1. Getroffene Entscheidungen

1.1. Unittest-Framework

Als Unittest-Frameworks standen u.a. folgende zur Auswahl:
- NUnit (http://sourceforge.net/projects/nunit/)
- xUnit.net (https://github.com/xunit/xunit)
- Ein in Visual Studio integriertes Testframework. Dieses kann durch Hinzufügen der Assembly `Microsoft.VisualStudio.QualityTools.UnitTestFramework.dll` und des Namespaces `Microsoft.VisualStudio.TestTools.UnitTesting` in einem Projekt verwendet werden. Getestet wurde mit Visual Studio 2013.

NUnit und xUnit besitzen einige Abhängigkeiten zu anderen Assemblies. Das Visual-Studio-basierte ist abhängig von den Assemblies, welche von Visual Studio mitgeliefert werden.

Daher haben wir uns für die Implementierung eines eigenen Unittest-Frameworks entschieden. Die Implementierung eines eigenen Unittest-Frameworks in .NET ist relativ einfach möglich. Es wurden folgende Komponenten implementiert:

- *Attribute,* welche eine Testmethode beschreiben. Es wurden die Attribute `[Test]` und `[ExpectedException]` implementiert. `[Test]` markiert eine Methode als Testmethode, welche von einem TestRunner ausgeführt werden soll. Wird von einer Methode erwartet, dass diese eine Exception wirft, kann die Exception mit dem Attribut `[ExpectedException]` angegeben werden.

- *TestRunner:* Nimmt eine Assembly entgegen und führt die darin mit [Test] markierten Methoden aus. Einem TestRunner kann auch ein einzelner Test übergeben werden.

- *Assert:* Es wurde eine statische Klasse `Assert` implementiert, welche eine Methode `void AreEqual(object expected, object actual)` zur Verfügung stellt. Schlägt der AreEqual-Vergleich fehl, wird eine `AssertFailedException` geworfen.

- *Exceptions*: Es wurden drei Exception-Klassen implementiert: `AssertFailedException`, `ExpectedExceptionNotThrownException` und `NoExceptionThrownException`. Die Details zu den Exceptions können dem Code entnommen werden.

- *Test*: Tests werden durch die Klasse `Test` repräsentiert. Ein Test enthält den Namen der Testmethode, eine Nachricht („Test passed.“, „Test failed“ oder der Text einer Exception), die Dauer des Tests, den Status (NONE, IN_PROGRESS, PASSED, FAILED), Infos zur Klasse der Methode und die Adresse des Servers, auf welchem der Test ausgeführt wurde.

1.2. Kommunikationsframework

Als Kommunikationsframework standen u.a. WCF und XcoAppSpace zur Verfügung.
Wir haben uns für XcoAppSpace entschieden, da es die Erstellung von asynchronen, verteilten Anwendungen ermöglicht und wir dieses Framework auf seine Verwendbarkeit prüfen wollten. WCF wurde nicht evaluiert.

1.3. GUI des Clients

Die Unittest-Runner Applikation wird in unserer Lösung als *Client* bezeichnet. Für die GUI des Clients wird WPF verwendet. Für die asynchrone Aktualisierung der GUI und für die Bindung der Daten wird das Muster MVVM (Model View ViewModel) verwendet.

2. Aufbau der Visual-Studio-Solution

Für ein besseres Verständnis des in Kapitel 3 erklärten Algorithmus, wird kurz auf den Aufbau der Visual-Studio-Solution eingegangen. Die Visual-Studio-Solution `DistUnitTesting` teilt sich in folgende Projekte:

- *PCG3.Client.GUI:*
  Enthält den xaml-Code zur Beschreibung der GUI und die Main-Methode zum Starten des Clients. Diesem Projekt kann der Pfad einer Assembly und eine Liste von Server-Adressen übergeben werden. Die Server-Adressen müssen in der Form `host:port` angegeben werden.

