

Seminararbeit

# PARALLELE PROGRAMMIERUNG

Falk-Jonatan Strube

Matrikelnummer: 39467

Betreuender Hochschullehrer

Prof. Dr. Peter Sobe

Eingereicht am: 12. März 2018

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 Aufgabe</b>	<b>3</b>
1.1 Verteilte Hashtable unter MPI, Nachrichtenbasierte Variante . . . . .	3
1.2 Ziele . . . . .	4
<b>2 Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Hashtabelle . . . . .	5
2.2 Verteilte Hashtabelle . . . . .	6
2.3 Message Passing Interface . . . . .	6
<b>3 Installation und Nutzung</b>	<b>7</b>
3.1 Installation . . . . .	7
3.2 Nutzung . . . . .	8
<b>4 Umsetzung</b>	<b>12</b>
4.1 Vorbetrachtungen . . . . .	12
4.2 Threads . . . . .	12
4.3 Kommunikation über MPI . . . . .	12
4.4 Einfügen . . . . .	13
4.5 Löschen . . . . .	14
4.6 Abrufen . . . . .	14
<b>5 Auswertung</b>	<b>16</b>
5.1 Vorüberlegungen . . . . .	16
5.2 Umfang und Rahmenbedingungen . . . . .	16
5.3 Ergebnisse . . . . .	18
5.4 Analyse . . . . .	33
5.5 Bewertung . . . . .	34
5.6 Ausblick . . . . .	35
<b>Literatur</b>	<b>37</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>38</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>39</b>



# 1 AUFGABE

## 1.1 VERTEILTE HASHTABLE UNTER MPI, NACHRICHTENBASIERTE VARIANTE

Es ist ein verteilter Datenspeicher aufzubauen der Einträge (Key, Value) im Speicheradressraum verschiedener Prozesse ablegt. Der Prozess (gemappt auf einen Rechner), sowie der Ort im jeweiligen Speicher sind durch eine Zuordnung ausgehend vom Key vorzunehmen. Vorgeschlagen wird hierfür eine Hash-Funktion, die eine Adresse aus dem Key berechnet, die zu einem Teil für die Auswahl des Prozesses, zu einem anderen Teil zur Auswahl des Speicherplatzes dienen soll.

Der Zugriff auf den Datenspeicher soll aus allen Prozessen möglich sein, die sich den Speicherbereich teilen (Prozessgruppe fester Größe, Größe kann für Skalierungsexperimente verändert werden).

Zugriffsoperationen (in C-Aufrufsyntax):

```
1 rc = Insert(key, value);  
2 found = Get(key, &value);  
3 found = Delete(key);
```

Als Infrastruktur zur Verteilung wird MPI vorgeschlagen. Die Hashtable-Aktivitäten sollen idealerweise im Hintergrund durch Threads realisiert werden, unabhängig von den Abläufen zur Anwendungsverarbeitung. Möglicherweise erweisen sich weitere Funktionen zum Zugriff auf Hashtable-Einträge als nötig, beispielsweise um eine Kopplung der Nachrichtenbasierten Hashtable mit der Memoy-Window-basierten vorzunehmen.



## 1.2 ZIELE

- Zugriff auf Daten ausgehend von allen Prozessen, ohne Platzierung kennen zu müssen
- Skalierung der Speichergröße über die Kapazität eines Rechners hinaus
- Parallele Zugriffe ohne zentrale Zugriffsinstanz

Eine Einschränkung soll sein, dass der Datenspeicher nur über die Lebenszeit der Prozessgruppe verteilt in den Hauptspeichern existieren soll. Ein Rückschreiben und wiederholtes Laden der Inhalte auf/von nichtflüchtigen/m Speicher kann implementiert werden.

Eine Versuchsreihe soll das parallele Einfügen und Auslesen von Daten in die verteilte Hashtable dokumentieren. Dabei soll die Verteilung der Hashtable skaliert werden, sowie auch die Anzahl der zugreifenden Prozesse.

Programmiersprachen: C, C++, MPI, MPI-Threads



## 2 GRUNDLAGEN

### 2.1 HASHTABELLE

Bei der Arbeit mit Daten am Computer stellt sich die Frage, wie diese Daten am besten abzuspeichern sind.

Eine Hashtabelle (auch: HashMap) „generalisiert die einfache Idee eines normalen Arrays“<sup>1</sup>. Wenn bei Datensätzen (bestehend aus einem Schlüssel und dem dazugehörigen Wert) die mögliche Anzahl der Schlüssel im Verhältnis zu den Schlüsseln, die tatsächlich gespeichert werden relativ groß ist, so kann es sinnvoll sein eine Hashtabelle zu implementieren. In dieser werden durch eine Funktion die Schlüssel, und damit die Position in der Hashtabelle, berechnet. Mit diesem berechneten Schlüssel ist im Optimalfall trotzdem noch ein Zugriff des Datensatzes in der Laufzeit  $O(1)$  möglich.<sup>2</sup>

Dadurch, dass diese Funktion eine potentiell unendlich große Menge von Schlüsseln einer begrenzten Menge von Hasheinträgen zuordnet, kann es zu doppelten Belegungen kommen. Diese doppelte Belegungen auf einen Hashschlüssel könne beispielsweise mit einer Überlaufliste abgefangen werden. Wird nun aber ein Schlüssel aus einem Hasheintrag mit einer Überlaufliste abgefragt, so passiert das im schlimmsten Fall in einer Laufzeit von  $O(n)$ .<sup>3</sup>

In der Abbildung 1 ist dies Beispielhaft dargestellt. Dort werden die 12 Schlüssel von  $x = 0$  bis  $x = 11$   $n = 3$  Hashtabelleneinträgen  $t$  zugewiesen. Als Zuweisungsfunktion gilt eine einfache Modularechnung:

$$t(x) = x \pmod n$$

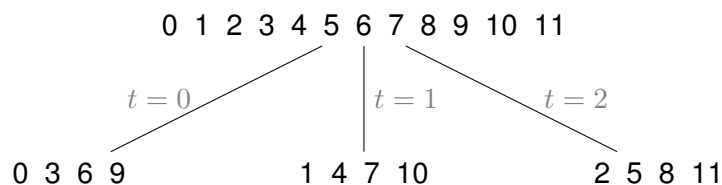


Abbildung 1: Beispielhafte Aufteilung von Schlüsseln in einer Hashtabelle

<sup>1</sup>Cormen 2009.

<sup>2</sup>Ebd.

<sup>3</sup>Ebd.



## 2.2 VERTEILTE HASHTABELLE

Eine verteilte Hashtabelle (distributed hash table, DHT) funktioniert wie eine normale Hash-tabelle, bei der Einträge zusätzlich über mehrere Prozesse oder Rechner verteilt sind. Wenn beispielsweise der Speicherplatz pro Prozess begrenzt ist, kann dieser durch Umverteilung praktisch erweitert werden. Statt einer Hashfunktion, die die Schlüssel einem Hasheintrag zuordnet, gibt es nun zwei Funktionen: Zuerst wird der Schlüssel einem Prozess, dann in dem Prozess einem Hashtabelleneintrag zugeordnet.

In der Abbildung 2 ist dies beispielhaft dargestellt. Dort werden die 12 Schlüssel von  $x = 0$  bis  $x = 11$   $n = 3$  Prozessen  $p$  mit jeweils  $m = 2$  Hashtabelleneinträgen  $t$  zugewiesen. Als Zuweisungsfunktionen gelten einfache Modularechnungen:

$$p(x) = x \bmod n$$

$$t(x) = \lfloor x/n \rfloor \bmod m$$

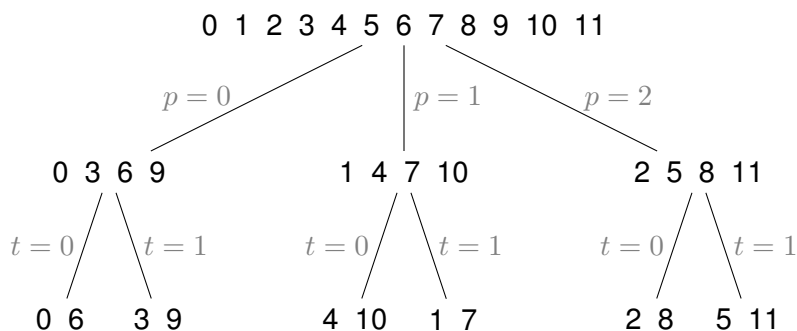


Abbildung 2: Beispielhafte Aufteilung von Schlüsseln in einer verteilten Hashtabelle

## 2.3 MESSAGE PASSING INTERFACE

Die Umsetzung der verteilten Hashtabelle erfolgt über den *Message Passing Interface* Standard. Dieser sorgt dafür, dass mehrere Prozesse miteinander kommunizieren können. Er ist vor allem für parallele Berechnungen und weniger für das Verwalten einer datenbankähnlichen Struktur gedacht. Trotzdem ist er für diese Projekt geeignet, da er einfach zu verstehen ist und er eine optimale Skalierbarkeit möglich macht.



# 3 INSTALLATION UND NUTZUNG

## 3.1 INSTALLATION

Das entwickelte Programm `DistHash`, das die verteilte Hashtabelle implementiert, läuft über `mpich`.

Dem entsprechend muss `mpich` installiert sein. In den Rechnerlaboren der HTW Dresden ist das durch folgende Befehle möglich (wobei gegebenenfalls Ordnernamen entsprechend angepasst werden müssen):

```
1 wget http://www.mpich.org/static/downloads/3.2/mpich-3.2.tar.gz
2 tar -xzf mpich-3.2.tar.gz
3 mkdir /user/profile/active/ia15/s74053/mpich-install
4 cd mpich-3.2
5 ./configure --prefix=/user/profile/active/ia15/s74053/mpich-install
   --disable-f77 --disable-fortran |& tee c.txt
6 make |& tee m.txt
7 make install |& tee mi.txt
```

Damit das Programm für den Nutzer global ausführbar ist, muss die `PATH`-Variable, zum Beispiel in der Datei `.bashrc`, angepasst werden:

```
1 export PATH=/user/profile/active/ia15/s74053/mpich-install/bin:
   $PATH
```

`DistHash` läuft über MPI auf mehreren Rechnern. Somit ist es nötig diese Rechner (in einer Datei) anzugeben. Im Rechnerlabor der HTW Dresden sind Rechner mit den folgenden Adressen zu finden:

isys101	isys108	isys116	isys1
isys102	isys109	isys117	isys2
isys103	isys110	isys118	isys3
isys104	isys111	isys119	isys4
isys105	isys112	isys120	isys5
isys106	isys113	isys121	isys6
isys107	isys114	isys122	isys7
	isys115	isys123	isys8



isys9	isys13	isys17	isys21
isys10	isys14	isys18	isys22
isys11	isys15	isys19	
isys12	isys16	isys20	

Da im Rechnerlabor der HTW Dresden nicht immer alle Rechner angeschaltet sind, muss vor jeder Anwendung geprüft werden, welche davon online sind. Hierfür wurde ein Skript geschrieben, das dieses prüft und sich gleichzeitig kurz in die jeweiligen Rechner mit einem Passwort einloggt. Damit wird sichergestellt, dass die Authentifizierung über einen SSH-Schlüssel<sup>1</sup> auch über externe Geräte funktioniert (beispielsweise mit dem eigenen Rechner über `ilux150`)<sup>2</sup>. Das Skript `acceptCert.sh`<sup>3</sup> erstellt nach Eingabe des Passworts die Datei `machinefile` im Ordner `machines`, die alle Rechner auflistet, die online sind. Weiterhin wird am Ende des Skripts angezeigt, wie viele Rechner online sind. Das ist hilfreich, um die Maximalanzahl der Prozesse, die der Anwendung für eine parallele Verarbeitung zugewiesen werden können, zu bestimmen.

```
s74053@isys101:~/projektseminar/disthash> ~/projektseminar/scripts/acceptCert.sh
Passwort von s74053:
online: isys101
online: isys102
online: isys103
...
offline: isys19
offline: isys20
offline: isys21
offline: isys22
Hosts online: 24
s74053@isys101:~/projektseminar/disthash>
```

Abbildung 3: Ablauf des Skripts, der die Rechner des Computerlabors überprüft

## 3.2 NUTZUNG

Mit der installierten `mpich`-Anwendung und der erstellten `machinefile` können nun erste Testanwendungen ausgeführt werden. Zu beachten ist, dass der Programmaufruf immer über einen der `isys`-Rechner geschehen muss (und beispielsweise nicht über `ilux150`). Hier der beispielhafte Programmaufrufe ausgehend von einem eigenen Rechner über `ilux150`.

```
1 ssh ilux150.informatik.htw-dresden.de -l s74053
2 ssh isys1
3 mpiexec -f ~/projektseminar/machines/machinefile -n 5 hostname
```

<sup>1</sup>schlittermann.de 2014.

<sup>2</sup>Verbindet man sich mit einem eigenen Rechner über SSH mit `ilux150`, so muss trotz gültigen SSH-Schlüssel in regelmäßigen Abständen das Passwort eingegeben werden. Gleiches gilt, wenn von dort aus eine SSH Verbindung mit den `isys`-Rechnern aufgestellt werden soll: Zu Beginn muss immer erst ein Passwort eingegeben werden. Ist das eingegeben, kann (für ca. 24 Stunden) der SSH-Schlüssel ohne Passwort genutzt werden. Dies hängt wahrscheinlich mit der Kerberos-Identität zusammen, die über die SSH-Verbindung vom eigenen Rechner „mitgebracht“ wird und nicht mit der der HTW überein stimmt. Der Zuständige des Laborbereichs konnte ebenfalls keinen bequemeren Lösungsweg finden.

<sup>3</sup>Zu finden im Ordner `scripts`. Im Folgenden wird immer angenommen, dass der Ordner `projektseminar` im Homeverzeichnis des Nutzers liegt und die entsprechenden Ordner `disthash`, `machines` und `scripts` enthält.





```
4 mpiexec -f ~/projektseminar/machines/machinefile -n 5 ./examples/  
  cpi
```

Das Programm kann entsprechend aufgerufen werden (nachdem es kompiliert wurde):

```
1 cd ~/projektseminar/disthash/  
2 make -B  
3 mpiexec -f ~/projektseminar/machines/machinefile -n 5 disthash
```

Entsprechend der Anwendung `mpiexec` gibt das Argument `-n` die Anzahl der Prozesse an, mit der das Programm ausgeführt werden soll.

Die Argumente des Programms `disthash` sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

<code>-v</code>	Zeigt wortreich ( <b>verbose</b> ) Vorgänge/Zwischenschritte in der Abarbeitung der Befehle an. Ist standardmäßig ausgeschaltet (für das Einspielen der Testdatensätze), bei der Benutzereingabe jedoch immer an.
<code>-l</code>	Die Hashtabelle wird <b>lokal</b> angelegt. Keine Kommunikation über MPI. Darf nur mit einem Prozess ausgeführt werden. Standardmäßig nicht aktiviert und zu Testzwecken gedacht.
<code>-r</code>	Die Hashtabelle wird <b>entfernt (remote)</b> angelegt. Prinzip Client-Server: Ein Prozess macht anfragen, der Andere bearbeitet diese mit seiner Hashtabelle. Kommunikation über MPI. Darf nur mit zwei Prozessen ausgeführt werden. Standardmäßig nicht aktiviert und zu Testzwecken gedacht.
<code>-d</code>	Die Hashtabelle wird <b>entfernt (distributed)</b> angelegt. Dies ist Standardmäßig aktiviert und entspricht den Anforderungen der Aufgabenstellung.
<code>-t</code>	Es werden verschieden <b>Tests</b> ausgeführt, anschließend eine Zusammenfassung angezeigt und in Datei gespeichert. Benutzereingabe ist deaktiviert. Je nach Modus und Größe der Hashtabelle kann dies einige Zeit dauern. Standardmäßig nicht aktiviert.
<code>-h ***</code>	Legt die Größe der <b>Hashtabelle</b> fest. Standardwert ist 4096 (entspricht <code>-h 4096</code> ).

Tabelle 1: Argumente des Programms `disthash`

Führt man das Programm mit dem Argument `-t` aus, so finden die Test statt, deren Ergebnisse in 5.3 tabellarisch aufgezeichnet wurden. Der Programmablauf in der Konsole ist in Abbildung 4 zu sehen. Dabei ist die Reihenfolge der durchgeführten Tests gut nachzuvollziehen. Die Ergebnisse, die auch in einer `.csv`-Datei gespeichert werden, sind zum Schluss gut ablesbar aufgelistet.

Führt man das Programm ohne Testargument aus, so wird ein Testdatensatz eingelesen, auf dem man dann Befehle ausführen kann. Die Befehle sind wie folgt:

- `get ID`, um den Eintrag mit dem Schlüssel `ID` abzufragen.



```

s74053@isis101:~/projektseminar/disthash> mpiexec -f ~/projektseminar/machines/machinefile -n 1 ./disthash -l -t -h 258000
=====
Welcome to DistHash by FJS.
Mode: LOCAL      Processes: 1  HashMap size: 258000
=====
Delete not existing entrys in empty HashMap (258000 actions).
Not existing entrys deleted in empty HashMap in  0.003901  seconds.
Get not existing entrys in empty HashMap (258000 actions).
Not existing entrys got in empty HashMap in  0.006679  seconds.
Inserting cached data (258000 actions).
Cached data inserted in  0.030178  seconds.
Rewriting cached data (258000 actions).
Cached data rewritten in  0.019707  seconds.
Get random existing entrys (258000 actions).
Random existing entrys got in  0.073722  seconds.
Get random not existing entrys (258000 actions).
Random not existing entrys got in  0.023787  seconds.
Rewrite random data in cached data (258000 actions).
Random data rewritten in  0.188490  seconds.
"Delete" not existing entrys (258000 actions).
Not existing entrys "deleted" in  0.031849  seconds.
Delete all existing entrys (258000 actions).
All existing entrys deleted in  0.006698  seconds.
Process random data (258000 actions -- Insert: 45%  Get: 45%  Delete: 10%).
Random data processed in  0.121418  seconds.
Insert random data (258000 actions).
Random data inserted in  0.185935  seconds.
Reinserting cached data...
Process random actions on inserted data (258000 actions -- Insert: 45%  Get: 45%  Delete: 10%).
Random data processed in  0.181679  seconds.
-----
Insert  empty                0.030178s
Insert  mostly not existing  random 0.185935s
Insert                0.019707s
Insert                random 0.188490s
Get                random 0.073722s
Get                not existing random 0.023787s
Get  empty          not existing 0.006679s
Delete                0.006698s
Delete                not existing 0.031849s
Delete  empty          not existing 0.003901s
Actions  mostly existing random 0.181679s
Actions  mostly not existing random 0.121418s
-----
Thank you for using DistHash by FJS.
s74053@isis101:~/projektseminar/disthash>

```

Abbildung 4: Ablauf einer Testdurchführung

- `ins ID string`, um einen Eintrag mit dem Schlüssel `ID` und dem Wert `string` hinzuzufügen.
- `del ID`, um den Eintrag mit dem Schlüssel `ID` zu löschen.
- `h` bzw. `help`, um die Übersicht der möglichen Befehle anzeigen zu lassen (wird auch bei Beginn der Nutzereingabe angezeigt).
- `q` bzw. `quit`, um DistHash zu beenden.

