



**Universität Hamburg**  
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

**Fakultät für  
Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften**

# **Ausarbeitung**

über das Thema

**Parallele Spielfeld- und Ballerkennung  
eines Tischkickers in C**

**Autoren:** Michael Straßberger  
saremox@linux.com

Philip Gawehn  
3gawehn@informatik.uni-hamburg.de

**Prüfer:** Dr. Julian Kunkel

**Abgabedatum:** 30.09.2015

## I Kurzfassung

Tischkicker ist ein beliebter Sport. Schnelligkeiten, Geschick, Konzentration und viele weitere Eigenschaften machen ihn oft unvorhersehbar und spannend. Häufig ist der Ball durch seine hohe Geschwindigkeit mit dem bloßen Auge nicht mehr zu erkennen. Unter anderem aus diesem Grund haben wir uns als Aufgabe gestellt den Ball mit Hilfe einer Kamera verfolgen (*tracken*) zu können.

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Moduls (Kurs) über parallele Programmierung in der Programmiersprache C. Sie konzentriert sich somit auf OpenMP, MPI, unserem Parallelisierungs-Schema und dessen Umsetzung. Die Erkennung des Spielfeldes und anschließend die des Balls wird im Anschluss ausgiebig behandelt. Abschließend werden noch einige Leistungsmessungen und -Analysen erläutert.

Das entstandene Programm wurde generisch gestaltet, sodass eine Wiederverwendung in einem anderen Kontext leicht möglich ist. Dabei wird das gegebene Video in Bildgruppen aufgeteilt, an die Prozesse übergeben und nach der Bearbeitung wieder empfangen. Die Bearbeitung eines Bildes ist somit nur Unabhängig von anderen Bildern möglich.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen.

## II Inhaltsverzeichnis

|            |                                             |            |
|------------|---------------------------------------------|------------|
| <b>I</b>   | <b>Kurzfassung</b>                          | <b>I</b>   |
| <b>II</b>  | <b>Inhaltsverzeichnis</b>                   | <b>II</b>  |
| <b>III</b> | <b>Abbildungsverzeichnis</b>                | <b>III</b> |
| <b>IV</b>  | <b>Tabellenverzeichnis</b>                  | <b>III</b> |
| <b>V</b>   | <b>Listing-Verzeichnis</b>                  | <b>IV</b>  |
| <b>1</b>   | <b>Video-I/O</b>                            | <b>1</b>   |
| 1.1        | Farbkodierungen . . . . .                   | 1          |
| 1.1.1      | RGBA . . . . .                              | 2          |
| 1.1.2      | YUV420P . . . . .                           | 2          |
| 1.1.3      | Konvertierung von RGB und YUV420P . . . . . | 2          |
| <b>2</b>   | <b>Parallelisierungsschema</b>              | <b>4</b>   |
| 2.1        | OpenMPI: Datentypen . . . . .               | 4          |
| 2.2        | OpenMPI: Kommunikation . . . . .            | 5          |
| 2.3        | OpenMP: Kommunikation . . . . .             | 7          |
| <b>3</b>   | <b>Spielfeld- &amp; Ballerkennung</b>       | <b>9</b>   |
| 3.1        | Spielfeldererkennung . . . . .              | 9          |
| 3.2        | Ballerkennung . . . . .                     | 11         |
| 3.3        | Ergebnis . . . . .                          | 13         |
| <b>4</b>   | <b>Leistungsmessung &amp; -Analyse</b>      | <b>14</b>  |
| 4.1        | Single Process (nur OpenMP) . . . . .       | 15         |
| 4.2        | Multi Process (MPI und OpenMP) . . . . .    | 18         |
| 4.3        | Vampir-Trace . . . . .                      | 19         |
| 4.4        | Skalierbarkeit . . . . .                    | 20         |
| <b>5</b>   | <b>Literatur- &amp; Quellenverzeichnis</b>  | <b>23</b>  |
| <b>A</b>   | <b>Anhang</b>                               | <b>I</b>   |
|            | <b>Anhang</b>                               | <b>I</b>   |

### III Abbildungsverzeichnis

|         |                                                                                   |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1  | Konvertierung von RGB zu YUV (visuelles Beispiel) . . . . .                       | 3  |
| Abb. 2  | Sequenzdiagramm - MPI Kommunikation (Verarbeitung von 6 Frames)                   | 7  |
| Abb. 3  | Sequenzdiagramm - OpenMP Kommunikation mit MPI Thread . . . . .                   | 8  |
| Abb. 4  | Treffer in <code>statistical_border_tb_array</code> nach 10.000 Frames . . . . .  | 10 |
| Abb. 5  | Erkennung - visuelle Unterstützung der Beschreibung . . . . .                     | 11 |
| Abb. 6  | Geglückte Erkennung des Spielfeldes und des Balls . . . . .                       | 13 |
| Abb. 7  | Speedup-Diagramm der West-Knoten-Ergebnisse (Tab. 18) . . . . .                   | 15 |
| Abb. 8  | Speedup der besten Paket-Größe (8) (Abb. 7, Tab. 18) . . . . .                    | 16 |
| Abb. 9  | Speedup-Diagramm der Abu-Knoten-Ergebnisse (Tab. 20) . . . . .                    | 17 |
| Abb. 10 | Speedup der besten Paket-Größe (8) (Abb. 9, Tab. 20) . . . . .                    | 17 |
| Abb. 11 | Diagramm von Tabelle 3 . . . . .                                                  | 19 |
| Abb. 12 | MPI Timeline - Geringer anteil von MPI Kommunikation . . . . .                    | 19 |
| Abb. 13 | Verteilung wieviel Zeit, jeweils in MPI und dem Berechnen genutzt wurde . . . . . | 20 |
| Abb. 14 | Speedup beim Weak-Scaling auf den West-Knoten (Tab. 15) . . . . .                 | 20 |
| Abb. 15 | Speedup beim Weak-Scaling der besten Paket-Größe (Tab. 16) . . . . .              | 21 |

### IV Tabellenverzeichnis

|         |                                                                                                                      |      |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tab. 1  | YUV420P: 2x2 Pixelgruppe . . . . .                                                                                   | 2    |
| Tab. 2  | Netzwerkgeschwindigkeit der Knoten . . . . .                                                                         | 15   |
| Tab. 3  | Speedup mit MPI auf den West-Knoten, stets 4 Threads . . . . .                                                       | 18   |
| Tab. 4  | Speichervergleich eines serialisierten Pakets (8 Frames) . . . . .                                                   | 19   |
| Tab. 5  | Weak-Scaling auf den West-Knoten (1 Minute) in FPS . . . . .                                                         | I    |
| Tab. 6  | Weak-Scaling auf den West-Knoten (2 Minuten) in FPS . . . . .                                                        | I    |
| Tab. 7  | Weak-Scaling auf den West-Knoten (3 Minuten) in FPS . . . . .                                                        | II   |
| Tab. 8  | Weak-Scaling auf den West-Knoten (4 Minuten) in FPS . . . . .                                                        | II   |
| Tab. 9  | Weak-Scaling auf den West-Knoten (5 Minuten) in FPS . . . . .                                                        | III  |
| Tab. 10 | Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (1 Minute) .                                                   | III  |
| Tab. 11 | Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (2 Minuten)                                                    | IV   |
| Tab. 12 | Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (3 Minuten)                                                    | IV   |
| Tab. 13 | Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (4 Minuten)                                                    | V    |
| Tab. 14 | Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (5 Minuten)                                                    | V    |
| Tab. 15 | Durchschnitts-Speedup-Tabelle des Weak-Scalings über alle Paketgrößen                                                | VI   |
| Tab. 16 | Speedup-Tabelle des Weak-Scalings mit der besten Paketgröße (8) . .                                                  | VI   |
| Tab. 17 | Leistungsanalyse auf den West-Knoten, 1 Process, Threads (links),<br>Packet-Size (oben), Ergebnisse in FPS . . . . . | VII  |
| Tab. 18 | Speedup-Tabelle auf den West-Knoten, Basis: Tabelle 17, 1 Process,<br>Threads (links), Packet-Size (oben) . . . . .  | VII  |
| Tab. 19 | Leistungsanalyse auf den Abu-Knoten, 1 Process, Threads (links),<br>Packet-Size (oben), Ergebnisse in FPS . . . . .  | VIII |
| Tab. 20 | Speedup-Tabelle auf den Abu-Knoten, Basis Tabelle 19, 1 Process,<br>Threads (links), Packet-Size (oben) . . . . .    | IX   |

## V Listing-Verzeichnis

|         |                                                                      |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------|----|
| Lst. 1  | OpenMPI Datenstrukturen . . . . .                                    | 4  |
| Lst. 2  | OpenMPI Datentypen . . . . .                                         | 4  |
| Lst. 3  | Statistik der Jobverteilung . . . . .                                | 5  |
| Lst. 4  | CLI Argumente zur Job-Kontrolle . . . . .                            | 5  |
| Lst. 5  | Pipeline Datenstrukturen . . . . .                                   | 6  |
| Lst. 6  | Die ersten 32 Bytes eines serialisierten Pipeline-Packets . . . . .  | 6  |
| Lst. 7  | Initialisierung der Threads . . . . .                                | 9  |
| Lst. 8  | Inkrementierung des Arrays mit der OpenMP Atomic-Direktive . . . . . | 10 |
| Lst. 9  | Absuchen des Kreises . . . . .                                       | 12 |
| Lst. 10 | CPU-Eigenschaften der Nodes (visuell. angepasst) . . . . .           | 14 |
| Lst. 11 | Runtime Optimierungen . . . . .                                      | 21 |

# 1 Video-I/O

**Relevante Dateien:** *ffmpegio.\**

Die verwendeten Video-Dateien können beliebig formatiert als Eingabe dienen. Um dies zu erreichen, wird die FFMPEG-API ([FT]) verwendet, welche sich der Erkennung der Container-Formate und der Verwaltung der Codecs annimmt. FFMPEG stellt für sämtliche Formate eine einheitliche Schnittstelle bereit. An dieser Stelle ist somit lediglich eine Schnittstelle zwischen dem Projekt und der FFMPEG-API nötig. Dies ermöglicht dem Projekt die Unterstützung der am häufigsten verwendeten Formate.

FFMPEG stellt zudem die Schnittstelle *swscale* bereit, mit deren Hilfe eine Transformation der verschiedenen Farbkodierungen möglich ist. Näheres dazu in Kapitel 1.1.3.

## 1.1 Farbkodierungen

In unserem Projekt werden hauptsächlich zwei Arten von Farbkodierungen verwendet:

- RGBA
- YUV420P

RGBA wird für die Algorithmen der Bilderkennung benötigt. Dabei ist auf Grund der 32 bbp (Bits pro Pixel) ein effizientes Laden vom Arbeitsspeicher in den Prozessor-Cache möglich, da dem Compiler die Möglichkeit gegeben wird direkt *Opcodes* zu nutzen, um *WORD* oder *DWORD* zu laden.

Für die Übertragung der Bilddaten mittels MPI wird das YUV420P-Format genutzt, da dies nur 12 bbp benötigt und somit lediglich 37,5 Prozent der Datenmenge (siehe Gleichung 1) im Vergleich zu RGBA übertragen werden müssen.

Gegeben seien  $w$  und  $h$  als Breite und Höhe eines Frames.

$$\frac{12 \cdot w \cdot h}{32 \cdot w \cdot h} \cdot 100\% = \frac{12}{32} \cdot 100\% = 37,5\% \quad (1)$$

Nach der Übertragung müssen die Rohdaten in RGBA konvertiert werden, damit eine Bearbeitung durch die Erkennungsalgorithmen möglich wird. Näheres dazu in Kapitel 1.1.3.

### 1.1.1 RGBA

RGBA benötigt für die Kodierung eines Pixels 32 Bit bzw. vier mal ein Byte (*uint8\_t*):

- rot
- grün
- blau
- alpha (transparenz, für uns irrelevant)

Im Hauptspeicher sieht die Darstellung im Hex-System wie folgt aus: `0xRRGGGBAA`.

### 1.1.2 YUV420P

YUV420P benötigt für die Kodierung eines Pixels durchschnittlich 12 Bit. Dies ist durch eine Betrachtung von 2x2-Pixelgruppen möglich. Diese Gruppen teilen sich den gleichen Rot- und Blauanteil ( $C_r$  und  $C_b$  sind jeweils identisch), unterscheiden sich aber in ihrer Helligkeit ( $Y$ ). Diese Optimierung ist möglich, da das menschliche Auge besser Helligkeit als Farben wahrnehmen kann.

In Tabelle 1 ist die Aufteilung als Beispiel dargestellt.

|               |               |
|---------------|---------------|
| $C_r C_b Y_1$ | $C_r C_b Y_2$ |
| $C_r C_b Y_3$ | $C_r C_b Y_4$ |

Tabelle 1: YUV420P: 2x2 Pixelgruppe

Weitere Informationen zu YUV420P befinden sich in [V.G87] und [The10].

### 1.1.3 Konvertierung von RGB und YUV420P

Mit RGB(A) als Basis ist eine Konvertierung zu YUV420P mit den Formeln 2 bis 4 leicht möglich.  $K_b$  und  $K_r$  sind Konstanten und abhängig vom Nutzungskontext.

$$Y = K_r \cdot R + (1 - K_r - K_b) \cdot G + K_b \cdot B \quad (2)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{B - Y}{1 - K_b} \quad (3)$$

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{R - Y}{1 - K_r} \quad (4)$$

In der Regel werden die einzelnen Ergebnisse noch skaliert, erhalten offsets und werden abschließend gerundet, wodurch aus  $YPrPb YCrCb$  wird. Die genauen Konstanten und

Implementationen sind dem FFMPEG-Projekt zu entnehmen.

Entsprechend ist die Konvertierung mit den Formeln 5 bis 7 von YUV420P nach RGB.

$$R = \frac{P_r - K_r}{2} + Y \quad (5)$$

$$B = \frac{P_b - K_b}{2} + Y \quad (6)$$

$$G = \frac{Y - K_r R - K_b B}{1 - K_r - K_b} \quad (7)$$

Eine Implementation ist beispielsweise im Android Source Code ([The10]) in den Zeilen 375 – 384 zu finden.

In Abbildung 1 wird eine Konvertierung von RGB nach YUV dargestellt, um das abstrakte Format einmal visuell zu verdeutlichen.

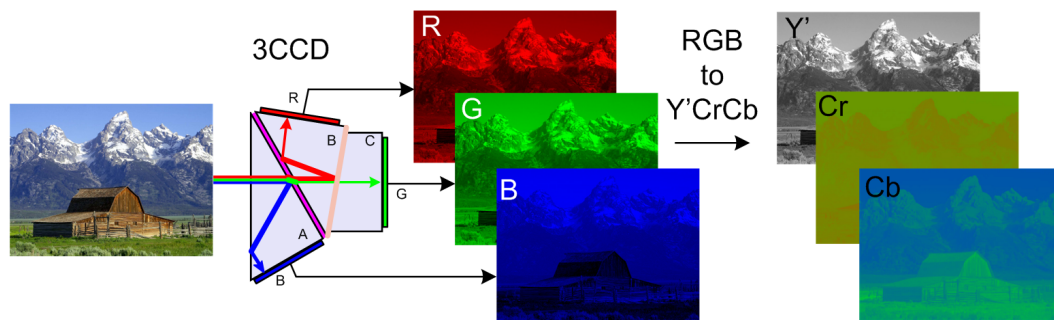


Abbildung 1: Konvertierung von RGB zu YUV (visuelles Beispiel)  
[Lio12]



## 2 Parallelisierungsschema

**Relevante Dateien:** *mpicomm.\**, *pipeline.\**

Durch die Video-Daten muss bei der Parallelisierung mit großen Datenmengen operiert werden. Dazu wird OpenMPI ([The]) und OpenMP ([Ope]) verwendet. Die Bilddaten werden über OpenMPI in der YUV420P-Kodierung versendet und bei OpenMP über die Weitergabe von Pointern an die einzelnen Threads verteilt.

### 2.1 OpenMPI: Datentypen

Die Kommunikation zwischen den Cluster-Knoten basiert auf den zwei in Listing 1 dargestellten Nachrichtentypen. Die Verwendung wird in Kapitel 2.2 näher erläutert.

---

```

1  struct _MpiJobRequest {
2      uint64_t rank;
3      uint64_t num_of_threads;
4      uint64_t last_frame_read;
5      uint64_t last_frame_writen;
6  }
7
8  struct _MpiJob {
9      uint64_t first_frame;
10     uint64_t last_frame;
11 }
```

---

Listing 1: OpenMPI Datenstrukturen

Für eine korrekte Übertragung der Datenstrukturen mit Hilfe von OpenMPI an die anderen Prozesse müssen diese Strukturen in MPI-Datentypen überführt werden. Eine solche Überführung des Typs *MpiJob* ist in Listing 2 dargestellt. Es ist somit möglich direkt die C Datenstrukturen zu übertragen ohne selbst eine Serialisierung zu schreiben, da dies OpenMPI durch die übergebene Datenstrukturbeschreibung automatisch übernimmt.

---

```

1  const int    jpItems          = 2;
2      int      jpBlockLengths[2] = {1,1};
3  MPI_Datatype jpTypes[2]       = {MPI_UINT64_T, MPI_UINT64_T};
4  MPI_Aint     jpoffset[2];
5  jpoffset[0] = offsetof(MpiJob, first_frame);
6  jpoffset[1] = offsetof(MpiJob, last_frame);
7  MPI_Type_create_struct( jpItems,
8                          jpBlockLengths,
9                          jpoffset,
```

---

---

```

10         jpTypes ,
11         &MPI_JOB_PACKAGE_T);
12 MPI_Type_commit (&MPI_JOB_PACKAGE_T);

```

---

Listing 2: OpenMPI Datentypen

## 2.2 OpenMPI: Kommunikation

Im folgenden Abschnitt wird die Kommunikation zwischen den einzelnen OpenMPI-Prozessen beschrieben, unter Verwendung der in Kapitel 2.1 vorgestellten Datenstrukturen.

Die Aufteilung der Arbeit der einzelnen Knoten wird mit den MpiJob-Packets vorgenommen. Die Knoten fragen beim Master-Prozess an, welche Frames bearbeitet werden sollen. Der Master dokumentiert welche Frames bearbeitet wurden und momentan werden und schickt eine entsprechende Antwort. Zusätzlich protokolliert der Master welcher Knoten wie viele Jobs erhält und wie viele zurückkommen. Anhand dieser Statistik (siehe Listing 3) werden Verteilungs-Entscheidungen getroffen, welche für eine möglichst gleichmäßige Nutzung sorgen sollen. Die Verteilung kann über CLI-Argumente kontrolliert werden (siehe Listing 4).

---

| 1 | Zeitstempel  | Knoten 1 |        | Knoten 2 |       | Knoten 3 |        |
|---|--------------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|
| 2 |              | IN       | OUT    | IN       | OUT   | IN       | OUT    |
| 3 | 1442405461 ; | 1686 ;   | 1566 ; | 1039 ;   | 919 ; | 1329 ;   | 1209 ; |
| 4 | 1442405461 ; | 1686 ;   | 1566 ; | 1041 ;   | 921 ; | 1330 ;   | 1211 ; |
| 5 | 1442405464 ; | 1686 ;   | 1566 ; | 1050 ;   | 930 ; | 1338 ;   | 1218 ; |
| 6 | 1442405464 ; | 1686 ;   | 1566 ; | 1056 ;   | 936 ; | 1343 ;   | 1223 ; |
| 7 | 1442405465 ; | 1686 ;   | 1566 ; | 1066 ;   | 946 ; | 1345 ;   | 1225 ; |

---

Listing 3: Statistik der Jobverteilung

---

|   |                          |                                            |
|---|--------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | --package_size [0-65535] | Defines how big 'Frame Packages' will be.  |
| 2 |                          | Affects total FPS performance. With a high |
| 3 |                          | number of threads consider increasing it.  |
| 4 |                          | A good start would be <threads> * 2.       |
| 5 | --queue_size [0-65535]   | Sets the maximum size of 'Package Queue'   |
| 6 |                          | buffers. This has a huge impact in the     |
| 7 |                          | memory consumption of this programm.       |
| 8 |                          | Use with caution!                          |

---

Listing 4: CLI Argumente zur Job-Kontrolle

Vor dem Übertragen der Frame-Daten (FD) werden diese zunächst serialisiert. Dazu werden alle Informationen entfernt, die für das spätere Schreiben in die Ausgabe-Datei nicht wichtig sind. Dazu betrachten wir Listing 5.