- *PCG3.Client.Logic:*
  Enthält die client-seitige Logik für die Kommunikation mit den Servern in Form einer Klasse `ClientLogic`. `ClientLogic` übernimmt das Extrahieren der Testmethoden aus einer Assembly, das Übertragen einer Assembly an die Server und das Verteilen der Tests an die Server.

- *PCG3.Client.ViewModel:*
  Enthält die Realisierung des MVVM-Musters in Form einer Klasse `MainVM`. `MainVM` ruft Methoden von `ClientLogic` auf. Wird der „Start"-Button gedrückt, werden in einem neuen Task das Übertragen der Assembly und das Verteilen der Tests an die Server durchgeführt.

- *PCG3.Middleware:*
  Enthält den XcoAppSpace-Kontrakt zwischen einem Client und einem Server. Es wurden zwei Worker implementiert: `AssemblyWorker` übernimmt das Übertragen und server-seitige Laden einer Assembly. `TestWorker` übernimmt das Übermitteln und server-seitige Ausführen einer Menge von Tests.

- *PCG3.Server:*
  Enthält eine Konsolenanwendung zum Starten eines Servers und die Implementierung der Worker. Die Konsolenanwendung nimmt als ersten Parameter den Parallelisierungsgrad und als zweiten Parameter den Port des Servers. Der Parallelisierungsgrad wird in unserer Lösung als *Cores* bezeichnet. Dieser ist standardmäßig bei keiner Angabe auf 4 gesetzt. Der Port des Servers ist standardmäßig 9000.
  Von der Konsolenanwendung wird darüber hinaus die Erzeugung der Worker im Application Space übernommen. Dazu wird die Methode `RunWorker<…>()` von XcoAppSpace verwendet. Die client-seitige Verbindung zu den Workern mittels `ConnectWorker<…>()` wird in der Klasse `ClientLogic` durchgeführt.

- *PCG3.TestFramework:*
  Enthält die Implementierung des eigenen Unittest-Frameworks.

- *PCG3.TestUnitTests:*
  Enthält vier Klassen mit insgesamt 120 Test-Unittests.

- *PCG3.TestUnitTestsSimple:*
  Enthält eine Klasse mit sechs Methoden, wobei eine Methode nicht mit [Test] gekennzeichnet ist.

- *PCG3.Util:*
  Enthält Hilfsklassen zum Loggen auf die Konsole, zur formatierten Ausgabe der aktuellen Zeit usw.

3. Algorithmus

Das verteilte Ausführen von Unittests wird in zwei Schritte durchgeführt:

- Zu Beginn wird die Assembly mit den auszuführenden Testmethoden an alle Server verteilt und auf den Servern geladen.
- Danach werden die Tests an die Server verteilt. Die Verteilungslogik befindet sich in der Klasse ClientLogic des Projektes *PCG3.Client.Logic.*

In den folgenden zwei Abschnitten werden die Details erläutert.

3.1. Übertragen der Assembly zu den Servern

Der Benutzer wählt mittels Client die Assembly mit den auszuführenden Tests aus. Diese Assembly existiert auf den Servern zu diesem Zeitpunkt noch nicht. Daher muss die Assembly zu den Servern übertragen werden. Dazu wird die Assembly mittels `File.ReadAllBytes(assemblyPath)` eingelesen und als Bytestrom übertragen. Am Server wird der Assembly-Bytestrom mittels `Assembly.Load(…)` gelesen und die Assembly dabei geladen.
Zu Beginn hatten wir überlegt, die Assembly in die auszuführenden Methoden zu zerteilen, neue Assemblies zu erzeugen und diese dann zu den Servern zu übertragen. Da die Assemblies nur einige KB groß sind und nur eine Assembly je Client zu den Servern übertragen wird, haben wir uns gegen diese Variante entschieden.