Bei der Abarbeitung der Befehle wird dargestellt, an welchen Prozess die entsprechende Anfrage geschickt wurde und wie dieser geantwortet hat. Zur einfacheren Zuordnung sind die Prozesse verschiedenfarbig codiert (die Farben können sich bei einer großen Anzahl an Prozessen wiederholen). Ein beispielhafter Programmablauf ist in Abbildung 5 nachzuvollziehen.



```

s74053@isys101:~/projektseminar/disthash> mpiexec -f ~/projektseminar/machines/machinefile -n 20 ./disthash
=====
Welcome to DistHash by FJS.
Mode: DISTRIBUTED          Processes: 20  HashMap size: 4096
=====
Inserting test data set. Please wait.
=====
Commands: 'get ID', 'ins ID string', 'del ID', 'h(elp)', 'q(uit)''
Command: ins 5 My first test
Request to insert (5, My first test) into Process' 5 HashMap for Process 0 sent.
        Inserted (5, My first test) from Process 0 into HashMap by Process 5.
Command: ins 8 My second test
Request to insert (8, My second test) into Process' 8 HashMap for Process 0 sent.
        Inserted (8, My second test) from Process 0 into HashMap by Process 8.
Command: ins 23 My third test
Request to insert (23, My third test) into Process' 3 HashMap for Process 0 sent.
        Inserted (23, My third test) from Process 0 into HashMap by Process 3.
Command: get 8
Request to get entry (8, ?) in Process' 8 HashMap for Process 0 sent.
        Got (8, My second test) for Process 0 from HashMap by Process 8.
Command: del 8
Request to delete entry (8, ?) in Process' 8 HashMap for Process 0 sent.
        Deleted (8, -) for Process 0 from HashMap by Process 8.
Command: get 8
Request to get entry (8, ?) in Process' 8 HashMap for Process 0 sent.
        Entry (8, ?) for Process 0 from HashMap by Process 8 is empty.
Command: get 5
Request to get entry (5, ?) in Process' 5 HashMap for Process 0 sent.
        Got (5, My first test) for Process 0 from HashMap by Process 5.
Command: ins 5 My first overwrite
Request to insert (5, My first overwrite) into Process' 5 HashMap for Process 0 sent.
        Inserted (5, My first overwrite) from Process 0 into HashMap by Process 5.
Command: get 5
Request to get entry (5, ?) in Process' 5 HashMap for Process 0 sent.
        Got (5, My first overwrite) for Process 0 from HashMap by Process 5.
Command: q
=====
Thank you for using DistHash by FJS.
s74053@isys101:~/projektseminar/disthash> _

```

Abbildung 5: Benutzung des CLI der Anwendung DistHash



# 4 UMSETZUNG

## 4.1 VORBETRACHTUNGEN

Die Hashtabelle wird, wie in Abschnitt 2.1 erwähnt, mit einer Überlaufliste implementiert. Damit können Einträge gespeichert werden, selbst wenn sie dem gleichen Hascheintrag zugewiesen werden.

Entsprechend der Funktionen in Abschnitt 2.2 werden die Einträge den Prozessen (und innerhalb der Prozesse den Hashtabelleneinträgen) zugewiesen.

Als Wert eines Hascheintrags wurde ein String festgelegt. Somit können neue Einträge bequem über ein einfaches CLI eingegeben. Weiterhin kann damit veranschaulicht werden, wie die byteweise Übertragung von Daten in MPI funktioniert.

## 4.2 THREADS

Damit jeder Prozess gleichzeitig Anfragen stellen und auf Anfragen anderer Prozesse reagieren kann, hat jeder Prozess zwei Threads<sup>1</sup>:

- Einen (Haupt-)Prozess  $p$ , der Algorithmen abarbeitet (beispielsweise die Nutzereingabe) und
- einen Prozess  $p'$ , der Anfragen anderer Prozesse auf seine Hashtabelle bearbeitet (einfügen, erstellen oder löschen).

Entsprechend kommuniziert jeder Prozess  $p$  nur mit den Threads  $p'$  aller Prozesse (einschließlich seinem eigenen). Diese Funktionsweise ist in Abbildung 6 schematisch für die Anfragen des Prozesses  $i$  dargestellt.

## 4.3 KOMMUNIKATION ÜBER MPI

Um eine Anfrage über MPI zu senden, muss der Sender einem Empfänger seine Nachricht mit einem bestimmten Code senden. Der Empfänger muss auf den Sender hören, kann anhand des Codes entscheiden, ob er die Nachricht entgegennehmen möchte und gegebenenfalls die Nachricht verarbeiten.

---

<sup>1</sup>Funktionsweise und Semantik wurde Snir 1998 entnommen.



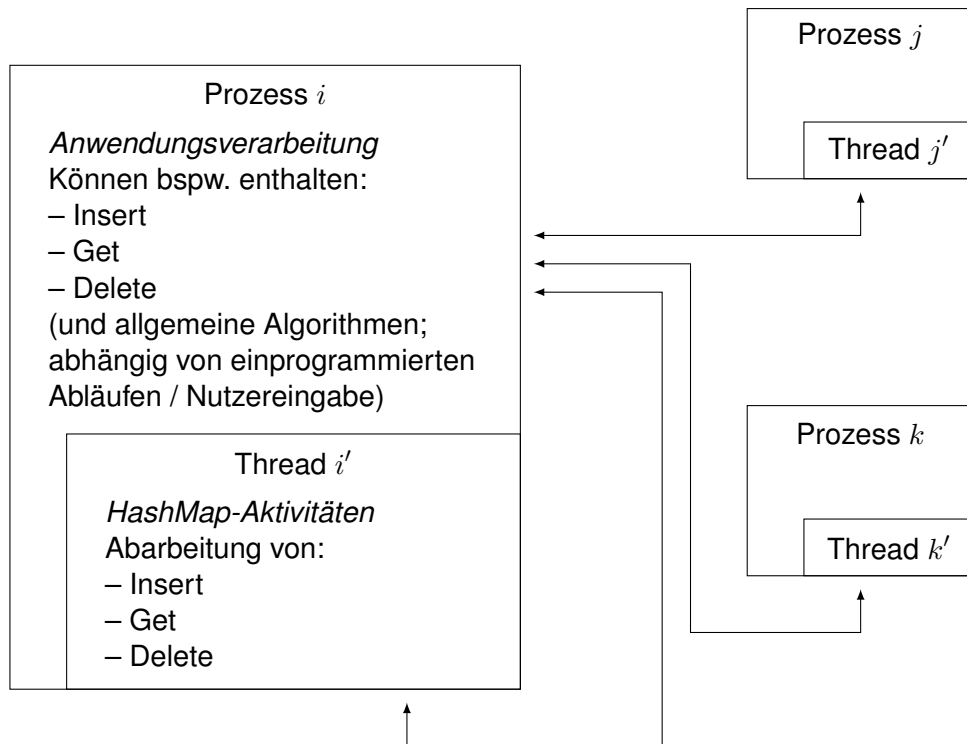


Abbildung 6: Funktionsweise des Programms mit (Haupt-)Prozessen und Threads

In dieser Implementation ist es so, dass die Threads grundsätzlich auf alle Prozesse hören. Sobald ein Prozess eine Anfrage gesendet hat, die von dem Thread entgegen genommen wird, hört der Thread nur noch auf diesen Prozess. Anhand des Codes der Anfrage weiß der Thread, welche Inhalte er im Folgenden zu erwarten hat und reagiert entsprechend nur auf diese. Ist eine Anfrage beendet, öffnet der Thread sich wieder allen Prozessen und kann die nächste Anfrage entgegen nehmen.

In den folgenden Abschnitten werden diese Abläufe für die drei Anfragen (beziehungsweise Aktionen) beschrieben. Um die genaue Funktionsweise nachzuvollziehen ist weiterhin der Quellcode ausreichend kommentiert.

## 4.4 EINFÜGEN

Der Ablauf des Einfügens soll anhand der Abbildung 7 mit dem Prozess  $i$ , der das Element  $(p, q)$  in die Hashtabelle einfügen möchte, erklärt werden. Das Element gehöre zur Hashtabelle im Prozess  $j$ .

Wie zuvor beschrieben, muss der Prozess  $i$  zuerst sein Anliegen (die Aktion *INS*) an den Thread  $j'$  des Prozesses  $j$  senden. Sobald  $j'$  die Nachricht entgegen nimmt (nach dem er gegebenenfalls zuvor mit anderen Anfragen beschäftigt war), wartet er auf den Schlüssel, der von  $i$  übertragen werden muss. Als nächstes sendet  $i$  die Länge der Zeichenkette des Eintrags, damit  $j'$  einen Puffer der entsprechenden Größe erstellen kann. Dann sendet  $i$  die Zeichenkette byteweise an  $j'$ . Sobald die Übertragung abgeschlossen ist, fügt  $j'$  den Eintrag, bestehend aus

dem Schlüssel und der zusammengesetzten Zeichenkette, in seine Hashtabelle ein. Damit ist die Übertragung beendet:  $i$  kann nun weiter Anfragen (an  $j$  oder andere Prozesse) senden und  $j$  wieder auf beliebige Prozesse reagieren.

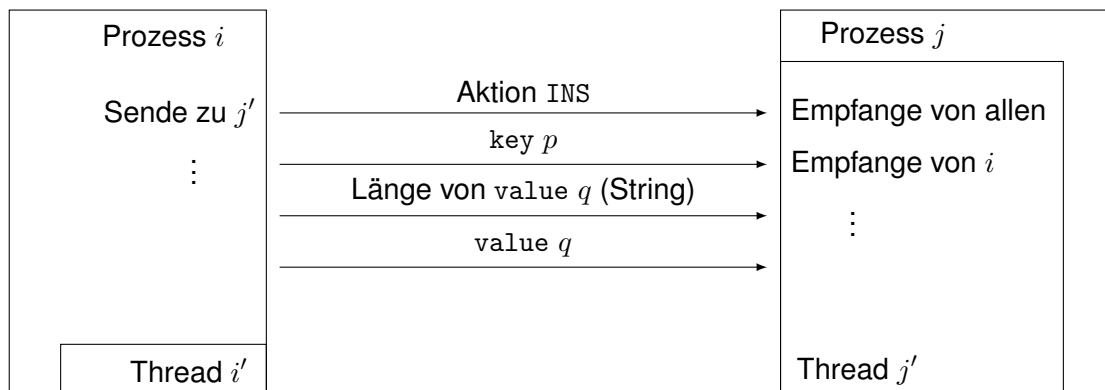


Abbildung 7: Ablauf eines insert-Befehls

## 4.5 LÖSCHEN

Der Ablauf des Löschens soll anhand der Abbildung 8 mit dem Prozess  $i$ , der das Element  $p$  aus der Hashtabelle löschen möchte, erklärt werden. Das Element gehöre zur Hashtabelle im Prozess  $j$ .

Der Ablauf ist ähnlich zu dem des Einfügens. Anstatt der Zeichenkette von  $i$  an  $j'$  wird ein Feedback von  $j'$  an  $i$  gesendet, damit  $i$  Bescheid weiß, ob das Element gelöscht wurde oder nicht (wenn es nicht existiert).

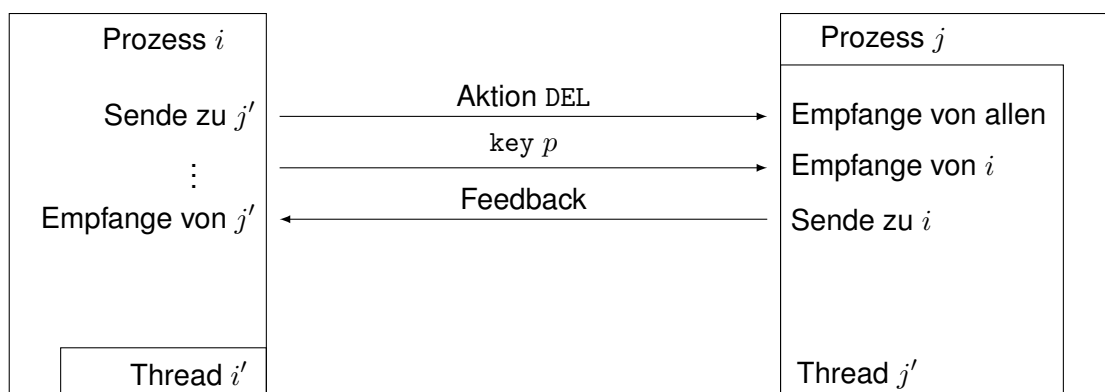


Abbildung 8: Ablauf eines delete-Befehls

## 4.6 ABRUFEN

Der Ablauf des Abrufens soll anhand der Abbildung 9 mit dem Prozess  $i$ , der das Element  $p$  aus der Hashtabelle abrufen möchte, erklärt werden. Das Element gehöre zur Hashtabelle im Prozess  $j$ .



Der Ablauf ist ähnlich zu dem des Einfügens und Löschens. Abweichend wird nach dem Senden des Schlüssels an  $j'$  die Länge der Zeichenkette an  $i$  gesendet wird, damit  $i$  die Zeichenkette empfangen kann. Falls die Zeichenkette allerdings leer ist (weil das Element nicht vorhanden ist), so wird von  $j'$  eine negative Zeichenkettenlänge übertragen. Dem entsprechend weiß  $i$  Bescheid, dass keine Übertragung der Zeichenkette mehr zu erwarten ist.

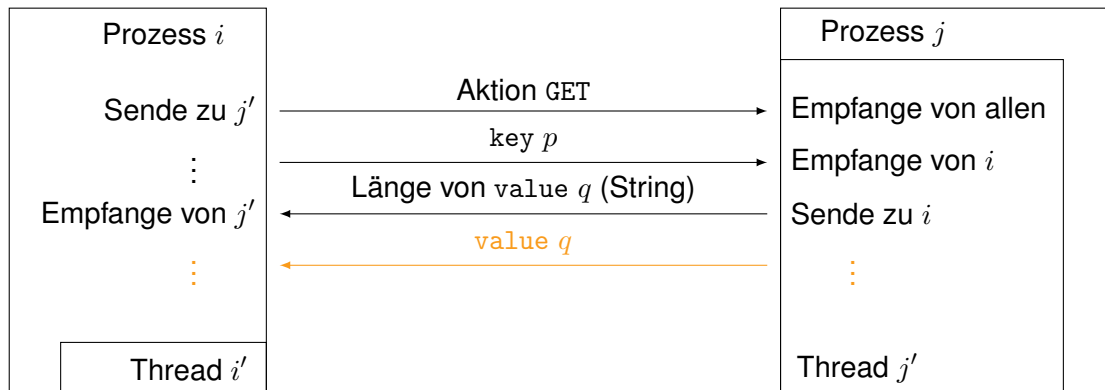


Abbildung 9: Ablauf eines get-Befehls



# 5 AUSWERTUNG

## 5.1 VORÜBERLEGUNGEN

Vor der Auswertung wurde überlegt, welche Ergebnisse zu erwarten sind. Es wurde folgende Hypothese aufgestellt:

Es ist im Vergleich zu der lokalen Hashtabelle mit der verteilten kein Geschwindigkeitsgewinn zu erwarten, da relativ viel kommuniziert und relativ wenig berechnet wird. Wahrscheinlich ist, dass es deutlich langsamer ist, besonders wenn viele Prozesse genau einen Hash-Wert eines einzigen Rechners lesen/schreiben möchten.

Der Kompromiss bei der verteilten Hashtabelle ist, dass zwar der mögliche Speicherplatz erhöht, aber durch die Kommunikation zwischen Prozessen die Geschwindigkeit der Verarbeitung verringert wird.

Mit den Vermutungen zur Geschwindigkeit und den Vorüberlegungen zur Speichergröße wurde die Tabelle 2 aufgestellt.

	Geschwindigkeit	Speichergröße
Lokal	+	-
Entfernt	-	-
Verteilt	○	+

Tabelle 2: Erwartete Leistung der lokalen, entfernten und verteilten Hashtabelle

## 5.2 UMFANG UND RAHMENBEDINGUNGEN

Um die Leistungsfähigkeit des Programms `DistHash` zu prüfen, wurden alle Aktionen (`Insert`, `Get` und `Delete`) mehrfach unter verschiedenen Voraussetzungen durchgeführt. Variiert wurden dabei vor allem folgende Umstände:

- Ist die Hashtabelle leer?
- Werden die Aktionen auf existierende Einträgen ausgeführt?
- Sind die Aktionen zufällig (in der Reihenfolge und im Inhalt)?





Daraus wurden 12 Testaufbauten entworfen, die jeweils mit variabler Größe der Hashtabelle durchgeführt wurden:

1. Einfügen (nicht zufälliger Daten) in eine leere Hashtabelle.
2. Zufälliges Einfügen von größtenteils nicht existierenden Einträgen in eine (gefüllte) Hashtabelle.
3. Einfügen existierender Daten in eine (gefüllte) Hashtabelle. Sprich: Überschreiben aller Werte.
4. Zufälliges Einfügen existierender Daten in eine (gefüllte) Hashtabelle.
5. Zufälliges Abfragen von Werten.
6. Zufälliges Abfragen von nicht existierenden Werten.
7. Zufälliges Abfragen von nicht existierenden Werten aus einer leeren Hashtabelle.
8. Löschen von Daten aus einer (gefüllten) Hashtabelle.
9. Löschen von nicht existierenden Daten.
10. Löschen von nicht existierenden Daten aus einer leeren Hashtabelle.
11. Zufällige Aktionen (45% Insert, 45% Get, 10% Delete) auf größtenteils existierende Einträge.
12. Zufällige Aktionen (45% Insert, 45% Get, 10% Delete) auf größtenteils nicht existierende Einträge.

Jeder Test wurde 258 000 Mal durchgeführt, da für das nicht zufällige Einfügen ein Datensatz verwendet wurde, der eben so viele Einträge hat. Dieser Datensatz wurde vor der Messung zwischengespeichert, sodass das Auslesen deren Datei keinen Einfluss auf die Messung hat.

