001690407	0,0165	0,0307	0,034472283	0,034472283
11	0,000119458		0,0066	0,032	0,032843964	0,032843964
12	1,99E-05		0,0025	0,0292	0,031581896	0,031581896
13			0,001	0,0302	0,030625436	0,030625436
14			0,0006	0,0292	0,029859941	0,029859941
15			0,0002	0,0278	0,029023027	0,029023027
16			0,0001	0,0288	0,028149464	0,028149464
17				0,024	0,025852039	0,025852039
18				0,0212	0,024883027	0,024883027
19				0,0245	0,02403482	0,02403482
20				0,0219	0,02317445	0,02317445
21				0,0226	0,022314556	0,022314556
22				0,0214	0,021470935	0,021470935
23				0,0175	0,020653006	0,020653007
24				0,0195	0,019861974	0,019861974
25				0,0187	0,019097262	0,019097262
26				0,0176	0,018358472	0,018358472
27				0,0188	0,017644656	0,017644656
28				0,0148	0,016957148	0,016957148
29				0,0157	0,016302069	0,016302069
30				0,0166	0,015674007	0,015674007
31				0,0182	0,015070176	0,015070176
32				0,0173	0,01448927	0,01448927
33				0,0153	0,013930482	0,013930482
34				0,0152	0,013393085	0,013393085
35				0,0146	0,012876311	0,012876311
36				0,0089	0,012379414	0,012379414
37				0,0115	0,011901677	0,011901677
38				0,0114	0,01144237	0,01144237
39				0,0109	0,011000802	0,011000802
40				0,0109	0,010576313	0,010576313
41				0,009	0,010168221	0,010168221
42				0,0113	0,009775878	0,009775878
43				0,0114	0,009398669	0,009398669
44				0,0095	0,009036011	0,009036011
45				0,0091	0,008687345	0,008687345
46				0,0097	0,00835213	0,00835213
47				0,009	0,00802985	0,00802985
48				0,0069	0,007720006	0,007720006
49				0,0072	0,007422117	0,007422117
50				0,0071	0,007135724	0,007135724
51				0,0059	0,006860381	0,006860381
52				0,0069	0,006595664	0,006595664
53				0,0062	0,006341161	0,006341161
54				0,005	0,006096478	0,006096478
55				0,005	0,005861236	0,005861236
56				0,0077	0,005635072	0,005635072
57				0,0048	0,005417634	0,005417634
58				0,0045	0,005208587	0,005208587
59				0,0057	0,005007606	0,005007606
60				0,0046	0,00481438	0,00481438
61				0,0048	0,00462861	0,00462861
62				0,0043	0,004450009	0,004450009
63				0,0043	0,004278299	0,004278299
64				0,0042	0,004113214	0,004113214
65				0,0039	0,0039545	0,0039545
66				0,0044	0,00380191	0,00380191
67				0,0046	0,003655207	0,003655207
68				0,0032	0,003514166	0,003514166
69				0,0029	0,003378567	0,003378567
70				0,0032	0,0032482	0,0032482
71				0,0044	0,003122863	0,003122863
72				0,0029	0,003002362	0,003002363
73				0,0043	0,002886511	0,002886512
74				0,0035	0,002775131	0,002775132
75				0,0035	0,002668047	0,00266805
76				0,0038	0,002565095	0,002565099
77				0,0024	0,002466114	0,002466121
78				0,0025	0,00237095	0,002370962
79				0,0029	0,002279456	0,002279475
80				0,0022	0,002191489	0,002191518
81				0,0024	0,002106911	0,002106955

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitreich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82				0,0024	0,002025589	0,002025655
83				0,0021	0,001947394	0,001947492
84				0,0023	0,001872201	0,001872345
85				0,0032	0,001799891	0,001800098
86				0,0022	0,001730345	0,001730639
87				0,0016	0,001663449	0,00166386
88				0,0017	0,001599091	0,001599657
89				0,0017	0,001537161	0,001537932
90				0,0017	0,001477551	0,001478589
91				0,0013	0,001420156	0,001421535
92				0,0007	0,001364871	0,001366683
93				0,0009	0,001311592	0,001313948
94				0,0011	0,001260218	0,001263247
95				0,0015	0,001210649	0,001214503
96				0,0005	0,001162784	0,00116764
97				0,0009	0,001116528	0,001122584
98				0,0015	0,001071783	0,001079268
99				0,0008	0,001028458	0,001037623
100				0,0008	0,000986462	0,000997585
101				0,0007	0,000945709	0,000959091
102				0,001	0,000906116	0,000922083
103				0,0008	0,000867607	0,000886503
104				0,0007	0,00083011	0,000852296
105				0,0012	0,00079356	0,000819409
106				0,0008	0,000757898	0,000787791
107				0,0005	0,000723075	0,000757393
108				0,0006	0,000689048	0,000728168
109				0,0006	0,000655783	0,000700071
110				0,0005	0,000623255	0,000673057
111				0,0007	0,000591446	0,000647086
112				0,0007	0,000560348	0,000622118
113				0,0007	0,000529961	0,000598112
114				0,0009	0,000500292	0,000575033
115				0,0003	0,000471353	0,000552845
116				0	0,000443165	0,000531512
117				0,0007	0,000415751	0,000511003
118				0,0007	0,000389139	0,000491285
119				0,0001	0,000363359	0,000472328
120				0,0009	0,000338444	0,000454103
121				0,0002	0,000314425	0,000436581
122				0,0004	0,000291332	0,000419735
123				0,0003	0,000269194	0,000403539
124				0,0001	0,000248036	0,000387967
125				0,0003	0,00022788	0,000372997
126				0,0003	0,000208742	0,000358605
127				0,0004	0,000190633	0,000344767
128				0,0002	0,000173559	0,000331464
129				0	0,00015752	0,000318674
130				0,0004	0,000142508	0,000306377
131				0,0001	0,00012851	0,000294555
132				0,0002	0,000115509	0,00028319
133				0	0,000103481	0,000272262
134				0	9,24E-05	0,000261757
135				0,0003	8,22E-05	0,000251656
136				0	7,29E-05	0,000241946
137				0,0002	6,44E-05	0,00023261
138				0,0001	5,68E-05	0,000223634
139				0,0002	4,98E-05	0,000215005
140				0	4,36E-05	0,000206709
141				0,0003	3,80E-05	0,000198733
142				0,0001	3,30E-05	0,000191064
143				0,0003	2,86E-05	0,000183692
144				0,0001	2,46E-05	0,000176604
145				0	2,12E-05	0,000169789
146				0,0004	1,81E-05	0,000163238
147				0	1,55E-05	0,000156939
148				0	1,32E-05	0,000150883
149				0,0003	1,12E-05	0,000145061
150				0,0002	9,42E-06	0,000139464
151				0,0003	7,93E-06	0,000134082
152				0,0002	6,65E-06	0,000128909
153				0,0001	5,55E-06	0,000123934
154				0	4,62E-06	0,000119152
155				0,0004	3,84E-06	0,000114555
156				0,0003	3,17E-06	0,000110134
157				0,0002	2,61E-06	0,000105885
158				0,0005	2,15E-06	0,000101799
159				0	1,76E-06	9,79E-05
160				0,0001	1,43E-06	9,41E-05
161				0	1,16E-06	9,05E-05
162				0,0001	9,42E-07	8,70E-05
163				0	7,60E-07	8,36E-05
164				0	6,11E-07	8,04E-05