---

```

1 struct pipelineitem {
2     uint64_t      id;      // unique frame id
3     pictureDataP img;      // pointer with frame information
4     bool          ready;   // this should only be true if
5                          // processing this frame was successful
6 }
7
8 struct pipelinepacket {
9     uint64_t      id;      // first frame id of the packet
10    pipelineItemP items;    // Array of pipeline items
11    bool          ready;    // true if all items are processed properly
12
13    struct SwsContext * rgb2yuv; // pointer to a color conversion
14                                // from rgba to yuv420p
15    struct SwsContext * yuv2rgb; // pointer to a color conversion
16                                // from yuvxxx to rgba
17 }
```

---

Listing 5: Pipeline Datenstrukturen

Für das spätere Schreiben werden nur die YUV420P Bilddaten und die *first\_frame* ID vom PipelinePacket benötigt. Es genügt also lediglich diese zu übertragen. Beim Serialisieren werden die benötigten Bilddaten jeweils mit einem Offset in dem MPI-Send-Buffer des Workers kopiert. Die Daten sehen nach der Serialisierung wie in Listing 6 dargestellt aus. Diese Daten werden an den Master geschickt.

---

```

0x0000:  0200 0000 0000 0000  .... # Packet ID in Little Endian
0x0008:  d2d2 d21b 1312 1113  ....
0x0010:  1010 1010 1010 1010  ....
0x0018:  1010 1010 1010 1010  ....
```

---

Listing 6: Die ersten 32 Bytes eines serialisierten Pipeline-Packets

Wie bereits erwähnt basiert die Kommunikation auf den *MpiJob*-Packets und den in Listing 6 dargestellten serialisierten Daten. Die beispielhafte Kommunikation zwischen zwei Knoten ist im Sequenzdiagramm in Abbildung 2 zur Veranschaulichung dargestellt.

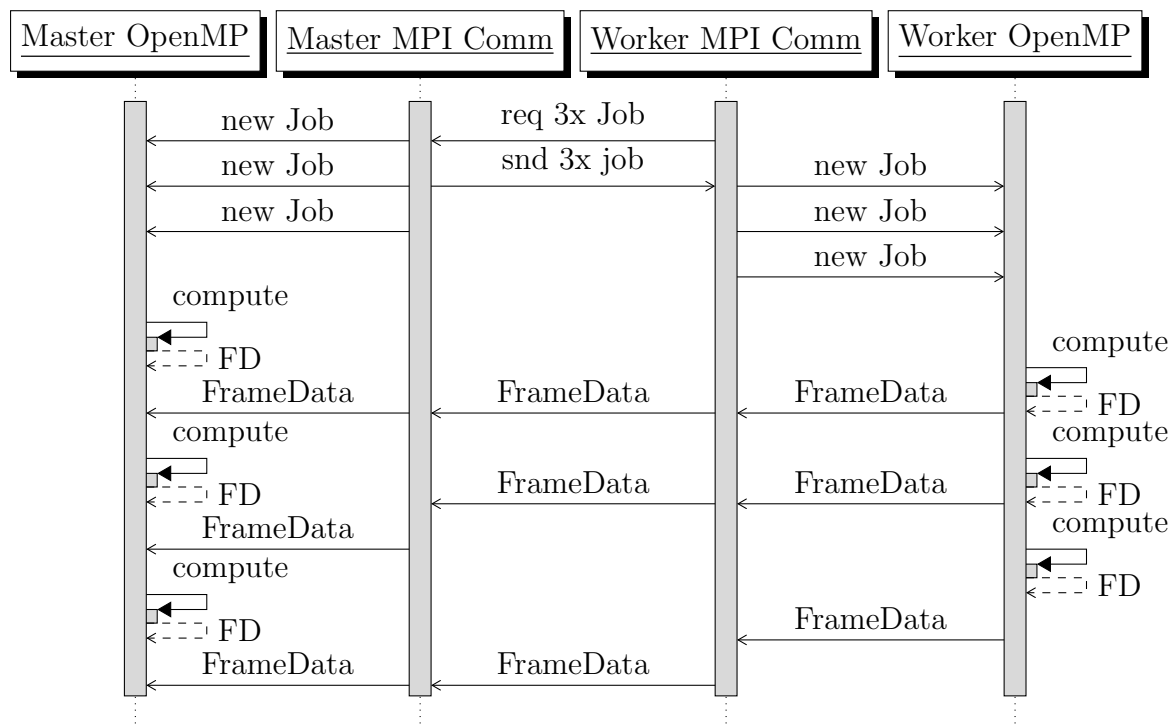


Abbildung 2: Sequenzdiagramm - MPI Kommunikation (Verarbeitung von 6 Frames)

Im Sequenzdiagramm (Abbildung 2) ist Knoten #1 der Master-Knoten und Knoten #2 einer der Worker-Knoten. Der Master-Knoten berechnet seinerseits ebenfalls Packets, um vollständig ausgelastet zu sein. Beide Knoten fordern beim Master einen Job an. Nach dem Erhalten der benötigten Daten beginnen die Knoten mit der Verarbeitung. Sobald ein Worker-Knoten seine Aufgabe beendet hat, überträgt dieser seine verarbeiteten FD zu seinem MPI-Thread, der die Aufgabe des Sendens an den Master übernimmt. Sind die bearbeiteten FD beim Master eingetroffen, werden diese in den Schreib-Buffer eingereiht. An dieser Stelle findet eine Sorted List Verwendung, damit die einzelnen Frames in der korrekten Reihenfolge in die Ausgabe-Datei gelangen.

## 2.3 OpenMP: Kommunikation

Die OpenMP Kommunikation nutzt einen oft verwendeten Ansatz zur Prozessor-Optimierung: das **Pipelining**. Die Verarbeitung eines Frame-Packets ist aufgeteilt in vier Phasen:

1. Einlesen
2. Bearbeiten
3. Sortieren
4. Schreiben

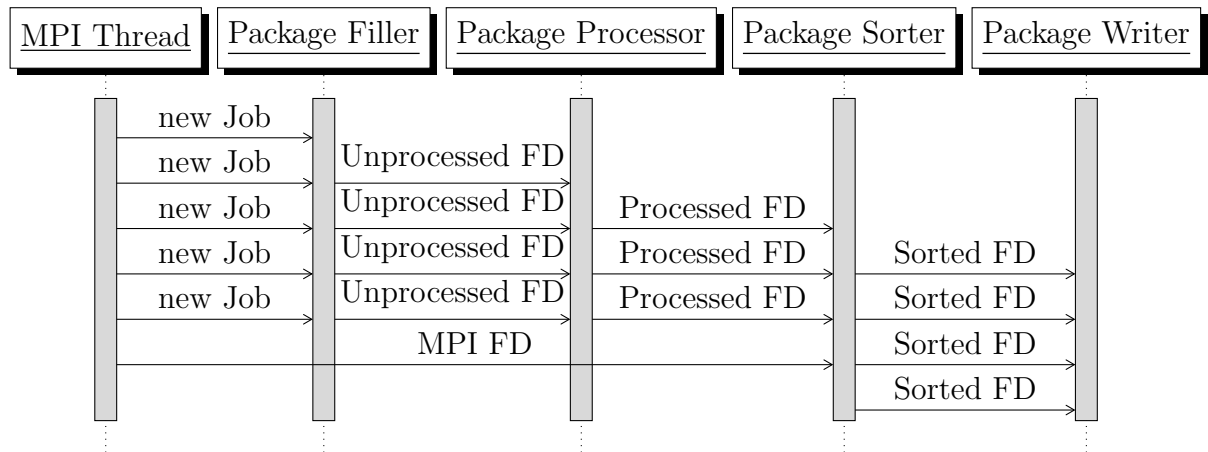


Abbildung 3: Sequenzdiagramm - OpenMp Kommunikation mit MPI Thread

Das Einlesen der Videodaten wird bereits von dem jeweiligen Video-Codec selbst parallelisiert. Aus diesem Grund wird nur ein Thread zur Koordinierung des Dekodierungs-Prozesses benötigt. Beim Einlesen wird gleichzeitig die Verteilung auf die OpenMP Threads geregelt.

Bei der Bearbeitung werden die Frame-Packets einzeln betrachtet, die vorangegangenen oder nachkommenden Frame-Daten also ignoriert. Dadurch ist eine Parallelisierung dieses Schritts leicht möglich.

Nach der Verarbeitung der Daten werden diese Packets über asynchrone Message-Queues zum Sortier-Prozess weitergeleitet. An dieser Stelle werden die Daten aufbewahrt bis sie encodiert werden können. Der Ablauf dieses Prozesses ist in Abbildung 3 dargestellt. In dieser Abbildung ist ebenfalls zu erkennen, dass der Einlese-Prozess auf Job-Pakete vom MPI Thread wartet und diese anschließend verteilt, wenn das Programm im MPI-Modus gestartet wurde. Diese Technik wird automatisch deaktiviert, wenn das Programm beim Start nur einen MPI-Knoten erkennt.

## 3 Spielfeld- & Ballerkennung

**Relevante Dateien:** *detect.\**, *color.\**, *draw.\**.

Sind die Frame-Packets auf die Knoten verteilt, wird mit der Spielfeldererkennung begonnen. Die erhaltenen Frame-Packets werden nacheinander jedem verfügbaren Thread übergeben, der für die Verarbeitung eines einzelnen Frames verantwortlich ist. Dies wird mit Hilfe von OpenMP realisiert.

Jeder Thread beginnt zunächst mit der Spielfeldererkennung (siehe Kapitel 3.1) und sucht anschließend im gefundenen Spielfeld nach dem Ball (siehe Kapitel 3.2).

Für die Erkennung des Tischkickers und des Balls gelten folgende Voraussetzungen:

- Die Kanten des Tischkickers müssen sich im oberen/unteren Viertel bzw. linken/rechten Sechstel des Bildes befinden. Diese Grenzen können im Code angepasst werden.
- Die obere und untere Kante muss parallel zu den Bildkanten verlaufen.
- Die Grundfarbe des Spielfeldes und die Farbe der Kanten muss bekannt sein.
- Der Ball muss eine andere Farbe als die Spieler, Kanten, Untergrund und Spielfeldmarkierungen haben. Diese muss ebenfalls bekannt sein.

### 3.1 Spielfeldererkennung

Die beiden Arrays `statistical_border_tb_array` und `statistical_border_lr_array` werden als *shared* deklariert, bevor die einzelnen Frames bearbeitet werden. Dies sorgt dafür, dass alle Threads auf dieselben Variablen zugreifen. Zu sehen in Zeile 5 in Listing 7 bzw. in der Datei *pngedgedetect.c*.

---

```
1  int main(int argc, char * argv[])
2  {
3      // ...
4
5      #pragma omp parallel shared(statistical_border_tb_array,
6                                statistical_border_lr_array)
7      {
8          // Start der parallelen Verarbeitung der einzelnen Frames
9      }
```

---

Listing 7: Initialisierung der Threads

Da alle Threads auf dasselbe Array zugreifen und somit Informationen austauschen können, ergibt sich die Möglichkeit eine Statistik zu erstellen.

Zunächst werden die horizontalen Kanten erkannt. Dafür wird über das obere und das untere Viertel des Frames iteriert. Es wird an dieser Stelle angenommen, dass sich in diesem Bereich die Kanten befinden. In jeder Zeile werden alle Pixel überprüft, ob es sich hierbei um Pixel einer Kante handeln könnte. Dazu wird überprüft wie weit die Farbe des Pixels von der des Spielfeldrandes (diese wird übergeben) entfernt ist (Im 3D Farbraummodell), ob der benachbarte linke Pixel eine ähnliche Farbe hat und ob die Farbe des Pixels nicht grün ist, um eine Unterscheidung vom Spielfeld zu vereinfachen. Alle diese Kriterien müssen erfüllt sein, damit die Spalte als potenzielles Element der Kante erteilt werden kann. Wurde eine Zeile komplett betrachtet, wird abschließend überprüft, ob ein bestimmter Prozentsatz der Pixel als potenzielles Kantenelement erkannt wurde, sodass diese Zeile als mögliche Kante erfasst wird (siehe Zeile 3 in Listing 8). An dieser Stelle wird die OpenMP Atomic-Direktive für eine schnelle, threadsichere Inkrementation verwendet.

---

```

1  if(counter > srcPicture->width * 0.85)
2      #pragma omp atomic
3      statistical_border_tb_array[row]++;

```

---

Listing 8: Inkrementierung des Arrays mit der OpenMP Atomic-Direktive

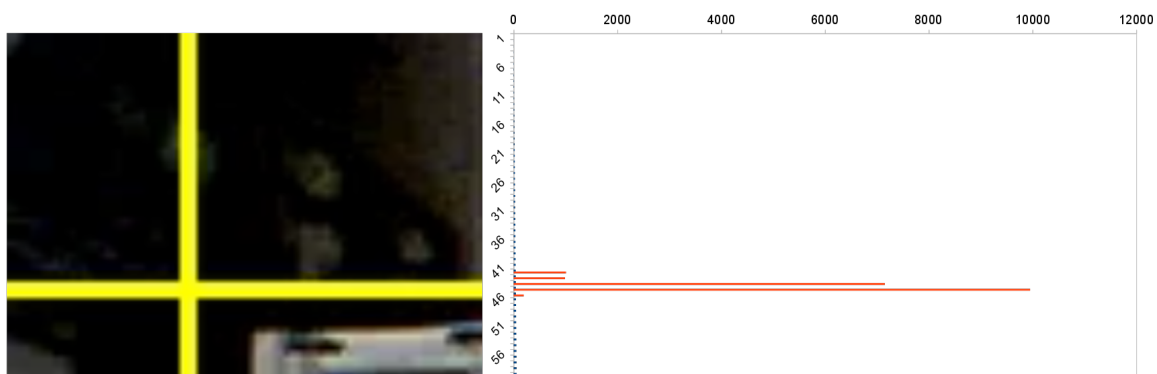


Abbildung 4: Treffer in `statistical_border_tb_array` nach 10.000 Frames

Anschließend wird lediglich überprüft welche Zeile die meisten potenziellen Kanten enthält (siehe Abbildung 4). Wir erhalten somit die obere und die untere Spielfeldkante.

Auf Basis der beiden bereits errechneten Kanten werden die vertikalen Kanten gesucht. Es

wird sehr ähnlich vorgegangen. Wir verwenden die gefundene obere und untere Kante als Grenzen und beschränken die Suche nach den Kanten auf jeweils ein Sechstel der Breite des Bildes. Prinzipiell wird hier die gleiche Art von Statistik verwendet, um die letzten Kanten zu finden. Es darf in diesem Fall aber nicht die Spalte mit den meisten Treffern als Kante interpretiert werden, da durch die Tore keine durchgängig gleiche Farbe gegeben ist. Es werden an dieser Stelle nur Kanten als potenziell erkannt, wenn die Trefferquote zwischen 60 und 70 Prozent liegt, das Tor also etwa  $2/3$  der Höhe des Tischkickers ausmacht.

Am Ende wird das Verhältnis des gefundenen Spielfeldes mit dem eines realen verglichen. Ist keine große Abweichung vorhanden ist die Erkennung des Spielfeldes geglückt und die Kanten werden eingezeichnet.

### 3.2 Ballerkennung

Die Ballerkennung wird gestartet, wenn ein Spielfeld erfolgreich gefunden wurde. Zunächst werden dabei alle Pixel des gefundenen Spielfeldes betrachtet. Anschließend wird überprüft, ob ein Pixel Teil des Balls sein kann. Dies wird überprüft, indem speziell der Rotanteil des Pixels (wir verwendeten einen roten Ball) groß genug sein muss und die Farbe des Pixels nah genug an der des Balls liegt (im 3D Farbraummodell). Dabei können mehrere Farben angegeben werden, um beispielsweise die Erkennung bei schlechten Lichtverhältnissen zu verbessern.

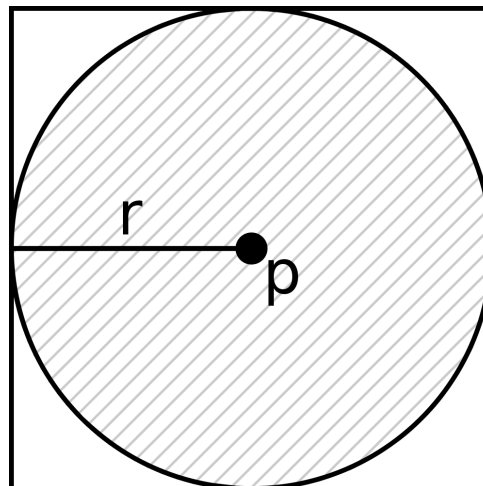


Abbildung 5: Erkennung - visuelle Unterstützung der Beschreibung

Durch die vorhandene, ungefähre Größe des Balls in Pixeln wird nun, nacheinander von kleinem nach großem Radius, der Pixel selbst und seine umliegenden Pixel betrachtet. Zur Veranschaulichung ist Abbildung 5 zu betrachten. In einer neuen Routine wird überprüft,



ob der gefundene Pixel der Mittelpunkt des Balls ist. Dazu erhält die Routine die Position  $p$  des Pixels und betrachtet alle umliegenden Pixel (das Quadrat s. Abb. 5). Durch Approximation in der *math\_approx.c* und der Nutzung des Satzes des Pythagoras ist die Betrachtung des Kreises allein möglich (siehe Listing 9):

---

```

1  for (int16_t row = -radius; row <= radius; row++)
2      for (int16_t col = -radius; col <= radius; col++)
3          if ((approx_squareroot(
4              approx_square(abs(row)) +
5              approx_square(abs(col))
6          )) <= radius)
7      {
8          // schraffierte Flaeche in Abbildung 5
9      }
```

---

Listing 9: Absuchen des Kreises

Innerhalb dieses Kreises wird jeder Pixel mit der selben Methode überprüft wie oben genannt. Um zu sehen, ob es sich auch bei diesen um einen möglichen Teil des Balls handelt. Dabei wird jedes Mal ein Counter hochgezählt, wenn die Über erfolgreich war. Dieser Counter muss mindestens 55 Prozent der Fläche des Quadrates füllen, damit die Position als Ball erkannt wird. Dabei kann der Anteil nicht über 78 Prozent (als ganze Zahl) ansteigen.

$$A_{\text{Quadrat}} = (2r)^2 \quad (8)$$

$$A_{\text{Kreis}} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \frac{(2r)^2}{4} \quad (9)$$

$$\frac{\pi \cdot \frac{(2r)^2}{4}}{(2r)^2} \cdot 100\% = \frac{\pi}{4} \cdot 100\% \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 &= 78.53981633974483\% \\
 &\approx 78\%
 \end{aligned} \quad (11)$$

Um eine vorher gefundene Ballposition überschreiben zu können, muss neben der Trefferquote auch der Radius größer sein.