Alle Tests wurden mit Hashtabellen unterschiedlicher Größe durchgeführt. Damit wird bei gleichbleibender Anzahl von Daten pro Test simuliert, wie das Programm relativ zur Datenmenge funktioniert.

Neben den vorgegebenen Anzahl an Prozessen für den lokalen und entfernten Modus wurden zwischen 1 und 42 Prozesse im verteilten Modus getestet. Die (maximale) Anzahl der möglichen Prozesse richtet sich nach der Größe des Rechnerlabors der HTW Dresden. Dort stehen maximal 45 Rechner zur Verfügung. Da die Computer der Rechnerlabore und deren Netzwerk nicht explizit für die Tests reserviert wurde, sind von der Rechnerbenutzung Dritter verursachte Abweichungen der Messergebnisse zu erwarten.

Zu jedem Test wurden drei Messungen vorgenommen und zur Analyse der Mittelwert daraus verwendet.



## 5.3 ERGEBNISSE

Im Folgenden sind die Messergebnisse aller Testaufbauten zu finden. Die farbliche Hinterlegung ist für alle Tabellen in den jeweiligen Kategorien gleich und wurde so gewählt, dass grün einem relativ guten, gelb einem schlechten und rot einem nicht praktikablen Wert entspricht.

- Die gemessenen Zeiten sind in Sekunden angegeben. Dabei sind die Farbgrenzen:  
Grün: 0.004    Gelb: 25    Rot: 75
- Die Varianz hat folgende Farbgrenzen:  
Grün: 0    Gelb: 10    Rot: 100
- Die Best-Case Zeile berechnet sich aus der besten Zeit der jeweiligen Spalte. Sie ist in  $\mu$ -Sekunden angegeben. Dabei sind die Farbgrenzen:  
Grün: 0.015    Gelb: 5    Rot: 265
- Die Worst-Case Zeile berechnet sich aus der schlechtesten Zeit der jeweiligen Spalte. Sie ist in  $\mu$ -Sekunden angegeben. Dabei sind die Farbgrenzen:  
Grün: 0.015    Gelb: 25    Rot: 295



Lokal

HashMap Größe		absolut	relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
absolut	pro Test				empty	mostly not existing random	existing (rewrite) random	random	random	not existing random	empty	not existing empty	empty	not existing empty	mostly existing random	mostly not existing random
129	0.05%	Durchschnitt	4.27274	19.2626	4.260927	7.44834	7.246947	8.212107	0.006458	0.004437	0.034445	0.003911	56.06783	1.671927		
		Messung 1	4.34616	19.7141	4.34891	7.72741	7.58803	8.20758	0.00647449	0.00450349	0.0340126	0.0039649	55.2172	1.66974		
		Messung 2	4.22587	19.3871	4.20179	7.0695	6.7167	8.33331	0.00649929	0.00449467	0.0355361	0.0039258	55.029	1.65903		
		Messung 3	4.24620	18.6866	4.23208	7.54811	7.43611	8.09543	0.00640035	0.00431299	0.0337856	0.0038414	57.9573	1.68701		
645	0.25%	Durchschnitt	0.52813	4.550387	0.51898	1.65079	1.429823	0.777662	0.006581	0.004385	0.034317	0.003903	12.94953	0.43628		
		Messung 1	0.52452	4.63458	0.517453	1.79774	1.42969	0.777236	0.00648618	0.0043819	0.0342078	0.00387836	13.0366	0.434887		
		Messung 2	0.52792	4.63444	0.517496	1.58887	1.43952	0.776622	0.00662875	0.00440741	0.0344613	0.00393438	12.4976	0.43967		
		Messung 3	0.53194	4.38214	0.521992	1.56576	1.42026	0.779127	0.00662875	0.00436711	0.0342817	0.00389504	13.3144	0.434283		
1290	0.50%	Durchschnitt	0.36165	2.450247	0.349215	0.916194	0.773917	0.371179	0.006601	0.004468	0.034065	0.003909	6.921337	0.281379		
		Messung 1	0.42052	2.54872	0.411092	0.954249	0.820663	0.370586	0.00669003	0.00440264	0.03356	0.00391984	7.01465	0.282269		
		Messung 2	0.34145	2.41846	0.32862	0.930337	0.785976	0.371932	0.00648618	0.00451422	0.0343115	0.0038867	6.87568	0.284419		
		Messung 3	0.32296	2.38356	0.307933	0.863995	0.715112	0.371019	0.00662613	0.0044868	0.0343239	0.00391936	6.87368	0.277448		
3870	1.50%	Durchschnitt	0.13190	0.906344	0.11987	0.424806	0.297556	0.132622	0.006699	0.004509	0.034369	0.003956	2.398213	0.17691		
		Messung 1	0.13195	0.901432	0.121208	0.432405	0.303838	0.131118	0.00664759	0.00445843	0.0342867	0.00391531	2.39317	0.17678		
		Messung 2	0.13228	0.902896	0.115856	0.413424	0.291481	0.134881	0.00678682	0.00445104	0.0343838	0.00402856	2.39829	0.17553		
		Messung 3	0.13148	0.914705	0.122547	0.428588	0.297348	0.131866	0.00666237	0.00461793	0.0344365	0.00392461	2.40318	0.178421		
25800	10.00%	Durchschnitt	0.03831	0.289452	0.026403	0.222875	0.110652	0.034289	0.006594	0.004742	0.033545	0.003955	0.482592	0.1291		
		Messung 1	0.03872	0.286949	0.0265682	0.221421	0.108658	0.0343301	0.00654745	0.00465608	0.0334284	0.0039556	0.480163	0.128673		
		Messung 2	0.03923	0.287164	0.0262697	0.221031	0.110738	0.0342615	0.00654387	0.0047214	0.0334904	0.00395393	0.480624	0.127206		
		Messung 3	0.03699	0.294244	0.026372	0.226173	0.112559	0.0342755	0.00669146	0.00484824	0.0337167	0.00395679	0.486989	0.131422		
129000	50.00%	Durchschnitt	0.03175	0.197233	0.020366	0.194672	0.079326	0.025092	0.006602	0.006248	0.032768	0.003995	0.215812	0.120686		
		Messung 1	0.03335	0.197402	0.0201433	0.19233	0.0789394	0.0248933	0.00653195	0.00623846	0.0328217	0.00394464	0.215024	0.121941		
		Messung 2	0.03101	0.196819	0.0200908	0.197623	0.0800841	0.025543	0.00664687	0.00631738	0.0327415	0.00394011	0.216021	0.121005		
		Messung 3	0.03089	0.197479	0.0208631	0.194063	0.0789547	0.0248401	0.0066278	0.00618839	0.032742	0.00410032	0.21639	0.119113		
193500	75.00%	Durchschnitt	0.03111	0.191422	0.01993	0.194129	0.076675	0.023781	0.006699	0.006347	0.032345	0.003994	0.19249	0.118269		
		Messung 1	0.03110	0.189852	0.0199423	0.192951	0.0766006	0.0238488	0.00693417	0.00637293	0.0324275	0.00392342	0.191942	0.118535		
		Messung 2	0.03126	0.194915	0.0199363	0.197112	0.0766118	0.0237591	0.00653529	0.00631404	0.0324693	0.00397587	0.193049	0.118056		
		Messung 3	0.03097	0.189498	0.0199122	0.192324	0.0768113	0.0237343	0.00662899	0.00635529	0.0321391	0.00392032	0.19248	0.118217		
258000	100.00%	Durchschnitt	0.03153	0.186993	0.020148	0.190719	0.073947	0.023732	0.006548	0.006763	0.031834	0.003995	0.179997	0.119569		
		Messung 1	0.03044	0.187242	0.0207815	0.193621	0.0744834	0.0237586	0.00664878	0.00682378	0.0320499	0.00409722	0.180727	0.120641		
		Messung 2	0.03184	0.187349	0.0196424	0.190041	0.0736792	0.0237436	0.00653052	0.00677085	0.0318058	0.00395393	0.179932	0.119399		
		Messung 3	0.03232	0.186388	0.020021	0.188496	0.0736794	0.0236936	0.00646567	0.00669289	0.0316463	0.00393248	0.179332	0.118668		
516000	200.00%	Durchschnitt	0.03089	0.182493	0.0215	0.193035	0.073386	0.021688	0.006606	0.00657	0.031739	0.003907	0.163847	0.122929		
		Messung 1	0.03093	0.17989	0.024827	0.197	0.0735743	0.022079	0.00664878	0.00652146	0.0317006	0.00393152	0.162935	0.123345		
		Messung 2	0.03100	0.18375	0.0197604	0.189232	0.0731521	0.0215201	0.00663066	0.00657463	0.0317273	0.00389218	0.165299	0.122755		
		Messung 3	0.03075	0.183838	0.019913	0.192874	0.0734327	0.0214641	0.00653744	0.00661421	0.0317891	0.00389671	0.163307	0.122687		
Varianz		1.71	34.48	1.71	4.99	4.87	6.43	0.00	0.00	0.00	0.00	295.76	0.23			
Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)		0.118	0.697	0.076	0.731	0.284	0.083	0.025	0.017	0.123	0.015	0.632	0.458			
Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)		16.846	76.411	16.856	29.951	29.411	32.300	0.027	0.026	0.138	0.016	224.641	6.539			

Tabelle 3: Messergebnisse im Modus local (mit einer Maschine)



Entfernt

HashMap Größe absolut	Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite) random	random	random	not existing random	empty	not existing empty	not existing empty	existing random	existing random	
129	0.05%	Durchschnitt	71.03903	70.0355	71.39243	70.63483	58.67547	47.68773	47.9233	47.5505	47.7217	47.92353	74.35663	57.75677
		Messung 1	71.6465	71.1036	71.6488	70.4643	58.7839	47.44	48.4859	47.2908	47.6385	48.3839	75.6609	57.252
		Messung 2	72.1807	70.4282	70.7822	70.1562	58.6457	47.8654	47.987	47.8823	47.8166	47.6988	73.9625	58.4181
		Messung 3	69.2899	68.5747	71.7463	71.284	58.5968	47.7578	47.297	47.4784	47.71	47.6879	73.4465	57.6002
645	0.25%	Durchschnitt	70.12503	70.3831	69.72083	70.17343	57.4515	47.7053	47.6822	47.76007	48.03587	47.59173	64.354	58.11677
		Messung 1	70.2126	69.6149	69.1892	70.3586	56.8945	47.2442	48.1532	47.9814	47.9521	47.82	63.5502	58.5688
		Messung 2	71.8475	70.3298	71.6518	69.8309	58.3432	47.8282	47.6047	47.2291	48.0777	47.6491	64.6649	57.1679
		Messung 3	68.315	71.2046	68.3215	70.3308	57.1168	48.0435	47.2887	48.0697	48.0778	47.3061	64.8469	58.6136
1290	0.50%	Durchschnitt	69.5393	70.281	69.5513	70.1228	57.54797	48.032	47.67853	48.00093	47.9348	47.76527	64.7446	57.91237
		Messung 1	70.6788	71.8854	70.3976	72.1191	57.7231	48.5367	48.1216	48.6195	48.6041	48.1666	65.8592	59.4782
		Messung 2	68.3664	68.6164	68.6969	69.868	57.4738	47.8107	47.3328	47.8082	47.8015	47.8551	63.4657	57.0153
		Messung 3	69.5727	70.3412	69.5594	68.3813	57.447	47.7486	47.5812	47.5751	47.3988	47.2741	64.9089	57.2436
3870	1.50%	Durchschnitt	69.13633	69.4161	69.17363	70.02073	57.452	47.96337	47.59263	47.56233	47.87093	47.63127	64.59	58.10047
		Messung 1	68.3762	70.2934	68.5615	70.5276	57.7317	48.1636	47.3213	47.4872	48.4151	47.3175	64.8181	58.8635
		Messung 2	68.6442	68.9243	68.6412	70.7191	57.1567	47.5214	47.3657	48.04	48.0449	47.4787	63.8134	58.6252
		Messung 3	70.3886	69.0306	70.3182	68.8155	57.4676	48.2051	48.0909	47.1598	47.1528	48.0976	65.1385	56.8127
25800	10.00%	Durchschnitt	69.70773	70.29063	69.33127	69.0278	57.24243	47.63517	47.8005	47.35013	47.4013	47.75503	64.69413	57.2379
		Messung 1	70.2797	69.3298	70.2704	70.234	57.471	47.7874	48.1253	47.3067	47.334	48.5709	63.3215	56.963
		Messung 2	70.26	70.4234	69.2538	68.3733	57.2015	47.8608	47.9446	47.2844	47.2661	47.3684	64.8197	56.9669
		Messung 3	68.5835	71.1187	68.4696	68.4761	57.0548	47.2573	47.3316	47.4593	47.6038	47.3258	65.9412	57.7838
129000	50.00%	Durchschnitt	70.0446	69.70723	69.77543	70.24803	57.09117	47.76623	47.90953	47.65707	47.37627	47.98297	63.66737	57.94463
		Messung 1	70.9576	69.0554	70.9059	70.4897	57.4315	48.1801	48.2849	48.0255	47.1074	48.1415	63.097	58.2658
		Messung 2	70.6579	70.1321	69.9093	70.24	56.9678	47.5262	48.3723	47.4732	47.2405	48.2279	63.9217	58.0053
		Messung 3	68.5183	69.9342	68.5111	70.0144	56.8742	47.5924	47.0714	47.4725	47.7809	47.5795	63.9834	57.5628
193500	75.00%	Durchschnitt	69.75383	69.78817	70.66633	69.65447	57.46283	47.49787	47.67573	47.71817	47.74903	47.23747	64.43117	57.7654
		Messung 1	70.697	69.9747	70.4756	70.2415	57.5364	47.6458	47.2069	47.7026	47.8874	47.1421	63.8908	57.7215
		Messung 2	69.9395	68.6988	73.2324	68.3847	58.1306	47.4333	47.6496	47.2889	47.1065	47.2965	64.0621	56.7383
		Messung 3	68.625	70.691	68.291	70.3372	56.7215	47.4145	48.1707	48.163	48.2532	47.2738	65.3406	58.8364
258000	100.00%	Durchschnitt	70.4317	69.49283	69.33053	71.07063	57.75743	48.21617	47.92953	47.5013	47.75983	47.54577	64.08757	57.68487
		Messung 1	70.4878	68.6475	69.0982	70.147	57.7072	48.2982	48.1496	47.2556	47.8065	48.1635	63.1907	56.9558
		Messung 2	70.7665	71.2341	68.5791	70.1915	57.5932	47.9695	47.918	47.938	47.9698	47.0465	64.9564	59.1648
		Messung 3	70.0408	68.5969	70.3143	72.8734	57.9719	48.3808	47.721	47.3103	47.5032	47.4273	64.1156	56.934
516000	200.00%	Durchschnitt	70.9684	70.21267	70.96	72.5778	57.4718	47.77133	48.02093	47.5771	47.75863	47.83543	63.93837	57.34423
		Messung 1	70.3091	70.0632	71.0019	70.2088	57.3372	47.8983	48.061	47.4897	48.0066	48.074	64.0651	57.0978
		Messung 2	74.0111	69.2778	73.3632	76.5005	57.8898	47.6633	48.7403	47.5444	47.7557	48.15	64.1418	57.1248
		Messung 3	68.585	71.297	68.5149	71.0241	57.1884	47.7524	47.2615	47.6972	47.5136	47.2823	63.6082	57.8101
Varianz			0.36	0.12	0.58	0.89	0.18	0.04	0.02	0.03	0.04	0.05	10.08	0.08
Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)			264.787	265.793	264.694	265.013	219.851	183.117	182.447	182.790	182.583	182.351	244.562	219.916
Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)			286.865	278.626	284.353	296.514	227.845	188.127	188.916	188.448	188.388	188.259	293.259	230.536

Tabelle 4: Messergebnisse im Modus remote (mit zwei Maschinen)