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitreich)	Berechnung (Frequenzbereich)
165				0	4,89E-07	7,73E-05
166				0,0003	3,91E-07	7,43E-05
167				0	3,11E-07	7,14E-05
168				0,0003	2,47E-07	6,87E-05
169				0,0001	1,95E-07	6,60E-05
170				0	1,54E-07	6,35E-05
171				0,0002	1,21E-07	6,10E-05
172				0,0001	9,43E-08	5,87E-05
173				0	7,35E-08	5,64E-05
174				0	5,71E-08	5,42E-05
175				0	4,42E-08	5,21E-05
176				0,0001	3,41E-08	5,01E-05
177				0,0001	2,63E-08	4,82E-05
178				0,0002	2,01E-08	4,63E-05
179				0,0003	1,54E-08	4,46E-05
180				0	1,17E-08	4,28E-05
181				0	8,89E-09	4,12E-05
182				0,0001	6,73E-09	3,96E-05
183				0	5,07E-09	3,81E-05
184				0,0003	3,81E-09	3,66E-05
185				0	2,86E-09	3,52E-05
186				0,0001	2,13E-09	3,38E-05
187				0	1,59E-09	3,25E-05
188				0	1,18E-09	3,13E-05
189				0	8,70E-10	3,01E-05
190				0	6,41E-10	2,89E-05
191				0	4,71E-10	2,78E-05
192				0	3,45E-10	2,67E-05
193				0	2,51E-10	2,57E-05
194				0,0001	1,83E-10	2,47E-05
195				0	1,33E-10	2,37E-05
196				0	9,58E-11	2,28E-05
197				0	6,90E-11	2,19E-05
198				0,0001	4,96E-11	2,11E-05
199					3,55E-11	2,03E-05
200					2,53E-11	1,95E-05
201					1,80E-11	1,87E-05
202					1,28E-11	1,80E-05
203					9,01E-12	1,73E-05
204					6,35E-12	1,67E-05
205					4,45E-12	1,60E-05
206					3,12E-12	1,54E-05
207					2,17E-12	1,48E-05
208					1,51E-12	1,42E-05
209					1,05E-12	1,37E-05
210					7,24E-13	1,32E-05
211					4,99E-13	1,26E-05
212					3,43E-13	1,22E-05
213					2,34E-13	1,17E-05
214					1,60E-13	1,12E-05
215					1,09E-13	1,08E-05
216					7,37E-14	1,04E-05
217					4,98E-14	9,99E-06
218					3,36E-14	9,60E-06
219					2,25E-14	9,23E-06
220					1,51E-14	8,88E-06
221					1,01E-14	8,53E-06
222					6,70E-15	8,20E-06
223					4,44E-15	7,89E-06
224					2,94E-15	7,58E-06
225					1,94E-15	7,29E-06
226					1,27E-15	7,01E-06
227					8,33E-16	6,74E-06
228					5,43E-16	6,48E-06
229					3,54E-16	6,23E-06
230					2,29E-16	5,99E-06
231					1,48E-16	5,76E-06
232					9,56E-17	5,53E-06
233					6,14E-17	5,32E-06
234					3,93E-17	5,12E-06
235					2,51E-17	4,92E-06
236					1,60E-17	4,73E-06
237					1,01E-17	4,55E-06
238					6,42E-18	4,37E-06
239					4,05E-18	4,20E-06
240					2,54E-18	4,04E-06
241					1,59E-18	3,88E-06
242					9,95E-19	3,73E-06
243					6,19E-19	3,59E-06
244					3,84E-19	3,45E-06
245					2,38E-19	3,32E-06
246					1,47E-19	3,19E-06
247					9,01E-20	3,07E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
248					5,52E-20	2,95E-06
249					3,37E-20	2,84E-06
250					2,05E-20	2,73E-06
251					1,24E-20	2,62E-06
252					7,53E-21	2,52E-06
253					4,54E-21	2,42E-06
254					2,73E-21	2,33E-06
255					1,63E-21	2,24E-06
256					9,76E-22	2,15E-06
257					5,81E-22	2,07E-06
258					3,45E-22	1,99E-06
259					2,04E-22	1,91E-06
260					1,20E-22	1,84E-06
261					7,06E-23	1,77E-06
262					4,13E-23	1,70E-06
263					2,41E-23	1,63E-06
264					1,40E-23	1,57E-06
265					8,13E-24	1,51E-06
266					4,70E-24	1,45E-06
267					2,71E-24	1,40E-06
268					1,55E-24	1,34E-06
269					8,90E-25	1,29E-06
270					5,07E-25	1,24E-06
271					2,88E-25	1,19E-06
272					1,63E-25	1,15E-06
273					9,22E-26	1,10E-06
274					5,19E-26	1,06E-06
275					2,91E-26	1,02E-06
276					1,63E-26	9,80E-07
277					9,06E-27	9,42E-07
278					5,03E-27	9,06E-07
279					2,78E-27	8,71E-07
280					1,53E-27	8,37E-07
281					8,43E-28	8,05E-07
282					4,62E-28	7,74E-07
283					2,52E-28	7,44E-07
284					1,37E-28	7,15E-07
285					7,42E-29	6,88E-07
286					4,01E-29	6,61E-07
287					2,16E-29	6,36E-07
288					1,16E-29	6,11E-07
289					6,18E-30	5,87E-07
290					3,29E-30	5,65E-07
291					1,74E-30	5,43E-07
292					9,22E-31	5,22E-07
293					4,85E-31	5,02E-07
294					2,55E-31	4,83E-07
295					1,33E-31	4,64E-07
296					6,94E-32	4,46E-07
297					3,60E-32	4,29E-07
298					1,86E-32	4,12E-07
299					9,59E-33	3,96E-07
300					4,92E-33	3,81E-07
301					2,52E-33	3,66E-07
302					1,28E-33	3,52E-07
303					6,50E-34	3,39E-07
304					3,29E-34	3,26E-07
305					1,66E-34	3,13E-07
306					8,31E-35	3,01E-07
307					4,15E-35	2,89E-07
308					2,07E-35	2,78E-07
309					1,02E-35	2,67E-07
310					5,06E-36	2,57E-07
311					2,49E-36	2,47E-07
312					1,22E-36	2,38E-07
313					5,95E-37	2,28E-07
314					2,89E-37	2,20E-07
315					1,40E-37	2,11E-07
316					6,74E-38	2,03E-07
317					3,23E-38	1,95E-07
318					1,55E-38	1,88E-07
319					7,36E-39	1,80E-07
320					3,49E-39	1,73E-07
321					1,65E-39	1,67E-07
322					7,73E-40	1,60E-07
323					3,62E-40	1,54E-07
324					1,68E-40	1,48E-07
325					7,81E-41	1,42E-07
326					3,61E-41	1,37E-07
327					1,66E-41	1,32E-07
328					7,58E-42	1,27E-07
329					3,45E-42	1,22E-07
330					1,57E-42	1,17E-07