### 3.3 Ergebnis

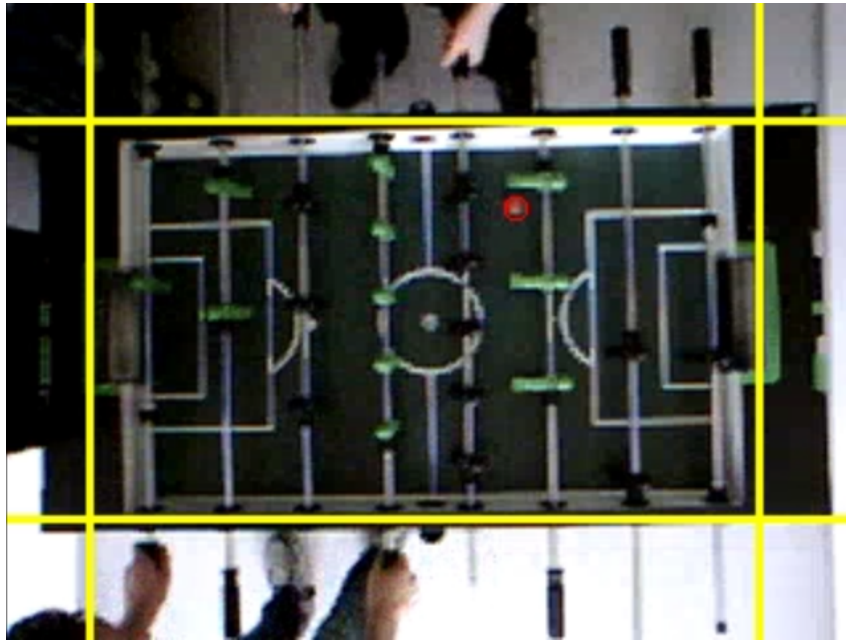


Abbildung 6: Geglückte Erkennung des Spielfeldes und des Balls

## 4 Leistungsmessung & -Analyse

Nachfolgend wurden in Kapitel 4.1 und 4.2 einige Messungen durchgeführt, um einen Überblick über die Geschwindigkeit des Programms zu erhalten. Dabei standen uns bis zu 9 West- und bis zu 4 Abu-Knoten zur Verfügung, detailliert Beschrieben in Listing 10 und Tabelle 2.

---

```
[node42@cluster ~]$ lscpu
```

|                      | WEST-Knoten:   | ABU-Knoten:    |
|----------------------|----------------|----------------|
| Architecture:        | x86_64         | x86_64         |
| CPU op-mode(s):      | 32-bit, 64-bit | 32-bit, 64-bit |
| Byte Order:          | Little Endian  | Little Endian  |
| CPU(s):              | 24             | 48             |
| On-line CPU(s) list: | 0-23           | 0-47           |
| Thread(s) per core:  | 2              | 2              |
| Core(s) per socket:  | 6              | 6              |
| Socket(s):           | 2              | 4              |
| NUMA node(s):        | 2              | 8              |
| Vendor ID:           | GenuineIntel   | AuthenticAMD   |
| CPU family:          | 6              | 21             |
| Model:               | 44             | 2              |
| Stepping:            | 2              | 0              |
| CPU MHz:             | 1600.000       | 2599.959       |
| BogoMIPS:            | 5333.54        | 5199.95        |
| Virtualization:      | VT-x           | AMD-V          |
| L1d cache:           | 32K            | 16K            |
| L1i cache:           | 32K            | 64K            |
| L2 cache:            | 256K           | 2048K          |
| L3 cache:            | 12288K         | 6144K          |
| NUMA node0 CPU(s):   | 0-5,12-17      | 0-5            |
| NUMA node1 CPU(s):   | 6-11,18-23     | 6-11           |
| NUMA node2 CPU(s):   |                | 12-17          |
| NUMA node3 CPU(s):   |                | 18-23          |
| NUMA node4 CPU(s):   |                | 24-29          |
| NUMA node5 CPU(s):   |                | 30-35          |
| NUMA node6 CPU(s):   |                | 36-41          |
| NUMA node7 CPU(s):   |                | 42-47          |

---

Listing 10: CPU-Eigenschaften der Nodes (visuell. angepasst)

|                         | theoretisch | praktisch (iperf3) | Effektiv |
|-------------------------|-------------|--------------------|----------|
| West-Knoten (Ethernet)  | 1 Gbit/s    | 940 Mbit/s         | 94 %     |
| Abu-Knoten (Infiniband) | 6 Gbit/s    | 4,53 Gbit/s        | 75.5 %   |

Tabelle 2: Netzwerkgeschwindigkeit der Knoten

## 4.1 Single Process (nur OpenMP)

Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt wurde, besitzt das Programm mehrere Parameter, mit denen man in Abhängigkeit von Speicherverbrauch und CPU-Eigenschaften die Ausführungsgeschwindigkeit optimieren kann. Dazu wurden auf den West- und den Abu-Knoten jeweils Benchmarks gemacht, deren Ergebnisse in den Tabellen 18 und 20 gelistet sind.

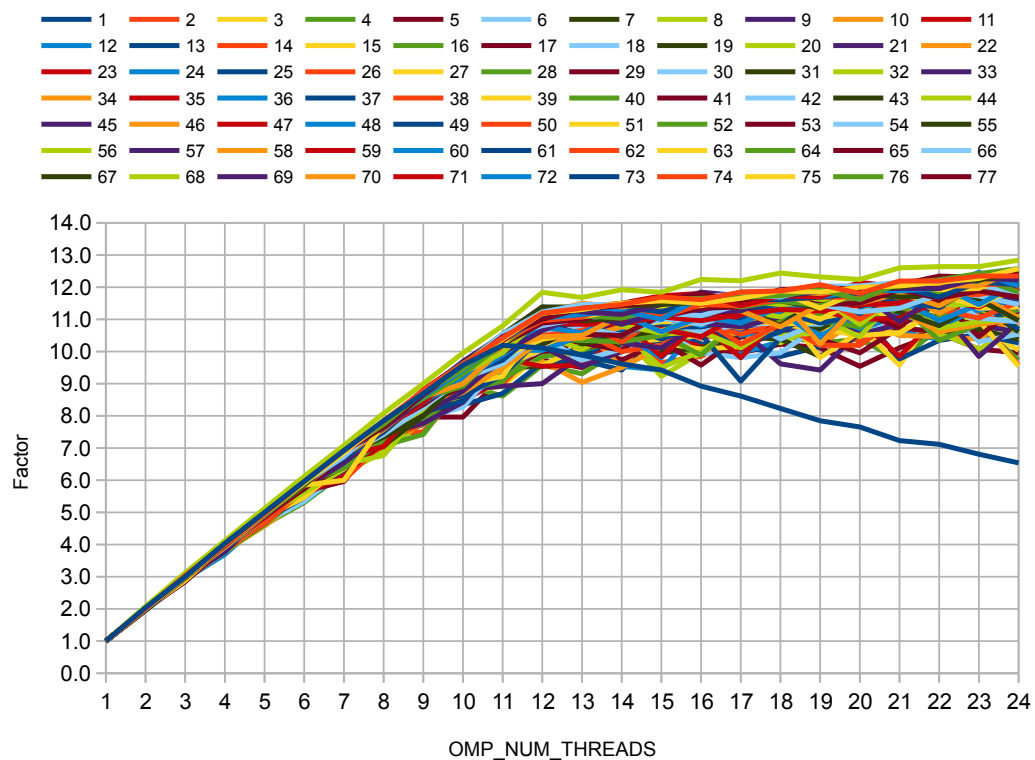


Abbildung 7: Speedup-Diagramm der West-Knoten-Ergebnisse (Tab. 18)

Abbildung 7 ist eine Visualisierung von Tabelle 18. Auffällig ist die zunächst lineare Zunahme des Speedups bis 12 Threads, wobei die Ausführung mit der Paketgröße 1 das schlechteste Ergebnis erzielt und bereits ab 11 Threads langsamer wird. Dieses Verhalten lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass die asynchronen Message-Queues häufig auf

Locks warten müssen. Dies geschieht pro Thread 26 mal pro Sekunde (ein Thread verarbeitet 26 FPS; siehe Tabelle 18), womit die Threads einen großen Teil ihrer Zeit auf die Locks warten.

Die restlichen Paketgrößen haben ab 12 Thread einen Speedupfaktor zwischen 11 und 13. Der geringe Performancezuwachs bei einer Paketgröße über 20 ist so gering, dass es den deutlich erhöhten Arbeitsspeicherverbrauch nicht rechtfertigt.

Die Paketgröße 8 erweist sich als bester Trade-off für gute Performance und geringen Arbeitsspeicherverbrauch, welches sich aus Tabelle 18 durch Auswertungsfunktionen von Tabellenkalkulationsprogrammen leicht berechnen lässt.

Bei alleiniger Betrachtung der Abbildung 8 ist die Threadanzahl 12 und die Paketgröße 8 als optimaler Wert für die West-Knoten erkennbar.

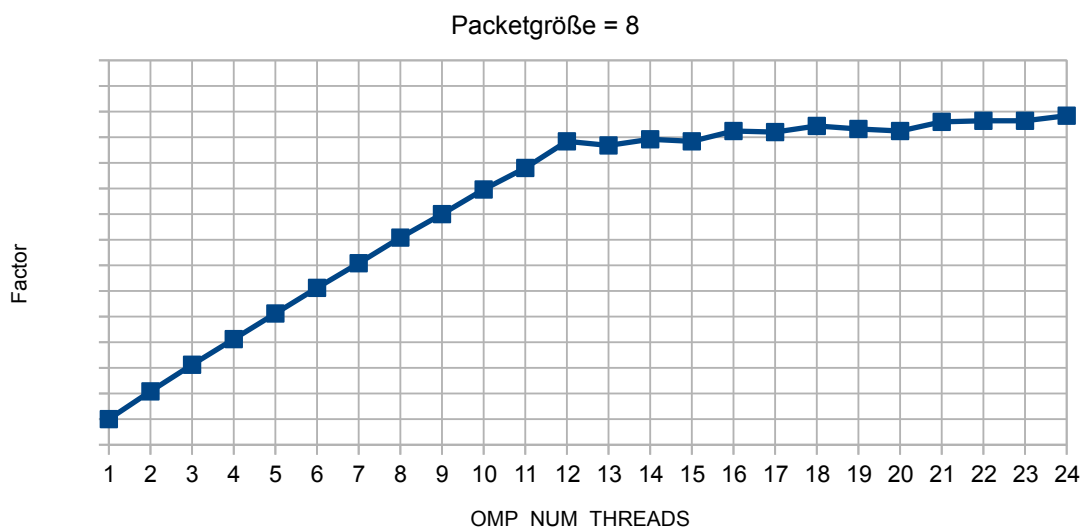


Abbildung 8: Speedup der besten Paket-Größe (8) (Abb. 7, Tab. 18)

Dieselbe Prozedur wurde auch auf die Abu-Knoten angewandt. Dieser Schritt wurde notwendig, da uns eine Erklärung für den Knick im Graphen der West-Knoten fehlte. Die Benchmarks hatten Paketgrößen im Intervall [2,4,...,48,50]. Bei Betrachtung des aus Tab. 20 entstandenen Graphens (siehe Abb. 9) fällt auf, dass ab einer Paketgröße > 2 eine gedämpfte Wachstum vorliegt, welches ebenfalls bei den West-Knoten erwartet wurde. Der einzige Ausreißer an dieser Stelle befindet sich ab 24 Threads und Paketgröße 2, welche sich wieder auf den Speedupfaktor 9 bei 48 Threads reduziert.

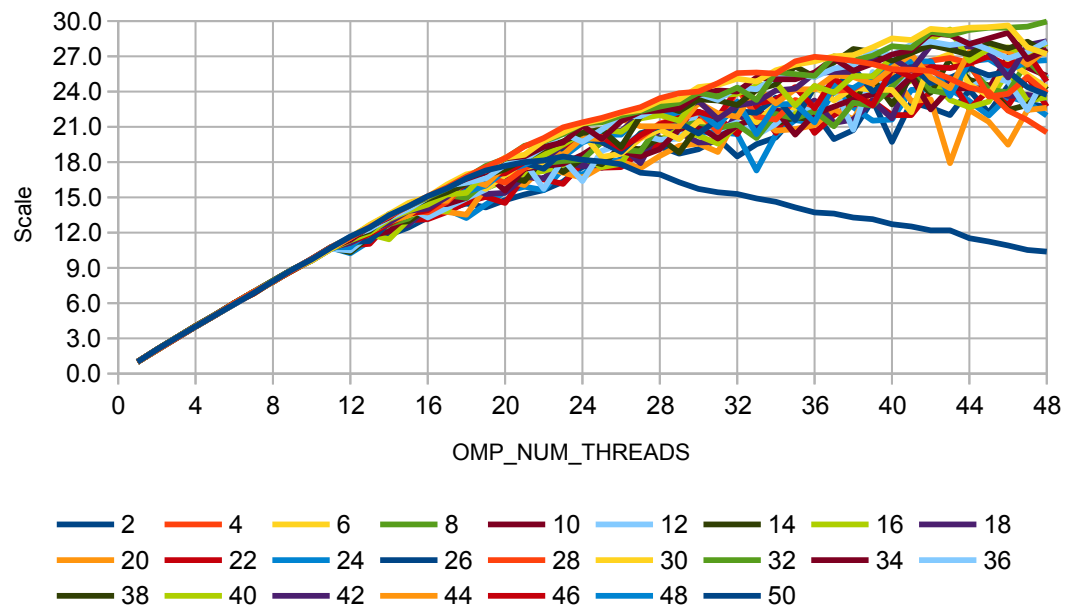


Abbildung 9: Speedup-Diagramm der Abu-Knoten-Ergebnisse (Tab. 20)

Auch bei den Abu-Knoten hat sich eine Paketgröße von 8 bewährt (siehe Abb. 10). Bei 48 Threads wird ein Speedupfaktor von 30 erreicht. Dies stellt eine erhebliche Verbesserung im Vergleich zum Benchmark der West-Knoten dar.

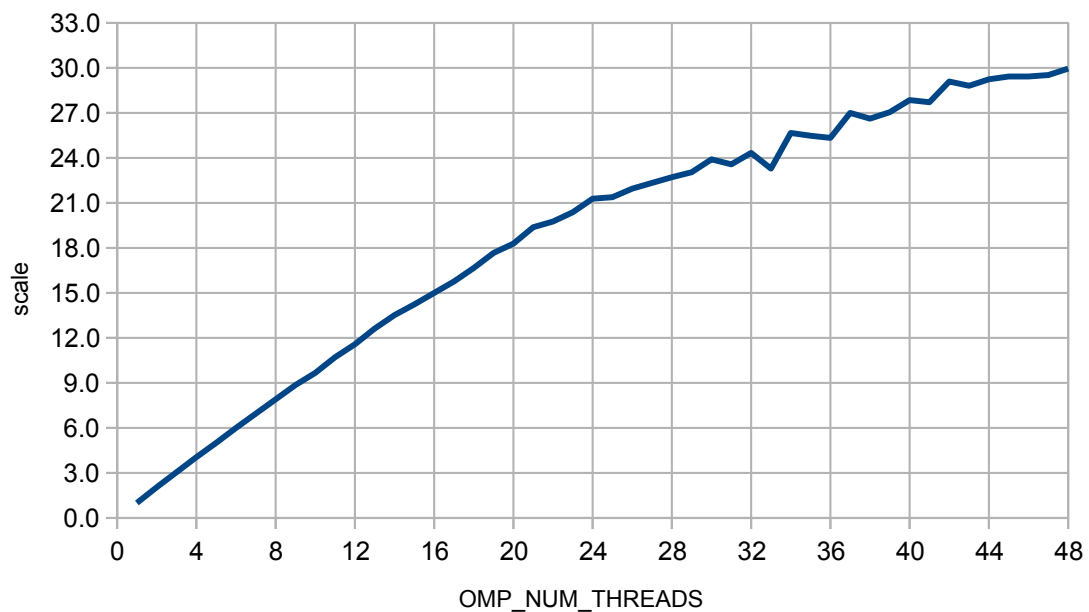


Abbildung 10: Speedup der besten Paket-Größe (8) (Abb. 9, Tab. 20)

An dieser Stelle sei erwähnt, dass wir die Ursache des Leistungseinbruchs bei den West-

Knoten nicht nachvollziehen konnten. Da dieses Programm sehr I/O- und Arbeitsspeicherintensive Operationen ausführt, könnten Limitierungen bei der Hardware-Plattform der West-Knoten vorliegen. Dies haben wir auf Grund mangelnder Zeit jedoch nicht weiter untersucht.

## 4.2 Multi Process (MPI und OpenMP)

Die Messungen unserer MPI-Tests wurden auf Grund des Fehlens von Infiniband bei den West-Knoten leider auf 1 Gbit/s beschränkt. Ist eine Bildgröße 320x240 Pixel im Input-Video mit YUV420P (12 bpp) gegeben, so benötigt ein Frame 921.6 Kbit Speicher (siehe Gleichung 12). Mit dieser Basis ist die theoretische Übertragungsmenge der Frame berechenbar (siehe Gleichung 13).

$$1 \text{ Frame} = 320 \cdot 240 \cdot 12 \text{ bit} = 921.600 \text{ bit} = 921,6 \text{ kbit} \quad (12)$$

$$\frac{1.000.000 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}}{921,6 \frac{\text{kbit}}{\text{Frame}}} \approx 1085 \text{ Frames/s} \quad (13)$$

Auf Grund dieser Bandbreitenlimitierung entschieden wir uns die Skalierbarkeit von MPI mit 4 Threads und der Paketgröße 8 zu testen und einen Benchmark durchzuführen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 und in Abbildung 11 dargestellt. Werden 7 Knoten verwendet erhalten wir den Speedupfaktor 4. Dieser Wert lag über unseren Erwartungen, da eine beachtliche Menge Daten über das Netzwerk geschickt wird.

|         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| FPS     | 103  | 140  | 215  | 273  | 334  | 377  | 407  |
| Speedup | 1.00 | 1.36 | 2.09 | 2.65 | 3.24 | 3.66 | 3.95 |

Tabelle 3: Speedup mit MPI auf den West-Knoten, stets 4 Threads

Eine weitere mögliche Optimierung wäre das Komprimieren der Bilddaten durch bzip2- oder gzip-Kompressionsalgorithmen, wobei eine Reduzierung von bis zu  $\frac{2}{3}$  erreicht werden kann (siehe Tabelle 4). Der Performance/Bandbreiten-Trade-off wurde auf Grund der nur begrenzten Zeit nicht weiter evaluiert.

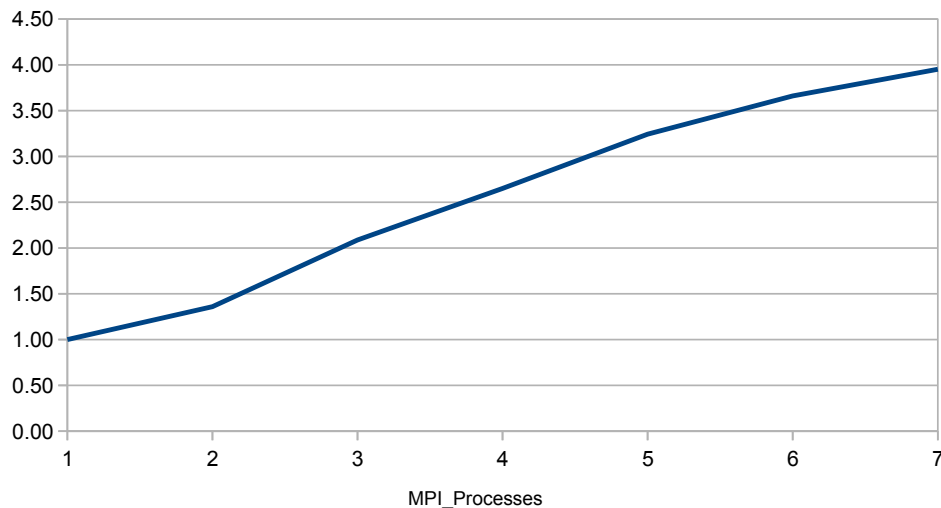


Abbildung 11: Diagramm von Tabelle 3

|             |        |       |       |
|-------------|--------|-------|-------|
| Kompression | keine  | gzip  | bzip2 |
| Größe       | 226 kB | 136kB | 94kB  |

Tabelle 4: Speichervergleich eines serialisierten Pakets (8 Frames)

### 4.3 Vampir-Trace

Wie in [Ale] beschrieben wurde die Anwendung mit Hilfe von Vampir-Trace untersucht. In Abbildung 12 und 13 ist zu erkennen, dass das Programm nur 9 % seiner Zeit in MPI-Funktionen verbringt (siehe 14). 5 von diesen 11 Sekunden werden bereits für MPI\_INIT() verwendet. Dieses Ergebnis haben wir erwartet, da unsere Kommunikation überwiegend asynchron abläuft. Überraschend jedoch für uns ist, dass nur ein kleiner Prozentsatz für die Kommunikation genutzt wird. Daraus resultiert, dass bei vorhandener Bandbreite ein gutes Speedup über mehrere Knoten erreicht werden kann.