Verteilt 1

HashMap Größe relativ zu Aktionen absolut pro Test	Messung	Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
		empty	mostly not existing random	existing (rewrite) random	random	random	not existing random	empty	not existing empty	not existing empty	not existing empty	mostly existing random	mostly not existing random
129 0.05%	Durchschnitt	19.40813	33.91177	19.04477	19.11807	17.32427	9.744647	1.609497	1.40995	1.40475	1.396803	72.662	6.2409
	Messung 1	19.4946	35.7719	19.5168	19.9163	17.9378	10.8548	1.48123	1.39781	1.41676	1.38658	70.6174	6.50093
	Messung 2	19.4084	33.6723	19.3881	19.7345	18.0516	11.1578	1.60264	1.38372	1.35885	1.37313	74.3828	6.67117
	Messung 3	19.3214	32.2911	18.2294	17.7034	15.9834	7.22134	1.74462	1.44832	1.43864	1.4307	72.9858	5.5506
645 0.25%	Durchschnitt	5.4824	9.130427	5.560737	5.73706	5.46521	2.998447	1.53457	1.446327	1.47127	1.427543	17.27833	2.96095
	Messung 1	5.47702	9.08127	5.63134	5.67144	5.43776	2.91592	1.43213	1.45863	1.4867	1.43114	17.2533	2.88996
	Messung 2	5.44798	9.15255	5.5142	5.7589	5.46881	3.00125	1.57445	1.43044	1.45279	1.40917	17.2718	2.97993
	Messung 3	5.5222	9.15746	5.53667	5.78084	5.48906	3.07817	1.59713	1.44991	1.47432	1.44232	17.3099	3.01296
1290 0.50%	Durchschnitt	3.67172	5.584597	3.74157	3.891427	3.839643	2.208927	1.608233	1.4079	1.440533	1.42002	10.45983	2.47364
	Messung 1	3.721	5.61509	3.7908	3.90602	3.88962	2.26976	1.6424	1.42298	1.46751	1.42281	10.5127	2.56736
	Messung 2	3.60184	5.51764	3.67313	3.88692	3.75877	2.15158	1.55013	1.36675	1.37911	1.40241	10.3832	2.35681
	Messung 3	3.69232	5.62106	3.76078	3.88134	3.87054	2.20544	1.63217	1.43397	1.47498	1.43484	10.4836	2.49675
3870 1.50%	Durchschnitt	2.52794	3.196523	2.55359	2.624263	2.89987	1.935343	1.71588	1.45578	1.55765	1.445323	4.987603	2.18366
	Messung 1	2.50008	3.15926	2.55615	2.58667	2.66047	1.82796	1.61357	1.43483	1.43932	1.42728	4.90687	2.12001
	Messung 2	2.62231	3.27538	2.64452	2.7202	2.95873	2.02129	1.85509	1.45765	1.59069	1.44931	5.08621	2.28019
	Messung 3	2.46143	3.15493	2.4601	2.56592	3.08041	1.95678	1.67898	1.47486	1.64294	1.45938	4.96973	2.15078
25800 10.00%	Durchschnitt	2.054947	2.12717	2.05936	2.075957	2.23597	1.68238	1.567293	1.422917	1.44985	1.416307	2.56364	1.97892
	Messung 1	2.11053	2.1726	2.1107	2.14191	2.23834	1.72483	1.61721	1.44194	1.46713	1.43638	2.57213	1.98373
	Messung 2	1.94383	2.06874	1.9808	1.98864	2.16243	1.54296	1.51083	1.41026	1.42751	1.38731	2.51038	1.91242
	Messung 3	2.11048	2.14017	2.08658	2.09732	2.30714	1.77935	1.57384	1.41655	1.45491	1.42523	2.60841	2.04061
129000 50.00%	Durchschnitt	1.896107	2.191917	1.88746	2.13875	2.128183	1.62282	1.532527	1.393993	1.404103	1.390483	2.20355	1.90434
	Messung 1	1.88458	2.05343	1.85763	2.06589	2.07604	1.54929	1.56823	1.3883	1.41708	1.40476	2.14485	1.83761
	Messung 2	1.96321	2.2903	1.95175	2.15376	2.1617	1.61309	1.55702	1.4177	1.43412	1.39271	2.25141	1.98037
	Messung 3	1.84053	2.23202	1.853	2.1966	2.14681	1.70608	1.47233	1.37598	1.36111	1.37398	2.21439	1.89504
193500 75.00%	Durchschnitt	1.93526	2.200147	1.9241	2.17365	2.132473	1.63923	1.54189	1.392627	1.423007	1.388773	2.16935	1.918973
	Messung 1	1.86618	2.13276	1.84991	2.07893	2.05454	1.49671	1.47439	1.37276	1.37979	1.3597	2.12042	1.85724
	Messung 2	1.9701	2.25645	1.9528	2.21623	2.24104	1.74774	1.55521	1.38657	1.4401	1.39533	2.20674	1.95389
	Messung 3	1.9695	2.21123	1.96959	2.22579	2.10184	1.67324	1.59607	1.41855	1.44913	1.41129	2.18089	1.94579
258000 100.00%	Durchschnitt	1.9013	2.16595	1.879407	2.133453	2.10306	1.622713	1.50117	1.387747	1.404747	1.38373	2.16017	1.891663
	Messung 1	1.88295	2.12768	1.84761	2.06663	2.07376	1.60626	1.53185	1.37428	1.37414	1.37852	2.12054	1.86461
	Messung 2	2.02439	2.32317	2.00962	2.31141	2.2603	1.78585	1.56419	1.462	1.46843	1.44389	2.27863	1.99986
	Messung 3	1.79656	2.047	1.78099	2.02232	1.97512	1.47603	1.40747	1.32696	1.37167	1.32878	2.08134	1.81052
516000 200.00%	Durchschnitt	1.891133	2.161403	1.907187	2.191763	2.1543	1.669257	1.584743	1.395577	1.44657	1.389543	2.15671	1.85789
	Messung 1	1.9632	2.27102	1.99032	2.23345	2.35074	1.69026	1.6257	1.4491	1.58236	1.44809	2.30374	1.95486
	Messung 2	1.85082	2.16209	1.85943	2.12372	2.07189	1.61597	1.45988	1.37153	1.38849	1.3617	2.13412	1.86379
	Messung 3	1.85938	2.0511	1.87181	2.21812	2.04027	1.70154	1.66865	1.3661	1.36886	1.35884	2.03227	1.75502
Varianz		28.96	95.77	27.78	27.40	21.78	6.22	0.00	0.00	0.00	0.00	469.60	1.77
Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)		6.963	7.934	6.903	7.708	7.656	5.721	5.455	5.143	5.267	5.150	7.877	6.802
Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)		75.560	138.651	75.647	77.195	69.967	43.247	7.190	5.717	6.368	5.657	288.305	25.857

Tabelle 5: Messergebnisse im Modus distributed mit einer Maschine



Verteilt 2

absolut	HashMap Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite)	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	mostly existing random	mostly not existing random	
65*	0.03%	Durchschnitt	32.30107	62.33863	32.5563	37.47047	40.15837	32.76513	21.03907	29.29557	28.12213	21.12177	62.86287	39.3215
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	32.0289	61.6718	32.1457	37.4907	40.2361	32.8674	20.9628	29.2057	27.8879	20.9718	62.7307	39.2168
		Messung 2	31.9734	62.5394	32.7043	37.2801	40.168	32.6977	20.9158	29.3035	28.1063	21.156	62.4565	39.3751
		Messung 3	32.9009	62.8047	32.8189	37.6406	40.071	32.7303	21.2386	29.3775	28.3722	21.2375	63.4014	39.3726
129	0.05%	Durchschnitt	29.74987	44.95167	29.95763	33.69447	35.46707	31.82577	21.04933	26.1719	24.72743	21.07373	48.84873	34.18363
		Messung 1	30.4814	45.1765	30.4802	33.4994	35.0518	31.8356	21.2371	25.9682	24.659	21.3161	48.9107	34.0828
		Messung 2	29.3293	45.1313	29.6875	33.8048	35.6294	31.7922	20.9592	26.3565	24.772	20.9279	49.0211	34.133
		Messung 3	29.4389	44.5472	29.7052	33.7792	35.72	31.8495	20.9517	26.191	24.7513	20.9772	48.6144	34.3351
645	0.25%	Durchschnitt	29.3076	32.71197	29.55713	31.34587	32.11883	31.2653	20.96033	24.041	22.65573	20.9575	36.13613	31.11287
		Messung 1	29.4426	32.6208	30.3997	31.2448	32.2479	31.4566	20.9803	23.9956	22.8694	20.992	35.7732	31.0753
		Messung 2	29.2139	32.9182	28.9952	31.5217	31.7888	31.0714	20.9519	24.0867	23.0949	20.9182	36.4297	31.1702
		Messung 3	29.2663	32.5969	29.2765	31.2711	32.3198	31.2679	20.9488	24.0407	22.0029	20.9623	36.2055	31.0931
1290	0.50%	Durchschnitt	29.9421	31.75307	30.1245	31.14613	31.67203	31.19647	21.06997	23.85903	22.45507	21.4225	34.76783	30.8233
		Messung 1	30.1337	32.0613	30.5827	31.4458	31.7919	31.2141	21.2154	23.9216	22.8101	21.5949	34.8005	30.8841
		Messung 2	30.3213	31.7031	30.3765	30.5973	31.9414	31.393	21.0439	23.7638	22.0982	21.7115	34.5584	30.9199
		Messung 3	29.3713	31.4948	29.4143	31.3953	31.2828	30.9823	20.9506	23.8917	22.4569	20.9611	34.9446	30.6659
3870	1.50%	Durchschnitt	29.81217	31.03087	29.75067	30.6829	31.21223	30.93507	21.16317	23.33153	21.35943	21.6268	34.3608	30.41913
		Messung 1	29.7489	31.138	30.4659	30.9482	31.373	30.9468	21.2809	23.288	21.1743	21.6363	34.2729	30.2831
		Messung 2	29.6589	30.9332	29.5057	30.7918	31.1179	30.8989	21.159	23.3169	21.1897	21.6548	34.5741	30.3968
		Messung 3	30.0287	31.0214	29.2804	30.3087	31.1458	30.9595	21.0496	23.3897	21.7143	21.5893	34.2354	30.5775
25800	10.00%	Durchschnitt	29.3018	30.61437	29.31133	30.59997	31.05293	30.83437	20.9371	23.10687	21.28233	20.9421	33.92733	30.1771
		Messung 1	29.2585	30.7598	29.2238	30.7849	30.7748	30.7864	20.9059	23.0819	21.1349	20.9179	33.7152	30.1632
		Messung 2	29.3395	30.8788	29.3866	30.6261	31.2437	30.9498	20.9657	23.0582	20.9976	20.9791	33.7044	30.0976
		Messung 3	29.3074	30.2045	29.3236	30.3889	31.1403	30.7669	20.9397	23.1805	21.7145	20.9293	34.3624	30.2705
129000	50.00%	Durchschnitt	29.73203	30.97553	29.74723	30.99773	30.9479	30.87443	21.2153	23.13763	21.5528	21.3286	33.76693	30.4116
		Messung 1	30.3152	31.1556	30.1797	31.5302	31.0112	31.0876	21.5039	23.1769	21.6361	21.3636	33.6621	30.5993
		Messung 2	29.6817	30.943	29.8466	30.5064	31.1111	30.8367	21.2024	23.2056	22.0731	21.6344	33.8793	30.4427
		Messung 3	29.1992	30.828	29.2154	30.9566	30.7214	30.699	20.9396	23.0304	20.9492	20.9878	33.7594	30.1928
193500	75.00%	Durchschnitt	29.53237	30.59383	29.5353	30.68547	30.96813	30.9252	21.1695	23.04927	21.2903	21.34573	34.02693	30.1667
		Messung 1	29.511	30.5014	29.7292	30.7557	31.2301	30.9123	21.0243	23.0986	22.0559	21.4996	34.0728	30.1899
		Messung 2	29.3942	30.5164	29.1699	30.4808	30.7094	30.6174	21.1648	22.9893	20.9152	21.3562	34.0259	29.9919
		Messung 3	29.6919	30.7637	29.7068	30.8199	30.9649	31.2459	21.3194	23.0599	20.8998	21.1814	33.9821	30.3183
258000	100.00%	Durchschnitt	29.45997	30.60533	29.6987	30.7346	31.0328	30.7621	20.99753	23.14977	21.54717	21.3366	34.05313	30.25687
		Messung 1	29.1878	30.1552	29.2238	30.4431	30.7665	30.6684	20.8778	23.1859	20.9143	20.8687	33.9457	30.0568
		Messung 2	29.555	30.4839	29.8873	30.5529	31.1115	30.7622	20.9573	23.1622	22.1695	21.5777	33.9233	30.0892
		Messung 3	29.6371	31.1769	29.985	31.2078	31.2204	30.8557	21.1575	23.1012	21.5577	21.5634	34.2904	30.6246
516000	200.00%	Durchschnitt	29.58303	30.7597	29.67417	31.0116	30.89323	30.80037	21.0244	23.08257	21.59487	21.17007	33.90863	30.24093
		Messung 1	30.0075	30.934	29.7536	30.8734	30.9409	30.8902	21.1613	23.046	21.3058	21.6692	33.6698	30.2719
		Messung 2	29.3151	30.4778	29.3359	30.9987	30.8698	30.7753	20.9264	23.0629	21.9164	20.8753	34.0488	30.1074
		Messung 3	29.4265	30.8673	29.933	31.1627	30.869	30.7356	20.9855	23.1388	21.5624	20.9657	34.0073	30.3435
		Varianz	0.70	96.61	0.78	4.27	8.15	0.36	0.01	3.67	4.32	0.04	84.12	7.76
		Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)	113.131	116.881	112.384	117.476	119.029	118.672	80.922	89.106	81.007	80.886	130.473	116.248
		Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)	127.523	243.429	127.205	145.894	155.954	127.393	83.348	113.866	109.970	84.153	245.742	152.617

Tabelle 6: Messergebnisse im Modus distributed mit zwei Maschinen



Verteilt 3

HashMap Größe relativ zu Aktionen		absolut	pro Test	Durchschnitt	Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
absolut	pro Test				empty	mostly not existing random	existing (rewrite)	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	not existing	empty	mostly existing random
43*	0.02%			Durchschnitt	28.19723	49.29047	28.291	40.53817	40.0932	30.73693	18.07657	27.15533	19.83483	18.0375	55.66503	34.1505
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129				Messung 1	28.362	49.0452	28.4723	40.5267	39.9054	30.7449	18.0663	27.1757	19.8438	17.9668	55.5267	33.9944
				Messung 2	28.1493	49.6223	28.2336	40.3618	40.0167	30.6385	18.0411	27.4731	19.6964	17.9655	55.7597	34.6311
				Messung 3	28.0804	49.2039	28.1671	40.726	40.3575	30.8274	18.1223	26.8172	19.9643	18.1802	55.7087	33.826
129	0.05%			Durchschnitt	27.8439	41.46143	27.86743	38.86	38.35077	30.10247	18.01277	26.9443	18.64903	17.9158	42.6418	33.12427
				Messung 1	27.7744	41.0896	27.7407	38.5553	38.0363	29.7932	18.0272	26.8403	18.4452	17.9133	42.5508	32.8955
				Messung 2	27.9224	41.8008	27.599	39.2625	38.2261	30.3195	17.981	27.1026	18.718	17.9093	42.5934	33.5937
				Messung 3	27.8349	41.4939	28.2626	38.7622	38.7899	30.1947	18.0301	26.89	18.7839	17.9248	42.7812	32.8836
645	0.25%			Durchschnitt	28.18783	38.90613	28.24617	37.98937	38.08337	29.68847	18.0789	26.71267	18.4205	18.06663	37.9163	32.65483
				Messung 1	28.05	38.8887	28.1503	37.7965	37.946	29.4143	18.0434	26.311	18.0842	18.1598	37.7939	32.2706
				Messung 2	28.3302	39.0988	28.3326	37.9216	38.3019	29.7974	18.1519	27.0099	18.7181	18.0755	38.0719	33.0167
				Messung 3	28.1833	38.7309	28.2556	38.25	38.0022	29.8537	18.0414	26.8171	18.4592	17.9646	37.8831	32.6772
1290	0.50%			Durchschnitt	28.23657	38.03203	28.13767	37.92003	38.08713	29.41203	18.08173	26.54983	18.3737	18.05853	37.52417	32.5686
				Messung 1	28.4479	37.9629	28.0087	37.807	37.81	29.7014	18.1432	26.3118	18.395	18.0853	37.6183	32.3651
				Messung 2	28.0503	38.0802	28.1136	37.9177	38.1687	29.4616	18.0433	26.5919	18.3676	18.0864	37.1275	32.6424
				Messung 3	28.2115	38.053	28.2907	38.0354	38.2827	29.0731	18.0587	26.7458	18.3585	18.0039	37.8267	32.6983
3870	1.50%			Durchschnitt	27.9671	37.8733	27.941	37.9334	38.1894	29.26203	18.07517	26.792	18.3897	18.10173	36.99103	32.3892
				Messung 1	27.929	37.889	27.8927	37.9025	38.5218	29.3227	18.0366	26.8796	18.3227	17.9618	36.9697	32.4379
				Messung 2	28.0077	37.9299	28.0029	38.018	37.8155	29.3725	18.0487	26.5659	18.3185	18.3259	37.1196	32.5172
				Messung 3	27.9646	37.801	27.9274	37.8797	38.2309	29.0909	18.1402	26.9305	18.5279	18.0175	36.8838	32.2125
25800	10.00%			Durchschnitt	27.7527	38.05797	27.89013	37.9072	37.7414	29.35587	18.1029	26.68457	18.36037	18.06243	37.10197	32.43347
				Messung 1	27.8197	38.0437	27.9139	37.9201	37.67	29.4578	18.1043	26.6386	18.3274	18.0797	37.3644	32.3084
				Messung 2	27.9028	38.0229	28.1211	37.9211	37.5815	29.4445	18.086	26.6958	18.3416	17.9964	37.3287	32.6483
				Messung 3	27.5356	38.1073	27.6354	37.8804	37.9727	29.1653	18.1184	26.7193	18.4121	18.1112	36.6128	32.3437
129000	50.00%			Durchschnitt	27.8866	37.95777	27.70227	38.01937	37.7142	29.64487	18.0853	26.5862	18.314	18.00853	37.04157	32.4668
				Messung 1	27.6976	37.9595	27.6521	38.1867	37.5471	29.8224	18.1148	26.3608	18.2603	18.0133	37.0389	32.599
				Messung 2	27.8133	37.8461	27.7464	37.8902	37.9687	29.7447	18.0315	26.7438	18.3156	17.9886	36.9538	32.2654
				Messung 3	28.1489	38.0677	27.7083	37.9812	37.6268	29.3675	18.1096	26.654	18.3661	18.0237	37.132	32.536
193500	75.00%			Durchschnitt	27.64523	38.12647	27.74253	38.0439	38.09927	30.24187	18.04997	26.42433	18.2276	18.02077	37.02047	32.34183
				Messung 1	27.718	38.1055	27.9099	37.8464	37.5725	29.6452	18.0392	26.6106	18.2221	17.9521	37.128	32.604
				Messung 2	27.6968	38.3056	27.8104	38.3453	38.5724	31.7377	18.0161	26.2583	18.2436	17.9271	37.3266	32.2307
				Messung 3	27.5209	37.9683	27.5073	37.94	38.1529	29.3427	18.0946	26.4041	18.2171	18.1831	36.6068	32.1908
258000	100.00%			Durchschnitt	27.75067	37.99507	27.67983	37.94307	37.71967	29.4669	18.04163	26.38853	18.21563	18.03323	37.08457	32.37323
				Messung 1	27.3896	37.9706	27.4081	37.9904	37.4696	29.4377	18.1127	26.2498	18.4199	18.2712	37.1534	32.1792
				Messung 2	27.77	38.0653	27.7252	37.8994	38.208	29.5202	18.0074	26.4315	18.0833	17.9328	37.0024	32.6886
				Messung 3	28.0924	37.9493	27.9062	37.9394	37.4814	29.4428	18.0048	26.4843	18.1437	17.8957	37.0979	32.2519
516000	200.00%			Durchschnitt	27.7498	38.02377	27.75363	37.9413	37.64447	29.36427	18.00617	26.43197	18.09237	17.94153	36.868	32.28793
				Messung 1	27.7005	37.9168	27.8981	38.0395	37.4645	29.6279	18.0187	26.207	17.927	17.9492	36.7717	32.2738
				Messung 2	27.9428	37.89	27.5736	37.965	37.8211	29.3755	17.9962	26.8082	18.3679	17.9164	37.1609	32.2009
				Messung 3	27.6061	38.2645	27.7892	37.8194	37.6478	29.0894	18.0036	26.2807	17.9822	17.959	36.6714	32.3891
Varianz					0.04	11.56	0.05	0.63	0.46	0.21	0.00	0.05	0.22	0.00	31.45	0.29
Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)					106.161	146.516	106.233	146.498	145.211	112.686	69.694	101.578	69.484	69.363	141.887	124.726
Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)					110.263	192.334	110.358	157.853	156.424	123.014	70.356	106.485	77.381	71.031	216.123	134.229