3.2. Verteilen der Tests an die Server

Beim Starten eines Servers wird diesem die Anzahl der Cores (der Parallelisierungsgrad) als Parameter mitgegeben. Die Cores sind nur dem Server und nicht dem Client bekannt. Eine Tatsache, welche uns erst bei der Verwendung von XcoAppSpace klar geworden ist, ist hier sehr wichtig: XcoAppSpace speichert keinen Zustand. Es ist daher nicht möglich beim Erzeugen eines Worker (TestWorker) mittels `RunWorker<…>()` die Cores eines Servers zu speichern. Der Client kann somit nicht direkt die Anzahl der Cores je Server abfragen. Der Client bietet den Servern stattdessen die noch verfügbaren Tests an. Stehen dem Server noch Cores zur Verfügung, reserviert (allokiert) der Server Cores für die Ausführung von Tests des Clients.
Das Verteilen der Tests passiert in einem 3-Schritte-Ansatz:

- Schritt 1 – Alloc: Der Client hat eine bestimmte Anzahl an noch verfügbaren, unverteilten Tests. Er fragt broadcast-ähnlich jeden Server, ob diese frei Cores haben zum Ausführen von einen oder mehreren Tests. Die Server antworten mit einer bestimmten Anzahl an Cores, oder mit 0 sollte der Server bereits ausgelastet sein.
- Schritt 2 – Run: Hat ein Server noch verfügbare Cores, schickt der Client diesem Server die vereinbarte Anzahl an Tests. Der Server erzeugt je Test einen neuen Task. Sobald das Ausführungsergebnisses eines Tests vorliegt, antwortet der Server dem Client.
- Schritt 3 – Free: Sobald das Ausführungsergebnis eines Tests beim Client eingelangt ist, fordert der Client den Server auf, einen Core freizugeben.
  Die Kontrolle geht dabei vom Client aus. Hier liegt auch ein Schwachpunkt: Sollte der Client aus irgendeinen Grund wegbrechen, kann der allokierte Core am Server nicht mehr freigegeben werden. Uns war nicht ganz klar, wie man diese Situation mit XcoAppSpace lösen soll.

Der beschriebene 3-Schritte-Ansatz wird solange in einer Schleife ausgeführt, bis alle Tests verteilt und ausgeführt wurden. Zu beachten ist hier, dass in unserer Lösung die Kontrolle immer vom Client ausgeht. Der Client pollt die Server und bietet ihnen verfügbare Tests an. Als Intervall wurde eine Sekunde angenommen. Ein längeres Intervall (z.B. 5 Sekunden) zwischen zwei Allocs könnte dazu führen, dass die Server unnötig lange auf neue Tests warten müssen. Ein kürzeres Intervall (z.B. 500 Millisekunden) führt möglicherweise zu unnötig

häufigen Alloc-Anfragen, speziell wenn die Server über längere Zeit mit langlaufenden Tests beschäftigt sind.
Der 3-Schritte-Ansatz wird mit XcoAppSpace so gelöst, dass je Schritt Nachrichten versendet werden. Dazu wird die Methode `Post()` eines Workers aufgerufen und mittels `Receive()` auf die Antwort gewartet. Die Kommunikation läuft dabei so ab, dass der Client eine Nachricht postet, die Nachricht am Server verarbeitet wird und die Antwort zum Client zurückgepostet wird. Wie weiter oben beschrieben, kann innerhalb eines Workers die Anzahl der verfügbaren Cores nicht gespeichert werden. Die Kommunikation muss zwischen Client und Server (der Konsolenanwendung und nicht dem serverseitigen Worker) ablaufen, um auf die verfügbare Anzahl an Cores zugreifen zu können. Dies ist mit einem reinen Post-Receive nicht möglich. Daher wurde der *Publish-Subscribe-Mechanismus* von XcoAppSpace verwendet. Der Client veröffentlicht („publish“) eine Nachricht (z.B. eine Alloc-Anfrage) und alle Server, welche sich registriert („subscribe“) haben, erhalten diese Nachricht. Das Subscribe der Server wird in der Konsolenanwendung des Servers gemacht, in welcher auch die Anzahl der verfügbaren Cores bekannt ist. Dort werden die Cores bei einem Alloc dekrementiert und bei einem Free inkrementiert. In der Subscribe-Nachricht des Clients ist der ResponsePort angegeben. Der Server schickt seine Antwort an diesen Port.
Für die Synchronisation, z.B. für die Ausgabe von Log-Meldungen auf die Konsole oder für den geteilten Zugriff auf die Anzahl der Cores eines Servers, werden locks auf Lock-Objekte gesetzt.
Post und Receive bzw. Publish-Subscribe-Nachrichten werden asynchron versendet. Daher kann es vorkommen, dass der Application Space geschlossen wird, bevor von jedem Server eine Nachricht zum Client zurückgeschickt wurde. Daher muss an bestimmten Stellen auf die Antworten der Server gewartet werden. Dazu werden `CountdownEvents` verwendet. Ein CountdownEvent ist zu Beginn auf die Anzahl der Tests gesetzt und wird jedes Mal um eins dekrementiert, wenn der Server einen Test ausgeführt und einen Core freigegeben hat.