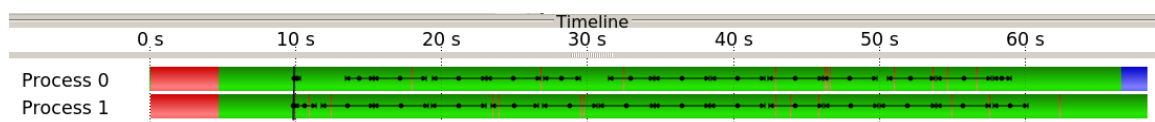


Abbildung 12: MPI Timeline - Geringer anteil von MPI Kommunikation



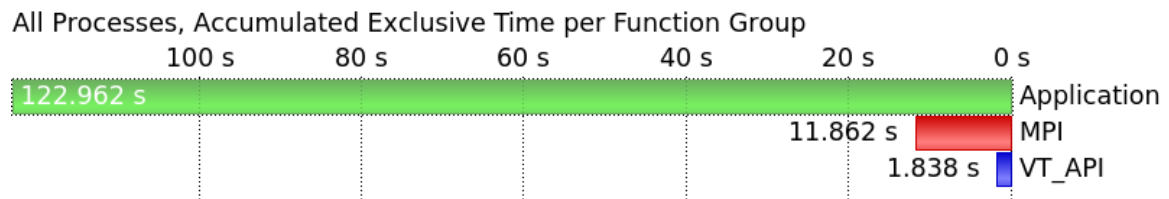


Abbildung 13: Verteilung wieviel Zeit, jeweils in MPI und dem Berechnen genutzt wurde

$$\frac{11.863s}{122.962s} \cdot 100\% = 9.647696036173777\% \approx 9,6\% \quad (14)$$

## 4.4 Skalierbarkeit

In Kapitel 4.1 und 4.2 wurde Strong-Scaling betrachtet. An dieser Stelle wird Weak-Scaling betrachtet, also die Skalierung des Programms über verschiedene Problemgrößen. Neben dem in den vorigen Kapiteln genutzten 1-Minuten-Video, werden an dieser Stelle Videos mit einer Laufzeit von 2, 3, 4 und 5 Minuten hinzugefügt. In Abbildung 14 ist der Speedupfaktor von 0.2 bis 0.5, je nach Problemgröße, zu erkennen.

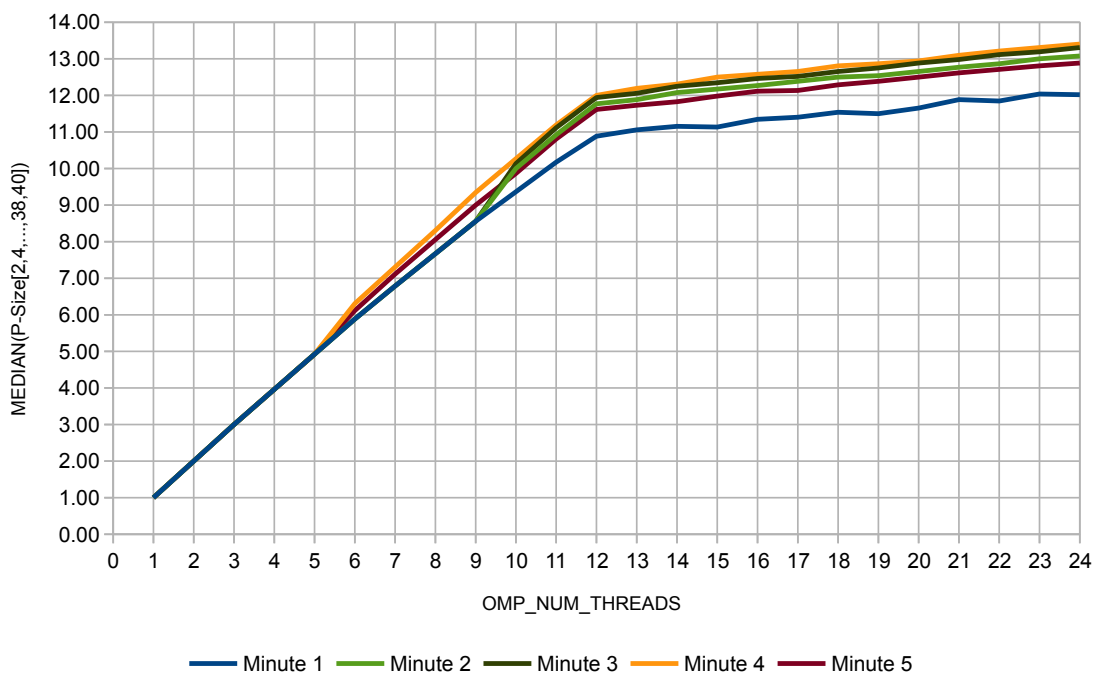


Abbildung 14: Speedup beim Weak-Scaling auf den West-Knoten (Tab. 15)

Betrachtet man die effizienteste Paketgröße, kann das Programm bei den größeren Problemen einen Speedup-Faktor von bis zu 1.0 erlangen. Dies kann an einer von uns eingebauten

Runtime-Optimierung liegen, welche in Listing 11 dargestellt ist. Dabei beschreibt `wrSi` die gemessene Anzahl der Locks im Sortier-Thread pro Sekunde. Falls dieser den Wert 5000 übersteigt, wird die Schlafdauer des Sortierers erhöht, und beim unterschreiten verringert.

Eine weitere Optimierung wäre es diesen Wert ebenfalls über ein CLI Argument übergeben zu können. Manuelle Tests haben jedoch gezeigt, dass es zwischen 2000 und 5000 Locks pro Sekunde bei den gegebenen Videolängen keine Unterschiede gibt. Wichtig erscheint an dieser Stelle nur, dass der Sortierer die Queues nicht dauerhaft blockiert.

---

```

1  if (wrSi > 5000)
2      write_sleep += 50 * (wrSi / 2000);
3  if (wrSi < 5000)
4  {
5      write_sleep -= 50;
6      if (write_sleep < 50)
7          write_sleep = 50;
8  }
```

---

Listing 11: Runtime Optimierungen

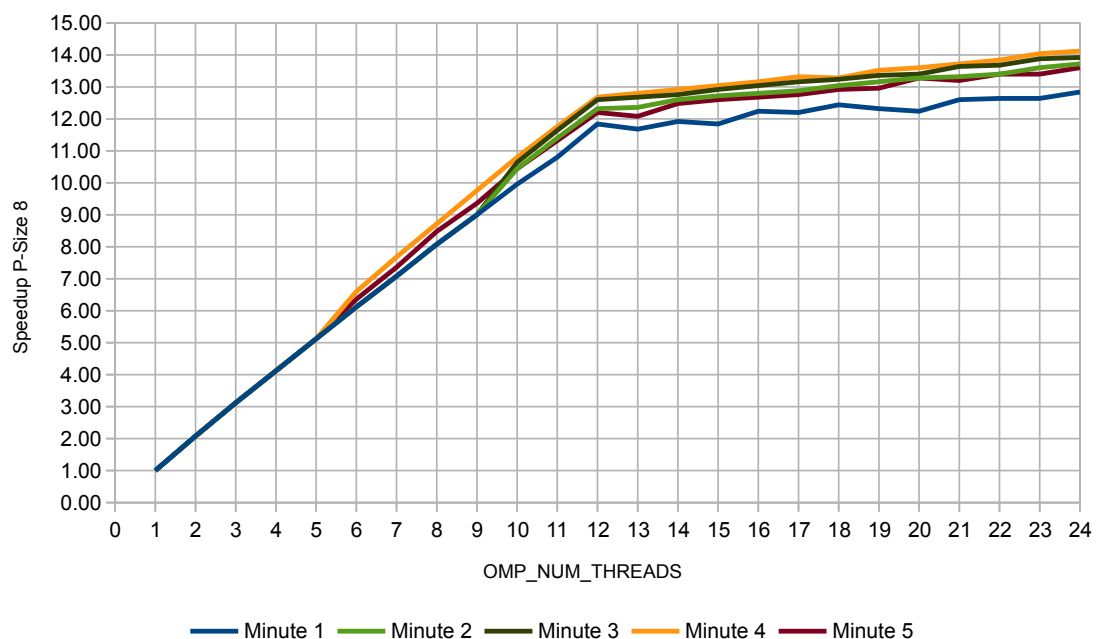


Abbildung 15: Speedup beim Weak-Scaling der besten Paket-Größe (Tab. 16)

Wie in Kapitel 4.1 zu erkennen ist, tritt auch bei längeren Problemen der Leistungseinbruch ab 12 Threads auf.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Speedupfaktor des Programms sehr stabil bleibt bzw. sich bei größeren Problemen sogar leicht verbessert.

## 5 Literatur- & Quellenverzeichnis

- [Ale] ALEXIS ENGELKE: *Leistungsanalyse mit Vampir*. [http://wr.informatik.uni-hamburg.de/\\_media/teaching/sommersemester\\_2015/papo-15-vampir-notes.pdf](http://wr.informatik.uni-hamburg.de/_media/teaching/sommersemester_2015/papo-15-vampir-notes.pdf). – Zugriff: 25.09.2015
- [FT] FFMPEG-TEAM, Fabrice Bellard: *FFMPEG Documentation*. <https://ffmpeg.org/ffmpeg.html>. – Zugriff: 25.09.2015
- [Lio12] LIONDOC: *RGB to Y'CrCb conversation*. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:CCD.png>. Version: 2012. – Zugriff: 25.09.2015, Direkte URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/CCD.png>
- [Ope] OPENMP ARCHITECTURE REVIEW BOARD: *OpenMP Documentation*. <http://www.openmp.org/mp-documents/OpenMP4.0.0.pdf>. – Zugriff: 25.09.2015
- [The] THE OPEN MPI PROJECT: *OpenMPI Documentation*. <http://www.open-mpi.org/doc/>. – Zugriff: 25.09.2015
- [The10] THE ANDROID OPEN SOURCE PROJECT: *Android Source Code*. <https://android.googlesource.com/platform/frameworks/av/+/master/media/libstagefright/yuv/YUVImage.cpp>. Version: 2010. – Zugriff: 25.09.2015
- [V.G87] V.G. DEVEREUX, M.A.: *Limiting of YUV Digital Video Signals*. <http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1987-22.pdf>. Version: 1987. – Zugriff: 25.09.2015

# A Anhang

|    | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 26  | 26  | 26  | 25  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  |
| 2  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  |
| 3  | 79  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 77  | 78  |
| 4  | 104 | 104 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 104 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 102 | 104 | 103 |
| 5  | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 128 | 127 | 128 | 124 | 128 |
| 6  | 155 | 153 | 154 | 153 | 155 | 153 | 155 | 154 | 154 | 152 | 152 | 153 | 153 | 153 | 151 | 153 | 153 | 149 | 150 | 153 |
| 7  | 180 | 180 | 175 | 177 | 179 | 179 | 177 | 179 | 178 | 179 | 176 | 178 | 175 | 176 | 175 | 175 | 172 | 175 | 171 | 166 |
| 8  | 204 | 201 | 203 | 202 | 203 | 202 | 204 | 203 | 201 | 199 | 197 | 199 | 195 | 200 | 193 | 194 | 192 | 193 | 199 | 188 |
| 9  | 228 | 227 | 225 | 225 | 227 | 224 | 226 | 222 | 224 | 226 | 223 | 219 | 222 | 222 | 215 | 213 | 213 | 216 | 214 | 213 |
| 10 | 250 | 246 | 249 | 249 | 246 | 245 | 250 | 242 | 246 | 243 | 244 | 238 | 244 | 232 | 238 | 239 | 227 | 237 | 238 | 241 |
| 11 | 271 | 270 | 274 | 270 | 273 | 270 | 269 | 266 | 272 | 259 | 262 | 257 | 261 | 263 | 250 | 267 | 247 | 261 | 259 | 258 |
| 12 | 291 | 291 | 292 | 296 | 291 | 287 | 285 | 288 | 281 | 288 | 272 | 280 | 273 | 291 | 274 | 280 | 269 | 261 | 276 | 270 |
| 13 | 295 | 294 | 298 | 292 | 299 | 290 | 288 | 289 | 287 | 288 | 273 | 275 | 277 | 285 | 280 | 290 | 271 | 273 | 283 | 269 |
| 14 | 298 | 299 | 298 | 298 | 296 | 293 | 299 | 287 | 290 | 296 | 289 | 290 | 290 | 290 | 273 | 281 | 280 | 279 | 268 | 268 |
| 15 | 304 | 302 | 301 | 296 | 300 | 286 | 288 | 296 | 291 | 288 | 299 | 276 | 288 | 299 | 287 | 275 | 277 | 290 | 289 | 273 |
| 16 | 302 | 303 | 305 | 306 | 305 | 304 | 298 | 302 | 289 | 296 | 294 | 288 | 289 | 296 | 282 | 291 | 285 | 281 | 287 | 287 |
| 17 | 308 | 304 | 306 | 305 | 306 | 303 | 297 | 296 | 298 | 301 | 293 | 283 | 297 | 296 | 293 | 293 | 279 | 290 | 266 | 282 |
| 18 | 309 | 305 | 304 | 311 | 307 | 308 | 302 | 301 | 302 | 298 | 280 | 296 | 298 | 299 | 296 | 288 | 303 | 292 | 282 | 286 |
| 19 | 314 | 310 | 313 | 308 | 307 | 304 | 304 | 297 | 298 | 300 | 298 | 298 | 303 | 294 | 296 | 303 | 266 | 270 | 294 | 285 |
| 20 | 307 | 302 | 313 | 306 | 310 | 310 | 304 | 306 | 292 | 299 | 299 | 308 | 286 | 305 | 307 | 282 | 299 | 296 | 284 | 280 |
| 21 | 317 | 315 | 316 | 315 | 314 | 309 | 311 | 314 | 295 | 316 | 307 | 309 | 304 | 296 | 306 | 305 | 310 | 302 | 304 | 296 |
| 22 | 317 | 318 | 319 | 316 | 313 | 311 | 316 | 307 | 306 | 309 | 297 | 313 | 307 | 307 | 309 | 298 | 291 | 285 | 294 | 287 |
| 23 | 321 | 323 | 321 | 316 | 313 | 324 | 314 | 319 | 314 | 311 | 313 | 298 | 306 | 315 | 305 | 298 | 306 | 298 | 287 | 310 |
| 24 | 321 | 327 | 327 | 321 | 326 | 313 | 315 | 308 | 307 | 315 | 305 | 315 | 312 | 316 | 298 | 311 | 287 | 301 | 300 | 307 |

Tabelle 5: Weak-Scaling auf den West-Knoten (1 Minute) in FPS

|    | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 26  | 26  | 26  | 25  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  |
| 2  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  |
| 3  | 79  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 77  | 78  |
| 4  | 104 | 104 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 104 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 102 | 104 | 103 |
| 5  | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 128 | 127 | 128 | 124 | 128 |
| 6  | 155 | 153 | 154 | 153 | 155 | 153 | 155 | 154 | 154 | 152 | 152 | 153 | 153 | 153 | 151 | 153 | 153 | 149 | 150 | 153 |
| 7  | 180 | 180 | 175 | 177 | 179 | 179 | 177 | 179 | 178 | 179 | 176 | 178 | 175 | 176 | 175 | 175 | 172 | 175 | 171 | 166 |
| 8  | 204 | 201 | 203 | 202 | 203 | 202 | 204 | 203 | 201 | 199 | 197 | 199 | 195 | 200 | 193 | 194 | 192 | 193 | 199 | 188 |
| 9  | 228 | 227 | 225 | 225 | 227 | 224 | 226 | 222 | 224 | 226 | 223 | 219 | 222 | 222 | 215 | 213 | 213 | 216 | 214 | 213 |
| 10 | 260 | 260 | 263 | 261 | 259 | 262 | 261 | 260 | 258 | 260 | 262 | 258 | 262 | 259 | 259 | 260 | 255 | 256 | 256 | 256 |
| 11 | 284 | 285 | 285 | 285 | 286 | 287 | 286 | 284 | 286 | 284 | 283 | 283 | 284 | 280 | 281 | 281 | 281 | 281 | 282 | 282 |
| 12 | 306 | 306 | 306 | 308 | 308 | 310 | 309 | 307 | 310 | 307 | 307 | 305 | 306 | 307 | 304 | 303 | 305 | 298 | 302 | 301 |
| 13 | 307 | 309 | 310 | 309 | 309 | 311 | 309 | 310 | 313 | 309 | 307 | 309 | 308 | 311 | 309 | 308 | 306 | 307 | 311 | 303 |
| 14 | 297 | 314 | 315 | 315 | 316 | 315 | 314 | 315 | 315 | 314 | 311 | 312 | 313 | 314 | 314 | 312 | 308 | 309 | 306 | 314 |
| 15 | 285 | 317 | 317 | 318 | 317 | 319 | 317 | 315 | 318 | 316 | 319 | 316 | 314 | 313 | 315 | 316 | 317 | 313 | 317 |     |
| 16 | 275 | 319 | 319 | 320 | 320 | 319 | 321 | 319 | 318 | 320 | 315 | 321 | 321 | 319 | 321 | 319 | 318 | 319 | 319 | 317 |
| 17 | 266 | 322 | 322 | 322 | 322 | 321 | 322 | 323 | 322 | 321 | 324 | 324 | 324 | 324 | 323 | 322 | 319 | 320 | 318 | 319 |
| 18 | 256 | 323 | 323 | 326 | 325 | 326 | 325 | 325 | 326 | 327 | 326 | 325 | 326 | 326 | 325 | 323 | 326 | 322 | 323 | 323 |
| 19 | 248 | 323 | 327 | 329 | 327 | 326 | 326 | 328 | 327 | 324 | 328 | 327 | 326 | 325 | 325 | 324 | 326 | 327 | 321 | 326 |
| 20 | 238 | 327 | 328 | 332 | 332 | 328 | 328 | 329 | 331 | 328 | 329 | 329 | 332 | 330 | 328 | 331 | 327 | 331 | 329 | 322 |
| 21 | 233 | 331 | 332 | 333 | 332 | 335 | 333 | 333 | 333 | 333 | 330 | 333 | 332 | 333 | 330 | 331 | 332 | 331 | 327 | 331 |
| 22 | 226 | 334 | 336 | 335 | 334 | 336 | 334 | 334 | 336 | 334 | 338 | 338 | 333 | 333 | 333 | 336 | 336 | 337 | 334 | 335 |
| 23 | 218 | 340 | 341 | 340 | 338 | 340 | 340 | 337 | 338 | 338 | 339 | 337 | 337 | 338 | 340 | 337 | 334 | 336 | 333 | 335 |
| 24 | 209 | 342 | 343 | 343 | 342 | 341 | 342 | 339 | 342 | 340 | 340 | 340 | 339 | 342 | 339 | 337 | 340 | 337 | 340 | 339 |