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
331					7,06E-43	1,13E-07
332					3,17E-43	1,08E-07
333					1,42E-43	1,04E-07
334					6,31E-44	1,00E-07
335					2,79E-44	9,61E-08
336					1,23E-44	9,24E-08
337					5,39E-45	8,89E-08
338					2,35E-45	8,54E-08
339					1,02E-45	8,21E-08
340					4,40E-46	7,90E-08
341					1,89E-46	7,59E-08
342					8,07E-47	7,30E-08
343					3,43E-47	7,02E-08
344					1,45E-47	6,75E-08
345					6,10E-48	6,49E-08
346					2,55E-48	6,24E-08
347					1,06E-48	5,99E-08
348					4,38E-49	5,76E-08
349					1,80E-49	5,54E-08
350					7,36E-50	5,33E-08
351					2,99E-50	5,12E-08
352					1,21E-50	4,92E-08
353					4,84E-51	4,73E-08
354					1,93E-51	4,55E-08
355					7,66E-52	4,38E-08
356					3,02E-52	4,21E-08
357					1,18E-52	4,04E-08
358					4,59E-53	3,89E-08
359					1,77E-53	3,74E-08
360					6,81E-54	3,59E-08
361					2,59E-54	3,46E-08
362					9,81E-55	3,32E-08
363					3,69E-55	3,19E-08
364					1,37E-55	3,07E-08
365					5,09E-56	2,95E-08
366					1,87E-56	2,84E-08
367					6,82E-57	2,73E-08
368					2,47E-57	2,62E-08
369					8,85E-58	2,52E-08
370					3,15E-58	2,43E-08
371					1,11E-58	2,33E-08
372					3,89E-59	2,24E-08
373					1,35E-59	2,15E-08
374					4,64E-60	2,07E-08
375					1,58E-60	1,99E-08
376					5,33E-61	1,92E-08
377					1,78E-61	1,84E-08
378					5,89E-62	1,77E-08
379					1,93E-62	1,70E-08
380					6,24E-63	1,64E-08
381					2,00E-63	1,57E-08
382					6,35E-64	1,51E-08
383					1,99E-64	1,45E-08
384					6,16E-65	1,40E-08
385					1,88E-65	1,34E-08
386					5,69E-66	1,29E-08
387					1,70E-66	1,24E-08
388					4,99E-67	1,19E-08
389					1,45E-67	1,15E-08
390					4,14E-68	1,10E-08
391					1,17E-68	1,06E-08
392					3,24E-69	1,02E-08
393					8,83E-70	9,81E-09
394					2,37E-70	9,43E-09
395					6,24E-71	9,07E-09
396					1,62E-71	8,72E-09
397					4,10E-72	8,38E-09
398					1,02E-72	8,06E-09
399					2,49E-73	7,75E-09
400					5,93E-74	7,45E-09
401					1,38E-74	7,16E-09
402					3,14E-75	6,88E-09
403					6,97E-76	6,62E-09
404					1,51E-76	6,36E-09
405					3,16E-77	6,12E-09
406					6,45E-78	5,88E-09
407					1,27E-78	5,65E-09
408					2,44E-79	5,44E-09
409					4,51E-80	5,23E-09
410					8,05E-81	5,02E-09
411					1,38E-81	4,83E-09
412					2,28E-82	4,64E-09
413					3,61E-83	4,47E-09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
414					5,46E-84	4,29E-09
415					7,89E-85	4,13E-09
416					1,09E-85	3,97E-09
417					1,42E-86	3,81E-09
418					1,77E-87	3,67E-09
419					2,09E-88	3,53E-09
420					2,33E-89	3,39E-09
421					2,46E-90	3,26E-09
422					2,45E-91	3,13E-09
423					2,31E-92	3,01E-09
424					2,06E-93	2,90E-09
425					1,73E-94	2,78E-09
426					1,38E-95	2,68E-09
427					1,05E-96	2,57E-09
428					7,49E-98	2,47E-09
429					5,09E-99	2,38E-09
430					3,29E-100	2,29E-09
431					2,03E-101	2,20E-09
432					1,19E-102	2,11E-09
433					6,64E-104	2,03E-09
434					3,54E-105	1,95E-09
435					1,81E-106	1,88E-09
436					8,80E-108	1,81E-09
437					4,10E-109	1,74E-09
438					1,83E-110	1,67E-09
439					7,81E-112	1,61E-09
440					3,19E-113	1,54E-09
441					1,25E-114	1,48E-09
442					4,70E-116	1,43E-09
443					1,69E-117	1,37E-09
444					5,83E-119	1,32E-09
445					1,93E-120	1,27E-09
446					6,09E-122	1,22E-09
447					1,85E-123	1,17E-09
448					5,35E-125	1,13E-09
449					1,48E-126	1,08E-09
450					3,93E-128	1,04E-09
451					9,92E-130	1,00E-09
452					2,39E-131	9,62E-10
453					5,48E-133	9,25E-10
454					1,19E-134	8,90E-10
455					2,46E-136	8,55E-10
456					4,82E-138	8,22E-10
457					8,86E-140	7,91E-10
458					1,54E-141	7,60E-10
459					2,48E-143	7,31E-10
460					3,76E-145	7,02E-10
461					5,19E-147	6,75E-10
462					6,71E-149	6,49E-10
463					7,62E-151	6,24E-10
464					8,07E-153	6,00E-10
465					6,96E-155	5,77E-10
466					5,65E-157	5,55E-10
467					2,96E-159	5,33E-10
468					1,60E-161	5,13E-10
469						4,93E-10
470						4,74E-10
471						4,56E-10
472						4,38E-10
473						4,21E-10
474						4,05E-10
475						3,89E-10
476						3,74E-10
477						3,60E-10
478						3,46E-10
479						3,33E-10
480						3,20E-10
481						3,07E-10
482						2,96E-10
483						2,84E-10
484						2,73E-10
485						2,63E-10
486						2,53E-10
487						2,43E-10
488						2,33E-10
489						2,24E-10
490						2,16E-10
491						2,07E-10
492						1,99E-10
493						1,92E-10
494						1,84E-10
495						1,77E-10
496						1,70E-10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
497						1,64E-10
498						1,57E-10
499						1,51E-10
500						1,46E-10
501						1,40E-10
502						1,35E-10
503						1,29E-10
504						1,24E-10
505						1,20E-10
506						1,15E-10
507						1,11E-10
508						1,06E-10
509						1,02E-10
510						9,82E-11
511						9,44E-11

A Berechnete und gemessene Funktionen

Tabelle 43: Dichtefunktionen für die Schleife bei 30000 Messungen, $p = 0.8$ und $\varepsilon = 0.01$.