4. Vergleich der Ausführungszeiten

Für die Performance-Tests wurde die Assembly des Projekts `PCG3.TestUnitTests` verwendet. Es enthält vier Klassen mit insgesamt 120 Test-Unittests.
Die Klassen enthalten

- 5 Basistests zum Überprüfen des Testframeworks.
- 5 Tests mit einer Dauer von 5 Sekunden jeweils.
- 5 Tests mit einer Dauer von 10 Sekunden jeweils.
- 5 Tests mit einer Dauer von 15 Sekunden jeweils.
- 50 Tests mit einer Dauer zwischen 0 und 1000 ms.
- 50 Tests mit einer Dauer von 10 ms.

Die Tests wurden ausgeführt mit

- Einem Client und einen oder zwei Servern, mit gleicher Core-Anzahl.
- Zwei Clients und einem oder zwei Servern, mit gleicher Core-Anzahl.

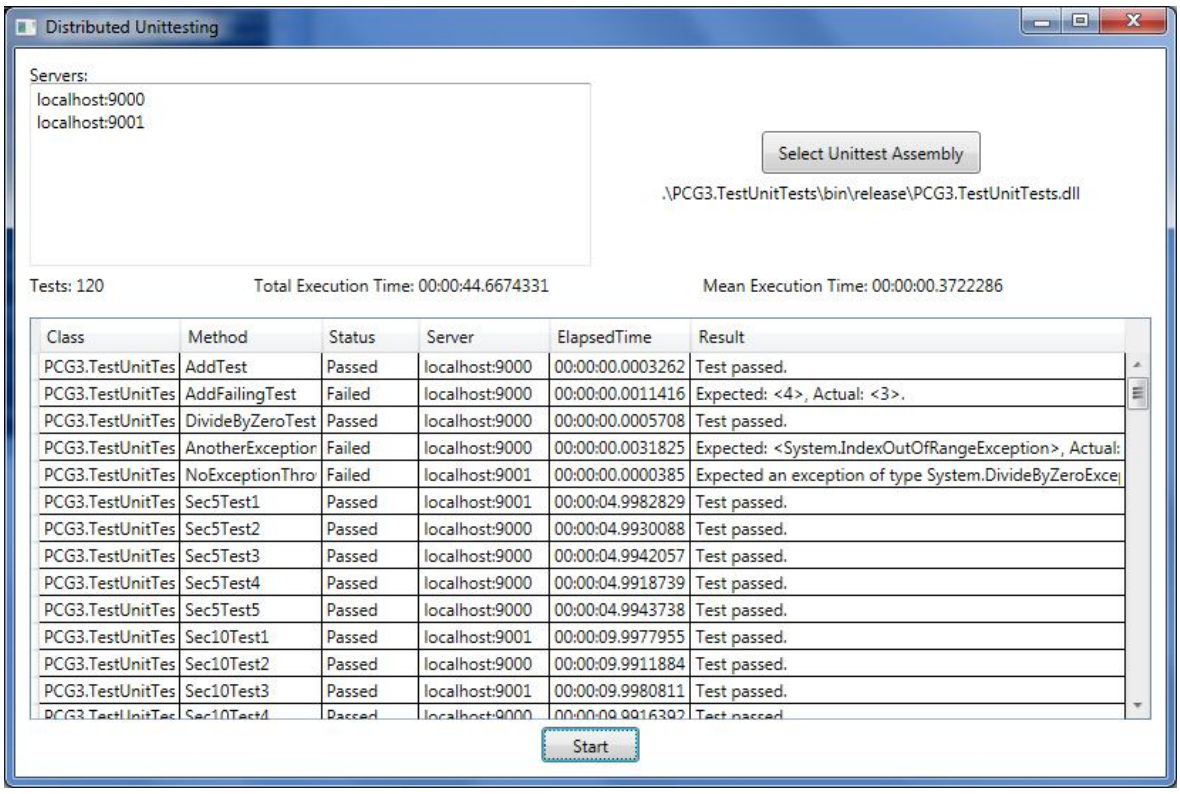
Die Ausführungszeiten sind in folgender Tabelle aufgelistet.
Die Ausführung von 120 Tests eines Clients auf einem Server mit einem Core benötigt ca. 4 Minuten und 20 Sekunden. Die beste Zeit wird mit zwei Servern und 8 Cores jeweils erreicht. Die Ausführungszeit liegt bei ca. 19 Sekunden. Dies ergibt einen Speedup von rund 13,7.