Tabelle 6: Weak-Scaling auf den West-Knoten (2 Minuten) in FPS

|    | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 26  | 26  | 26  | 25  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  |
| 2  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  |
| 3  | 79  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 77  | 78  |
| 4  | 104 | 104 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 104 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 102 | 104 | 103 |
| 5  | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 128 | 127 | 128 | 124 | 128 |
| 6  | 155 | 153 | 154 | 153 | 155 | 153 | 155 | 154 | 154 | 152 | 152 | 153 | 153 | 153 | 151 | 153 | 153 | 149 | 150 | 153 |
| 7  | 180 | 180 | 175 | 177 | 179 | 179 | 177 | 179 | 178 | 179 | 176 | 178 | 175 | 176 | 175 | 175 | 172 | 175 | 171 | 166 |
| 8  | 204 | 201 | 203 | 202 | 203 | 202 | 204 | 203 | 201 | 199 | 197 | 199 | 195 | 200 | 193 | 194 | 192 | 193 | 199 | 188 |
| 9  | 228 | 227 | 225 | 225 | 227 | 224 | 226 | 222 | 224 | 226 | 223 | 219 | 222 | 222 | 215 | 213 | 213 | 216 | 214 | 213 |
| 10 | 264 | 264 | 264 | 266 | 263 | 265 | 266 | 267 | 264 | 265 | 266 | 260 | 263 | 262 | 261 | 263 | 259 | 263 | 260 | 258 |
| 11 | 290 | 287 | 290 | 291 | 290 | 291 | 289 | 289 | 287 | 291 | 290 | 290 | 287 | 287 | 284 | 282 | 289 | 283 | 284 | 287 |
| 12 | 313 | 311 | 315 | 315 | 312 | 314 | 312 | 309 | 315 | 312 | 312 | 310 | 308 | 309 | 310 | 304 | 308 | 306 | 310 | 306 |
| 13 | 308 | 316 | 317 | 317 | 316 | 318 | 314 | 313 | 316 | 310 | 311 | 314 | 310 | 314 | 312 | 308 | 314 | 307 | 313 | 312 |
| 14 | 301 | 317 | 320 | 319 | 321 | 320 | 319 | 315 | 321 | 321 | 319 | 318 | 319 | 321 | 317 | 315 | 314 | 314 | 307 | 312 |
| 15 | 291 | 321 | 324 | 323 | 321 | 322 | 321 | 321 | 321 | 321 | 322 | 319 | 322 | 321 | 320 | 317 | 321 | 322 | 315 | 322 |
| 16 | 283 | 326 | 324 | 326 | 327 | 327 | 326 | 322 | 321 | 326 | 319 | 324 | 321 | 323 | 324 | 322 | 326 | 324 | 324 | 322 |
| 17 | 274 | 322 | 329 | 329 | 329 | 328 | 327 | 325 | 322 | 328 | 323 | 326 | 327 | 325 | 326 | 328 | 324 | 321 | 325 | 324 |
| 18 | 267 | 326 | 329 | 331 | 334 | 333 | 329 | 329 | 332 | 332 | 329 | 329 | 328 | 328 | 332 | 326 | 329 | 328 | 328 | 326 |
| 19 | 256 | 330 | 332 | 334 | 334 | 332 | 331 | 331 | 332 | 334 | 333 | 334 | 330 | 332 | 330 | 334 | 327 | 331 | 324 | 328 |
| 20 | 251 | 333 | 337 | 335 | 337 | 336 | 333 | 337 | 334 | 336 | 337 | 338 | 334 | 334 | 337 | 332 | 332 | 337 | 329 | 329 |
| 21 | 247 | 334 | 339 | 341 | 339 | 338 | 339 | 338 | 338 | 339 | 334 | 337 | 336 | 337 | 334 | 339 | 334 | 336 | 333 | 339 |
| 22 | 240 | 342 | 342 | 342 | 342 | 344 | 342 | 338 | 339 | 341 | 337 | 341 | 338 | 341 | 337 | 343 | 340 | 339 | 340 | 341 |
| 23 | 233 | 346 | 347 | 347 | 344 | 345 | 343 | 343 | 344 | 338 | 340 | 342 | 346 | 344 | 341 | 346 | 343 | 343 | 336 | 338 |
| 24 | 226 | 347 | 349 | 348 | 347 | 348 | 346 | 343 | 348 | 345 | 346 | 348 | 349 | 346 | 345 | 343 | 345 | 345 | 342 | 339 |

Tabelle 7: Weak-Scaling auf den West-Knoten (3 Minuten) in FPS

|    | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 26  | 26  | 26  | 25  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  |
| 2  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  |
| 3  | 79  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 77  | 78  |
| 4  | 104 | 104 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 104 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 102 | 104 | 103 |
| 5  | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 128 | 127 | 128 | 124 | 128 |
| 6  | 164 | 164 | 165 | 165 | 164 | 164 | 164 | 165 | 166 | 164 | 165 | 163 | 164 | 163 | 164 | 163 | 164 | 164 | 163 | 161 |
| 7  | 192 | 191 | 190 | 192 | 192 | 190 | 191 | 191 | 191 | 191 | 190 | 190 | 189 | 190 | 191 | 190 | 189 | 190 | 188 | 188 |
| 8  | 217 | 216 | 217 | 218 | 218 | 219 | 216 | 217 | 217 | 217 | 216 | 214 | 214 | 214 | 214 | 216 | 215 | 211 | 216 | 215 |
| 9  | 244 | 243 | 243 | 244 | 245 | 243 | 244 | 244 | 244 | 242 | 242 | 243 | 242 | 242 | 243 | 237 | 239 | 241 | 237 | 239 |
| 10 | 267 | 267 | 268 | 270 | 269 | 269 | 270 | 267 | 267 | 268 | 267 | 263 | 264 | 265 | 264 | 266 | 258 | 267 | 265 | 263 |
| 11 | 293 | 291 | 294 | 294 | 295 | 293 | 292 | 292 | 288 | 291 | 289 | 292 | 288 | 285 | 288 | 286 | 292 | 291 | 284 | 283 |
| 12 | 312 | 315 | 314 | 317 | 317 | 316 | 313 | 316 | 312 | 312 | 315 | 306 | 315 | 312 | 311 | 309 | 312 | 305 | 307 | 308 |
| 13 | 310 | 317 | 315 | 320 | 316 | 319 | 317 | 319 | 319 | 318 | 316 | 315 | 317 | 314 | 317 | 312 | 316 | 319 | 317 | 318 |
| 14 | 306 | 322 | 325 | 323 | 319 | 322 | 325 | 320 | 322 | 318 | 320 | 315 | 318 | 325 | 318 | 321 | 313 | 323 | 318 | 319 |
| 15 | 299 | 326 | 326 | 326 | 327 | 327 | 325 | 325 | 327 | 324 | 322 | 324 | 326 | 326 | 323 | 327 | 324 | 322 | 313 | 313 |
| 16 | 296 | 326 | 330 | 329 | 333 | 329 | 328 | 325 | 322 | 328 | 320 | 323 | 327 | 325 | 330 | 327 | 323 | 328 | 327 | 326 |
| 17 | 290 | 325 | 331 | 333 | 329 | 333 | 330 | 330 | 331 | 326 | 325 | 334 | 328 | 322 | 328 | 326 | 333 | 333 | 329 | 325 |
| 18 | 286 | 332 | 336 | 332 | 335 | 337 | 335 | 331 | 337 | 335 | 330 | 333 | 329 | 335 | 332 | 325 | 327 | 333 | 332 | 336 |
| 19 | 283 | 334 | 335 | 338 | 339 | 337 | 331 | 335 | 337 | 339 | 339 | 337 | 336 | 332 | 325 | 331 | 328 | 334 | 332 | 332 |
| 20 | 276 | 337 | 336 | 340 | 339 | 340 | 335 | 340 | 337 | 336 | 337 | 336 | 330 | 335 | 338 | 339 | 332 | 339 | 332 | 326 |
| 21 | 274 | 338 | 343 | 343 | 340 | 343 | 344 | 339 | 341 | 342 | 343 | 342 | 342 | 336 | 337 | 342 | 337 | 333 | 318 | 335 |
| 22 | 274 | 344 | 343 | 346 | 344 | 348 | 347 | 343 | 344 | 345 | 339 | 346 | 343 | 336 | 336 | 347 | 345 | 339 | 341 | 340 |
| 23 | 264 | 351 | 351 | 351 | 349 | 348 | 345 | 346 | 346 | 342 | 346 | 343 | 346 | 345 | 348 | 347 | 340 | 346 | 336 | 344 |
| 24 | 256 | 352 | 352 | 353 | 349 | 350 | 348 | 350 | 351 | 347 | 347 | 343 | 349 | 349 | 347 | 347 | 351 | 343 | 347 | 343 |

Tabelle 8: Weak-Scaling auf den West-Knoten (4 Minuten) in FPS

|    | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 26  | 26  | 26  | 25  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  |
| 2  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  |
| 3  | 79  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 77  | 78  |
| 4  | 104 | 104 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 104 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 102 | 104 | 103 |
| 5  | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 128 | 127 | 128 | 124 | 128 |
| 6  | 160 | 159 | 160 | 159 | 159 | 159 | 159 | 159 | 159 | 158 | 159 | 159 | 159 | 160 | 158 | 157 | 159 | 158 | 157 | 157 |
| 7  | 186 | 185 | 184 | 184 | 185 | 186 | 186 | 185 | 185 | 185 | 184 | 185 | 181 | 184 | 185 | 183 | 182 | 182 | 182 | 180 |
| 8  | 212 | 210 | 211 | 212 | 210 | 210 | 211 | 211 | 211 | 209 | 208 | 210 | 207 | 208 | 207 | 204 | 206 | 205 | 209 | 207 |
| 9  | 235 | 235 | 234 | 234 | 237 | 236 | 234 | 235 | 234 | 232 | 231 | 234 | 232 | 235 | 234 | 229 | 229 | 234 | 228 | 229 |
| 10 | 261 | 258 | 46  | 261 | 260 | 258 | 261 | 260 | 257 | 260 | 256 | 256 | 254 | 253 | 250 | 257 | 248 | 256 | 252 | 253 |
| 11 | 284 | 283 | 283 | 283 | 285 | 284 | 285 | 282 | 281 | 280 | 283 | 281 | 274 | 279 | 274 | 274 | 280 | 273 | 276 | 275 |
| 12 | 307 | 305 | 304 | 305 | 304 | 304 | 306 | 303 | 303 | 296 | 300 | 299 | 299 | 301 | 296 | 294 | 306 | 299 | 293 | 287 |
| 13 | 306 | 307 | 306 | 302 | 305 | 307 | 306 | 307 | 305 | 305 | 306 | 304 | 299 | 298 | 305 | 302 | 300 | 298 | 294 | 299 |
| 14 | 310 | 308 | 309 | 312 | 312 | 313 | 316 | 312 | 310 | 307 | 308 | 307 | 306 | 307 | 304 | 307 | 296 | 297 | 299 | 294 |
| 15 | 312 | 312 | 313 | 315 | 317 | 311 | 313 | 311 | 312 | 315 | 305 | 313 | 310 | 310 | 308 | 317 | 309 | 305 | 306 | 303 |
| 16 | 315 | 319 | 316 | 317 | 319 | 320 | 316 | 316 | 314 | 315 | 315 | 316 | 314 | 314 | 303 | 315 | 305 | 308 | 314 | 310 |
| 17 | 310 | 314 | 320 | 319 | 319 | 319 | 315 | 315 | 316 | 314 | 318 | 320 | 313 | 319 | 317 | 320 | 315 | 315 | 308 | 296 |
| 18 | 315 | 321 | 321 | 323 | 320 | 322 | 323 | 320 | 319 | 317 | 318 | 322 | 319 | 319 | 320 | 319 | 319 | 321 | 314 | 317 |
| 19 | 312 | 324 | 323 | 324 | 327 | 324 | 322 | 327 | 325 | 321 | 322 | 326 | 321 | 321 | 319 | 324 | 318 | 320 | 311 | 316 |
| 20 | 307 | 323 | 327 | 332 | 326 | 325 | 323 | 326 | 332 | 325 | 324 | 331 | 327 | 323 | 325 | 318 | 321 | 321 | 325 | 313 |
| 21 | 311 | 332 | 331 | 330 | 328 | 327 | 330 | 330 | 332 | 329 | 326 | 325 | 321 | 325 | 328 | 329 | 333 | 325 | 321 | 323 |
| 22 | 307 | 336 | 331 | 335 | 335 | 335 | 331 | 329 | 332 | 331 | 334 | 328 | 330 | 329 | 324 | 329 | 321 | 307 | 333 | 324 |
| 23 | 300 | 337 | 337 | 335 | 332 | 337 | 336 | 333 | 336 | 330 | 331 | 336 | 324 | 331 | 333 | 333 | 324 | 334 | 322 | 324 |
| 24 | 296 | 340 | 339 | 340 | 335 | 333 | 341 | 336 | 335 | 329 | 335 | 339 | 334 | 335 | 327 | 322 | 336 | 326 | 324 | 322 |

Tabelle 9: Weak-Scaling auf den West-Knoten (5 Minuten) in FPS

|    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   | 40   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.1  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  |
| 3  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.1  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| 4  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.1  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  |
| 5  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 5.1  | 4.9  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.8  | 4.9  |
| 6  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 6.1  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.7  | 5.8  | 5.9  |
| 7  | 6.9  | 6.9  | 6.7  | 7.1  | 6.9  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.8  | 6.7  | 6.8  | 6.7  | 6.7  | 6.6  | 6.7  | 6.6  | 6.4  |
| 8  | 7.8  | 7.7  | 7.8  | 8.1  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.7  | 7.7  | 7.6  | 7.7  | 7.5  | 7.7  | 7.4  | 7.5  | 7.4  | 7.4  | 7.7  | 7.2  |
| 9  | 8.8  | 8.7  | 8.7  | 9.0  | 8.7  | 8.6  | 8.7  | 8.5  | 8.6  | 8.7  | 8.6  | 8.4  | 8.5  | 8.5  | 8.3  | 8.2  | 8.2  | 8.3  | 8.2  | 8.2  |
| 10 | 9.6  | 9.5  | 9.6  | 10.0 | 9.5  | 9.4  | 9.6  | 9.3  | 9.5  | 9.3  | 9.4  | 9.2  | 9.4  | 8.9  | 9.2  | 9.2  | 8.7  | 9.1  | 9.2  | 9.3  |
| 11 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.8 | 10.5 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 10.5 | 10.0 | 10.1 | 9.9  | 10.0 | 10.1 | 9.6  | 10.3 | 9.5  | 10.0 | 10.0 | 9.9  |
| 12 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.8 | 11.2 | 11.0 | 11.0 | 11.1 | 10.8 | 11.1 | 10.5 | 10.8 | 10.5 | 11.2 | 10.5 | 10.8 | 10.3 | 10.0 | 10.6 | 10.4 |
| 13 | 11.3 | 11.3 | 11.5 | 11.7 | 11.5 | 11.2 | 11.1 | 11.1 | 11.0 | 11.1 | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 11.0 | 10.8 | 11.2 | 10.4 | 10.5 | 10.9 | 10.3 |
| 14 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.9 | 11.4 | 11.3 | 11.5 | 11.0 | 11.2 | 11.4 | 11.1 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 10.5 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 10.3 | 10.3 |
| 15 | 11.7 | 11.6 | 11.6 | 11.8 | 11.5 | 11.0 | 11.1 | 11.4 | 11.2 | 11.1 | 11.5 | 10.6 | 11.1 | 11.5 | 11.0 | 10.6 | 10.7 | 11.2 | 11.1 | 10.5 |
| 16 | 11.6 | 11.7 | 11.7 | 12.2 | 11.7 | 11.7 | 11.5 | 11.6 | 11.1 | 11.4 | 11.3 | 11.1 | 11.1 | 11.4 | 10.8 | 11.2 | 11.0 | 10.8 | 11.0 | 11.0 |
| 17 | 11.8 | 11.7 | 11.8 | 12.2 | 11.8 | 11.7 | 11.4 | 11.4 | 11.5 | 11.6 | 11.3 | 10.9 | 11.4 | 11.4 | 11.3 | 11.3 | 10.7 | 11.2 | 10.2 | 10.8 |
| 18 | 11.9 | 11.7 | 11.7 | 12.4 | 11.8 | 11.8 | 11.6 | 11.6 | 11.6 | 11.5 | 10.8 | 11.4 | 11.5 | 11.5 | 11.4 | 11.1 | 11.7 | 11.2 | 10.8 | 11.0 |
| 19 | 12.1 | 11.9 | 12.0 | 12.3 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 11.4 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.7 | 11.3 | 11.4 | 11.7 | 10.2 | 10.4 | 11.3 | 11.0 |
| 20 | 11.8 | 11.6 | 12.0 | 12.2 | 11.9 | 11.9 | 11.7 | 11.8 | 11.2 | 11.5 | 11.5 | 11.8 | 11.0 | 11.7 | 11.8 | 10.8 | 11.5 | 11.4 | 10.9 | 10.8 |
| 21 | 12.2 | 12.1 | 12.2 | 12.6 | 12.1 | 11.9 | 12.0 | 12.1 | 11.3 | 12.2 | 11.8 | 11.9 | 11.7 | 11.4 | 11.8 | 11.7 | 11.9 | 11.6 | 11.7 | 11.4 |
| 22 | 12.2 | 12.2 | 12.3 | 12.6 | 12.0 | 12.0 | 12.2 | 11.8 | 11.8 | 11.9 | 11.4 | 12.0 | 11.8 | 11.8 | 11.9 | 11.5 | 11.2 | 11.0 | 11.3 | 11.0 |
| 23 | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 12.6 | 12.0 | 12.5 | 12.1 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 12.0 | 11.5 | 11.8 | 12.1 | 11.7 | 11.5 | 11.8 | 11.5 | 11.0 | 11.9 |
| 24 | 12.3 | 12.6 | 12.6 | 12.8 | 12.5 | 12.0 | 12.1 | 11.8 | 11.8 | 12.1 | 11.7 | 12.1 | 12.0 | 12.2 | 11.5 | 12.0 | 11.0 | 11.6 | 11.5 | 11.8 |

Tabelle 10: Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (1 Minute)

|    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   | 40   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.1  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  |
| 3  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.1  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| 4  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.1  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  |
| 5  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 5.1  | 4.9  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.8  | 4.9  |
| 6  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 6.1  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.7  | 5.8  | 5.9  |
| 7  | 6.9  | 6.9  | 6.7  | 7.1  | 6.9  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.8  | 6.7  | 6.8  | 6.7  | 6.7  | 6.6  | 6.7  | 6.6  | 6.4  |
| 8  | 7.8  | 7.7  | 7.8  | 8.1  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.7  | 7.7  | 7.6  | 7.7  | 7.5  | 7.7  | 7.4  | 7.5  | 7.4  | 7.4  | 7.7  | 7.2  |
| 9  | 8.8  | 8.7  | 8.7  | 9.0  | 8.7  | 8.6  | 8.7  | 8.5  | 8.6  | 8.7  | 8.6  | 8.4  | 8.5  | 8.5  | 8.3  | 8.2  | 8.2  | 8.3  | 8.2  | 8.2  |
| 10 | 10.0 | 10.0 | 10.1 | 10.4 | 10.0 | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 9.9  | 10.0 | 10.1 | 9.9  | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 9.8  | 9.8  | 9.8  | 9.8  |
| 11 | 10.9 | 11.0 | 11.0 | 11.4 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 10.9 | 11.0 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 |
| 12 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 12.3 | 11.8 | 11.9 | 11.9 | 11.8 | 11.9 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 11.7 | 11.5 | 11.6 | 11.6 |
| 13 | 11.8 | 11.9 | 11.9 | 12.4 | 11.9 | 12.0 | 11.9 | 11.9 | 12.0 | 11.9 | 11.8 | 11.9 | 11.8 | 12.0 | 11.9 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 12.0 | 11.7 |
| 14 | 11.4 | 12.1 | 12.1 | 12.6 | 12.2 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.1 | 12.1 | 12.0 | 11.8 | 11.9 | 11.8 | 12.1 |
| 15 | 11.0 | 12.2 | 12.2 | 12.7 | 12.2 | 12.3 | 12.2 | 12.1 | 12.1 | 12.2 | 12.2 | 12.3 | 12.2 | 12.1 | 12.0 | 12.1 | 12.2 | 12.2 | 12.0 | 12.2 |
| 16 | 10.6 | 12.3 | 12.3 | 12.8 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.3 | 12.1 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 12.2 |
| 17 | 10.2 | 12.4 | 12.4 | 12.9 | 12.4 | 12.3 | 12.4 | 12.4 | 12.3 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 12.4 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.3 |
| 18 | 9.8  | 12.4 | 12.4 | 13.0 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.6 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 12.5 | 12.4 | 12.4 | 12.4 |
| 19 | 9.5  | 12.4 | 12.6 | 13.2 | 12.6 | 12.5 | 12.5 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.6 | 12.3 | 12.5 |
| 20 | 9.2  | 12.6 | 12.6 | 13.3 | 12.8 | 12.6 | 12.6 | 12.7 | 12.7 | 12.6 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 12.6 | 12.7 | 12.6 | 12.7 | 12.7 | 12.4 |
| 21 | 9.0  | 12.7 | 12.8 | 13.3 | 12.8 | 12.9 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 12.6 | 12.7 |
| 22 | 8.7  | 12.8 | 12.9 | 13.4 | 12.8 | 12.9 | 12.8 | 12.8 | 12.9 | 12.8 | 13.0 | 13.0 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 12.9 | 12.9 | 13.0 | 12.8 | 12.9 |
| 23 | 8.4  | 13.1 | 13.1 | 13.6 | 13.0 | 13.1 | 13.1 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.1 | 13.0 | 12.8 | 12.9 | 12.8 | 12.9 |
| 24 | 8.0  | 13.2 | 13.2 | 13.7 | 13.2 | 13.1 | 13.2 | 13.0 | 13.2 | 13.1 | 13.1 | 13.1 | 13.0 | 13.2 | 13.0 | 13.0 | 13.1 | 13.0 | 13.1 | 13.0 |