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
0						7,22079E-17
1	0,271644607	0,445961731				7,39555E-17
2	0,194718993	0,233025123				7,11624E-17
3	0,145313469	0,137139896				7,65816E-17
4	0,105422203	0,080625524				7,36647E-17
5	0,088095961	0,048427963				7,84995E-17
6	0,061671131	0,026159491	0,572066667			7,60886E-17
7	0,050019134	0,013943502	0,2414	0,029233333	0,031079765	0,031079765
8	0,035490426	0,007814942	0,1054	0,0344	0,035393451	0,035393451
9	0,027863185	0,003792304	0,0478	0,031333333	0,034765179	0,034765179
10	0,0181114	0,002829832	0,020333333	0,0301	0,032942161	0,032942161
11	0,00100289	0,000205656	0,008233333	0,028733333	0,032484616	0,032484616
12	0,000442063	5,75838E-05	0,002566667	0,0304	0,030922043	0,030922043
13	0,000184743	8,22625E-06	0,0011	0,029466667	0,03028836	0,03028836
14	1,31959E-05	8,22625E-06	0,000666667	0,0266	0,029275926	0,029275926
15	6,59796E-06		0,000333333	0,0255	0,028645465	0,028645465
16			0,0001	0,0239	0,027633042	0,027633042
17				0,023566667	0,025453822	0,025453822
18				0,021366667	0,024480853	0,024480853
19				0,022966667	0,023659229	0,023659229
20				0,023433333	0,022840766	0,022840766
21				0,023366667	0,022037999	0,022037999
22				0,0216	0,021247232	0,021247232
23				0,023066667	0,020466721	0,020466721
24				0,020633333	0,019707367	0,019707367
25				0,0202	0,018968915	0,018968915
26				0,0202	0,018255885	0,018255885
27				0,019733333	0,017566449	0,017566449
28				0,016666667	0,016902443	0,016902443
29				0,0176	0,016268942	0,016268942
30				0,016733333	0,015661083	0,015661083
31				0,0156	0,015076263	0,015076263
32				0,014666667	0,01451314	0,01451314
33				0,013366667	0,013970779	0,013970779
34				0,013833333	0,013448374	0,013448374
35				0,0133	0,012945318	0,012945318
36				0,013666667	0,012460972	0,012460972
37				0,0126	0,011994719	0,011994719
38				0,0098	0,011545927	0,011545927
39				0,011766667	0,011113954	0,011113954
40				0,0127	0,010698184	0,010698184
41				0,011366667	0,010297989	0,010297989
42				0,011866667	0,009912771	0,009912771
43				0,010333333	0,00954196	0,00954196
44				0,011166667	0,009185015	0,009185015
45				0,0092	0,008841419	0,008841419
46				0,009333333	0,008510673	0,008510673
47				0,008733333	0,008192299	0,008192299
48				0,007	0,007885835	0,007885835
49				0,0076	0,007590835	0,007590835
50				0,008033333	0,007306872	0,007306872
51				0,008	0,007033532	0,007033532
52				0,007433333	0,006770417	0,006770417
53				0,007866667	0,006517146	0,006517146
54				0,007166667	0,006273348	0,006273348
55				0,006733333	0,006038671	0,006038671
56				0,006266667	0,005812773	0,005812773
57				0,005866667	0,005595325	0,005595325
58				0,005966667	0,005386011	0,005386011
59				0,005666667	0,005184528	0,005184528
60				0,0051	0,004990582	0,004990582
61				0,004966667	0,004803891	0,004803891
62				0,0047	0,004624184	0,004624184
63				0,004966667	0,0044512	0,0044512
64				0,004333333	0,004284686	0,004284686
65				0,0058	0,004124402	0,004124402
66				0,004866667	0,003970114	0,003970114
67				0,0042	0,003821597	0,003821597
68				0,0039	0,003678637	0,003678637
69				0,0037	0,003541024	0,003541024
70				0,004066667	0,003408559	0,003408559
71				0,003	0,003281049	0,00328105
72				0,003333333	0,00315831	0,00315831
73				0,002933333	0,003040162	0,003040162
74				0,002866667	0,002926433	0,002926434
75				0,002933333	0,002816959	0,00281696
76				0,002866667	0,002711579	0,002711581
77				0,002766667	0,002610142	0,002610145
78				0,0023	0,002512498	0,002512503
79				0,001933333	0,002418506	0,002418513
80				0,002133333	0,002328028	0,00232804
81				0,001733333	0,002240933	0,002240951

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
82				0,0022	0,002157093	0,00215712
83				0,0019	0,002076384	0,002076426
84				0,001933333	0,001998687	0,001998749
85				0,0018	0,001923889	0,001923979
86				0,0017	0,001851876	0,001852005
87				0,001533333	0,001782541	0,001782724
88				0,001566667	0,001715778	0,001716035
89				0,001566667	0,001651486	0,001651841
90				0,000933333	0,001589564	0,001590048
91				0,001333333	0,001529913	0,001530566
92				0,0017	0,001472438	0,00147331
93				0,001366667	0,001417045	0,001418195
94				0,001066667	0,001363641	0,001365142
95				0,001066667	0,001312134	0,001314074
96				0,001166667	0,001262433	0,001264917
97				0,001066667	0,001214449	0,001217598
98				0,001	0,001168094	0,001172049
99				0,000833333	0,001123282	0,001128204
100				0,001	0,001079927	0,001086
101				0,001433333	0,001037945	0,001045374
102				0,001	0,000997255	0,001006268
103				0,000833333	0,000957778	0,000968625
104				0,000966667	0,000919439	0,00093239
105				0,000766667	0,000882165	0,000897511
106				0,000566667	0,000845888	0,000863936
107				0,0007	0,000810544	0,000831617
108				0,0006	0,000776075	0,000800508
109				0,000833333	0,00074243	0,000770562
110				0,000966667	0,000709561	0,000741736
111				0,0008	0,00067743	0,000713989
112				0,0005	0,000646003	0,000687279
113				0,0005	0,000615256	0,000661569
114				0,000766667	0,000585171	0,000636821
115				0,0004	0,000555736	0,000612998
116				0,000433333	0,000526948	0,000590067
117				0,0005	0,000498808	0,000567993
118				0,000533333	0,000471326	0,000546745
119				0,000733333	0,000444515	0,000526292
120				0,000366667	0,000418394	0,000506604
121				0,000366667	0,000392984	0,000487653
122				0,000633333	0,000368311	0,000469411
123				0,000533333	0,000344402	0,000451851
124				0,000466667	0,000321283	0,000434948
125				0,0004	0,000298983	0,000418677
126				0,0004	0,000277528	0,000403015
127				0,0005	0,000256942	0,000387938
128				0,000366667	0,000237248	0,000373426
129				0,0002	0,000218464	0,000359457
130				0,000366667	0,000200603	0,00034601
131				0,000333333	0,000183676	0,000333066
132				0,000133333	0,000167688	0,000320607
133				0,000133333	0,000152637	0,000308613
134				0,0002	0,00013852	0,000297068
135				0,000166667	0,000125324	0,000285956
136				0,000266667	0,000113035	0,000275258
137				0,000466667	0,000101633	0,000264961
138				0,000166667	9,10917E-05	0,000255049
139				0,0002	8,13837E-05	0,000245508
140				0,0003	7,24766E-05	0,000236324
141				0,000133333	6,43354E-05	0,000227484
142				0,000166667	5,69225E-05	0,000218974
143				3,33333E-05	5,01986E-05	0,000210782
144				0,000133333	4,41231E-05	0,000202897
145				0,000133333	3,86545E-05	0,000195307
146				0,000133333	3,37512E-05	0,000188001
147				0,000233333	2,93717E-05	0,000180968
148				0,0002	2,5475E-05	0,000174198
149				6,66667E-05	2,20213E-05	0,000167682
150				0,0002	1,89719E-05	0,000161409
151				0,0002	1,62899E-05	0,000155371
152				0,000166667	1,39399E-05	0,000149559
153				6,66667E-05	1,18888E-05	0,000143964
154				0,000133333	1,01053E-05	0,000138578
155				0,0002	8,56047E-06	0,000133394
156				6,66667E-05	7,22735E-06	0,000128404
157				0,000133333	6,08129E-06	0,000123601
158				0,0001	5,09974E-06	0,000118977
159				0,0001	4,26223E-06	0,000114526
160				6,66667E-05	3,55029E-06	0,000110242
161				6,66667E-05	2,94734E-06	0,000106118
162				3,33333E-05	2,43859E-06	0,000102148
163				3,33333E-05	2,0109E-06	9,83272E-05
164				6,66667E-05	1,65268E-06	9,46489E-05