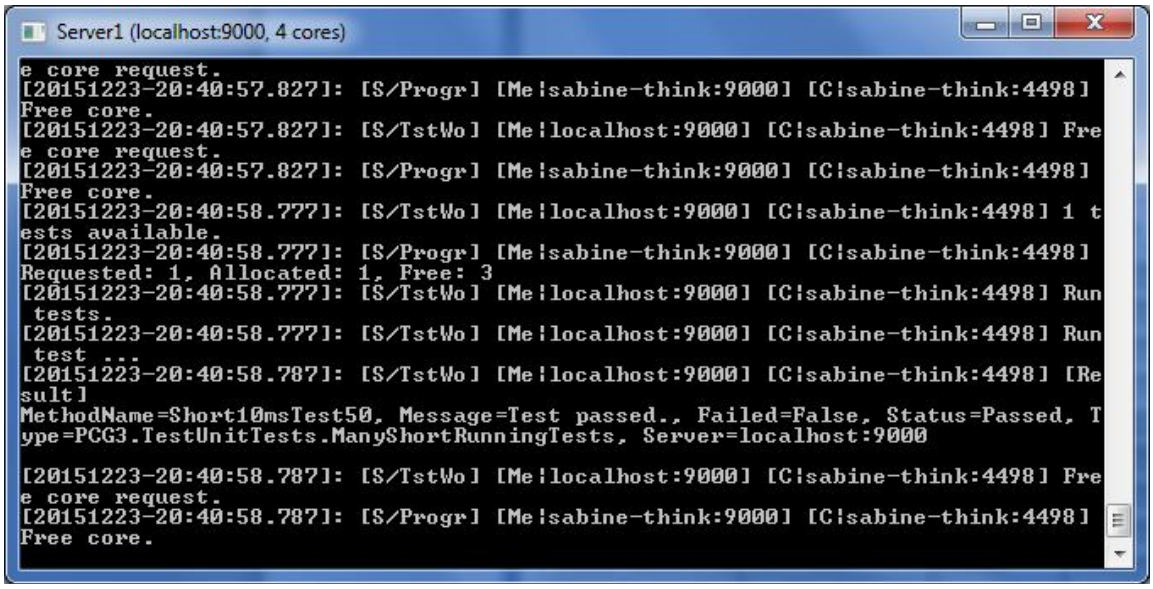
Client	**Server** - **Server1 = localhost:9000** - **Server2 = localhost:9001**	**Total Execution Time**
1	Server1 | 1 core	00:04:20.8149461
1	Server1 | 2 cores	00:02:12.4195201
1	Server1 | 1 cores Server2 | 1 cores	00:02:09.5824521