Tabelle 7: Messergebnisse im Modus distributed mit drei Maschinen



Verteilt 4

absolut	HashMap Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite) random	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	mostly existing random	mostly not existing random	
32*	0.01%	Durchschnitt	25.57417	41.69943	25.6243	34.14777	33.73037	26.5513	15.86117	23.40483	16.81253	15.97527	42.5856	29.05157
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	26.0679	41.7286	26.106	34.1595	33.6822	26.6434	15.9292	23.4014	16.7959	16.0719	42.7973	29.3052
		Messung 2	25.8055	41.6015	25.7878	34.3832	33.7629	26.7598	15.8164	23.462	16.8843	15.9129	42.6671	28.9707
		Messung 3	24.8491	41.7682	24.9791	33.9006	33.746	26.2507	15.8379	23.3511	16.7574	15.941	42.2924	28.8788
129	0.05%	Durchschnitt	27.87447	34.7017	27.8496	32.94663	32.9951	26.02253	15.95943	23.02293	16.25107	16.2113	33.69593	27.8849
		Messung 1	26.9626	34.8468	26.9405	33.1057	32.996	25.9849	15.9309	23.0118	16.2416	15.9688	33.9503	28.0572
		Messung 2	28.2259	34.4678	28.2801	32.72	32.6594	25.9151	15.9805	23.12	16.2559	16.3899	33.5597	27.7219
		Messung 3	28.4349	34.7905	28.3282	33.0142	33.3299	26.1676	15.9669	22.937	16.2557	16.2752	33.5778	27.8756
645	0.25%	Durchschnitt	26.9293	33.00923	26.93727	32.58447	32.9327	25.82057	16.0398	23.167	16.28523	16.49733	31.9451	27.6413
		Messung 1	29.0035	33.0171	29.0149	32.4195	32.8655	25.6403	15.9529	23.5344	16.2019	16.527	32.0063	27.7793
		Messung 2	25.1234	33.0374	25.0975	32.8366	32.7571	25.8111	15.8441	23.0801	16.0012	15.9871	31.966	27.6811
		Messung 3	26.661	32.9732	26.6994	32.4973	33.1755	26.0103	16.3224	22.8865	16.6526	16.9779	31.863	27.4635
1290	0.50%	Durchschnitt	27.97143	32.59943	27.6847	32.5307	32.88123	25.85393	16.0326	22.94257	16.2356	16.32913	31.84423	27.5439
		Messung 1	28.0573	32.3679	27.7869	32.3509	32.6924	25.899	15.8693	22.7562	16.0163	16.0455	31.9093	27.3207
		Messung 2	28.1256	32.6197	27.616	32.6896	33.1487	25.8283	15.9224	23.058	16.5103	16.0868	31.7749	27.6759
		Messung 3	27.7314	32.8107	27.6512	32.5516	32.8026	25.8345	16.3061	23.0135	16.1802	16.8551	31.8485	27.6351
3870	1.50%	Durchschnitt	26.36807	32.62707	26.2858	32.64507	32.7721	25.6965	16.0621	23.06663	16.77063	16.28897	31.87083	27.782
		Messung 1	25.99	32.8448	25.8566	32.797	32.9326	25.8927	16.4325	23.1679	18.0447	16.6039	31.7533	27.7976
		Messung 2	25.1174	32.5289	25.205	32.4919	32.7453	25.5623	15.8072	22.8431	16.112	15.9489	31.7885	27.8776
		Messung 3	27.9968	32.5075	27.7958	32.6463	32.6384	25.6345	15.9466	23.1889	16.1552	16.3141	32.0707	27.6708
25800	10.00%	Durchschnitt	28.1926	32.75183	28.00863	32.69187	32.6391	25.75997	15.8657	22.91503	15.99373	15.9831	31.6736	27.72917
		Messung 1	27.42	32.9469	27.3856	32.8746	32.6586	25.5851	15.8775	23.0532	16.0844	15.9884	31.7415	27.993
		Messung 2	28.1567	32.5915	28.2208	32.5791	32.6838	25.9173	15.8355	22.8844	15.9945	15.9529	31.7613	27.6417
		Messung 3	29.0011	32.7171	28.4195	32.6219	32.5749	25.7775	15.8841	22.8075	15.9023	16.008	31.518	27.5528
129000	50.00%	Durchschnitt	26.9806	32.75433	26.92133	32.6664	32.58947	25.70467	16.00047	22.8733	16.22223	16.34587	31.80557	27.64207
		Messung 1	27.4235	32.6581	27.2559	32.6219	32.5645	25.7922	15.8375	23.0304	16.0633	15.9731	31.6101	27.673
		Messung 2	27.3265	32.625	27.4756	32.6827	32.6233	25.6688	15.957	22.8342	16.0266	16.5148	31.9141	27.731
		Messung 3	26.1918	32.9799	26.0325	32.6946	32.5806	25.653	16.2069	22.7553	16.5768	16.5497	31.8925	27.5222
193500	75.00%	Durchschnitt	27.65063	32.84613	27.74597	32.73967	32.67617	25.82597	15.87867	23.03837	16.1555	16.03193	31.7732	27.8353
		Messung 1	27.8495	32.6911	27.724	32.6843	32.6668	25.5766	15.8286	23.051	16.0749	15.965	31.7295	27.9748
		Messung 2	27.7474	32.784	27.9642	32.6575	32.8336	25.896	15.9374	22.9919	16.37	16.1649	31.7463	27.6303
		Messung 3	27.355	33.0633	27.5497	32.8772	32.5281	26.0053	15.87	23.0722	16.0216	15.9659	31.8438	27.9008
258000	100.00%	Durchschnitt	27.8147	32.82777	27.46697	32.58487	32.65487	25.76883	16.0806	22.8989	16.0205	16.05933	31.7298	27.6876
		Messung 1	27.5915	32.8471	27.5573	32.5015	32.8618	25.7169	15.8711	22.9327	16.0801	15.9913	31.6605	27.7684
		Messung 2	28.6673	32.9281	27.4698	32.5857	32.4675	25.9146	15.8754	22.9239	16.0205	16.1289	31.7713	27.7036
		Messung 3	27.1853	32.7081	27.3738	32.6674	32.6353	25.675	16.4953	22.8401	15.9609	16.0578	31.7576	27.5908
516000	200.00%	Durchschnitt	26.95837	32.88843	26.93897	32.57997	32.64797	25.8076	15.85373	23.01853	16.04773	15.9735	31.65433	27.65787
		Messung 1	27.01	32.7336	27.1234	32.5147	32.4718	25.6785	15.7852	22.9507	16.0401	15.9443	31.6563	27.5263
		Messung 2	25.6544	33.0198	25.5775	32.5794	32.8218	25.9286	15.9036	22.942	16.0071	16.0254	31.6622	27.6266
		Messung 3	28.2107	32.9119	28.116	32.6458	32.6503	25.8157	15.8724	23.1629	16.096	15.9508	31.6445	27.8207
		Varianz	0.61	7.15	0.52	0.21	0.10	0.06	0.01	0.02	0.07	0.03	10.42	0.17
		Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)	96.314	125.457	96.818	125.391	125.843	99.079	61.183	88.199	61.637	61.678	122.163	105.894
		Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)	112.417	161.892	112.461	133.268	130.864	103.720	63.935	91.219	69.941	65.806	165.881	113.586

Tabelle 8: Messergebnisse im Modus distributed mit vier Maschinen





Verteilt 6

absolut	0.01%	relativ zu Aktionen pro Test	Insert empty	Insert mostly not existing random	Insert existing (rewrite) random	Insert random	Get random	Get not existing random	Get empty	Delete not existing	Delete empty	Delete empty	Actions mostly existing random	Actions mostly not existing random
22*	0.01%		21.84687	31.97863	21.85933	28.41323	27.7994	21.60203	12.87947	19.2441	13.28387	13.1566	31.97173	23.70423
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Durchschnitt	21.8528	31.8153	21.6788	28.3606	27.6344	21.5781	12.9335	19.1444	13.1434	13.0783	31.9466	23.5433
		Messung 1	21.7877	32.0863	21.9867	28.5299	27.7225	21.7622	12.6612	19.2594	13.1594	12.8671	31.9598	23.7492
		Messung 2	21.9001	32.0343	21.9125	28.3492	28.0413	21.4658	13.0437	19.3285	13.5488	13.5244	32.0088	23.8202
129	0.05%		21.81397	28.6499	21.84327	28.083	27.77467	21.49973	13.06407	19.3833	13.45383	13.20893	27.39393	23.30563
		Durchschnitt	21.7989	28.6354	21.885	28.057	27.7815	21.596	13.3769	19.5234	12.9379	13.4718	27.4999	23.3332
		Messung 1	22.3208	28.9005	22.3819	28.1674	27.988	21.4845	12.8734	19.5465	13.4923	13.0503	27.6287	23.4055
		Messung 2	21.3222	28.4138	21.2629	28.0246	27.5545	21.4187	12.9419	19.08	13.9313	13.1047	27.0532	23.1782
645	0.25%		22.18497	28.01527	22.0821	27.93153	27.76487	21.43047	13.52343	19.1456	13.07177	13.64693	26.83737	23.09883
		Durchschnitt	21.7589	27.9399	21.9681	27.9017	27.7411	21.383	13.295	19.1192	13.6908	13.8579	26.8617	23.1045
		Messung 1	22.1073	28.089	21.9847	27.8421	27.6525	21.3178	14.049	19.1151	12.7054	13.726	26.8091	23.0413
		Messung 2	22.6887	28.0169	22.2935	28.0508	27.901	21.5906	13.2263	19.2025	12.8191	13.3569	26.8413	23.1507
1290	0.50%		21.18277	27.85687	21.43903	27.8791	27.87997	21.44403	12.85997	19.1188	12.99723	13.0193	26.77207	23.1138
		Durchschnitt	20.4883	27.8722	21.4441	27.9392	27.6313	21.333	12.8969	19.0637	12.8267	12.9243	26.8398	23.0626
		Messung 1	20.8727	27.7742	20.7513	27.8372	28.0343	21.2282	12.6231	19.1353	12.7636	12.8048	26.737	23.0891
		Messung 2	22.1873	27.9242	22.1217	27.8609	27.9743	21.7709	13.0599	19.1574	13.4014	13.3288	26.7394	23.1897
3870	1.50%		21.82667	27.92103	21.8003	28.20223	27.68077	21.46233	13.00467	19.30923	13.0156	13.39977	26.6305	23.1764
		Durchschnitt	22.3908	27.7611	22.3108	28.3598	27.8637	21.5431	13.0258	19.2278	13.0228	13.3386	26.6355	23.0794
		Messung 1	20.9248	28.0468	20.967	28.0846	27.545	21.3492	12.6617	19.1762	13.2364	12.9042	26.659	23.1001
		Messung 2	22.1644	27.9552	22.1231	28.1623	27.6336	21.4947	13.3265	19.5237	12.7876	13.9565	26.597	23.3497
25800	10.00%		22.27977	28.1837	22.1796	28.05397	27.54397	21.4486	12.9394	19.14497	12.7671	13.00163	26.6317	23.4285
		Durchschnitt	22.2897	28.0348	22.1937	28.0291	27.5807	21.3779	12.7178	19.1524	12.8369	12.9205	26.6647	23.422
		Messung 1	22.2525	28.1431	22.2088	28.0456	27.5294	21.4313	12.9259	19.1149	12.7094	13.1264	26.6946	23.4319
		Messung 2	22.2971	28.3732	22.1363	28.0872	27.5218	21.5366	13.1745	19.1676	12.755	12.958	26.5358	23.4316
129000	50.00%		22.08963	28.1092	21.99887	27.9992	27.48377	21.3823	12.7507	19.12573	12.94183	13.02673	26.849	23.194
		Durchschnitt	21.8841	28.0081	21.7594	27.9707	27.4511	21.3452	12.6982	19.0844	12.7722	12.91	26.6073	23.2061
		Messung 1	22.1323	28.1466	22.0898	28	27.4924	21.3888	12.7186	19.1512	13.1079	13.2959	27.0673	23.1464
		Messung 2	22.2525	28.1729	22.1474	28.0269	27.5078	21.4129	12.8353	19.1416	12.9454	12.8743	26.8724	23.2295
193500	75.00%		22.11487	28.13323	21.84197	27.9978	27.4786	21.47307	13.519	19.11657	13.1606	13.30353	26.57927	23.24643
		Durchschnitt	22.2304	28.1322	22.1037	27.9774	27.4067	21.197	12.8535	19.1576	12.8959	13.078	26.522	23.2541
		Messung 1	22.1945	28.0677	22.0803	28.0161	27.5596	21.5454	14.4462	19.0955	13.6935	13.4318	26.5502	23.1896
		Messung 2	21.9197	28.1998	21.3419	27.9999	27.4695	21.6768	13.2573	19.0966	12.8924	13.4008	26.6656	23.2956
258000	100.00%		22.22453	28.20977	22.42153	27.93087	27.6361	21.3961	13.03767	19.13837	12.9687	12.8614	26.62303	23.16283
		Durchschnitt	22.1746	28.2778	22.543	27.9251	27.4294	21.5043	12.994	19.1593	13.0544	12.719	26.6653	23.2602
		Messung 1	22.3386	28.2132	22.6184	27.8642	27.6269	21.3415	13.3854	19.0812	12.7617	13.0468	26.6074	23.0524
		Messung 2	22.1604	28.1383	22.1032	28.0033	27.852	21.3425	12.7336	19.1746	13.09	12.8184	26.5964	23.1759
516000	200.00%		21.57427	28.18743	21.6757	28.11817	27.5603	21.49503	12.79327	19.1992	13.42937	13.02547	26.72433	23.2169
		Durchschnitt	21.985	28.2608	21.9827	28.0428	27.5261	21.653	12.8482	19.0613	12.7033	12.731	26.6992	23.1106
		Messung 1	20.6989	28.1012	20.9511	28.2619	27.5744	21.5508	12.8099	19.2538	13.1106	13.006	26.679	23.1954
		Messung 2	22.0389	28.2003	22.0933	28.0498	27.5804	21.2813	12.7217	19.2825	14.4742	13.3394	26.7948	23.3447
		Varianz	0.10	1.37	0.07	0.02	0.02	0.00	0.07	0.01	0.04	0.05	2.47	0.03
		Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)	79.412	107.601	80.431	107.896	106.228	82.159	48.927	73.881	49.238	49.298	102.798	89.307
		Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)	87.941	124.366	87.668	110.581	108.687	84.383	55.993	75.762	56.102	54.095	124.065	92.326

Tabelle 9: Messergebnisse im Modus distributed mit sechs Maschinen



Verteilt 8

absolut	HashMap Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite)	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	mostly existing random	mostly not existing random	
16*	0.01%	Durchschnitt	23.8396	24.21353	23.66237	23.01617	26.83583	21.81633	13.64947	17.26867	13.7364	13.48087	25.954	20.39277
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	24.479	24.0238	23.8011	22.9801	26.6183	21.7355	13.38	17.5734	13.885	13.2268	26.0422	20.7091
		Messung 2	23.9872	24.4126	24.8679	23.1172	27.0602	21.9192	13.7408	17.3386	13.7981	13.694	25.9434	20.2261
		Messung 3	23.0526	24.2042	22.3181	22.9512	26.829	21.7943	13.8276	16.894	13.5261	13.5218	25.8764	20.2431
129	0.05%	Durchschnitt	22.26277	22.9851	21.9023	22.87247	26.74663	21.8096	13.6557	17.35463	13.59623	13.74663	24.61823	20.2548
		Messung 1	22.781	23.1786	21.9157	22.9238	26.6335	22.0197	13.6439	17.3513	13.4848	13.7752	24.6555	20.1806
		Messung 2	22.416	22.8894	22.0148	22.832	26.8742	21.745	13.4896	17.3647	13.7609	13.826	24.6019	20.2101
		Messung 3	21.5913	22.8873	21.7764	22.8616	26.7322	21.6641	13.8336	17.3479	13.543	13.6387	24.5973	20.3737
645	0.25%	Durchschnitt	21.61023	22.86533	21.39977	23.00827	26.72947	22.04233	13.61563	17.30833	13.7378	13.66827	24.4391	20.16873
		Messung 1	21.7022	23.0936	21.6412	22.9907	26.7292	22.0119	13.7443	17.2517	13.5852	13.6377	24.6017	20.3342
		Messung 2	22.2095	22.7672	21.7029	23.0826	26.7519	21.9495	13.5019	17.3549	13.6639	13.6711	24.2298	20.1857
		Messung 3	20.919	22.7352	20.8552	22.9515	26.7073	22.1656	13.6007	17.3184	13.9643	13.696	24.4858	19.9863
1290	0.50%	Durchschnitt	22.81577	23.1058	21.98807	23.0744	26.7936	22.09113	13.5851	17.30833	13.54917	13.6792	24.66587	20.2702
		Messung 1	22.0538	22.8447	21.7528	22.947	26.6295	21.8499	13.7015	17.0997	13.5105	13.7479	24.6172	20.0684
		Messung 2	22.9523	23.2293	21.7671	23.0455	26.7132	22.3294	13.5633	17.288	13.5647	13.4579	25.0216	20.3202
		Messung 3	23.4412	23.2434	22.4443	23.2307	27.0381	22.0941	13.4905	17.5373	13.5723	13.8318	24.3588	20.422
3870	1.50%	Durchschnitt	22.1511	23.1953	22.08917	23.34813	27.1224	22.1496	13.8937	17.40187	13.72527	13.79773	24.6784	20.52547
		Messung 1	22.7284	23.2166	21.6707	23.5078	27.2763	22.1596	13.8301	17.3689	13.887	13.4991	24.5648	20.3517
		Messung 2	21.4395	23.1566	21.7331	23.1488	27.1186	22.3968	13.9941	17.4997	13.9078	13.9037	24.4267	20.5737
		Messung 3	22.2854	23.2127	22.8637	23.3878	26.9723	21.8924	13.8569	17.337	13.381	13.9904	25.0437	20.651
25800	10.00%	Durchschnitt	23.03863	23.55557	22.62967	23.3467	26.67537	22.24273	13.64893	17.34563	13.78977	13.54947	25.00713	20.27483
		Messung 1	22.3877	23.6078	21.9072	23.2072	26.473	22.081	13.7257	17.1696	13.8863	13.4409	25.2766	20.1762
		Messung 2	23.6802	23.5961	22.987	23.4901	26.7078	22.5202	13.5796	17.5331	13.6806	13.495	24.7865	20.154
		Messung 3	23.048	23.4628	22.9948	23.3428	26.8453	22.127	13.6415	17.3342	13.8024	13.7125	24.9583	20.4943
129000	50.00%	Durchschnitt	22.76633	23.3903	23.08343	23.3944	27.0586	22.00843	13.83487	17.3869	13.7265	13.78227	24.64303	20.54887
		Messung 1	22.0073	23.6717	22.1903	23.3779	27.1758	22.0315	13.6083	17.634	13.5938	13.6748	24.5755	20.3952
		Messung 2	23.2477	23.281	23.4352	23.3141	27.1512	21.7588	13.9725	17.1472	13.662	13.8299	24.8195	20.5226
		Messung 3	23.044	23.2182	23.6248	23.4912	26.8488	22.235	13.9238	17.3795	13.9237	13.8421	24.5341	20.7288
193500	75.00%	Durchschnitt	22.135	23.41463	21.8713	23.37387	27.0532	22.0102	13.79293	17.45383	13.9685	13.83007	24.6693	20.3442
		Messung 1	22.6583	23.399	21.7456	23.4645	27.4616	22.244	13.7515	17.3437	13.8905	14.039	24.8239	20.515
		Messung 2	21.9947	23.5726	21.7585	23.2888	26.8915	21.7224	13.7128	17.5491	14.0429	13.8299	24.6247	20.2118
		Messung 3	21.752	23.2723	22.1098	23.3683	26.8065	22.0642	13.9145	17.4687	13.9721	13.6213	24.5593	20.3058
258000	100.00%	Durchschnitt	22.70077	23.38393	22.37313	23.4588	26.94053	21.85013	13.74807	17.476	13.74177	13.7394	24.661	20.52087
		Messung 1	23.7228	23.5797	22.4143	23.3131	26.8744	21.7273	13.8511	17.2835	13.8035	13.6182	24.6352	21.0392
		Messung 2	22.6953	23.2665	22.335	23.5074	27.1155	22.218	13.6436	17.5261	13.743	13.7687	24.7156	20.366
		Messung 3	21.6842	23.3056	22.3701	23.5559	26.8317	21.6051	13.7495	17.6184	13.6788	13.8313	24.6322	20.1574
516000	200.00%	Durchschnitt	22.91863	23.40937	22.51717	23.39697	26.88683	22.0395	13.79063	17.14157	13.66413	13.8436	24.7834	20.63783
		Messung 1	22.8102	23.4454	21.8976	23.2595	26.9767	22.0736	13.8182	17.2102	13.6644	13.5774	24.5507	20.1669
		Messung 2	23.5793	23.3774	23.363	23.5175	27.0199	21.9925	13.8597	17.0394	13.4819	13.9793	24.9318	21.2449
		Messung 3	22.3664	23.4053	22.2909	23.4139	26.6639	22.0524	13.694	17.1751	13.8461	13.9741	24.8677	20.5017
		Varianz	0.34	0.13	0.39	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.16	0.02
		Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)	81.081	88.121	80.834	88.496	102.609	83.741	51.860	65.481	51.864	51.267	93.914	77.466
		Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)	94.880	94.622	96.387	91.302	106.440	87.288	54.241	68.349	54.430	54.415	100.939	82.345