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
165				0,000133333	1,35373E-06	9,11082E-05
166				3,33333E-05	1,10517E-06	8,77E-05
167				0,0001	8,99243E-07	8,44192E-05
168				3,33333E-05	7,29258E-07	8,12612E-05
169				0,000166667	5,89444E-07	7,82213E-05
170				0,000133333	4,7486E-07	7,52952E-05
171				3,33333E-05	3,81287E-07	7,24785E-05
172				3,33333E-05	3,05144E-07	6,97672E-05
173				0,0001	2,43404E-07	6,71573E-05
174				0,000133333	1,93519E-07	6,4645E-05
175				0,0001	1,53354E-07	6,22267E-05
176				0,0001	1,21128E-07	5,98989E-05
177				0,0001	9,53626E-08	5,76582E-05
178				6,66667E-05	7,48334E-08	5,55013E-05
179				3,33333E-05	5,8533E-08	5,3425E-05
180				6,66667E-05	4,56349E-08	5,14265E-05
181				0,0001	3,5464E-08	4,95027E-05
182				3,33333E-05	2,74711E-08	4,76509E-05
183				6,66667E-05	2,12112E-08	4,58683E-05
184				3,33333E-05	1,63251E-08	4,41524E-05
185				3,33333E-05	1,25244E-08	4,25008E-05
186				3,33333E-05	9,57774E-09	4,09109E-05
187				0	7,30102E-09	3,93804E-05
188				6,66667E-05	5,54778E-09	3,79073E-05
189				6,66667E-05	4,20217E-09	3,64892E-05
190				0	3,17284E-09	3,51242E-05
191				3,33333E-05	2,38807E-09	3,38103E-05
192				0	1,79173E-09	3,25455E-05
193				0	1,34007E-09	3,1328E-05
194				0,0002	9,99116E-10	3,0156E-05
195				3,33333E-05	7,42571E-10	2,90279E-05
196				3,33333E-05	5,50171E-10	2,79421E-05
197				3,33333E-05	4,06348E-10	2,68968E-05
198				0,0001	2,99185E-10	2,58906E-05
199				0	2,19597E-10	2,49221E-05
200				3,33333E-05	1,6068E-10	2,39898E-05
201				0	1,17205E-10	2,30923E-05
202				3,33333E-05	8,52281E-11	2,22285E-05
203				0	6,17836E-11	2,1397E-05
204				0	4,46499E-11	2,05965E-05
205				0	3,21682E-11	1,9826E-05
206				0	2,31044E-11	1,90844E-05
207				0	1,65434E-11	1,83705E-05
208				3,33333E-05	1,18092E-11	1,76832E-05
209				0	8,40391E-12	1,70217E-05
210				3,33333E-05	5,96228E-12	1,6385E-05
211				0	4,2171E-12	1,5772E-05
212				3,33333E-05	2,97364E-12	1,5182E-05
213				0	2,09043E-12	1,46141E-05
214				0	1,46508E-12	1,40674E-05
215				0	1,02367E-12	1,35412E-05
216				0	7,13088E-13	1,30346E-05
217				0	4,95228E-13	1,2547E-05
218				3,33333E-05	3,42885E-13	1,20776E-05
219				0	2,36688E-13	1,16258E-05
220				3,33333E-05	1,62888E-13	1,11909E-05
221				0	1,1176E-13	1,07723E-05
222				3,33333E-05	7,64495E-14	1,03693E-05
223					5,21375E-14	9,9814E-06
224					3,545E-14	9,60801E-06
225					2,40311E-14	9,24858E-06
226					1,62414E-14	8,90261E-06
227					1,09437E-14	8,56957E-06
228					7,35193E-15	8,249E-06
229					4,92417E-15	7,94041E-06
230					3,28822E-15	7,64337E-06
231					2,1892E-15	7,35745E-06
232					1,45314E-15	7,08221E-06
233					9,61677E-16	6,81728E-06
234					6,34526E-16	6,56225E-06
235					4,17416E-16	6,31677E-06
236					2,73772E-16	6,08047E-06
237					1,79023E-16	5,853E-06
238					1,16716E-16	5,63405E-06
239					7,58671E-17	5,42329E-06
240					4,91676E-17	5,22041E-06
241					3,17692E-17	5,02512E-06
242					2,04661E-17	4,83714E-06
243					1,31452E-17	4,65619E-06
244					8,4179E-18	4,48201E-06
245					5,37455E-18	4,31434E-06
246					3,42124E-18	4,15295E-06
247					2,17134E-18	3,99759E-06

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitreich)	Berechnung (Frequenzbereich)
248					1,37397E-18	3,84805E-06
249					8,66816E-19	3,7041E-06
250					5,4523E-19	3,56553E-06
251					3,41929E-19	3,43215E-06
252					2,13793E-19	3,30376E-06
253					1,33277E-19	3,18017E-06
254					8,28354E-20	3,0612E-06
255					5,1331E-20	2,94669E-06
256					3,17134E-20	2,83646E-06
257					1,95347E-20	2,73035E-06
258					1,1997E-20	2,62821E-06
259					7,34573E-21	2,52989E-06
260					4,48432E-21	2,43525E-06
261					2,72933E-21	2,34415E-06
262					1,6562E-21	2,25646E-06
263					1,00199E-21	2,17205E-06
264					6,04384E-22	2,0908E-06
265					3,63459E-22	2,01258E-06
266					2,17917E-22	1,9373E-06
267					1,30262E-22	1,86482E-06
268					7,76314E-23	1,79506E-06
269					4,61261E-23	1,72791E-06
270					2,7324E-23	1,66327E-06
271					1,61373E-23	1,60105E-06
272					9,50172E-24	1,54116E-06
273					5,57775E-24	1,48351E-06
274					3,26437E-24	1,42801E-06
275					1,90468E-24	1,37459E-06
276					1,10796E-24	1,32317E-06
277					6,42549E-25	1,27367E-06
278					3,71505E-25	1,22603E-06
279					2,14141E-25	1,18016E-06
280					1,23057E-25	1,13601E-06
281					7,04996E-26	1,09352E-06
282					4,02658E-26	1,05261E-06
283					2,29273E-26	1,01323E-06
284					1,30148E-26	9,75329E-07
285					7,36519E-27	9,38843E-07
286					4,15521E-27	9,03722E-07
287					2,33701E-27	8,69915E-07
288					1,31035E-27	8,37373E-07
289					7,3243E-28	8,06048E-07
290					4,0813E-28	7,75895E-07
291					2,26715E-28	7,4687E-07
292					1,25548E-28	7,1893E-07
293					6,93082E-29	6,92036E-07
294					3,81418E-29	6,66148E-07
295					2,09246E-29	6,41228E-07
296					1,14432E-29	6,17241E-07
297					6,2384E-30	5,94151E-07
298					3,39023E-30	5,71924E-07
299					1,83659E-30	5,50529E-07
300					9,91792E-31	5,29935E-07
301					5,33887E-31	5,10111E-07
302					2,86481E-31	4,91028E-07
303					1,53235E-31	4,7266E-07
304					8,17016E-32	4,54978E-07
305					4,34221E-32	4,37958E-07
306					2,30036E-32	4,21575E-07
307					1,21473E-32	4,05804E-07
308					6,39386E-33	3,90623E-07
309					3,35458E-33	3,76011E-07
310					1,75429E-33	3,61945E-07
311					9,14431E-34	3,48405E-07
312					4,75096E-34	3,35371E-07
313					2,4603E-34	3,22826E-07
314					1,2699E-34	3,10749E-07
315					6,53307E-35	2,99125E-07
316					3,34989E-35	2,87935E-07
317					1,71199E-35	2,77163E-07
318					8,72027E-36	2,66795E-07
319					4,42699E-36	2,56815E-07
320					2,23992E-36	2,47208E-07
321					1,12953E-36	2,3796E-07
322					5,67673E-37	2,29058E-07
323					2,84335E-37	2,20489E-07
324					1,41935E-37	2,12241E-07
325					7,06102E-38	2,04302E-07
326					3,50076E-38	1,96659E-07
327					1,72968E-38	1,89302E-07
328					8,51681E-39	1,82221E-07
329					4,17913E-39	1,75404E-07
330					2,04357E-39	1,68842E-07