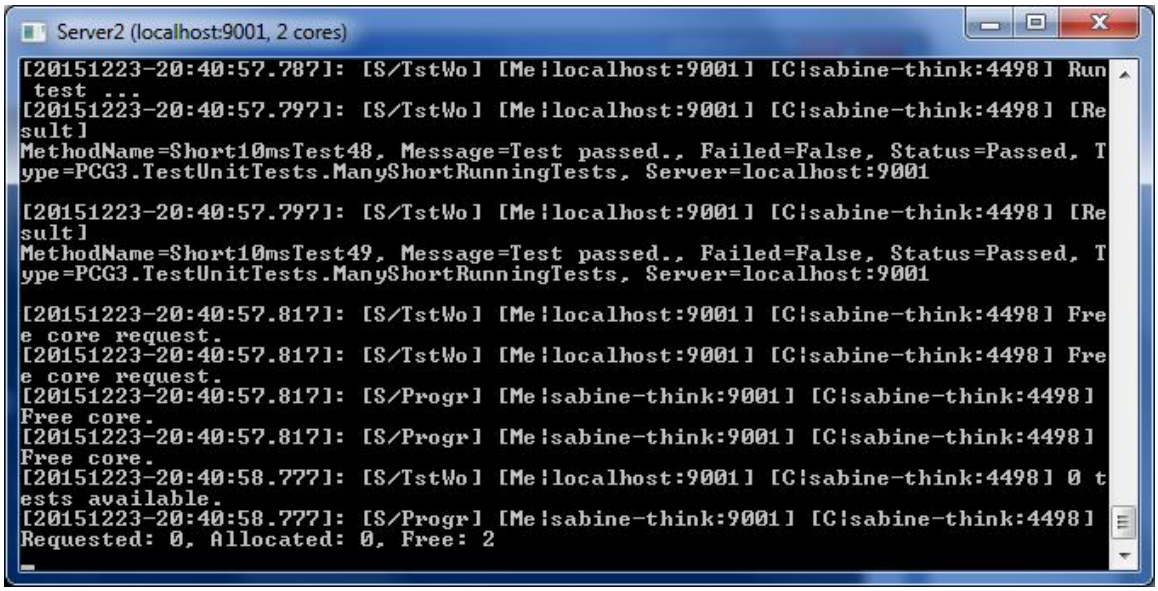
1	Server1 | 2 cores Server2 | 2 cores	00:01:05.5216858
1	Server1 | 4 cores Server2 | 4 cores	00:00:33.5054170
1	Server1 | 8 cores Server1 | 8 cores	00:00:18.8364649
1	Server1 | 16 cores Server1 | 16 cores	00:00:21.4001568
2	Server1 | 1 core	00:07:27.4426314 (im Durschnitt pro Client)
2	Server1 | 2 cores	00:03:46.8230789
2	Server1 | 1 cores Server2 | 1 cores	00:03:36.7434720
2	Server1 | 2 cores Server2 | 2 cores	00:01:50.8766487
2	Server1 | 4 cores Server2 | 4 cores	00:00:56.1662903
2	Server1 | 8 cores Server1 | 8 cores	00:00:29.6699607
2	Server1 | 16 cores Server1 | 16 cores	00:00:20.2352762