Tabelle 11: Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (2 Minuten)

|    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   | 40   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.1  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  |
| 3  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.1  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| 4  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.1  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  |
| 5  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 5.1  | 4.9  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.8  | 4.9  |
| 6  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 6.1  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.7  | 5.8  | 5.9  |
| 7  | 6.9  | 6.9  | 6.7  | 7.1  | 6.9  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.8  | 6.7  | 6.8  | 6.7  | 6.7  | 6.6  | 6.7  | 6.6  | 6.4  |
| 8  | 7.8  | 7.7  | 7.8  | 8.1  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.7  | 7.7  | 7.6  | 7.7  | 7.5  | 7.7  | 7.4  | 7.5  | 7.4  | 7.4  | 7.7  | 7.2  |
| 9  | 8.8  | 8.7  | 8.7  | 9.0  | 8.7  | 8.6  | 8.7  | 8.5  | 8.6  | 8.7  | 8.6  | 8.4  | 8.5  | 8.5  | 8.3  | 8.2  | 8.2  | 8.3  | 8.2  | 8.2  |
| 10 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.6 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.0 | 10.1 | 10.1 | 10.0 | 10.1 | 10.0 | 10.1 | 10.0 | 9.9  |
| 11 | 11.2 | 11.0 | 11.2 | 11.6 | 11.2 | 11.2 | 11.1 | 11.1 | 11.0 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.0 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 11.1 | 10.9 | 10.9 | 11.0 |
| 12 | 12.0 | 12.0 | 12.1 | 12.6 | 12.0 | 12.1 | 12.0 | 11.9 | 12.1 | 12.0 | 12.0 | 11.9 | 11.8 | 11.9 | 11.9 | 11.7 | 11.8 | 11.8 | 11.9 | 11.8 |
| 13 | 11.8 | 12.2 | 12.2 | 12.7 | 12.2 | 12.2 | 12.1 | 12.0 | 12.2 | 11.9 | 12.0 | 12.1 | 11.9 | 12.1 | 12.0 | 11.8 | 12.1 | 11.8 | 12.0 | 12.0 |
| 14 | 11.6 | 12.2 | 12.3 | 12.8 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.1 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 11.8 | 12.0 |
| 15 | 11.2 | 12.3 | 12.5 | 12.9 | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.3 | 12.4 | 12.1 | 12.4 |
| 16 | 10.9 | 12.5 | 12.5 | 13.0 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 12.3 | 12.5 | 12.3 | 12.5 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.4 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 |
| 17 | 10.5 | 12.4 | 12.7 | 13.2 | 12.7 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 12.6 | 12.4 | 12.5 | 12.6 | 12.5 | 12.5 | 12.6 | 12.5 | 12.3 | 12.5 | 12.5 |
| 18 | 10.3 | 12.5 | 12.7 | 13.2 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 12.6 | 12.6 | 12.8 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.6 | 12.5 |
| 19 | 9.8  | 12.7 | 12.8 | 13.4 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 12.8 | 12.6 | 12.7 | 12.5 | 12.6 |
| 20 | 9.7  | 12.8 | 13.0 | 13.4 | 13.0 | 12.9 | 12.8 | 13.0 | 12.8 | 12.9 | 13.0 | 13.0 | 12.8 | 12.8 | 13.0 | 12.8 | 12.8 | 13.0 | 12.7 | 12.7 |
| 21 | 9.5  | 12.8 | 13.0 | 13.6 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 12.8 | 13.0 | 12.9 | 13.0 | 12.8 | 13.0 | 12.8 | 12.9 | 12.8 | 13.0 |
| 22 | 9.2  | 13.2 | 13.2 | 13.7 | 13.2 | 13.2 | 13.2 | 13.0 | 13.0 | 13.1 | 13.0 | 13.1 | 13.0 | 13.1 | 13.0 | 13.2 | 13.1 | 13.0 | 13.1 | 13.1 |
| 23 | 9.0  | 13.3 | 13.3 | 13.9 | 13.2 | 13.3 | 13.2 | 13.2 | 13.2 | 13.0 | 13.1 | 13.2 | 13.3 | 13.2 | 13.1 | 13.3 | 13.2 | 13.2 | 12.9 | 13.0 |
| 24 | 8.7  | 13.3 | 13.4 | 13.9 | 13.3 | 13.4 | 13.3 | 13.2 | 13.4 | 13.3 | 13.3 | 13.4 | 13.4 | 13.3 | 13.3 | 13.2 | 13.3 | 13.3 | 13.2 | 13.0 |

Tabelle 12: Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (3 Minuten)



|    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   | 40   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.1  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  |
| 3  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.1  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| 4  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.1  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  |
| 5  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 5.1  | 4.9  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.8  | 4.9  |
| 6  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.6  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.4  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.3  | 6.2  |
| 7  | 7.4  | 7.3  | 7.3  | 7.7  | 7.4  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.3  | 7.2  | 7.2  |
| 8  | 8.3  | 8.3  | 8.3  | 8.7  | 8.4  | 8.4  | 8.3  | 8.3  | 8.3  | 8.3  | 8.3  | 8.3  | 8.2  | 8.2  | 8.2  | 8.3  | 8.3  | 8.1  | 8.3  | 8.3  |
| 9  | 9.4  | 9.3  | 9.3  | 9.8  | 9.4  | 9.3  | 9.4  | 9.4  | 9.4  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.3  | 9.1  | 9.2  | 9.3  | 9.1  | 9.2  |
| 10 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.8 | 10.3 | 10.3 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 9.9  | 10.3 | 10.2 | 10.1 |
| 11 | 11.3 | 11.2 | 11.3 | 11.8 | 11.3 | 11.3 | 11.2 | 11.2 | 11.1 | 11.2 | 11.1 | 11.2 | 11.1 | 11.0 | 11.1 | 11.0 | 11.2 | 10.9 | 10.9 | 10.9 |
| 12 | 12.0 | 12.1 | 12.1 | 12.7 | 12.2 | 12.2 | 12.0 | 12.2 | 12.0 | 12.0 | 12.1 | 11.8 | 12.1 | 12.0 | 12.0 | 11.9 | 12.0 | 11.7 | 11.8 | 11.8 |
| 13 | 11.9 | 12.2 | 12.1 | 12.8 | 12.2 | 12.3 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.2 | 12.1 | 12.2 | 12.1 | 12.2 | 12.0 | 12.2 | 12.3 | 12.2 | 12.2 |
| 14 | 11.8 | 12.4 | 12.5 | 12.9 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.3 | 12.4 | 12.2 | 12.3 | 12.1 | 12.2 | 12.5 | 12.2 | 12.3 | 12.0 | 12.4 | 12.2 | 12.3 |
| 15 | 11.5 | 12.5 | 12.5 | 13.0 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 12.5 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 12.0 | 12.0 |
| 16 | 11.4 | 12.5 | 12.7 | 13.2 | 12.8 | 12.7 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 12.6 | 12.3 | 12.4 | 12.6 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.4 | 12.6 | 12.6 | 12.5 |
| 17 | 11.2 | 12.5 | 12.7 | 13.3 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 12.8 | 12.6 | 12.4 | 12.6 | 12.5 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 12.5 |
| 18 | 11.0 | 12.8 | 12.9 | 13.3 | 12.9 | 13.0 | 12.9 | 12.7 | 13.0 | 12.9 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 12.9 | 12.8 | 12.5 | 12.6 | 12.8 | 12.8 | 12.9 |
| 19 | 10.9 | 12.8 | 12.9 | 13.5 | 13.0 | 13.0 | 12.7 | 12.9 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 12.9 | 12.8 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.8 | 12.8 | 12.8 |
| 20 | 10.6 | 13.0 | 12.9 | 13.6 | 13.0 | 13.1 | 12.9 | 13.1 | 13.0 | 12.9 | 13.0 | 12.9 | 12.7 | 12.9 | 13.0 | 13.0 | 12.8 | 13.0 | 12.8 | 12.5 |
| 21 | 10.5 | 13.0 | 13.2 | 13.7 | 13.1 | 13.2 | 13.2 | 13.0 | 13.1 | 13.2 | 13.2 | 13.2 | 13.2 | 12.9 | 13.0 | 13.2 | 13.0 | 12.8 | 12.2 | 12.9 |
| 22 | 10.5 | 13.2 | 13.2 | 13.8 | 13.2 | 13.4 | 13.3 | 13.2 | 13.2 | 13.3 | 13.0 | 13.3 | 13.2 | 12.9 | 12.9 | 13.3 | 13.3 | 13.0 | 13.1 | 13.1 |
| 23 | 10.2 | 13.5 | 13.5 | 14.0 | 13.4 | 13.4 | 13.3 | 13.3 | 13.3 | 13.2 | 13.3 | 13.2 | 13.3 | 13.3 | 13.4 | 13.3 | 13.1 | 13.3 | 12.9 | 13.2 |
| 24 | 9.8  | 13.5 | 13.5 | 14.1 | 13.4 | 13.5 | 13.4 | 13.5 | 13.5 | 13.3 | 13.3 | 13.2 | 13.4 | 13.4 | 13.3 | 13.3 | 13.5 | 13.2 | 13.3 | 13.2 |

Tabelle 13: Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (4 Minuten)

|    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   | 40   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.1  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  |
| 3  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.1  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| 4  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.1  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  |
| 5  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 5.1  | 4.9  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.8  | 4.9  |
| 6  | 6.2  | 6.1  | 6.2  | 6.4  | 6.1  | 6.1  | 6.1  | 6.1  | 6.1  | 6.1  | 6.1  | 6.1  | 6.1  | 6.2  | 6.1  | 6.0  | 6.1  | 6.1  | 6.0  | 6.0  |
| 7  | 7.2  | 7.1  | 7.1  | 7.4  | 7.1  | 7.2  | 7.2  | 7.1  | 7.1  | 7.1  | 7.1  | 7.1  | 7.0  | 7.1  | 7.1  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 6.9  |
| 8  | 8.2  | 8.1  | 8.1  | 8.5  | 8.1  | 8.1  | 8.1  | 8.1  | 8.1  | 8.0  | 8.0  | 8.1  | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 7.8  | 7.9  | 7.9  | 8.0  | 8.0  |
| 9  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 9.4  | 9.1  | 9.1  | 9.0  | 9.0  | 9.0  | 8.9  | 8.9  | 9.0  | 8.9  | 9.0  | 9.0  | 8.8  | 8.8  | 9.0  | 8.8  | 8.8  |
| 10 | 10.0 | 9.9  | 1.8  | 10.4 | 10.0 | 9.9  | 10.0 | 10.0 | 9.9  | 10.0 | 9.8  | 9.8  | 9.8  | 9.7  | 9.6  | 9.9  | 9.5  | 9.8  | 9.7  | 9.7  |
| 11 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 11.3 | 11.0 | 10.9 | 11.0 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.9 | 10.8 | 10.5 | 10.7 | 10.5 | 10.5 | 10.8 | 10.5 | 10.6 | 10.6 |
| 12 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 12.2 | 11.7 | 11.7 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 11.4 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.6 | 11.4 | 11.3 | 11.8 | 11.5 | 11.3 | 11.0 |
| 13 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 12.1 | 11.7 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 11.8 | 11.7 | 11.5 | 11.5 | 11.7 | 11.6 | 11.5 | 11.5 | 11.3 | 11.5 |
| 14 | 11.9 | 11.8 | 11.9 | 12.5 | 12.0 | 12.0 | 12.2 | 12.0 | 11.9 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | 11.8 | 11.4 | 11.4 | 11.5 | 11.3 |
| 15 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.6 | 12.2 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.1 | 11.7 | 12.0 | 11.9 | 11.9 | 11.8 | 12.2 | 11.9 | 11.7 | 11.8 | 11.7 |
| 16 | 12.1 | 12.3 | 12.2 | 12.7 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.2 | 12.1 | 12.1 | 12.1 | 12.2 | 12.1 | 12.1 | 11.7 | 12.1 | 11.7 | 11.8 | 12.1 | 11.9 |
| 17 | 11.9 | 12.1 | 12.3 | 12.8 | 12.3 | 12.3 | 12.1 | 12.1 | 12.2 | 12.1 | 12.2 | 12.3 | 12.0 | 12.3 | 12.2 | 12.3 | 12.1 | 12.1 | 11.8 | 11.4 |
| 18 | 12.1 | 12.3 | 12.3 | 12.9 | 12.3 | 12.4 | 12.4 | 12.3 | 12.3 | 12.2 | 12.2 | 12.4 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.1 | 12.2 |
| 19 | 12.0 | 12.5 | 12.4 | 13.0 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 12.6 | 12.5 | 12.3 | 12.4 | 12.5 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.5 | 12.2 | 12.3 | 12.0 | 12.2 |
| 20 | 11.8 | 12.4 | 12.6 | 13.3 | 12.5 | 12.5 | 12.4 | 12.5 | 12.8 | 12.5 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.4 | 12.5 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 12.5 | 12.0 |
| 21 | 12.0 | 12.8 | 12.7 | 13.2 | 12.6 | 12.6 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 12.3 | 12.5 | 12.6 | 12.7 | 12.8 | 12.5 | 12.3 | 12.4 |
| 22 | 11.8 | 12.9 | 12.7 | 13.4 | 12.9 | 12.9 | 12.7 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 12.8 | 12.6 | 12.7 | 12.7 | 12.5 | 12.7 | 12.3 | 11.8 | 12.8 | 12.5 |
| 23 | 11.5 | 13.0 | 13.0 | 13.4 | 12.8 | 13.0 | 12.9 | 12.8 | 12.9 | 12.7 | 12.7 | 12.9 | 12.5 | 12.7 | 12.8 | 12.8 | 12.5 | 12.8 | 12.4 | 12.5 |
| 24 | 11.4 | 13.1 | 13.0 | 13.6 | 12.9 | 12.8 | 13.1 | 12.9 | 12.9 | 12.7 | 12.9 | 13.0 | 12.8 | 12.9 | 12.6 | 12.4 | 12.9 | 12.5 | 12.5 | 12.4 |

Tabelle 14: Speedup-Tabelle des Weak-Scalings auf den West-Knoten (5 Minuten)

|    | 1 Minute | 2 Minuten | 3 Minuten | 4 Minuten | 5 Minuten |
|----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | 1.00     | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      |
| 2  | 2.00     | 2.00      | 2.00      | 2.00      | 2.00      |
| 3  | 3.00     | 3.00      | 3.00      | 3.00      | 3.00      |
| 4  | 3.96     | 3.96      | 3.96      | 3.96      | 3.96      |
| 5  | 4.92     | 4.92      | 4.92      | 4.92      | 4.92      |
| 6  | 5.88     | 5.88      | 5.88      | 6.31      | 6.12      |
| 7  | 6.79     | 6.79      | 6.79      | 7.31      | 7.12      |
| 8  | 7.67     | 7.67      | 7.67      | 8.31      | 8.06      |
| 9  | 8.56     | 8.56      | 8.56      | 9.35      | 9.00      |
| 10 | 9.37     | 10.00     | 10.13     | 10.27     | 9.87      |
| 11 | 10.17    | 10.92     | 11.12     | 11.19     | 10.81     |
| 12 | 10.88    | 11.77     | 11.94     | 12.00     | 11.62     |
| 13 | 11.06    | 11.88     | 12.06     | 12.19     | 11.73     |
| 14 | 11.15    | 12.08     | 12.25     | 12.31     | 11.83     |
| 15 | 11.13    | 12.17     | 12.35     | 12.50     | 11.98     |
| 16 | 11.35    | 12.27     | 12.46     | 12.58     | 12.12     |
| 17 | 11.40    | 12.38     | 12.52     | 12.65     | 12.13     |
| 18 | 11.54    | 12.50     | 12.65     | 12.81     | 12.29     |
| 19 | 11.50    | 12.54     | 12.75     | 12.87     | 12.38     |
| 20 | 11.65    | 12.65     | 12.88     | 12.94     | 12.50     |
| 21 | 11.88    | 12.77     | 12.98     | 13.10     | 12.62     |
| 22 | 11.85    | 12.87     | 13.12     | 13.21     | 12.71     |
| 23 | 12.04    | 13.00     | 13.19     | 13.31     | 12.81     |
| 24 | 12.02    | 13.08     | 13.31     | 13.40     | 12.88     |

Tabelle 15: Durchschnitts-Speedup-Tabelle des Weak-Scalings über alle Paketgrößen

|    | 1 Minute | 2 Minuten | 3 Minuten | 4 Minuten | 5 Minuten |
|----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | 1.00     | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      |
| 2  | 2.08     | 2.08      | 2.08      | 2.08      | 2.08      |
| 3  | 3.12     | 3.12      | 3.12      | 3.12      | 3.12      |
| 4  | 4.12     | 4.12      | 4.12      | 4.12      | 4.12      |
| 5  | 5.12     | 5.12      | 5.12      | 5.12      | 5.12      |
| 6  | 6.12     | 6.12      | 6.12      | 6.60      | 6.36      |
| 7  | 7.08     | 7.08      | 7.08      | 7.68      | 7.36      |
| 8  | 8.08     | 8.08      | 8.08      | 8.72      | 8.48      |
| 9  | 9.00     | 9.00      | 9.00      | 9.76      | 9.36      |
| 10 | 9.96     | 10.44     | 10.64     | 10.80     | 10.44     |
| 11 | 10.80    | 11.40     | 11.64     | 11.76     | 11.32     |
| 12 | 11.84    | 12.32     | 12.60     | 12.68     | 12.20     |
| 13 | 11.68    | 12.36     | 12.68     | 12.80     | 12.08     |
| 14 | 11.92    | 12.60     | 12.76     | 12.92     | 12.48     |
| 15 | 11.84    | 12.72     | 12.92     | 13.04     | 12.60     |
| 16 | 12.24    | 12.80     | 13.04     | 13.16     | 12.68     |
| 17 | 12.20    | 12.88     | 13.16     | 13.32     | 12.76     |
| 18 | 12.44    | 13.04     | 13.24     | 13.28     | 12.92     |
| 19 | 12.32    | 13.16     | 13.36     | 13.52     | 12.96     |
| 20 | 12.24    | 13.28     | 13.40     | 13.60     | 13.28     |
| 21 | 12.60    | 13.32     | 13.64     | 13.72     | 13.20     |
| 22 | 12.64    | 13.40     | 13.68     | 13.84     | 13.40     |
| 23 | 12.64    | 13.60     | 13.88     | 14.04     | 13.40     |
| 24 | 12.84    | 13.72     | 13.92     | 14.12     | 13.60     |