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitzbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
331					9,95817E-40	1,62526E-07
332					4,83563E-40	1,56446E-07
333					2,33992E-40	1,50594E-07
334					1,12829E-40	1,4496E-07
335					5,42132E-41	1,39538E-07
336					2,59565E-41	1,34318E-07
337					1,23834E-41	1,29293E-07
338					5,88679E-42	1,24456E-07
339					2,78841E-42	1,19801E-07
340					1,31603E-42	1,15319E-07
341					6,18872E-43	1,11005E-07
342					2,89971E-43	1,06853E-07
343					1,3537E-43	1,02855E-07
344					6,29639E-44	9,90077E-08
345					2,91783E-44	9,5304E-08
346					1,34716E-44	9,17388E-08
347					6,19673E-45	8,83069E-08
348					2,83976E-45	8,50035E-08
349					1,29649E-45	8,18236E-08
350					5,8968E-46	7,87627E-08
351					2,67189E-46	7,58163E-08
352					1,20605E-46	7,29801E-08
353					5,42314E-47	7,02501E-08
354					2,42922E-47	6,76221E-08
355					1,08393E-47	6,50924E-08
356					4,81786E-48	6,26574E-08
357					2,1331E-48	6,03135E-08
358					9,40727E-49	5,80573E-08
359					4,13244E-49	5,58854E-08
360					1,80813E-49	5,37948E-08
361					7,87996E-50	5,17824E-08
362					3,42044E-50	4,98453E-08
363					1,47875E-50	4,79807E-08
364					6,36726E-51	4,61858E-08
365					2,73054E-51	4,4458E-08
366					1,1662E-51	4,27949E-08
367					4,96037E-52	4,1194E-08
368					2,1012E-52	3,9653E-08
369					8,86379E-53	3,81696E-08
370					3,72361E-53	3,67418E-08
371					1,55773E-53	3,53673E-08
372					6,48922E-54	3,40443E-08
373					2,69189E-54	3,27707E-08
374					1,11193E-54	3,15448E-08
375					4,5734E-55	3,03648E-08
376					1,87301E-55	2,92289E-08
377					7,63774E-56	2,81354E-08
378					3,10104E-56	2,70829E-08
379					1,25359E-56	2,60698E-08
380					5,04549E-57	2,50946E-08
381					2,0218E-57	2,41558E-08
382					8,06587E-58	2,32522E-08
383					3,20357E-58	2,23823E-08
384					1,26671E-58	2,15451E-08
385					4,98617E-59	2,07391E-08
386					1,95389E-59	1,99633E-08
387					7,62188E-60	1,92165E-08
388					2,95969E-60	1,84976E-08
389					1,14405E-60	1,78056E-08
390					4,40193E-61	1,71395E-08
391					1,68592E-61	1,64984E-08
392					6,42708E-62	1,58812E-08
393					2,43874E-62	1,52871E-08
394					9,21054E-63	1,47152E-08
395					3,46227E-63	1,41648E-08
396					1,29535E-63	1,36349E-08
397					4,82337E-64	1,31248E-08
398					1,7875E-64	1,26338E-08
399					6,59271E-65	1,21612E-08
400					2,41989E-65	1,17063E-08
401					8,83963E-66	1,12684E-08
402					3,21344E-66	1,08468E-08
403					1,16251E-66	1,04411E-08
404					4,18509E-67	1,00505E-08
405					1,4993E-67	9,67451E-09
406					5,34488E-68	9,3126E-09
407					1,89604E-68	8,96422E-09
408					6,69284E-69	8,62888E-09
409					2,35082E-69	8,30609E-09
410					8,21613E-70	7,99537E-09
411					2,85725E-70	7,69627E-09
412					9,88681E-71	7,40837E-09
413					3,40396E-71	7,13123E-09

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitzbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
414					1,16608E-71	6,86446E-09
415					3,97447E-72	6,60767E-09
416					1,34783E-72	6,36049E-09
417					4,54768E-73	6,12255E-09
418					1,52665E-73	5,89351E-09
419					5,09889E-74	5,67305E-09
420					1,69433E-74	5,46082E-09
421					5,60143E-75	5,25654E-09
422					1,84237E-75	5,0599E-09
423					6,02875E-76	4,87062E-09
424					1,96267E-76	4,68842E-09
425					6,35669E-77	4,51303E-09
426					2,04823E-77	4,3442E-09
427					6,56574E-78	4,18169E-09
428					2,09386E-78	4,02526E-09
429					6,64299E-79	3,87468E-09
430					2,09668E-79	3,72973E-09
431					6,58341E-80	3,59021E-09
432					2,05645E-80	3,45591E-09
433					6,39042E-81	3,32662E-09
434					1,97554E-81	3,20218E-09
435					6,07555E-82	3,08239E-09
436					1,85878E-82	2,96708E-09
437					5,65731E-83	2,85609E-09
438					1,7129E-83	2,74925E-09
439					5,15933E-84	2,6464E-09
440					1,54594E-84	2,5474E-09
441					4,6082E-85	2,45211E-09
442					1,36649E-85	2,36038E-09
443					4,03106E-86	2,27208E-09
444					1,18296E-86	2,18708E-09
445					3,45347E-87	2,10527E-09
446					1,00295E-87	2,02651E-09
447					2,8976E-88	1,9507E-09
448					8,32792E-89	1,87773E-09
449					2,38107E-89	1,80749E-09
450					6,77243E-90	1,73987E-09
451					1,91626E-90	1,67479E-09
452					5,39391E-91	1,61213E-09
453					1,5104E-91	1,55183E-09
454					4,20743E-92	1,49377E-09
455					1,16596E-92	1,43789E-09
456					3,2143E-93	1,3841E-09
457					8,81518E-94	1,33233E-09
458					2,40501E-94	1,28249E-09
459					6,52743E-95	1,23451E-09
460					1,76242E-95	1,18833E-09
461					4,73387E-96	1,14388E-09
462					1,26493E-96	1,10108E-09
463					3,36244E-97	1,05989E-09
464					8,89174E-98	1,02025E-09
465					2,33916E-98	9,8208E-10
466					6,1217E-99	9,45341E-10
467					1,5938E-99	9,09977E-10
468					4,1279E-100	8,75936E-10
469					1,0636E-100	8,43169E-10
470					2,7261E-101	8,11627E-10
471					6,9512E-102	7,81265E-10
472					1,7633E-102	7,52039E-10
473					4,4495E-103	7,23906E-10
474					1,117E-103	6,96826E-10
475					2,7894E-104	6,70759E-10
476					6,9297E-105	6,45667E-10
477					1,7126E-105	6,21513E-10
478					4,2103E-106	5,98263E-10
479					1,0297E-106	5,75883E-10
480					2,5052E-107	5,5434E-10
481					6,0631E-108	5,33603E-10
482					1,4597E-108	5,13641E-10
483					3,496E-109	4,94427E-10
484					8,3289E-110	4,75931E-10
485					1,9739E-110	4,58127E-10
486					4,6534E-111	4,40989E-10
487					1,0913E-111	4,24492E-10
488					2,5457E-112	4,08613E-10
489					5,907E-113	3,93327E-10
490					1,3634E-113	3,78613E-10
491					3,1304E-114	3,6445E-10
492					7,1492E-115	3,50816E-10
493					1,624E-115	3,37693E-10
494					3,6696E-116	3,2506E-10
495					8,2474E-117	3,129E-10
496					1,8437E-117	3,01195E-10