Tabelle 10: Messergebnisse im Modus distributed mit acht Maschinen



Verteilt 12

absolut	HashMap Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite)	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	mostly existing random	mostly not existing random	
11*	0.00%	Durchschnitt	16.06953	21.68357	16.1206	21.16563	19.50903	14.6889	9.39578	13.57833	9.430103	9.67537	20.41977	16.91117
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	15.9488	21.6256	16.0191	21.1036	19.5001	14.6563	9.27505	13.6204	9.49591	9.42051	20.4064	16.8752
		Messung 2	16.1365	21.6375	16.1245	20.9688	19.4416	14.6668	9.55288	13.5958	9.44377	10.0342	20.4504	17.0307
		Messung 3	16.1233	21.7876	16.2182	21.4245	19.5854	14.7436	9.35941	13.5188	9.35063	9.5714	20.4025	16.8276
129	0.05%	Durchschnitt	15.94947	20.8938	15.98837	20.8479	19.46237	14.62483	9.444983	13.4968	9.41725	9.38976	19.44067	16.6145
		Messung 1	15.9403	21.0062	15.9119	20.8562	19.4441	14.611	9.43874	13.5184	9.37593	9.23748	19.564	16.6141
		Messung 2	15.9046	20.9002	15.9634	20.7988	19.4971	14.4838	9.43968	13.5158	9.41554	9.45636	19.4151	16.6061
		Messung 3	16.0035	20.775	16.0898	20.8887	19.4459	14.7797	9.45653	13.4562	9.46028	9.47544	19.3429	16.6233
645	0.25%	Durchschnitt	15.96253	20.8538	15.99387	20.86973	19.51733	14.509	9.353787	13.4259	9.42273	9.337983	19.25177	16.6816
		Messung 1	16.0981	20.9429	16.1661	20.8557	19.4452	14.5493	9.42344	13.4923	9.43974	9.32499	19.2574	16.7217
		Messung 2	15.9801	20.8143	15.8103	20.9078	19.3681	14.4644	9.33631	13.4143	9.39844	9.27824	19.2581	16.6981
		Messung 3	15.8094	20.8042	16.0052	20.8457	19.7387	14.5133	9.30161	13.3711	9.43001	9.41072	19.2398	16.625
1290	0.50%	Durchschnitt	15.95877	20.98493	16.00163	20.80143	19.442	14.55963	9.341073	13.5584	9.321777	9.34802	19.2606	16.69187
		Messung 1	15.9134	21.0915	15.8328	20.8198	19.3807	14.576	9.42818	13.817	9.27395	9.27285	19.2408	16.668
		Messung 2	16.0099	20.9967	16.218	20.8442	19.351	14.4081	9.29813	13.4791	9.39478	9.34448	19.2947	16.6551
		Messung 3	15.953	20.8666	15.9541	20.7403	19.5943	14.6948	9.29691	13.3791	9.2966	9.42673	19.2463	16.7525
3870	1.50%	Durchschnitt	15.9392	20.85217	16.1548	20.8518	19.317	14.63397	9.38054	13.49993	9.320193	9.32031	19.18967	16.66713
		Messung 1	15.9506	21.0371	15.9134	20.7739	19.352	14.5799	9.27681	13.4568	9.30492	9.30621	19.206	16.6173
		Messung 2	16.0147	20.7622	15.9729	20.9286	19.2086	14.686	9.5366	13.5529	9.34692	9.37976	19.171	16.6508
		Messung 3	15.8523	20.7572	16.5781	20.8529	19.3904	14.636	9.32821	13.4901	9.30874	9.27496	19.192	16.7333
25800	10.00%	Durchschnitt	16.2948	20.90927	16.06973	20.8405	19.3235	14.51803	9.360993	13.4128	9.338457	9.472883	19.2179	16.81833
		Messung 1	16.0755	20.8738	16.1853	20.8041	19.2617	14.3755	9.49093	13.4692	9.24548	9.46468	19.1839	16.9392
		Messung 2	16.1966	20.9318	16.1757	20.8585	19.3465	14.5439	9.39088	13.3847	9.39263	9.36152	19.2713	16.7631
		Messung 3	16.6123	20.9222	15.8482	20.8589	19.3623	14.6347	9.20117	13.3845	9.37726	9.59245	19.1985	16.7527
129000	50.00%	Durchschnitt	16.07577	20.89063	15.92837	20.97047	19.32963	14.535	9.466143	13.54767	9.368507	9.309333	19.16277	16.71117
		Messung 1	16.0913	20.7495	15.9766	21.0191	19.2962	14.5734	9.22425	13.7241	9.46151	9.35519	19.2592	16.6417
		Messung 2	16.0317	20.8046	15.9495	20.9491	19.2583	14.5243	9.34195	13.4369	9.29444	9.29461	19.1048	16.7357
		Messung 3	16.1043	21.1178	15.859	20.9432	19.4344	14.5073	9.83223	13.482	9.34957	9.2782	19.1243	16.7561
193500	75.00%	Durchschnitt	16.18353	20.99097	16.0226	20.7724	19.42547	14.5424	9.25982	13.5013	9.41895	9.668227	19.83587	16.7046
		Messung 1	16.1536	20.9961	15.9558	20.7484	19.3038	14.566	9.25665	13.6286	9.8037	9.34837	21.0413	16.7218
		Messung 2	16.3802	20.9854	16.2888	20.8115	19.503	14.458	9.29519	13.4641	9.29278	9.48051	19.2527	16.79
		Messung 3	16.0168	20.9914	15.8232	20.7573	19.4696	14.6032	9.22762	13.4112	9.16037	10.1758	19.2136	16.602
258000	100.00%	Durchschnitt	16.04443	21.02647	16.02367	20.91973	19.37643	14.59877	9.401717	13.4277	9.40456	9.458983	20.22657	16.72767
		Messung 1	16.0346	21.0026	15.9006	21.18	19.3432	14.61	9.23064	13.4561	9.3009	9.44326	21.6751	16.7052
		Messung 2	16.0389	21.0347	16.1738	20.8148	19.4307	14.6103	9.60497	13.3822	9.34263	9.38139	19.7041	16.7253
		Messung 3	16.0598	21.0421	15.9966	20.7644	19.3554	14.576	9.36954	13.4448	9.57015	9.5523	19.3005	16.7525
516000	200.00%	Durchschnitt	16.1568	21.13443	16.24483	20.97053	19.94303	14.99877	9.347757	13.57043	9.406747	9.469237	19.52903	16.85567
		Messung 1	16.0364	21.3428	16.0768	20.9195	19.3347	14.9799	9.27326	13.6737	9.47892	9.35818	19.7063	16.7189
		Messung 2	16.1717	21.0101	16.3745	21.0906	19.9275	15.0404	9.42443	13.6317	9.40272	9.48581	19.4725	16.9891
		Messung 3	16.2623	21.0504	16.2832	20.9015	20.5669	14.976	9.34558	13.4059	9.3386	9.56372	19.4083	16.859
		Varianz	0.01	0.06	0.01	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.19	0.01
		Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)	61.277	80.424	61.280	80.389	74.452	55.719	35.663	51.826	35.505	35.804	74.050	64.349
		Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)	64.389	84.448	64.256	83.041	79.717	58.296	38.109	53.554	37.999	39.441	84.012	66.010

Tabelle 11: Messergebnisse im Modus distributed mit zwölf Maschinen



Verteilt 16

absolut	HashMap Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite)	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	mostly existing random	mostly not existing random	
8*	0.00%	Durchschnitt	10.74753	13.49083	10.74603	12.91103	14.95403	12.05883	7.292197	9.826827	7.248973	7.224387	13.95413	11.0771
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	10.7438	13.4714	10.7005	12.8699	14.9816	12.1158	7.36618	9.89602	7.23871	7.27894	13.862	11.0476
		Messung 2	10.9875	13.4604	10.8217	12.9293	14.9568	12.0181	7.24463	9.85249	7.24371	7.20051	13.9659	11.0979
		Messung 3	10.5113	13.5407	10.7159	12.9339	14.9237	12.0426	7.26578	9.73197	7.2645	7.19371	14.0345	11.0858
129	0.05%	Durchschnitt	10.65973	12.79623	10.7358	12.7923	14.9217	11.89677	7.200467	9.69257	7.1689	7.205533	13.4167	10.9003
		Messung 1	10.6897	12.8023	10.4389	12.7812	14.9189	11.8884	7.21849	9.64015	7.14605	7.25984	13.3794	10.8368
		Messung 2	10.7565	12.7633	10.8393	12.7801	14.9262	11.8342	7.17523	9.59976	7.10557	7.17018	13.4295	10.9544
		Messung 3	10.533	12.8231	10.9292	12.8156	14.92	11.9677	7.20768	9.8378	7.25508	7.18658	13.4412	10.9097
645	0.25%	Durchschnitt	10.80033	12.8542	10.7297	12.90013	14.93603	12.02653	7.23219	9.78715	7.15964	7.278163	13.43423	10.9809
		Messung 1	11.0624	12.7766	10.7553	12.8439	15.064	11.9597	7.27174	9.72208	7.22225	7.28652	13.401	10.9239
		Messung 2	10.6715	13.0201	10.7655	12.9276	14.8906	12.0628	7.12612	9.73327	7.09297	7.24909	13.4724	10.9677
		Messung 3	10.6671	12.7659	10.6683	12.9289	14.8535	12.0571	7.29871	9.9061	7.1637	7.29888	13.4293	11.0511
1290	0.50%	Durchschnitt	10.94137	12.92477	10.81743	12.94703	14.9884	12.05427	7.282287	9.814737	7.222073	7.29788	13.404	11.04103
		Messung 1	10.9346	12.8748	10.8813	12.9448	15.0143	12.0476	7.31191	9.75861	7.24687	7.30564	13.4652	11.0338
		Messung 2	11.1668	12.9648	10.8644	12.9719	14.9113	12.1951	7.15587	9.70318	7.25723	7.2599	13.3621	10.9519
		Messung 3	10.7227	12.9347	10.7066	12.9244	15.0396	11.9201	7.37908	9.98247	7.16212	7.3281	13.3847	11.1374
3870	1.50%	Durchschnitt	10.7279	12.99053	10.96167	12.94683	14.95337	12.04623	7.241217	9.77556	7.223697	7.20948	13.47647	11.01833
		Messung 1	10.6853	13.0343	10.9823	12.9119	14.9661	11.9118	7.16186	9.87313	7.16991	7.14179	13.3774	11.0008
		Messung 2	10.7605	12.9445	11.0966	12.9956	14.8906	12.1183	7.24646	9.73509	7.2027	7.30349	13.5425	10.982
		Messung 3	10.7379	12.9928	10.8061	12.933	15.0034	12.1086	7.31533	9.71846	7.29848	7.18316	13.5095	11.0722
25800	10.00%	Durchschnitt	10.76093	13.023	11.01887	12.95863	15.00507	12.08357	7.231483	9.788843	7.20463	7.224527	13.48357	11.00523
		Messung 1	10.6202	13.003	11.091	12.9973	15.0145	12.0907	7.13506	9.75922	7.14829	7.12365	13.4705	11.0071
		Messung 2	10.8854	13.0569	11.0538	12.9219	14.9628	12.0986	7.25715	9.82256	7.27014	7.23779	13.4806	10.9786
		Messung 3	10.7772	13.0091	10.9118	12.9567	15.0379	12.0614	7.30224	9.78475	7.19546	7.31214	13.4996	11.03
129000	50.00%	Durchschnitt	10.89873	13.01703	10.8749	12.9955	14.94713	12.12847	7.225197	9.77967	7.263397	7.255497	13.52717	10.99373
		Messung 1	11.0281	13.0388	10.8949	12.9926	14.9808	12.2522	7.27183	9.89818	7.2108	7.2368	13.5138	10.9242
		Messung 2	10.8854	13.0612	10.8437	12.9972	14.9569	12.0325	7.13237	9.82205	7.32211	7.23268	13.5556	10.9873
		Messung 3	10.7827	12.9511	10.8861	12.9967	14.9037	12.1007	7.27139	9.61878	7.25728	7.29701	13.5121	11.0697
193500	75.00%	Durchschnitt	10.94383	13.0651	10.94767	13.03223	14.98907	12.15443	7.23623	9.857763	7.28853	7.205933	13.5062	11.0803
		Messung 1	11.0259	13.1469	11.0241	13.0998	15.0268	12.2196	7.16318	9.85981	7.27564	7.26383	13.604	11.0075
		Messung 2	10.8107	13.0589	10.707	13.0469	15.0406	12.083	7.31395	9.86089	7.23281	7.20025	13.4086	11.1476
		Messung 3	10.9949	12.9895	11.1119	12.95	14.8998	12.1607	7.23156	9.85259	7.35714	7.15372	13.506	11.0858
258000	100.00%	Durchschnitt	10.8555	13.03213	10.9472	13.0057	14.95863	12.19017	7.204653	9.85099	7.245227	7.33896	13.47453	11.0163
		Messung 1	10.8044	13.048	11.0748	12.9989	15.0624	12.3429	7.13768	9.95423	7.30892	7.38626	13.4187	10.9851
		Messung 2	11.1381	13.1066	10.9684	12.969	14.9108	12.0391	7.21429	9.83026	7.1269	7.34331	13.5275	10.9936
		Messung 3	10.624	12.9418	10.7984	13.0492	14.9027	12.1885	7.26199	9.76848	7.29986	7.28731	13.4774	11.0702
516000	200.00%	Durchschnitt	10.8877	13.03817	10.87853	12.98067	15.00907	12.1422	7.23583	9.712693	7.155173	7.275223	13.5005	10.9827
		Messung 1	10.9632	13.0307	10.8985	13.0001	15.0161	12.0388	7.25555	9.69639	7.13705	7.21876	13.4999	11.0033
		Messung 2	11.0167	13.0386	10.8953	12.9736	14.9993	12.1961	7.18709	9.72744	7.16181	7.27592	13.5244	10.9657
		Messung 3	10.6832	13.0452	10.8418	12.9683	15.0118	12.1917	7.26485	9.71425	7.16666	7.33099	13.4772	10.9791
		Varianz	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
		Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)	40.741	49.470	40.461	49.535	57.572	45.869	27.621	37.208	27.492	27.611	51.791	42.003
		Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)	43.282	52.483	43.069	50.774	58.388	47.841	28.601	38.692	28.516	28.629	54.397	43.208