Tabelle 16: Speedup-Tabelle des Weak-Scalings mit der besten Paketgröße (8)

|    | 1   | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  | 48  | 50  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 26  | 26  | 26  | 26  | 25  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  | 26  |
| 2  | 53  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  | 52  |
| 3  | 78  | 79  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 78  | 77  | 78  | 77  | 78  | 77  | 77  | 77  | 77  | 78  |
| 4  | 105 | 104 | 104 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 104 | 103 | 102 | 103 | 104 | 103 | 103 | 103 | 103 | 103 | 102 | 104 | 103 | 102 | 102 | 103 | 103 | 103 |
| 5  | 130 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 128 | 128 | 128 | 128 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 | 128 | 127 | 128 | 124 | 128 | 128 | 127 | 126 | 128 | 121 |
| 6  | 155 | 155 | 153 | 154 | 153 | 155 | 153 | 155 | 154 | 154 | 152 | 152 | 153 | 153 | 153 | 151 | 153 | 153 | 149 | 150 | 153 | 151 | 146 | 153 | 147 | 148 |
| 7  | 180 | 180 | 180 | 175 | 177 | 179 | 179 | 177 | 179 | 178 | 179 | 176 | 178 | 175 | 176 | 175 | 175 | 172 | 175 | 171 | 166 | 172 | 165 | 167 | 169 | 167 |
| 8  | 204 | 204 | 201 | 203 | 202 | 203 | 202 | 204 | 203 | 201 | 199 | 197 | 199 | 195 | 200 | 193 | 194 | 192 | 193 | 199 | 188 | 193 | 199 | 194 | 195 | 198 |
| 9  | 226 | 228 | 227 | 225 | 225 | 227 | 224 | 226 | 222 | 224 | 226 | 223 | 219 | 222 | 222 | 222 | 215 | 213 | 216 | 214 | 213 | 219 | 219 | 215 | 219 | 213 |
| 10 | 249 | 250 | 246 | 246 | 246 | 246 | 245 | 245 | 246 | 246 | 242 | 244 | 238 | 244 | 232 | 238 | 239 | 227 | 237 | 238 | 241 | 232 | 228 | 244 | 238 | 231 |
| 11 | 265 | 271 | 270 | 274 | 270 | 273 | 270 | 269 | 266 | 262 | 259 | 262 | 257 | 261 | 263 | 250 | 267 | 247 | 261 | 259 | 258 | 258 | 244 | 257 | 252 | 252 |
| 12 | 263 | 291 | 291 | 292 | 296 | 291 | 287 | 288 | 288 | 281 | 288 | 272 | 280 | 273 | 291 | 274 | 280 | 269 | 261 | 276 | 270 | 269 | 275 | 272 | 273 | 273 |
| 13 | 257 | 295 | 294 | 298 | 292 | 299 | 290 | 288 | 289 | 287 | 288 | 273 | 275 | 277 | 285 | 280 | 271 | 273 | 283 | 283 | 269 | 276 | 274 | 273 | 272 | 276 |
| 14 | 250 | 298 | 299 | 298 | 298 | 298 | 293 | 299 | 287 | 290 | 296 | 289 | 290 | 290 | 290 | 273 | 281 | 280 | 279 | 268 | 281 | 280 | 282 | 274 | 260 | 283 |
| 15 | 245 | 304 | 302 | 301 | 296 | 300 | 286 | 288 | 296 | 291 | 288 | 299 | 276 | 288 | 299 | 287 | 275 | 277 | 290 | 289 | 287 | 284 | 274 | 290 | 255 | 265 |
| 16 | 232 | 302 | 303 | 305 | 306 | 305 | 303 | 298 | 302 | 289 | 296 | 294 | 288 | 289 | 296 | 282 | 291 | 285 | 281 | 287 | 287 | 276 | 276 | 292 | 287 | 284 |
| 17 | 224 | 308 | 304 | 306 | 305 | 306 | 303 | 297 | 296 | 298 | 301 | 293 | 283 | 297 | 296 | 293 | 293 | 279 | 290 | 266 | 282 | 282 | 263 | 285 | 278 | 274 |
| 18 | 214 | 309 | 305 | 304 | 311 | 307 | 308 | 302 | 301 | 302 | 298 | 280 | 296 | 298 | 299 | 296 | 288 | 303 | 292 | 282 | 286 | 283 | 283 | 291 | 300 | 283 |
| 19 | 204 | 314 | 310 | 313 | 308 | 307 | 304 | 304 | 297 | 298 | 300 | 298 | 298 | 303 | 294 | 296 | 303 | 266 | 270 | 294 | 285 | 282 | 287 | 299 | 273 | 281 |
| 20 | 199 | 307 | 302 | 313 | 306 | 310 | 310 | 304 | 306 | 292 | 299 | 299 | 308 | 286 | 305 | 307 | 282 | 299 | 296 | 284 | 280 | 297 | 272 | 292 | 288 | 291 |
| 21 | 188 | 317 | 315 | 316 | 315 | 314 | 309 | 311 | 314 | 295 | 316 | 307 | 309 | 304 | 296 | 302 | 305 | 310 | 302 | 304 | 296 | 299 | 307 | 293 | 290 | 293 |
| 22 | 185 | 317 | 318 | 319 | 316 | 313 | 311 | 316 | 307 | 306 | 309 | 297 | 313 | 307 | 307 | 309 | 298 | 291 | 285 | 294 | 287 | 309 | 279 | 276 | 281 | 301 |
| 23 | 177 | 321 | 323 | 321 | 316 | 313 | 324 | 314 | 319 | 314 | 311 | 313 | 298 | 306 | 315 | 305 | 298 | 306 | 298 | 287 | 310 | 287 | 284 | 282 | 294 | 289 |
| 24 | 170 | 321 | 327 | 327 | 321 | 326 | 313 | 315 | 308 | 307 | 315 | 305 | 315 | 312 | 316 | 298 | 311 | 287 | 301 | 300 | 307 | 284 | 287 | 286 | 298 | 283 |

Tabelle 17: Leistungsanalyse auf den West-Knoten, 1 Process, Threads (links), Packet-Size (oben), Ergebnisse in FPS

|    | 1    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   | 40   | 42   | 44   | 46   | 48   | 50   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.1  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  |
| 3  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.1  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| 4  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.1  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 4.0  |
| 5  | 5.0  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 5.1  | 4.9  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 4.9  | 4.9  | 4.9  | 4.8  | 4.9  | 4.9  | 4.8  | 4.9  | 4.7  | 4.7  |
| 6  | 6.0  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 6.1  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.9  | 5.8  | 5.9  | 5.9  | 5.7  | 5.8  | 5.9  | 5.8  | 5.6  | 5.9  | 5.7  | 5.7  |
| 7  | 6.9  | 6.9  | 6.9  | 6.7  | 7.1  | 6.9  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.9  | 6.8  | 6.8  | 6.7  | 6.8  | 6.7  | 6.7  | 6.6  | 6.7  | 6.6  | 6.4  | 6.6  | 6.3  | 6.4  | 6.5  | 6.4  |
| 8  | 7.8  | 7.8  | 7.7  | 7.8  | 8.1  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.8  | 7.7  | 7.7  | 7.6  | 7.7  | 7.5  | 7.7  | 7.4  | 7.5  | 7.4  | 7.4  | 7.4  | 7.7  | 7.2  | 7.4  | 7.7  | 7.5  | 7.6  |
| 9  | 8.7  | 8.8  | 8.7  | 8.7  | 9.0  | 8.7  | 8.6  | 8.7  | 8.5  | 8.6  | 8.7  | 8.6  | 8.4  | 8.5  | 8.5  | 8.3  | 8.2  | 8.2  | 8.3  | 8.2  | 8.2  | 8.4  | 8.3  | 8.4  | 8.2  | 8.9  |
| 10 | 9.6  | 9.6  | 9.5  | 9.6  | 10.0 | 9.5  | 9.4  | 9.6  | 9.3  | 9.5  | 9.3  | 9.0  | 9.2  | 9.4  | 8.9  | 9.2  | 9.2  | 8.7  | 9.1  | 9.2  | 9.3  | 8.9  | 8.8  | 9.4  | 9.2  | 8.9  |
| 11 | 10.2 | 10.4 | 10.4 | 10.5 | 10.8 | 10.5 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 10.5 | 10.0 | 10.1 | 9.9  | 10.0 | 10.1 | 9.6  | 10.3 | 9.5  | 10.0 | 10.0 | 9.9  | 9.9  | 9.9  | 9.4  | 9.9  | 9.7  |
| 12 | 10.1 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.8 | 11.2 | 11.0 | 11.0 | 11.1 | 10.8 | 11.1 | 10.5 | 10.8 | 10.5 | 11.2 | 10.5 | 10.8 | 10.3 | 10.0 | 10.6 | 10.4 | 10.3 | 10.6 | 10.5 | 10.5 | 10.5 |
| 13 | 9.9  | 11.3 | 11.3 | 11.5 | 11.7 | 11.5 | 11.2 | 11.1 | 11.1 | 11.0 | 11.1 | 10.5 | 10.6 | 10.7 | 11.0 | 10.8 | 11.2 | 10.4 | 10.5 | 10.9 | 10.3 | 10.6 | 10.5 | 10.5 | 10.6 | 10.6 |
| 14 | 9.6  | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.9 | 11.4 | 11.3 | 11.5 | 11.0 | 11.2 | 11.4 | 11.1 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 10.8 | 10.8 | 10.7 | 11.2 | 10.3 | 10.8 | 10.8 | 10.5 | 10.5 | 10.0 |
| 15 | 9.4  | 11.7 | 11.6 | 11.6 | 11.8 | 11.5 | 11.0 | 11.1 | 11.4 | 11.2 | 11.1 | 11.5 | 10.6 | 11.1 | 11.5 | 11.0 | 10.6 | 10.7 | 11.2 | 11.1 | 10.5 | 10.9 | 10.5 | 11.2 | 9.8  | 10.2 |
| 16 | 8.9  | 11.6 | 11.7 | 11.7 | 12.2 | 11.7 | 11.7 | 11.5 | 11.6 | 11.1 | 11.4 | 11.3 | 11.1 | 11.1 | 11.4 | 11.0 | 10.8 | 11.2 | 11.0 | 10.8 | 11.0 | 10.6 | 10.6 | 11.2 | 11.0 | 10.9 |
| 17 | 8.6  | 11.8 | 11.7 | 11.8 | 12.2 | 11.8 | 11.7 | 11.4 | 11.4 | 11.5 | 11.6 | 11.3 | 10.9 | 11.4 | 11.4 | 11.3 | 11.3 | 10.7 | 11.2 | 10.8 | 10.2 | 10.8 | 10.8 | 10.1 | 11.0 | 10.7 |
| 18 | 8.2  | 11.9 | 11.7 | 11.7 | 12.4 | 11.8 | 11.8 | 11.6 | 11.6 | 11.6 | 11.5 | 10.8 | 11.4 | 11.5 | 11.5 | 11.4 | 11.1 | 11.7 | 11.2 | 10.8 | 11.0 | 10.9 | 10.9 | 11.2 | 11.5 | 10.9 |
| 19 | 7.8  | 12.1 | 11.9 | 12.0 | 12.3 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 11.4 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.7 | 11.3 | 11.4 | 11.7 | 10.2 | 10.4 | 11.3 | 11.0 | 10.8 | 11.0 | 11.5 | 10.8 | 10.8 |
| 20 | 7.7  | 11.8 | 11.6 | 12.0 | 12.2 | 11.9 | 11.9 | 11.7 | 11.8 | 11.2 | 11.5 | 11.5 | 11.8 | 11.0 | 11.7 | 11.8 | 10.8 | 11.5 | 11.4 | 11.3 | 10.9 | 10.8 | 11.2 | 11.1 | 11.2 | 11.1 |
| 21 | 7.2  | 12.2 | 12.1 | 12.2 | 12.6 | 12.1 | 11.9 | 12.0 | 12.1 | 11.3 | 12.2 | 11.8 | 11.9 | 11.7 | 11.4 | 11.8 | 11.7 | 11.9 | 11.6 | 11.7 | 11.4 | 11.5 | 11.8 | 11.3 | 11.2 | 11.3 |
| 22 | 7.1  | 12.2 | 12.2 | 12.3 | 12.6 | 12.0 | 12.0 | 12.2 | 12.2 | 11.8 | 11.9 | 11.4 | 12.0 | 11.8 | 11.8 | 11.9 | 11.5 | 11.2 | 11.6 | 11.1 | 11.3 | 11.0 | 11.9 | 10.7 | 10.6 | 10.8 |
| 23 | 6.8  | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 12.6 | 12.0 | 12.5 | 12.1 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 12.0 | 11.5 | 11.8 | 12.1 | 11.7 | 11.5 | 11.8 | 11.5 | 11.0 | 11.9 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 11.3 | 11.1 |
| 24 | 6.5  | 12.3 | 12.6 | 12.6 | 12.8 | 12.5 | 12.0 | 12.1 | 11.8 | 11.8 | 12.1 | 11.7 | 12.1 | 12.0 | 12.2 | 11.5 | 12.0 | 11.0 | 11.6 | 11.5 | 11.8 | 10.9 | 11.0 | 11.0 | 11.5 | 10.9 |

Tabelle 18: Speedup-Tabelle auf den West-Knoten, Basis: Tabelle 17, 1 Process, Threads (links), Packet-Size (oben)

|    | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  | 32  | 34  | 36  | 38  | 40  | 42  | 44  | 46  | 48  | 50  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  | 21  |
| 2  | 43  | 42  | 43  | 43  | 43  | 43  | 42  | 42  | 43  | 43  | 43  | 42  | 42  | 43  | 43  | 43  | 42  | 42  | 43  | 43  | 43  | 42  | 42  | 43  | 43  |
| 3  | 64  | 63  | 64  | 64  | 64  | 64  | 63  | 64  | 64  | 64  | 64  | 63  | 64  | 64  | 64  | 64  | 63  | 64  | 64  | 64  | 64  | 63  | 64  | 64  | 64  |
| 4  | 84  | 84  | 84  | 85  | 84  | 84  | 84  | 84  | 85  | 85  | 84  | 84  | 84  | 85  | 85  | 84  | 84  | 84  | 85  | 85  | 84  | 84  | 84  | 85  | 85  |
| 5  | 104 | 104 | 104 | 105 | 104 | 104 | 104 | 104 | 105 | 104 | 104 | 104 | 104 | 105 | 104 | 104 | 104 | 104 | 105 | 104 | 104 | 104 | 104 | 105 | 104 |
| 6  | 124 | 126 | 125 | 126 | 126 | 124 | 126 | 125 | 126 | 124 | 126 | 124 | 126 | 125 | 126 | 124 | 126 | 125 | 126 | 126 | 124 | 126 | 125 | 126 | 126 |
| 7  | 144 | 146 | 146 | 146 | 143 | 144 | 146 | 146 | 143 | 144 | 146 | 143 | 146 | 146 | 143 | 144 | 146 | 146 | 146 | 146 | 143 | 146 | 146 | 146 | 143 |
| 8  | 165 | 164 | 164 | 166 | 165 | 165 | 164 | 164 | 166 | 164 | 166 | 165 | 164 | 166 | 165 | 165 | 164 | 164 | 166 | 165 | 164 | 166 | 166 | 165 | 164 |
| 9  | 186 | 185 | 186 | 186 | 186 | 186 | 185 | 186 | 186 | 186 | 186 | 185 | 186 | 186 | 184 | 186 | 185 | 186 | 186 | 184 | 186 | 185 | 186 | 184 |     |
| 10 | 204 | 205 | 202 | 203 | 203 | 204 | 205 | 202 | 203 | 203 | 204 | 205 | 202 | 203 | 203 | 204 | 205 | 202 | 203 | 203 | 204 | 205 | 202 | 203 | 203 |
| 11 | 225 | 226 | 223 | 225 | 225 | 225 | 226 | 223 | 225 | 225 | 225 | 226 | 223 | 225 | 225 | 225 | 226 | 223 | 225 | 225 | 226 | 223 | 225 | 225 | 225 |
| 12 | 245 | 243 | 243 | 239 | 245 | 244 | 238 | 243 | 239 | 234 | 226 | 235 | 233 | 238 | 229 | 234 | 222 | 226 | 223 | 225 | 226 | 223 | 229 | 215 | 227 |
| 13 | 265 | 262 | 266 | 265 | 263 | 258 | 255 | 252 | 255 | 250 | 258 | 250 | 257 | 250 | 255 | 245 | 246 | 248 | 245 | 249 | 252 | 246 | 232 | 237 | 249 |
| 14 | 283 | 281 | 285 | 284 | 279 | 278 | 285 | 276 | 279 | 271 | 268 | 268 | 270 | 272 | 271 | 267 | 254 | 262 | 270 | 240 | 260 | 260 | 269 | 267 | 248 |
| 15 | 299 | 299 | 305 | 299 | 303 | 294 | 297 | 291 | 291 | 283 | 285 | 290 | 291 | 291 | 283 | 277 | 283 | 297 | 272 | 275 | 266 | 282 | 274 | 267 | 261 |
| 16 | 317 | 317 | 316 | 315 | 315 | 315 | 312 | 302 | 295 | 309 | 292 | 299 | 297 | 288 | 294 | 305 | 302 | 279 | 296 | 297 | 297 | 292 | 276 | 289 | 279 |
| 17 | 331 | 333 | 338 | 331 | 334 | 336 | 324 | 320 | 316 | 309 | 316 | 320 | 323 | 307 | 314 | 319 | 303 | 296 | 315 | 290 | 304 | 289 | 289 | 293 | 293 |
| 18 | 349 | 352 | 356 | 350 | 348 | 341 | 340 | 323 | 344 | 347 | 340 | 325 | 334 | 339 | 347 | 314 | 313 | 319 | 336 | 336 | 324 | 306 | 278 | 304 | 307 |
| 19 | 363 | 369 | 363 | 371 | 360 | 349 | 354 | 359 | 352 | 337 | 355 | 336 | 344 | 353 | 340 | 343 | 357 | 329 | 335 | 331 | 321 | 332 | 316 | 302 | 297 |
| 20 | 371 | 385 | 386 | 384 | 385 | 373 | 365 | 376 | 372 | 371 | 358 | 363 | 370 | 341 | 355 | 369 | 327 | 355 | 353 | 345 | 323 | 346 | 305 | 325 | 310 |
| 21 | 378 | 406 | 391 | 407 | 388 | 382 | 383 | 385 | 379 | 382 | 378 | 373 | 376 | 367 | 368 | 382 | 366 | 379 | 344 | 357 | 351 | 337 | 352 | 334 | 320 |
| 22 | 381 | 421 | 416 | 415 | 405 | 405 | 402 | 390 | 381 | 398 | 393 | 390 | 366 | 386 | 375 | 376 | 371 | 385 | 362 | 349 | 337 | 347 | 328 | 328 | 328 |
| 23 | 388 | 440 | 431 | 428 | 413 | 430 | 415 | 409 | 409 | 391 | 407 | 387 | 397 | 389 | 406 | 380 | 375 | 383 | 369 | 373 | 378 | 359 | 339 | 366 | 343 |
| 24 | 382 | 449 | 447 | 447 | 443 | 414 | 430 | 430 | 430 | 421 | 421 | 413 | 420 | 428 | 430 | 382 | 391 | 384 | 384 | 386 | 371 | 350 | 377 | 355 | 370 |
| 25 | 379 | 457 | 454 | 449 | 419 | 436 | 436 | 436 | 436 | 415 | 423 | 427 | 414 | 418 | 387 | 414 | 413 | 398 | 374 | 369 | 373 | 370 | 368 | 380 | 368 |
| 26 | 374 | 467 | 466 | 461 | 451 | 460 | 405 | 432 | 433 | 455 | 402 | 427 | 396 | 406 | 393 | 400 | 398 | 410 | 404 | 375 | 407 | 379 | 369 | 381 | 383 |
| 27 | 359 | 476 | 471 | 469 | 468 | 460 | 460 | 456 | 464 | 442 | 426 | 461 | 429 | 422 | 420 | 397 | 388 | 426 | 401 | 430 | 376 | 367 | 396 | 396 | 398 |
| 28 | 356 | 492 | 487 | 477 | 470 | 475 | 480 | 462 | 482 | 442 | 445 | 465 | 442 | 447 | 436 | 446 | 401 | 418 | 421 | 418 | 439 | 389 | 410 | 445 | 406 |
| 29 | 342 | 501 | 490 | 484 | 474 | 489 | 469 | 452 | 470 | 442 | 457 | 461 | 448 | 457 | 419 | 442 | 437 | 440 | 451 | 474 | 434 | 430 | 427 | 422 | 410 |
| 30 | 330 | 504 | 512 | 502 | 499 | 500 | 490 | 495 | 487 | 484 | 468 | 468 | 429 | 467 | 451 | 449 | 442 | 468 | 443 | 425 | 413 | 411 | 458 | 430 | 401 |
| 31 | 324 | 519 | 516 | 495 | 506 | 489 | 488 | 497 | 455 | 465 | 458 | 441 | 454 | 432 | 449 | 439 | 420 | 435 | 459 | 411 | 414 | 396 | 458 | 432 | 420 |
| 32 | 321 | 537 | 527 | 511 | 504 | 511 | 480 | 500 | 479 | 459 | 508 | 486 | 469 | 510 | 473 | 445 | 443 | 449 | 468 | 444 | 465 | 458 | 428 | 428 | 388 |
| 33 | 313 | 538 | 522 | 489 | 529 | 508 | 507 | 514 | 485 | 511 | 482 | 428 | 466 | 459 | 449 | 421 | 458 | 426 | 464 | 457 | 439 | 460 | 480 | 363 | 410 |
| 34 | 307 | 536 | 542 | 539 | 526 | 529 | 517 | 520 | 506 | 483 | 490 | 481 | 493 | 454 | 481 | 464 | 471 | 446 | 447 | 451 | 474 | 434 | 430 | 427 | 422 |
| 35 | 287 | 558 | 552 | 535 | 526 | 534 | 549 | 479 | 509 | 508 | 512 | 482 | 455 | 489 | 475 | 456 | 427 | 478 | 458 | 464 | 472 | 437 | 486 | 453 | 461 |
| 36 | 288 | 566 | 558 | 532 | 538 | 530 | 530 | 514 | 537 | 508 | 474 | 449 | 513 | 478 | 514 | 469 | 464 | 469 | 454 | 510 | 488 | 444 | 430 | 448 | 467 |
| 37 | 286 | 563 | 567 | 567 | 563 | 545 | 556 | 502 | 539 | 533 | 528 | 517 | 506 | 505 | 488 | 442 | 477 | 512 | 528 | 504 | 448 | 473 | 462 | 505 | 419 |
| 38 | 279 | 559 | 569 | 559 | 541 | 551 | 580 | 532 | 539 | 530 | 500 | 510 | 547 | 508 | 511 | 484 | 490 | 486 | 486 | 504 | 454 | 454 | 481 | 476 | 435 |
| 39 | 276 | 553 | 583 | 568 | 554 | 577 | 575 | 531 | 562 | 518 | 479 | 532 | 504 | 529 | 507 | 479 | 499 | 539 | 528 | 503 | 487 | 512 | 487 | 452 | 489 |
| 40 | 267 | 544 | 599 | 585 | 570 | 569 | 559 | 565 | 564 | 546 | 545 | 554 | 525 | 537 | 507 | 513 | 499 | 504 | 481 | 507 | 456 | 536 | 462 | 454 | 414 |
| 41 | 263 | 543 | 596 | 582 | 578 | 588 | 573 | 582 | 572 | 570 | 530 | 558 | 550 | 542 | 467 | 550 | 530 | 541 | 531 | 524 | 541 | 487 | 462 | 507 | 485 |
| 42 | 256 | 541 | 616 | 611 | 608 | 593 | 587 | 598 | 586 | 529 | 548 | 558 | 519 | 559 | 558 | 506 | 472 | 527 | 502 | 525 | 554 | 490 | 505 | 508 | 475 |
| 43 | 256 | 527 | 613 | 605 | 605 | 587 | 579 | 615 | 582 | 510 | 546 | 496 | 528 | 564 | 571 | 500 | 510 | 563 | 489 | 508 | 376 | 527 | 508 | 462 | 407 |
| 44 | 242 | 511 | 618 | 614 | 589 | 592 | 570 | 559 | 585 | 575 | 554 | 558 | 546 | 555 | 517 | 549 | 510 | 550 | 525 | 476 | 516 | 471 | 473 | 487 | 507 |
| 45 | 236 | 504 | 619 | 618 | 599 | 579 | 591 | 580 | 575 | 581 | 567 | 562 | 533 | 495 | 496 | 508 | 509 | 531 | 515 | 486 | 510 | 450 | 507 | 461 | 466 |
| 46 | 229 | 470 | 622 | 618 | 609 | 563 | 581 | 583 | 592 | 576 | 550 | 541 | 540 | 500 | 559 | 502 | 566 | 522 | 471 | 541 | 496 | 409 | 479 | 495 | 514 |
| 47 | 218 | 453 | 583 | 620 | 562 | 573 | 593 | 571 | 587 | 552 | 574 | 558 | 512 | 530 | 534 | 559 | 547 | 480 | 494 | 471 | 480 | 498 | 471 | 531 | 485 |
| 48 | 214 | 431 | 571 | 620 | 570 | 593 | 574 | 501 | 580 | 520 | 522 | 560 | 498 | 501 | 531 | 526 | 532 | 536 | 535 | 494 | 475 | 477 | 461 | 476 | 476 |