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitreich)	Berechnung (Frequenzbereich)
497					4,0994E-118	2,89928E-10
498					9,0661E-119	2,79082E-10
499					1,9942E-119	2,68642E-10
500					4,3628E-120	2,58592E-10
501					9,4929E-121	2,48919E-10
502					2,0543E-121	2,39607E-10
503					4,4214E-122	2,30644E-10
504					9,464E-123	2,22016E-10
505					2,0146E-123	2,1371E-10
506					4,265E-124	2,05716E-10
507					8,979E-125	1,9802E-10
508					1,8799E-125	1,90612E-10
509					3,9138E-126	1,83482E-10
510					8,1026E-127	1,76618E-10
511					1,6681E-127	1,70011E-10
512					3,4146E-128	1,63651E-10
513					6,9502E-129	1,57529E-10
514					1,4066E-129	1,51636E-10
515					2,8305E-130	1,45964E-10
516					5,6629E-131	1,40503E-10
517					1,1264E-131	1,35247E-10
518					2,2276E-132	1,30188E-10
519					4,3794E-133	1,25318E-10
520					8,5593E-134	1,2063E-10
521					1,663E-134	1,16117E-10
522					3,2117E-135	1,11774E-10
523					6,1658E-136	1,07592E-10
524					1,1765E-136	1,03567E-10
525					2,2315E-137	9,9693E-11
526					4,2064E-138	9,59637E-11
527					7,8805E-139	9,23738E-11
528					1,4672E-139	8,89182E-11
529					2,7147E-140	8,55919E-11
530					4,9913E-141	8,239E-11
531					9,1189E-142	7,93079E-11
532					1,6553E-142	7,63411E-11
533					2,9855E-143	7,34853E-11
534					5,3497E-144	7,07363E-11
535					9,5232E-145	6,80902E-11
536					1,684E-145	6,5543E-11
537					2,9581E-146	6,30912E-11
538					5,1611E-147	6,0731E-11
539					8,9434E-148	5,84592E-11
540					1,5391E-148	5,62723E-11
541					2,6303E-149	5,41672E-11
542					4,4637E-150	5,21409E-11
543					7,5212E-151	5,01904E-11
544					1,2582E-151	4,83128E-11
545					2,0896E-152	4,65055E-11
546					3,4448E-153	4,47658E-11
547					5,6367E-154	4,30912E-11
548					9,154E-155	4,14792E-11
549					1,4753E-155	3,99275E-11
550					2,3592E-156	3,84339E-11
551					3,7434E-157	3,69961E-11
552					5,8924E-158	3,56122E-11
553					9,2004E-159	3,428E-11
554					1,4248E-159	3,29976E-11
555					2,1883E-160	3,17632E-11
556					3,3326E-161	3,0575E-11
557					5,0319E-162	2,94312E-11
558					7,5315E-163	2,83303E-11
559					1,1173E-163	2,72705E-11
560					1,6427E-164	2,62503E-11
561					2,393E-165	2,52683E-11
562					3,4535E-166	2,43231E-11
563					4,9366E-167	2,34132E-11
564					6,9884E-168	2,25373E-11
565					9,7952E-169	2,16942E-11
566					1,3591E-169	2,08827E-11
567					1,8663E-170	2,01015E-11
568					2,5359E-171	1,93495E-11
569					3,4087E-172	1,86257E-11
570					4,5314E-173	1,79289E-11
571					5,9559E-174	1,72582E-11
572					7,7377E-175	1,66126E-11
573					9,9333E-176	1,59912E-11
574					1,2597E-176	1,5393E-11
575					1,5775E-177	1,48172E-11
576					1,95E-178	1,42629E-11
577					2,3786E-179	1,37293E-11
578					2,8618E-180	1,32157E-11
579					3,3946E-181	1,27213E-11

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
580					3,9681E-182	1,22455E-11
581					4,5686E-183	1,17874E-11
582					5,1781E-184	1,13464E-11
583					5,7742E-185	1,0922E-11
584					6,3308E-186	1,05134E-11
585					6,8199E-187	1,01201E-11
586					7,2133E-188	9,74154E-12
587					7,4847E-189	9,37712E-12
588					7,6121E-190	9,02634E-12
589					7,5808E-191	8,68868E-12
590					7,3847E-192	8,36365E-12
591					7,0284E-193	8,05078E-12
592					6,5269E-194	7,74962E-12
593					5,9055E-195	7,45972E-12
594					5,1976E-196	7,18066E-12
595					4,4415E-197	6,91205E-12
596					3,6774E-198	6,65348E-12
597					2,9431E-199	6,40458E-12
598					2,2705E-200	6,165E-12
599					1,6831E-201	5,93438E-12
600					1,1943E-202	5,71238E-12
601					8,0773E-204	5,49869E-12
602					5,1783E-205	5,293E-12
603					3,1264E-206	5,095E-12
604					1,763E-207	4,9044E-12
605					9,1897E-209	4,72094E-12
606					4,3654E-210	4,54434E-12
607					1,855E-211	4,37434E-12
608					6,8436E-213	4,21071E-12
609					2,1057E-214	4,05319E-12
610					4,8934E-216	3,90157E-12
611					7,4899E-218	3,75562E-12
612						3,61513E-12
613						3,4799E-12
614						3,34972E-12
615						3,22442E-12
616						3,1038E-12
617						2,98769E-12
618						2,87593E-12
619						2,76835E-12
620						2,66479E-12
621						2,56511E-12
622						2,46915E-12
623						2,37679E-12
624						2,28788E-12
625						2,2023E-12
626						2,11991E-12
627						2,04061E-12
628						1,96428E-12
629						1,8908E-12
630						1,82007E-12
631						1,75199E-12
632						1,68645E-12
633						1,62337E-12
634						1,56264E-12
635						1,50419E-12
636						1,44792E-12
637						1,39376E-12
638						1,34162E-12
639						1,29144E-12
640						1,24313E-12
641						1,19663E-12
642						1,15187E-12
643						1,10878E-12
644						1,06731E-12
645						1,02738E-12
646						9,88953E-13
647						9,51959E-13
648						9,16351E-13
649						8,82074E-13
650						8,4908E-13
651						8,17319E-13
652						7,86747E-13
653						7,5732E-13
654						7,28991E-13
655						7,01723E-13
656						6,75476E-13
657						6,5021E-13
658						6,25887E-13
659						6,02476E-13
660						5,79943E-13
661						5,58251E-13
662						5,37368E-13

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
663						5,17269E-13
664						4,97921E-13
665						4,79298E-13
666						4,61369E-13
667						4,44113E-13
668						4,27503E-13
669						4,11514E-13
670						3,96122E-13
671						3,81306E-13
672						3,67045E-13
673						3,53318E-13
674						3,40102E-13
675						3,27382E-13
676						3,15139E-13
677						3,03352E-13
678						2,92006E-13
679						2,81086E-13
680						2,70574E-13
681						2,60454E-13
682						2,50714E-13
683						2,41339E-13
684						2,32313E-13
685						2,23625E-13
686						2,15261E-13
687						2,07212E-13
688						1,99463E-13
689						1,92004E-13
690						1,84824E-13
691						1,77914E-13
692						1,7126E-13
693						1,64857E-13
694						1,58692E-13
695						1,52759E-13
696						1,47047E-13
697						1,4155E-13
698						1,36257E-13
699						1,31162E-13
700						1,26259E-13
701						1,21539E-13
702						1,16994E-13
703						1,12622E-13
704						1,08411E-13
705						1,04359E-13
706						1,00456E-13
707						9,67022E-14
708						9,30869E-14
709						8,96078E-14
710						8,62572E-14
711						8,30331E-14
712						7,99299E-14
713						7,69438E-14
714						7,40666E-14
715						7,13007E-14
716						6,86354E-14
717						6,60709E-14
718						6,36008E-14
719						6,12251E-14
720						5,89362E-14
721						5,67355E-14
722						5,46147E-14
723						5,25746E-14
724						5,06112E-14
725						4,87205E-14
726						4,68993E-14
727						4,51486E-14
728						4,3462E-14
729						4,18396E-14
730						4,02754E-14
731						3,8773E-14
732						3,73249E-14
733						3,59319E-14
734						3,45889E-14
735						3,32994E-14
736						3,20553E-14
737						3,08602E-14
738						2,97064E-14
739						2,85998E-14
740						2,75322E-14
741						2,65048E-14
742						2,55158E-14
743						2,45641E-14
744						2,36479E-14
745						2,27676E-14