Tabelle 12: Messergebnisse im Modus distributed mit 16 Maschinen



Verteilt 24

HashMap Größe relativ zu Aktionen		Insert empty	Insert mostly not existing random	Insert existing (rewrite) random	Insert random	Get random	Get not existing random	Get empty	Delete not existing	Delete empty	Delete not existing empty	Actions mostly existing random	Actions mostly not existing random	
absolut	pro Test													
5*	0.00%	Durchschnitt	9.433067	12.5182	9.41967	12.18737	12.25457	8.237493	6.11922	8.295343	6.128593	6.10432	11.9365	9.889253
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	9.42918	12.5169	9.39802	12.1991	12.2476	8.26792	6.08559	8.35201	6.11803	6.10919	12.002	9.95311
		Messung 2	9.47651	12.568	9.48405	12.2394	12.2172	8.21189	6.13201	8.17441	6.15106	6.0879	11.9326	9.86422
		Messung 3	9.39351	12.4697	9.37694	12.1236	12.2989	8.23267	6.14006	8.35961	6.11669	6.11587	11.8749	9.85043
129	0.05%	Durchschnitt	9.470393	12.08533	9.456027	12.14673	12.17697	8.255003	6.19374	8.21169	6.113203	6.108743	11.6165	9.689467
		Messung 1	9.6067	12.0049	9.49853	12.0346	12.0727	8.21497	6.3426	8.22458	6.12425	6.1119	11.6184	9.74163
		Messung 2	9.3919	12.0893	9.40859	12.1183	12.2896	8.20062	6.13061	8.36371	6.10874	6.10396	11.6178	9.68801
		Messung 3	9.41258	12.1618	9.46096	12.2873	12.1686	8.34942	6.10801	8.04678	6.10662	6.11037	11.6133	9.63876
645	0.25%	Durchschnitt	9.578903	12.20467	9.524413	12.22323	12.23367	8.270023	6.129573	8.313377	6.125987	6.114547	11.54677	9.750693
		Messung 1	9.56174	12.1226	9.63611	12.322	12.2393	8.24854	6.14973	8.29883	6.16397	6.16026	11.537	9.72564
		Messung 2	9.56773	12.2993	9.49368	12.2021	12.244	8.33706	6.09291	8.38334	6.09845	6.10563	11.5273	9.77086
		Messung 3	9.60724	12.1921	9.44345	12.1456	12.2177	8.22447	6.14608	8.25796	6.11554	6.07775	11.576	9.75558
1290	0.50%	Durchschnitt	9.58268	12.21397	9.618977	12.12573	12.2262	8.228937	6.12204	8.16583	6.134907	6.113477	11.5438	9.75367
		Messung 1	9.56839	12.229	9.5041	12.0412	12.2822	8.19181	6.09579	8.0573	6.18082	6.10908	11.4765	9.66159
		Messung 2	9.62088	12.2675	9.82715	12.1928	12.2786	8.22408	6.14461	8.27416	6.10934	6.12141	11.5513	9.80131
		Messung 3	9.55877	12.1454	9.52568	12.1432	12.1178	8.27092	6.12572	8.16603	6.11456	6.10994	11.6036	9.79811
3870	1.50%	Durchschnitt	9.50957	12.21743	9.54898	12.16787	12.25237	8.20922	6.128087	8.249397	6.170643	6.11793	11.69573	9.7712
		Messung 1	9.60197	12.2655	9.59628	12.174	12.2626	8.22856	6.11408	8.34138	6.29541	6.09804	11.686	9.75789
		Messung 2	9.482	12.1144	9.59851	12.254	12.3323	8.20092	6.11639	8.36105	6.09698	6.13471	11.6522	9.81067
		Messung 3	9.44474	12.2724	9.45215	12.0756	12.1622	8.19818	6.15379	8.04576	6.11954	6.12104	11.749	9.74504
25800	10.00%	Durchschnitt	9.47268	12.14287	9.59295	12.14813	12.29287	8.230993	6.142307	8.145217	6.107537	6.162477	11.683	9.77537
		Messung 1	9.47984	12.1716	9.59086	12.1769	12.2322	8.25066	6.17043	8.19245	6.07733	6.23819	11.6798	9.81751
		Messung 2	9.51484	12.0673	9.66715	12.1091	12.2688	8.19324	6.12265	8.07523	6.14889	6.14216	11.6073	9.79006
		Messung 3	9.42336	12.1897	9.52084	12.1584	12.3776	8.24908	6.13384	8.16797	6.09639	6.10708	11.7619	9.71854
129000	50.00%	Durchschnitt	9.575943	12.25733	9.629507	12.22343	12.16143	8.290047	6.112157	8.258143	6.145113	6.111293	11.6071	9.77509
		Messung 1	9.56328	12.2559	9.70552	12.1997	12.1157	8.2465	6.09322	8.32815	6.08662	6.09791	11.5838	9.71879
		Messung 2	9.56607	12.3347	9.56012	12.2249	12.1855	8.27792	6.11718	8.15408	6.2342	6.1076	11.671	9.80352
		Messung 3	9.59848	12.1814	9.62288	12.2457	12.1831	8.34572	6.12607	8.2922	6.11452	6.12837	11.5665	9.80296
193500	75.00%	Durchschnitt	9.51975	12.21417	9.552403	12.14997	12.18917	8.23059	6.198337	8.204717	6.117953	6.156633	11.60657	9.768757
		Messung 1	9.50344	12.1618	9.67367	12.036	12.2367	8.22256	6.12316	8.1412	6.12428	6.1025	11.6214	9.76711
		Messung 2	9.54716	12.1535	9.39661	12.2622	12.1844	8.1693	6.32654	8.17123	6.10878	6.26348	11.5494	9.7475
		Messung 3	9.50865	12.3272	9.58693	12.1517	12.1464	8.29991	6.14531	8.30172	6.1208	6.10392	11.6489	9.79166
258000	100.00%	Durchschnitt	9.489567	12.09653	9.56647	12.26097	12.20867	8.259113	6.13402	8.300397	6.1376	6.120857	11.61413	9.794777
		Messung 1	9.50988	12.0724	9.46136	12.3703	12.1219	8.35788	6.1749	8.30847	6.17654	6.1532	11.5958	9.7341
		Messung 2	9.48056	12.004	9.68009	12.188	12.2578	8.21081	6.11397	8.29977	6.15552	6.09334	11.5727	9.78256
		Messung 3	9.47826	12.2132	9.55796	12.2246	12.2463	8.20865	6.11319	8.29295	6.08074	6.11603	11.6739	9.86767
516000	200.00%	Durchschnitt	9.626827	12.1599	9.632587	12.1865	12.2361	8.245447	6.135817	8.14763	6.11358	6.12018	11.6568	9.743217
		Messung 1	9.66901	12.1472	9.60429	12.2633	12.2241	8.18373	6.11177	8.05998	6.11976	6.11575	11.6115	9.67453
		Messung 2	9.49426	12.1816	9.51871	12.0954	12.2862	8.23541	6.15783	8.21718	6.11859	6.12375	11.6132	9.77386
		Messung 3	9.71721	12.1509	9.77476	12.2008	12.198	8.3172	6.13785	8.16573	6.10239	6.12104	11.7457	9.78126
Varianz			0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)			36.403	46.527	36.345	46.646	46.793	31.664	23.588	31.185	23.556	23.557	44.483	37.360
Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)			37.664	48.713	38.090	47.947	47.975	32.395	24.584	32.494	24.401	24.277	46.519	38.578

Tabelle 13: Messergebnisse im Modus distributed mit 24 Maschinen



Verteilt 32

absolut	HashMap Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite) random	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	mostly existing random	mostly not existing random	
4*	0.00%	Durchschnitt	7.010383	9.640703	7.06643	9.418283	9.466787	6.47543	4.384517	6.59295	4.32159	4.347803	9.044833	7.652437
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	7.05219	9.68107	7.15243	9.50686	9.51368	6.45723	4.35829	6.53104	4.31388	4.3398	9.14607	7.62624
		Messung 2	6.97815	9.64225	7.02753	9.37647	9.36641	6.45074	4.45604	6.61169	4.31163	4.36902	8.97783	7.69811
		Messung 3	7.00081	9.59879	7.01933	9.37152	9.52027	6.51832	4.33922	6.63612	4.33926	4.33459	9.0106	7.63296
129	0.05%	Durchschnitt	7.060513	9.265	7.0394	9.32047	9.432927	6.457913	4.408073	6.588147	4.329687	4.365817	8.83543	7.56156
		Messung 1	7.02837	9.23914	7.06278	9.32159	9.47414	6.43982	4.42454	6.67144	4.34175	4.36881	8.88599	7.56118
		Messung 2	7.06438	9.29109	6.96026	9.36532	9.3772	6.44262	4.47428	6.5012	4.3253	4.36288	8.81894	7.5761
		Messung 3	7.08879	9.26477	7.09516	9.2745	9.44744	6.4913	4.3254	6.5918	4.32201	4.36576	8.80136	7.5474
645	0.25%	Durchschnitt	7.15267	9.294953	7.166897	9.290157	9.376453	6.466477	4.368257	6.60423	4.334253	4.36688	8.8649	7.49748
		Messung 1	7.16475	9.32252	7.08303	9.28455	9.38989	6.46873	4.40141	6.57555	4.32301	4.35722	8.94467	7.52185
		Messung 2	7.25474	9.28299	7.23683	9.27419	9.3851	6.45666	4.35218	6.67853	4.34342	4.38438	8.84199	7.43715
		Messung 3	7.03852	9.27935	7.18083	9.31173	9.35437	6.47404	4.35118	6.55861	4.33633	4.35904	8.80804	7.53344
1290	0.50%	Durchschnitt	7.081237	9.30585	7.096553	9.296317	9.41395	6.469957	4.340007	6.634647	4.342313	4.33842	8.829053	7.556263
		Messung 1	6.90865	9.30135	7.04144	9.25099	9.3566	6.40987	4.32441	6.6212	4.33724	4.34308	8.84144	7.5613
		Messung 2	7.25903	9.32423	7.29453	9.33364	9.51011	6.507	4.36188	6.64152	4.35361	4.31389	8.82719	7.53321
		Messung 3	7.07603	9.29197	6.95369	9.30432	9.37514	6.49	4.33373	6.64122	4.33609	4.35829	8.81853	7.57428
3870	1.50%	Durchschnitt	7.116837	9.30673	7.139427	9.308157	9.42417	6.547117	4.352653	6.64772	4.349417	4.355833	8.909077	7.546623
		Messung 1	7.06769	9.27665	7.0451	9.33671	9.37381	6.56664	4.36629	6.70112	4.34573	4.32487	8.95578	7.54451
		Messung 2	7.12338	9.33701	7.28577	9.29299	9.55293	6.54676	4.32193	6.64613	4.32998	4.35781	8.91009	7.53665
		Messung 3	7.15944	9.30653	7.08741	9.29477	9.34577	6.52795	4.36974	6.59591	4.37254	4.38482	8.86136	7.55871
25800	10.00%	Durchschnitt	7.09573	9.34558	7.07914	9.325107	9.416803	6.511167	4.358533	6.64677	4.33131	4.37011	8.847263	7.591733
		Messung 1	7.10734	9.33999	7.04292	9.32259	9.47902	6.52308	4.35019	6.61165	4.34135	4.36727	8.77253	7.60724
		Messung 2	7.08262	9.32804	7.03588	9.35507	9.40527	6.60494	4.40652	6.63803	4.3126	4.36706	8.83335	7.61465
		Messung 3	7.09723	9.36871	7.15862	9.29766	9.36612	6.40548	4.31889	6.69063	4.33998	4.376	8.93591	7.55331
129000	50.00%	Durchschnitt	7.076303	9.305953	7.067423	9.354923	9.424913	6.548213	4.349237	6.612323	4.419623	4.36267	8.86314	7.585693
		Messung 1	7.18249	9.35923	7.13103	9.29648	9.41373	6.54785	4.35284	6.55704	4.34207	4.37991	8.86619	7.59988
		Messung 2	7.08744	9.27517	7.06188	9.42696	9.39766	6.61904	4.33343	6.64275	4.57676	4.3508	8.8447	7.60214
		Messung 3	6.95898	9.28346	7.00936	9.34133	9.46335	6.47775	4.36144	6.63718	4.34004	4.3573	8.87853	7.55506
193500	75.00%	Durchschnitt	7.058247	9.328617	7.13779	9.332427	9.4696	6.52482	4.362597	6.659473	4.348537	4.364843	8.829373	7.585363
		Messung 1	7.13577	9.25922	7.07734	9.27732	9.48794	6.51214	4.39047	6.65006	4.36037	4.3514	8.80564	7.58637
		Messung 2	6.99979	9.3465	7.16143	9.39226	9.4411	6.49628	4.34989	6.68944	4.36227	4.36216	8.8333	7.55782
		Messung 3	7.03918	9.38013	7.1746	9.3277	9.47976	6.56604	4.34743	6.63892	4.32297	4.38097	8.84918	7.6119
258000	100.00%	Durchschnitt	7.047227	9.312153	7.094967	9.348287	9.403493	6.54296	4.35442	6.68019	4.447167	4.34548	8.884807	7.546437
		Messung 1	7.14951	9.29633	7.0633	9.31347	9.39123	6.53474	4.32916	6.69892	4.33974	4.36787	8.88292	7.51517
		Messung 2	7.04713	9.30021	7.1475	9.4164	9.43234	6.58887	4.35219	6.67385	4.66067	4.34077	8.95541	7.58082
		Messung 3	6.94504	9.33992	7.0741	9.31499	9.38691	6.50527	4.38191	6.6678	4.34109	4.3278	8.81609	7.54332
516000	200.00%	Durchschnitt	7.058733	9.310187	7.088883	9.324897	9.45468	6.498357	4.33116	6.69098	4.41515	4.347377	8.839533	7.590333
		Messung 1	6.9475	9.30759	6.97175	9.33873	9.45525	6.50196	4.32272	6.62213	4.33675	4.31284	8.85991	7.5217
		Messung 2	7.12421	9.36645	7.16607	9.35535	9.46431	6.50887	4.34674	6.8554	4.55347	4.35357	8.86215	7.64024
		Messung 3	7.10449	9.25652	7.12883	9.28061	9.44448	6.48424	4.32402	6.59541	4.35523	4.37572	8.79654	7.60906
Varianz			0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)			26.778	35.811	26.952	35.857	36.224	24.827	16.740	25.198	16.712	16.716	34.002	28.826
Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)			28.136	37.524	28.273	36.848	37.027	25.655	17.342	26.571	18.065	16.995	35.450	29.838

Tabelle 14: Messergebnisse im Modus distributed mit 32 Maschinen



Verteilt 42

absolut	HashMap Größe relativ zu Aktionen pro Test		Insert	Insert	Insert	Insert	Get	Get	Get	Delete	Delete	Delete	Actions	Actions
			empty	mostly not existing random	existing (rewrite) random	random	random	not existing random	empty	not existing	empty	mostly existing random	mostly not existing random	
3*	0.00%	Durchschnitt	5.548527	7.565277	5.567807	7.427843	7.21963	5.22524	3.327737	5.192157	3.379293	3.322827	7.086693	6.04818
* Größe der gesamten HashMap (bestehend aus den verteilten) ist damit ca. 129		Messung 1	5.53927	7.60928	5.55024	7.4452	7.24853	5.18037	3.32615	5.16509	3.42396	3.31541	7.10813	6.06078
		Messung 2	5.57443	7.5385	5.6273	7.42413	7.24129	5.30034	3.34213	5.23283	3.35303	3.3119	7.11135	6.06662
		Messung 3	5.53188	7.54805	5.52588	7.4142	7.16907	5.19501	3.31493	5.17855	3.36089	3.34117	7.0406	6.01714
129	0.05%	Durchschnitt	5.574133	7.355273	5.589807	7.353863	7.19483	5.152827	3.355463	5.172367	3.322373	3.315767	6.964823	5.93213
		Messung 1	5.56282	7.36078	5.51765	7.37372	7.15828	5.14809	3.34324	5.17299	3.33026	3.30499	6.99126	5.93327
		Messung 2	5.55375	7.39555	5.54585	7.3321	7.21398	5.1355	3.32044	5.14217	3.30564	3.30989	6.945	5.95907
		Messung 3	5.60583	7.30949	5.70592	7.35577	7.21223	5.17489	3.40271	5.20194	3.33122	3.33242	6.95821	5.90405
645	0.25%	Durchschnitt	5.508313	7.347777	5.50564	7.373773	7.122673	5.228023	3.330147	5.17602	3.341413	3.31874	6.977757	5.96295
		Messung 1	5.50635	7.4074	5.49156	7.38162	7.11694	5.27333	3.32499	5.14477	3.3318	3.33485	6.94556	5.9797
		Messung 2	5.52779	7.32046	5.52558	7.3898	7.11973	5.19225	3.32064	5.1451	3.36272	3.30966	6.95426	5.94921
		Messung 3	5.4908	7.31547	5.49978	7.3499	7.13135	5.21849	3.34481	5.23819	3.32972	3.31171	7.03345	5.95994
1290	0.50%	Durchschnitt	5.54029	7.377467	5.530707	7.375157	7.116343	5.22983	3.384073	5.2012	3.340337	3.390177	6.947727	5.968813
		Messung 1	5.53858	7.34984	5.49893	7.4122	7.11433	5.24065	3.48526	5.15816	3.34385	3.33483	6.95488	5.95846
		Messung 2	5.51396	7.38455	5.53319	7.32266	7.11262	5.21912	3.32936	5.25266	3.31928	3.31802	6.96124	6.00613
		Messung 3	5.56833	7.39801	5.56	7.39061	7.12208	5.22972	3.3376	5.19278	3.35788	3.31768	6.92706	5.94185
3870	1.50%	Durchschnitt	5.530973	7.39914	5.546777	7.419003	7.151817	5.23182	3.32393	5.19666	3.35236	3.32569	6.9577	6.01664
		Messung 1	5.54978	7.45559	5.57941	7.43392	7.15407	5.25137	3.32563	5.22331	3.3628	3.31246	6.94042	6.05051
		Messung 2	5.53112	7.35757	5.54732	7.45911	7.13214	5.2582	3.32783	5.22224	3.34017	3.32142	6.9577	6.00928
		Messung 3	5.51202	7.38426	5.5136	7.36398	7.16924	5.18589	3.31833	5.14443	3.35411	3.34319	6.97498	5.99013
25800	10.00%	Durchschnitt	5.53795	7.38077	5.546577	7.36841	7.150737	5.270347	3.31483	5.271287	3.37443	3.326813	6.957293	5.991033
		Messung 1	5.52065	7.37729	5.59544	7.35571	7.17765	5.22678	3.3129	5.25798	3.32468	3.32718	6.94978	5.99757
		Messung 2	5.52185	7.4038	5.48817	7.40025	7.12444	5.30604	3.31973	5.38703	3.46491	3.31777	7.01244	6.05185
		Messung 3	5.57135	7.36122	5.55612	7.34927	7.15012	5.27822	3.31186	5.16885	3.3337	3.33549	6.90966	5.92368
129000	50.00%	Durchschnitt	5.521477	7.369707	5.531843	7.389403	7.160513	5.258577	3.386397	5.253937	3.379533	3.33057	6.996407	5.974027
		Messung 1	5.48976	7.42181	5.53818	7.41653	7.14865	5.25665	3.34993	5.29086	3.30825	3.3191	7.03952	6.00916
		Messung 2	5.5619	7.37187	5.5424	7.3292	7.13801	5.26118	3.31924	5.21536	3.33009	3.32955	6.97629	5.93315
		Messung 3	5.51277	7.31544	5.51495	7.42248	7.19488	5.2579	3.49002	5.25559	3.50026	3.34306	6.97341	5.97977
193500	75.00%	Durchschnitt	5.564397	7.39664	5.570037	7.38877	7.17128	5.225593	3.33223	5.21153	3.339357	3.341433	6.942503	5.98819
		Messung 1	5.55845	7.40883	5.58344	7.47759	7.23011	5.17018	3.33296	5.18885	3.31062	3.34063	6.93529	5.98613
		Messung 2	5.60012	7.38031	5.57106	7.36429	7.10601	5.29044	3.34797	5.28803	3.35695	3.32198	6.94268	5.9832
		Messung 3	5.53462	7.40078	5.55561	7.32443	7.17772	5.21616	3.31576	5.15771	3.3505	3.36169	6.94954	5.99524
258000	100.00%	Durchschnitt	5.540983	7.368913	5.549367	7.384167	7.159243	5.216723	3.35128	5.186993	3.353987	3.332087	6.953917	6.00679
		Messung 1	5.55215	7.41121	5.60643	7.43402	7.1353	5.28298	3.36554	5.19898	3.3336	3.34015	6.99073	6.00896
		Messung 2	5.51233	7.35445	5.51489	7.33041	7.16742	5.21045	3.37498	5.17771	3.36597	3.33483	6.89471	6.01879
		Messung 3	5.55847	7.34108	5.52678	7.38807	7.17501	5.15674	3.31332	5.18429	3.36239	3.32128	6.97631	5.99262
516000	200.00%	Durchschnitt	5.530273	7.371657	5.539577	7.354953	7.14083	5.254243	3.345257	5.195407	3.3202	3.324403	7.0046	5.957757
		Messung 1	5.50451	7.39508	5.53569	7.3665	7.10107	5.21205	3.30086	5.17211	3.33752	3.30865	7.15048	5.95694
		Messung 2	5.59011	7.33544	5.5614	7.3524	7.17326	5.22013	3.4164	5.15582	3.32261	3.3497	6.93666	5.92846
		Messung 3	5.4962	7.38445	5.52164	7.34596	7.14816	5.33055	3.31851	5.25829	3.30047	3.31486	6.92666	5.98787
		Varianz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Best-Case Zeit pro Aktion (in µs)	21.278	28.331	21.272	28.382	27.524	19.905	12.794	19.931	12.793	12.810	26.724	22.884
		Worst-Case Zeit pro Aktion (in µs)	21.728	29.493	22.116	28.983	28.095	20.661	13.527	20.880	13.567	13.701	27.715	23.514