Tabelle 19: Leistungsanalyse auf den Abu-Knoten, 1 Process, Threads (links), Packet-Size (oben). Ergebnisse in FPS

|    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   | 30   | 32   | 34   | 36   | 38   | 40   | 42   | 44   | 46   | 48   | 50   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| 2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.0  |
| 3  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| 4  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  | 4.0  |
| 5  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  | 5.0  |
| 6  | 5.9  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 5.9  | 6.0  | 6.0  | 6.0  | 6.0  |
| 7  | 6.9  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 6.8  | 6.9  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 6.8  | 6.9  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 6.8  | 6.9  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 6.8  | 7.0  | 7.0  | 7.0  | 6.8  |
| 8  | 7.9  | 7.8  | 7.8  | 7.9  | 7.9  | 7.9  | 7.8  | 7.8  | 7.9  | 7.9  | 7.9  | 7.8  | 7.8  | 7.9  | 7.9  | 7.9  | 7.8  | 7.8  | 7.9  | 7.9  | 7.9  | 7.8  | 7.8  | 7.9  | 7.9  |
| 9  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.8  | 8.9  | 8.8  | 8.9  |
| 10 | 9.7  | 9.8  | 9.6  | 9.7  | 9.7  | 9.7  | 9.8  | 9.6  | 9.7  | 9.7  | 9.7  | 9.8  | 9.6  | 9.7  | 9.7  | 9.7  | 9.8  | 9.6  | 9.7  | 9.7  | 9.7  | 9.8  | 9.6  | 9.7  | 9.7  |
| 11 | 10.7 | 10.8 | 10.6 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.6 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.6 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.6 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | 10.6 | 10.7 | 10.7 |
| 12 | 11.7 | 11.6 | 11.6 | 11.6 | 11.4 | 11.7 | 11.6 | 11.3 | 11.1 | 11.4 | 11.1 | 10.8 | 11.2 | 11.1 | 11.3 | 10.9 | 11.1 | 10.5 | 10.3 | 10.6 | 10.7 | 10.8 | 10.6 | 10.9 | 10.2 |
| 13 | 12.4 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 12.5 | 12.3 | 12.1 | 12.0 | 12.1 | 12.0 | 11.9 | 12.3 | 11.3 | 11.9 | 12.1 | 11.7 | 11.7 | 11.8 | 11.7 | 11.9 | 12.0 | 11.7 | 11.0 | 11.3 | 11.9 |
| 14 | 13.5 | 13.4 | 13.6 | 13.5 | 13.3 | 13.2 | 13.6 | 13.1 | 12.9 | 12.9 | 12.8 | 12.8 | 12.9 | 13.0 | 12.9 | 12.7 | 12.1 | 12.5 | 12.9 | 11.4 | 12.4 | 12.4 | 12.8 | 12.7 | 11.8 |
| 15 | 14.2 | 14.2 | 14.5 | 14.2 | 14.4 | 14.0 | 14.1 | 13.9 | 13.9 | 13.5 | 13.6 | 13.8 | 13.8 | 13.9 | 13.5 | 13.2 | 13.5 | 14.1 | 13.0 | 13.1 | 12.7 | 13.4 | 13.0 | 12.7 | 12.4 |
| 16 | 15.1 | 15.1 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 14.9 | 14.4 | 14.0 | 14.7 | 13.9 | 14.2 | 14.1 | 13.7 | 14.0 | 14.5 | 14.4 | 13.3 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 13.9 | 13.1 | 13.8 | 13.3 |
| 17 | 15.8 | 15.9 | 16.1 | 15.8 | 15.9 | 16.0 | 15.4 | 15.2 | 15.0 | 14.7 | 15.0 | 15.2 | 15.4 | 14.6 | 15.0 | 15.2 | 14.4 | 14.1 | 15.0 | 13.8 | 14.5 | 13.8 | 13.8 | 14.0 | 14.0 |
| 18 | 16.6 | 16.8 | 17.0 | 16.7 | 16.6 | 16.2 | 16.2 | 15.4 | 16.4 | 16.5 | 16.2 | 15.5 | 16.0 | 16.1 | 16.5 | 15.0 | 15.0 | 14.9 | 15.2 | 16.0 | 16.0 | 13.5 | 14.6 | 13.2 | 14.5 |
| 19 | 17.3 | 17.6 | 17.3 | 17.7 | 17.1 | 16.6 | 16.9 | 17.1 | 16.8 | 16.0 | 16.9 | 16.0 | 16.4 | 16.8 | 15.7 | 16.3 | 17.0 | 15.7 | 16.0 | 15.8 | 15.3 | 15.8 | 15.0 | 14.4 | 14.1 |
| 20 | 17.7 | 18.3 | 18.4 | 18.3 | 18.3 | 17.8 | 17.4 | 17.9 | 17.7 | 17.7 | 17.0 | 17.3 | 17.6 | 16.2 | 16.9 | 17.6 | 15.6 | 16.9 | 16.8 | 16.4 | 15.4 | 16.5 | 14.5 | 15.5 | 14.8 |
| 21 | 18.0 | 19.3 | 18.6 | 19.4 | 18.5 | 18.2 | 18.2 | 18.3 | 18.0 | 18.2 | 18.0 | 17.8 | 17.9 | 17.5 | 17.5 | 18.2 | 17.4 | 18.0 | 16.4 | 17.2 | 16.7 | 16.0 | 16.8 | 15.9 | 15.2 |
| 22 | 18.1 | 20.0 | 19.8 | 19.8 | 19.3 | 19.3 | 19.3 | 19.1 | 18.6 | 18.1 | 19.0 | 18.7 | 17.4 | 18.4 | 17.9 | 17.9 | 17.7 | 15.7 | 17.3 | 17.0 | 16.6 | 17.6 | 16.5 | 15.6 | 15.6 |
| 23 | 18.5 | 21.0 | 20.5 | 20.4 | 19.7 | 20.5 | 19.8 | 19.5 | 19.5 | 18.6 | 19.4 | 18.4 | 18.9 | 18.5 | 19.3 | 18.1 | 17.9 | 18.2 | 17.1 | 17.8 | 18.0 | 17.1 | 16.1 | 17.4 | 16.3 |
| 24 | 18.2 | 21.4 | 21.3 | 21.3 | 21.1 | 19.7 | 20.5 | 20.5 | 20.5 | 20.0 | 20.0 | 19.7 | 20.0 | 20.4 | 20.5 | 18.2 | 18.6 | 16.4 | 18.3 | 18.4 | 17.7 | 16.7 | 18.0 | 16.9 | 17.6 |
| 25 | 18.0 | 21.8 | 21.6 | 21.4 | 20.0 | 20.8 | 20.8 | 20.8 | 20.8 | 20.0 | 20.1 | 20.3 | 19.7 | 19.9 | 18.4 | 19.7 | 19.7 | 19.0 | 17.8 | 17.6 | 17.8 | 17.6 | 17.5 | 18.1 | 17.5 |
| 26 | 17.8 | 22.2 | 22.2 | 22.0 | 21.5 | 21.9 | 19.3 | 20.6 | 20.6 | 21.7 | 19.1 | 20.3 | 18.9 | 19.3 | 18.7 | 19.0 | 19.0 | 19.5 | 19.2 | 17.9 | 19.4 | 18.0 | 17.6 | 18.1 | 18.2 |
| 27 | 17.1 | 22.7 | 22.4 | 22.3 | 22.3 | 21.9 | 21.9 | 21.7 | 22.1 | 21.0 | 20.3 | 22.0 | 20.4 | 20.1 | 20.0 | 18.9 | 18.5 | 20.3 | 19.1 | 20.5 | 17.9 | 17.5 | 18.9 | 18.9 | 19.0 |
| 28 | 17.0 | 23.4 | 23.2 | 22.7 | 22.4 | 22.6 | 22.9 | 22.0 | 23.0 | 21.0 | 21.2 | 22.1 | 21.0 | 21.3 | 20.8 | 21.2 | 19.1 | 19.9 | 20.0 | 19.9 | 20.9 | 18.5 | 19.5 | 21.2 | 19.3 |
| 29 | 16.3 | 23.9 | 23.3 | 23.0 | 22.6 | 23.3 | 22.3 | 21.5 | 22.4 | 21.0 | 21.8 | 22.0 | 21.3 | 21.8 | 20.0 | 21.0 | 20.8 | 20.0 | 18.8 | 20.8 | 20.5 | 19.4 | 21.0 | 20.7 | 18.7 |
| 30 | 15.7 | 24.0 | 24.4 | 23.9 | 23.8 | 23.8 | 23.3 | 23.6 | 23.2 | 23.0 | 22.3 | 22.3 | 20.4 | 22.2 | 21.5 | 21.4 | 21.0 | 22.3 | 21.1 | 20.2 | 19.7 | 19.6 | 21.8 | 20.5 | 19.1 |
| 31 | 15.4 | 24.7 | 24.6 | 23.6 | 24.1 | 23.3 | 23.2 | 23.7 | 21.7 | 22.1 | 21.8 | 21.0 | 21.6 | 20.6 | 21.4 | 20.9 | 20.0 | 20.7 | 21.9 | 19.6 | 19.7 | 18.9 | 21.8 | 20.6 | 20.0 |
| 32 | 15.3 | 25.6 | 25.1 | 24.3 | 24.0 | 24.3 | 22.9 | 23.8 | 22.8 | 21.9 | 24.2 | 23.1 | 22.3 | 24.3 | 22.5 | 21.2 | 21.1 | 21.4 | 22.3 | 21.1 | 22.1 | 21.8 | 20.4 | 20.4 | 18.5 |
| 33 | 14.9 | 25.6 | 24.9 | 23.3 | 25.2 | 24.2 | 24.1 | 24.5 | 23.1 | 24.3 | 23.0 | 20.4 | 22.2 | 21.9 | 21.4 | 20.0 | 21.8 | 20.3 | 22.1 | 21.8 | 20.9 | 21.9 | 22.9 | 17.3 | 19.5 |
| 34 | 14.6 | 25.5 | 25.8 | 25.7 | 25.0 | 25.2 | 24.6 | 24.8 | 24.1 | 23.0 | 23.3 | 22.9 | 23.5 | 21.6 | 22.9 | 22.1 | 22.4 | 21.2 | 21.3 | 21.5 | 22.6 | 20.7 | 20.5 | 20.3 | 20.1 |
| 35 | 14.1 | 26.6 | 26.3 | 25.5 | 25.0 | 25.4 | 26.1 | 22.8 | 24.2 | 24.2 | 24.4 | 23.0 | 21.6 | 23.3 | 22.6 | 21.7 | 20.3 | 22.8 | 21.8 | 22.1 | 22.5 | 20.8 | 23.1 | 21.6 | 22.0 |
| 36 | 13.7 | 27.0 | 26.6 | 25.3 | 25.6 | 25.2 | 25.2 | 24.5 | 25.6 | 25.2 | 22.6 | 21.4 | 24.4 | 22.8 | 24.5 | 22.3 | 22.1 | 22.3 | 21.6 | 24.3 | 23.2 | 21.1 | 20.5 | 21.3 | 22.2 |
| 37 | 13.6 | 26.8 | 27.0 | 26.0 | 26.8 | 26.0 | 26.5 | 23.9 | 25.7 | 25.4 | 25.1 | 24.6 | 24.1 | 24.0 | 23.2 | 21.0 | 22.7 | 24.4 | 25.1 | 24.0 | 21.3 | 22.5 | 22.0 | 24.0 | 20.0 |
| 38 | 13.3 | 26.6 | 27.1 | 26.6 | 25.8 | 26.2 | 27.6 | 25.3 | 25.7 | 25.2 | 23.8 | 24.3 | 26.0 | 24.2 | 24.3 | 23.0 | 23.3 | 20.8 | 23.1 | 24.0 | 21.6 | 21.6 | 22.9 | 22.7 | 20.7 |
| 39 | 13.1 | 26.3 | 27.8 | 27.0 | 26.4 | 27.5 | 27.4 | 25.3 | 26.8 | 24.7 | 22.8 | 25.3 | 24.0 | 25.2 | 24.1 | 22.8 | 23.8 | 25.7 | 25.1 | 24.0 | 23.2 | 24.4 | 23.2 | 21.5 | 23.3 |
| 40 | 12.7 | 25.9 | 28.5 | 27.9 | 27.1 | 27.1 | 26.6 | 26.9 | 26.9 | 26.0 | 26.0 | 26.4 | 25.0 | 25.1 | 24.1 | 24.4 | 23.8 | 24.0 | 22.9 | 24.1 | 21.7 | 25.5 | 22.0 | 21.6 | 19.7 |
| 41 | 12.5 | 25.9 | 28.4 | 27.7 | 27.5 | 28.0 | 27.3 | 27.7 | 25.8 | 27.1 | 25.2 | 26.6 | 26.2 | 25.8 | 22.2 | 26.2 | 25.2 | 25.8 | 25.3 | 25.0 | 25.8 | 23.2 | 22.0 | 24.1 | 23.1 |
| 42 | 12.2 | 25.8 | 29.3 | 29.1 | 29.0 | 28.2 | 28.0 | 28.5 | 27.9 | 25.2 | 26.1 | 26.6 | 24.7 | 26.6 | 26.6 | 24.1 | 22.5 | 25.1 | 23.9 | 25.0 | 26.4 | 23.3 | 24.0 | 24.2 | 22.6 |
| 43 | 12.2 | 25.1 | 29.2 | 28.8 | 28.8 | 28.0 | 27.6 | 29.3 | 27.7 | 24.3 | 26.0 | 26.3 | 25.1 | 26.9 | 27.2 | 23.8 | 24.3 | 25.2 | 26.8 | 23.3 | 24.2 | 17.9 | 25.1 | 24.2 | 22.0 |
| 44 | 11.5 | 24.3 | 29.4 | 29.2 | 28.0 | 28.2 | 27.1 | 26.6 | 27.9 | 27.4 | 26.4 | 26.6 | 26.0 | 26.4 | 24.6 | 26.1 | 24.3 | 24.3 | 25.0 | 22.7 | 24.6 | 22.4 | 22.5 | 23.2 | 24.1 |
| 45 | 11.2 | 24.0 | 29.5 | 29.4 | 28.5 | 27.6 | 28.1 | 27.6 | 27.4 | 27.7 | 27.0 | 26.8 | 25.4 | 23.6 | 23.6 | 24.2 | 24.2 | 25.3 | 24.5 | 23.1 | 24.3 | 21.4 | 24.1 | 22.0 | 22.2 |
| 46 | 10.9 | 22.4 | 29.6 | 29.4 | 29.0 | 26.8 | 27.7 | 27.8 | 25.2 | 27.4 | 26.2 | 25.8 | 25.7 | 23.8 | 26.6 | 23.9 | 27.0 | 24.9 | 22.4 | 25.8 | 23.6 | 19.5 | 22.8 | 23.6 | 24.5 |
| 47 | 10.5 | 21.6 | 27.8 | 29.5 | 26.8 | 27.4 | 28.2 | 27.8 | 28.0 | 26.3 | 27.3 | 26.6 | 24.4 | 25.2 | 25.4 | 26.6 | 26.0 | 22.9 | 22.9 | 23.2 | 23.7 | 22.4 | 25.3 | 23.1 | 23.0 |
| 48 | 10.4 | 20.5 | 27.2 | 30.0 | 27.6 | 28.2 | 27.3 | 28.1 | 28.3 | 27.6 | 24.9 | 26.7 | 23.7 | 23.9 | 24.3 | 25.0 | 25.3 | 25.5 | 24.5 | 23.5 | 23.4 | 22.6 | 22.7 | 22.0 | 22.7 |

Tabelle 20: Speedup-Tabelle auf den Abu-Knoten, Basis Tabelle 19, 1 Process, Threads (links), Packet-Size (oben)