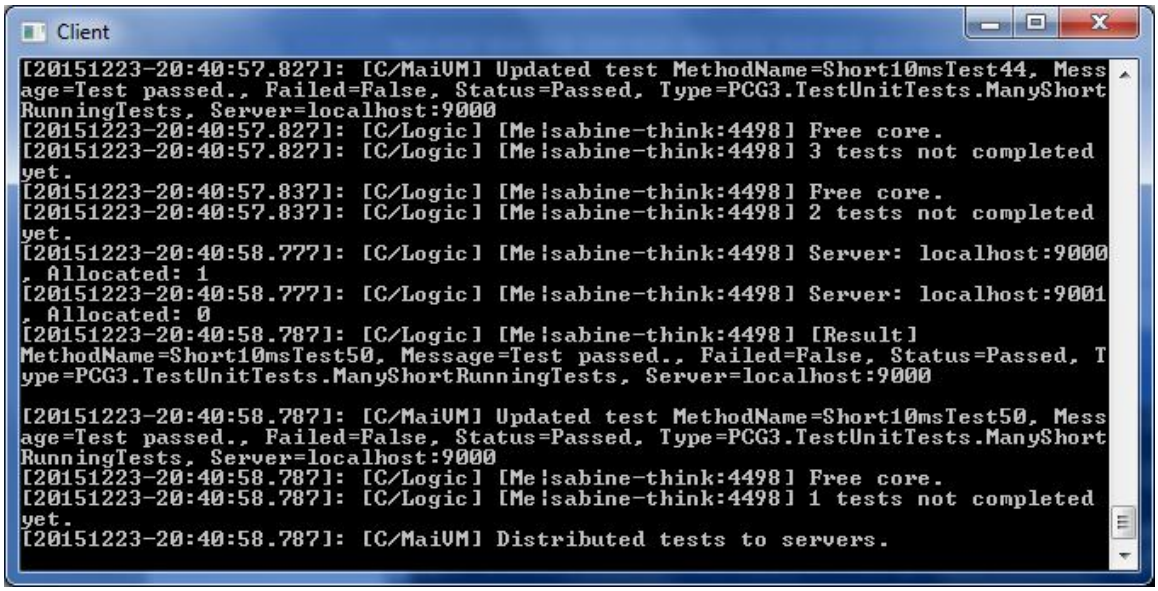
5. Ausführung des Clients und Servers mittels Skript

Für das Starten eines Clients und zweier Server gibt es ein bat-Skript `run.bat` im Verzeichnis `DistUnitTesting`.
Im Skript kann angepasst werden, ob man die kompilierten Dateien im Unterverzeichnis Debug oder im Unterverzeichnis Release verwenden möchte.
Beim erfolgreichen Start mittels Skript sollte die GUI des Clients, ein Log-Fenster für den Client und zwei Konsolenfenster für die Server zu sehen sein.
Dies ist beispielhaft wie folgt dargestellt:




Server1 (localhost:9000, 4 cores)
e core request.
[20151223-20:40:57.827]: [S/Progr] [Me!sabine-think:9000] [C!sabine-think:4498]
Free core.
[20151223-20:40:57.827]: [S/TstWo] [Me!localhost:9000] [C!sabine-think:4498] Fre
e core request.
[20151223-20:40:57.827]: [S/Progr] [Me!sabine-think:9000] [C!sabine-think:4498]
Free core.
[20151223-20:40:58.777]: [S/TstWo] [Me!localhost:9000] [C!sabine-think:4498] 1 t
ests available.
[20151223-20:40:58.777]: [S/Progr] [Me!sabine-think:9000] [C!sabine-think:4498]
Requested: 1, Allocated: 1, Free: 3
[20151223-20:40:58.777]: [S/TstWo] [Me!localhost:9000] [C!sabine-think:4498] Run
tests.
[20151223-20:40:58.777]: [S/TstWo] [Me!localhost:9000] [C!sabine-think:4498] Run
test ...
[20151223-20:40:58.787]: [S/TstWo] [Me!localhost:9000] [C!sabine-think:4498] [Re
sult]
MethodName=Short10msTest50, Message=Test passed., Failed=False, Status=Passed, T
ype=PCG3.TestUnitTests.ManyShortRunningTests, Server=localhost:9000
[20151223-20:40:58.787]: [S/TstWo] [Me!localhost:9000] [C!sabine-think:4498] Fre
e core request.
[20151223-20:40:58.787]: [S/Progr] [Me!sabine-think:9000] [C!sabine-think:4498]
Free core.