Tabelle 15: Messergebnisse im Modus distributed mit 42 Maschinen



	Lokal	Verteilt-1	Entfernt	Verteilt-2	Verteilt-3	Verteilt-4	Verteilt-6	Verteilt-8	Verteilt-12	Verteilt-16	Verteilt-24	Verteilt-32	Verteilt-42
<b>Gesamte HashMap 129</b>													
Zufällige Aktionen auf existierende	56.0678	72.6620	74.3566	62.8629	55.6650	42.5856	31.9717	25.9540	20.4198	13.9541	11.9365	9.0448	7.0867
Zufällige Aktionen auf nicht existierende	1.6719	6.2409	57.7568	39.3215	34.1505	29.0516	23.7042	20.3928	16.9112	11.0771	9.8893	7.6524	6.0482
<b>Jede HashMap 129</b>													
Zufällige Aktionen auf existierende	56.0678	72.6620	74.3566	48.8487	42.6418	33.6959	27.3939	24.6182	19.4407	13.4167	11.6165	8.8354	6.9648
Zufällige Aktionen auf nicht existierende	1.6719	6.2409	57.7568	34.1836	33.1243	27.8849	23.3056	20.2548	16.6145	10.9003	9.6895	7.5616	5.9321
<b>Jede HashMap 258000</b>													
Zufällige Aktionen auf existierende	0.1638	2.1567	63.9384	33.9086	36.8680	31.6543	26.7243	24.7834	19.5290	13.5005	11.6568	8.8395	7.0046
Zufällige Aktionen auf nicht existierende	0.1229	1.8579	57.3442	30.2409	32.2879	27.6579	23.2169	20.6378	16.8557	10.9827	9.7432	7.5903	5.9578

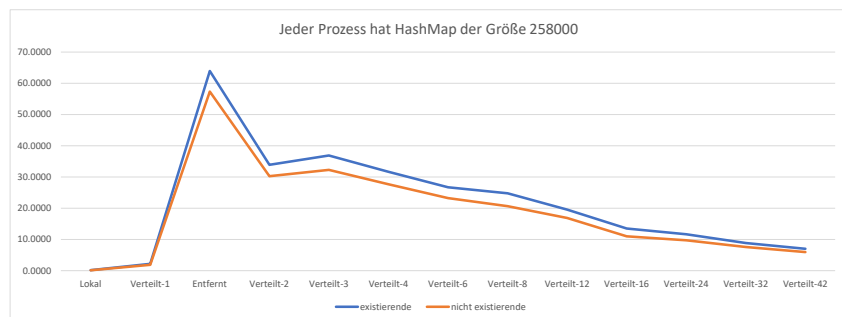
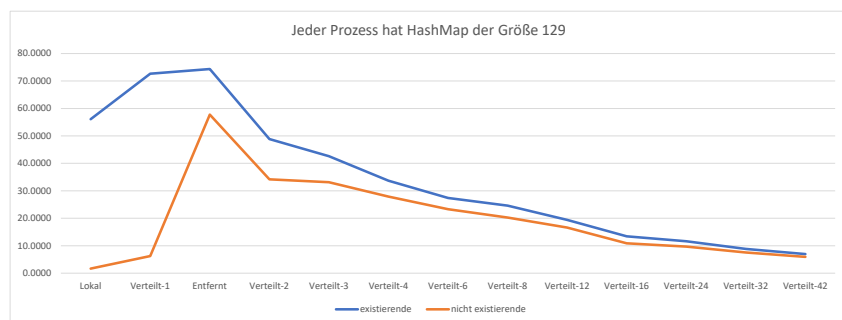
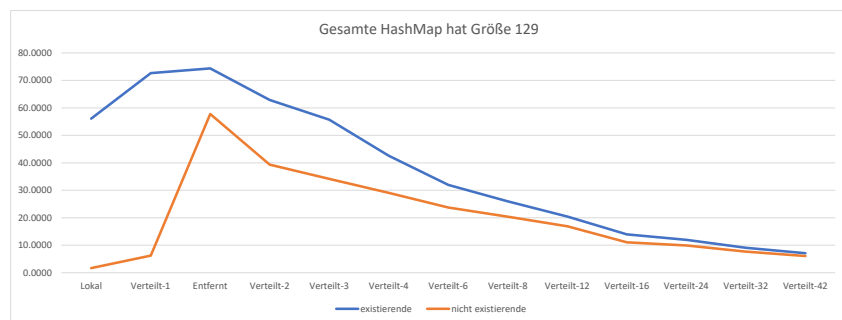


Abbildung 10: Ausgewählte Messergebnisse im Vergleich graphisch abgebildet





## 5.4 ANALYSE

Aus den Tabellen von Abschnitt 5.3 können einige Beobachtungen aufgestellt werden, die im Folgenden ergründet werden sollen:

Wie zu erwarten ist der lokale Modus (weitestgehend) mit Abstand der schnellste, da keine explizite Kommunikation nötig ist (siehe Abbildung 11). Bei lokalen Modus sind die Berechnungen



Abbildung 11: Alle Aktionen finden intern statt

der Flaschenhals: Bei einer kleinen Hashtabelle (bzw. relativ vielen Daten) muss gegebenenfalls sehr lange in einer einfach verketteten Liste nach dem passenden Eintrag gesucht werden. Im Falle des Einfügens eines neuen Eintrags muss die Liste komplett durchsucht werden. Je mehr Einträge es bereits gibt, desto länger dauert das Eintragen.

Der verteilte Modus mit einem Prozess verhält sich ähnlich wie der lokale Modus, da auch nicht über das Netzwerk kommuniziert wird (siehe Abbildung 12). Die nicht zu vernachlässigende

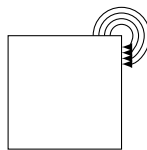


Abbildung 12: Alle Anfragen werden an eigenen Thread gesendet

Kommunikation zwischen dem Hauptprozess und dem Thread macht den Modus nicht langsamer als den lokale mit seinem direkten Zugriff auf die Hashtabelle.

Der entfernte Modus ist ebenfalls wie zu erwarten der schlechteste: Hier kommen zu den Zeiten des Berechnens, die denen des lokalen Modus entsprechen, die Zeiten der Kommunikation zwischen den Rechnern hinzu (siehe Abbildung 13). Da die Prozesse durch die langwierige

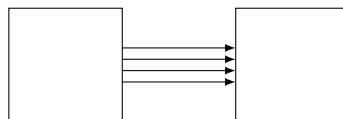


Abbildung 13: Alle Anfragen werden an einen Prozess gesendet

Kommunikation genug Zeit haben die Suchen durchzuführen, hat dieser Prozess mit relativ geringen Varianzen in den Zeiten allerdings auch eine gleichbleibende (schlechte) Geschwindigkeit.

Die verteilte Hashtabelle ist differenziert zu betrachten: Je mehr Prozesse an dieser beteiligt sind, desto geringer die Zeit die für jedweden Test benötigt wird. Damit schrumpft die Varianz



der benötigten Zeit auch deutlich, sodass sie deutlich zuverlässiger ist – auch bei großen Datenmengen. Damit ist die verteilte Hashtabelle für große Datenmengen besonders gut geeignet, selbst wenn die Daten die vorgesehene Größe der Hashtabelle übersteigen. Zu beachten ist allerdings, dass hier die Verteilung der Einträge besonders zu tragen kommt. Wenn die Einträge nicht entsprechend der Hashfunktion verteilt sind (in diesem Fall: gleichmäßig), so kann dies zu einer Häufung von Einträgen zu einem Prozess führen. In diesem Fall wäre die Geschwindigkeit wieder deutlich schlechter, vergleichbar mit der entfernten Hashtabelle (siehe Vergleich Abbildung 14).

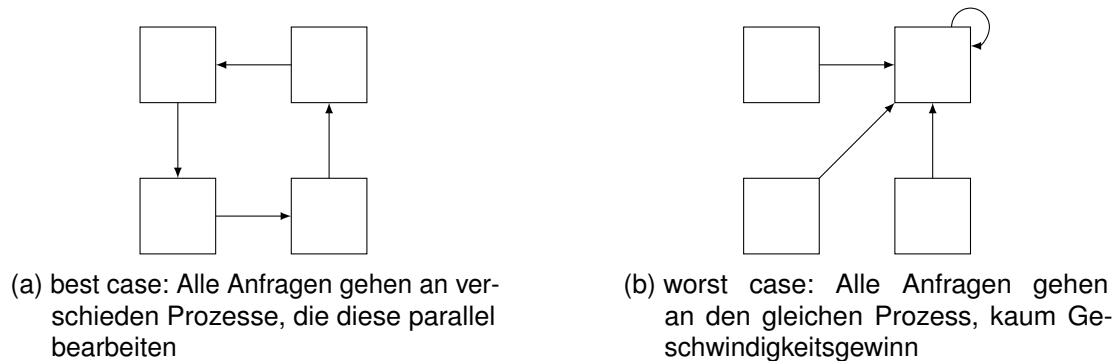


Abbildung 14: Vergleich Zugriff auf Hashtabelle worst und best case

## 5.5 BEWERTUNG

An dem Verlauf der Kurven in Abbildung 10 lässt sich erkennen, was die Flaschenhalse für die jeweiligen Modi sind:

Der lokale Modus scheitert, wie bereits festgestellt, an der aufwendigen Suche der Überlauf-liste in Form einer einfach verketteten Liste. Wird ein neues Element in eine Überlauf-liste der Länge  $n$  eingefügt, beträgt die Laufzeit  $O(n)$ .

Der verteilte Modus ist sehr von der (Reaktions-)Geschwindigkeit des Netzwerks abhängig. Vor allem im letzten Graph sieht man große Fluktuationen zwischen verschiedenen Test, die zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen wurden. So ist die Geschwindigkeit der verteilten Hashtabelle mit 2 Prozessen unerwartet größer als die mit 3 Prozessen. Da die Berechnungszeit aufgrund der Größe der Hashtabelle trivial klein ist, hängt das wahrscheinlich mit der Auslastung des Routers im Rechnerlabor zusammen: Der Test mit 2 Prozessen wurde nachts vorgenommen (einem Zeitpunkt, zu dem wahrscheinlich sonst niemand etwas im Netzwerk gemacht hat), der Test mit 3 Prozessen tagsüber. Dem entsprechend ist der Test mit 3 Prozessen von der normalen Benutzung des Rechnerlabors beeinträchtigt und etwas langsamer.

Es ist in jedem Fall zu beobachten, dass sich der verteilte Modus bei relativ viel Daten schon bei wenig teilnehmenden Prozessen lohnt (sogar und gerade im Vergleich zum lokalen Modus). In sofern wurde die in Abschnitt 5.1 aufgestellte Hypothese teilweise widerlegt.

Liegen also Systeme vor, die eher geringe Leistung und Speicherkapazität haben, so kann die hohe Parallelisierung einer verteilten Hashtabelle lohnenswert sein, da ausgenutzt wird, dass sich die Anfragen mit einer entsprechend optimierten Hashfunktion auf alle Prozesse verteilen. Liegt allerdings ein System mit ausreichend großem Leistungs- und Speicherkapazitätspotential vor, so ist es sinnvoller auf eine lokale Hashtabelle zu setzen.

## 5.6 AUSBLICK

Die Qualität einer verteilten Hashtabelle kann man an mehreren Eigenschaften festmachen:

- Fehlertoleranz  
Die verteilte Hashtabelle funktioniert auch bei Fehlern (bspw. bei ausfallenden Prozessen) weiter.
- Lastenverteilung  
Die Einträge werden gleichmäßig auf alle Knoten aufgeteilt.
- Selbstorganisation  
Die verteilten Prozesse laufen selbstständig ohne einzelne Konfigurationen zu benötigen.
- Skalierbarkeit  
Die verteilte Hashtabelle ist mit beliebig vielen Prozessen läuffähig.

Die hier vorgestellte Implementation richtet sich vor allem nach den Vorgaben der Aufgabenstellung, nämlich dem Fokus auf die Skalierbarkeit und Selbstorganisation. Damit wurden einige lohnenswerte Eigenschaften außer acht gelassen.

So wurde für die Lastenverteilung eine gleichförmige Verteilung der Daten angenommen (wie im Beispieldatensatz). In der Realität kann es aber vorkommen, dass die Daten nicht derart gleichmäßig verteilt sind, sodass eine besser Funktion zur Bildung des Hashschlüssels empfehlenswert wäre (wie beispielsweise die *Jenkins hash function*).

Dadurch, dass MPI als Kommunikationsprotokoll genutzt wurde, ist die Fehlertoleranz ebenfalls sehr gering: die gesamte Anwendung stürzt ab, sobald ein Prozess beendet wird (wenn beispielsweise der Rechner ausgeschaltet wird). Selbst wenn dieses Manko beseitigt würde, wären immer noch die Daten des entsprechend fehlenden Prozesses nicht mehr vorhanden. Für diesen Zweck wäre eine Fehlerkorrektur wünschenswert, wie sie beispielsweise im Seminar von Kommilitonen zum Thema Spread-Code erörtert wurde.

Das Hauptproblem, das die lokale Hashtabelle ausbremst, ist die Suche in der Überlaufliste. Diese wurde sehr mit einer einfach verketteten, unsortierten Liste und einer linearen Suche sehr primitiv implementiert. Vor allem wenn nicht parallel gearbeitet werden soll, wäre dies ein Punkt die Implementation durch verbesserte Suchalgorithmen oder Datenstrukturen zu verbessern.

Unabhängig von den Optimierungen wäre das System auch noch sinnvoll zu erweitern, indem nicht nur mit Zeichenketteneinträgen, sondern mit Klassen beziehungsweise Objekten gearbeitet



wird. Da die Übertragung bitweise statt findet, kann theoretisch alles übertragen werden, wenn es richtig auseinander genommen und wieder zusammen gesetzt wird. Wenn die Implementation durch eine allgemeine Schnittstelle und generischen Datentypen erweitert würde, könnte die Funktionalitäten als Framework auch von anderen Programmen genutzt werden. Dies würde die anwendungsunabhängige Verarbeitung von komplexeren Hashtabelleneinträgen ermöglichen und das Programm somit für den tatsächlichen Gebrauch tauglich machen.



# LITERATUR

Cormen, Thomas H (2009). *Introduction to algorithms*. Kapitel 11: Hash Tables. MIT press.

Naor, Moni und Udi Wieder (2003). „A simple fault tolerant distributed hash table“. In: *International Workshop on Peer-to-Peer Systems*. Springer, S. 88–97.

schlittermann.de (2014). *SSH ohne Passwort*. Internetseite. Abgerufen am 27.02.2018. URL: <http://www.schlittermann.de/doc/ssh.html>.

Snir, Marc (1998). *MPI—the Complete Reference: the MPI core*. Bd. 1. MIT press.



# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1	Beispielhafte Aufteilung von Schlüsseln in einer Hashtabelle . . . . .	5
2	Beispielhafte Aufteilung von Schlüsseln in einer verteilten Hashtabelle . . . . .	6
3	Ablauf des Skripts, der die Rechner des Computerlabors überprüft . . . . .	8
4	Ablauf einer Testdurchführung . . . . .	10
5	Benutzung des CLI der Anwendung <code>DistHash</code> . . . . .	11
6	Funktionsweise des Programms mit (Haupt-)Prozessen und Threads . . . . .	13
7	Ablauf eines <code>insert</code> -Befehls . . . . .	14
8	Ablauf eines <code>delete</code> -Befehls . . . . .	14
9	Ablauf eines <code>get</code> -Befehls . . . . .	15
10	Ausgewählte Messergebnisse im Vergleich graphisch abgebildet . . . . .	32
11	Alle Aktionen finden intern statt . . . . .	33
12	Alle Anfragen werden an eigenen Thread gesendet . . . . .	33
13	Alle Anfragen werden an einen Prozess gesendet . . . . .	33
14	Vergleich Zugriff auf Hashtabelle worst und best case . . . . .	34



# TABELLENVERZEICHNIS

1	Argumente des Programms <code>disthash</code> . . . . .	9
2	Erwartete Leistung der lokalen, entfernten und verteilten Hashtabelle . . . . .	16
3	Messergebnisse im Modus <code>local</code> (mit einer Maschine) . . . . .	19
4	Messergebnisse im Modus <code>remote</code> (mit zwei Maschinen) . . . . .	20
5	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit einer Maschine . . . . .	21
6	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit zwei Maschinen . . . . .	22
7	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit drei Maschinen . . . . .	23
8	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit vier Maschinen . . . . .	24
9	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit sechs Maschinen . . . . .	25
10	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit acht Maschinen . . . . .	26
11	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit zwölf Maschinen . . . . .	27
12	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit 16 Maschinen . . . . .	28
13	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit 24 Maschinen . . . . .	29
14	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit 32 Maschinen . . . . .	30
15	Messergebnisse im Modus <code>distributed</code> mit 42 Maschinen . . . . .	31