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
746						2,1917E-14
747						2,11006E-14
748						2,03146E-14
749						1,95559E-14
750						1,88272E-14
751						1,81255E-14
752						1,74496E-14
753						1,68004E-14
754						1,61732E-14
755						1,55725E-14
756						1,49927E-14
757						1,44355E-14
758						1,38969E-14
759						1,33798E-14
760						1,28827E-14
761						1,2404E-14
762						1,19412E-14
763						1,14982E-14
764						1,10716E-14
765						1,06604E-14
766						1,02632E-14
767						9,88327E-15
768						9,51581E-15
769						9,16454E-15
770						8,82238E-15
771						8,49672E-15
772						8,1807E-15
773						7,87802E-15
774						7,58503E-15
775						7,30828E-15
776						7,03752E-15
777						6,77459E-15
778						6,52551E-15
779						6,28328E-15
780						6,05461E-15
781						5,83021E-15
782						5,61382E-15
783						5,41019E-15
784						5,21054E-15
785						5,01852E-15
786						4,83146E-15
787						4,65491E-15
788						4,48429E-15
789						4,32117E-15
790						4,16177E-15
791						4,00933E-15
792						3,8595E-15
793						3,71975E-15
794						3,58206E-15
795						3,45074E-15
796						3,32548E-15
797						3,20522E-15
798						3,08571E-15
799						2,97376E-15
800						2,86511E-15
801						2,76194E-15
802						2,66066E-15
803						2,56446E-15
804						2,47149E-15
805						2,38249E-15
806						2,29547E-15
807						2,21334E-15
808						2,13337E-15
809						2,05472E-15
810						1,98169E-15
811						1,90943E-15
812						1,84228E-15
813						1,77655E-15
814						1,71108E-15
815						1,65128E-15
816						1,59243E-15
817						1,53557E-15
818						1,47963E-15
819						1,42752E-15
820						1,37762E-15
821						1,32929E-15
822						1,2806E-15
823						1,23684E-15
824						1,19488E-15
825						1,15249E-15
826						1,10998E-15
827						1,07309E-15
828						1,03555E-15

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
829						1,00103E-15
830						9,64479E-16
831						9,32808E-16
832						9,01037E-16
833						8,7011E-16
834						8,39041E-16
835						8,11207E-16
836						7,83692E-16
837						7,57892E-16
838						7,30972E-16
839						7,08654E-16
840						6,8426E-16
841						6,62433E-16
842						6,37643E-16
843						6,18272E-16
844						5,97418E-16
845						5,78387E-16
846						5,58483E-16
847						5,41445E-16
848						5,24812E-16
849						5,07714E-16
850						4,89432E-16
851						4,75775E-16
852						4,60846E-16
853						4,47235E-16
854						4,30642E-16
855						4,18961E-16
856						4,06706E-16
857						3,94009E-16
858						3,804E-16
859						3,70772E-16
860						3,59265E-16
861						3,49732E-16
862						3,3754E-16
863						3,29473E-16
864						3,19783E-16
865						3,11333E-16
866						3,00442E-16
867						2,93376E-16
868						2,8514E-16
869						2,77544E-16
870						2,68228E-16
871						2,62339E-16
872						2,55076E-16
873						2,49307E-16
874						2,40533E-16
875						2,35851E-16
876						2,30374E-16
877						2,24598E-16
878						2,16549E-16
879						2,13123E-16
880						2,07185E-16
881						2,0301E-16
882						1,96463E-16
883						1,9388E-16
884						1,88527E-16
885						1,85464E-16
886						1,79379E-16
887						1,76889E-16
888						1,72773E-16
889						1,6911E-16
890						1,63966E-16
891						1,62503E-16
892						1,589E-16
893						1,56218E-16
894						1,51033E-16
895						1,49782E-16
896						1,47356E-16
897						1,45061E-16
898						1,41103E-16
899						1,40201E-16
900						1,36482E-16
901						1,34773E-16
902						1,31539E-16
903						1,28952E-16
904						1,26421E-16
905						1,28083E-16
906						1,21734E-16
907						1,23365E-16
908						1,20334E-16
909						1,19072E-16
910						1,15242E-16
911						1,16941E-16

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
912						1,13982E-16
913						1,13557E-16
914						1,10811E-16
915						1,09511E-16
916						1,07704E-16
917						1,0761E-16
918						1,04729E-16
919						1,05601E-16
920						1,04558E-16
921						1,04216E-16
922						1,01896E-16
923						1,02526E-16
924						1,01719E-16
925						1,02121E-16
926						9,91119E-17
927						9,85689E-17
928						9,77903E-17
929						9,68025E-17
930						9,48692E-17
931						9,46009E-17
932						9,34962E-17
933						9,37015E-17
934						9,14646E-17
935						9,01105E-17
936						8,93311E-17
937						8,95417E-17
938						8,72821E-17
939						8,96345E-17
940						8,77031E-17
941						8,79436E-17
942						8,59579E-17
943						8,75013E-17
944						8,48909E-17
945						8,56798E-17
946						8,329E-17
947						8,44606E-17
948						8,31742E-17
949						8,39531E-17
950						8,15631E-17
951						8,26822E-17
952						8,12423E-17
953						8,18929E-17
954						7,97082E-17
955						8,13439E-17
956						8,02313E-17
957						8,14388E-17
958						7,94167E-17
959						7,99142E-17
960						7,92514E-17
961						7,99378E-17
962						7,8667E-17
963						8,02515E-17
964						7,84737E-17
965						7,94833E-17
966						7,81358E-17
967						7,79891E-17
968						7,73431E-17
969						7,82927E-17
970						7,68875E-17
971						7,86506E-17
972						7,97028E-17
973						7,81705E-17
974						7,73595E-17
975						7,87807E-17
976						7,75507E-17
977						7,73913E-17
978						7,6304E-17
979						7,79864E-17
980						7,65942E-17
981						7,6464E-17
982						7,4928E-17
983						7,46597E-17
984						7,3484E-17
985						7,40638E-17
986						7,31623E-17
987						7,39052E-17
988						7,30129E-17
989						7,46257E-17
990						7,22848E-17
991						7,30033E-17
992						7,24202E-17
993						7,29506E-17
994						7,12468E-17

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A Berechnete und gemessene Funktionen

Ausführungszeit (10 ms)	X1 (gemessen)	Y1 (gemessen)	Y2 (gemessen)	Messung (gemessen)	Berechnung (Zeitbereich)	Berechnung (Frequenzbereich)
995						7,33563E-17
996						7,14905E-17
997						7,237E-17
998						7,15211E-17
999						7,13225E-17
1000						6,91254E-17
1001						7,10374E-17
1002						7,11925E-17
1003						7,466E-17
1004						7,18312E-17
1005						7,29523E-17
1006						7,13371E-17
1007						7,23198E-17
1008						7,0651E-17
1009						7,11702E-17
1010						6,9303E-17
1011						7,17806E-17
1012						7,13021E-17
1013						7,23169E-17
1014						6,97415E-17
1015						7,1112E-17
1016						7,10189E-17
1017						7,28985E-17
1018						7,02932E-17
1019						7,36077E-17
1020						7,05316E-17
1021						7,20564E-17
1022						7,06622E-17
1023						7,23837E-17

A.3 Webserver

Die Messergebnisse des Webserver liegen der Arbeit als CD bei.