Server2 (localhost:9001, 2 cores)
[20151223-20:40:57.787]: [S/TstWo] [Me!localhost:9001] [C!sabine-think:4498] Run
test ...
[20151223-20:40:57.797]: [S/TstWo] [Me!localhost:9001] [C!sabine-think:4498] [Re
sult]
MethodName=Short10msTest48, Message=Test passed., Failed=False, Status=Passed, T
ype=PCG3.TestUnitTests.ManyShortRunningTests, Server=localhost:9001
[20151223-20:40:57.797]: [S/TstWo] [Me!localhost:9001] [C!sabine-think:4498] [Re
sult]
MethodName=Short10msTest49, Message=Test passed., Failed=False, Status=Passed, T
ype=PCG3.TestUnitTests.ManyShortRunningTests, Server=localhost:9001
[20151223-20:40:57.817]: [S/TstWo] [Me!localhost:9001] [C!sabine-think:4498] Fre
e core request.
[20151223-20:40:57.817]: [S/TstWo] [Me!localhost:9001] [C!sabine-think:4498] Fre
e core request.
[20151223-20:40:57.817]: [S/Progr] [Me!sabine-think:9001] [C!sabine-think:4498]
Free core.
[20151223-20:40:57.817]: [S/Progr] [Me!sabine-think:9001] [C!sabine-think:4498]
Free core.
[20151223-20:40:58.777]: [S/TstWo] [Me!localhost:9001] [C!sabine-think:4498] 0 t
ests available.
[20151223-20:40:58.777]: [S/Progr] [Me!sabine-think:9001] [C!sabine-think:4498]
Requested: 0, Allocated: 0, Free: 2


Client
[20151223-20:40:57.827]: [C/MaiVM] Updated test MethodName=Short10msTest44, Mess
age=Test passed., Failed=False, Status=Passed, Type=PCG3.TestUnitTests.ManyShort
RunningTests, Server=localhost:9000
[20151223-20:40:57.827]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] Free core.
[20151223-20:40:57.827]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] 3 tests not completed
yet.
[20151223-20:40:57.837]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] Free core.
[20151223-20:40:57.837]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] 2 tests not completed
yet.
[20151223-20:40:58.777]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] Server: localhost:9000
, Allocated: 1
[20151223-20:40:58.777]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] Server: localhost:9001
, Allocated: 0
[20151223-20:40:58.787]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] [Result]
MethodName=Short10msTest50, Message=Test passed., Failed=False, Status=Passed, T
ype=PCG3.TestUnitTests.ManyShortRunningTests, Server=localhost:9000
[20151223-20:40:58.787]: [C/MaiVM] Updated test MethodName=Short10msTest50, Mess
age=Test passed., Failed=False, Status=Passed, Type=PCG3.TestUnitTests.ManyShort
RunningTests, Server=localhost:9000
[20151223-20:40:58.787]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] Free core.
[20151223-20:40:58.787]: [C/Logic] [Me!sabine-think:4498] 1 tests not completed
yet.
[20151223-20:40:58.787]: [C/MaiVM] Distributed tests to servers.

6. Aufgetretene Schwierigkeiten

Es gab folgende Schwierigkeiten:

- Im ViewModel des Clients werden das Übermitteln der Assembly und das Verteilen der Tests an die Server angestoßen. Dies wird in einem eigenen Task gemacht um das Einfrieren der GUI zu vermeiden. Soll nun aus diesem Task heraus die GUI des Client aktualisiert werden, dann ist dies nicht direkt möglich. Die GUI darf nur vom GUI-Thread aktualisiert werden. Um aus einen Task die GUI aktualisieren zu können, muss ein Dispatcher der GUI verwendet werden. Dieser Dispatcher wird beim Starten des Clients an das ViewModel übergeben. Mittels GuiThreadDispatcher.Invoke(() => { … }) kann dann die GUI vom ViewModel aus aktualisiert werden.
- Enthält eine XcoAppSpace-Nachricht Komponenten, welche nicht serialisiert werden können, wird die Nachricht nicht übertragen. In unserem Fall befanden sich in der Klasse `Test` Properties vom Typ `MethodInfo` und vom Typ `Exception`. Die Ursache blieb lange Zeit unentdeckt, da keine Fehler geworfen oder in den Output geschrieben wurden.
- Wartet man auf die Antwort einer Post-Nachricht nicht und wird der Application Space zuvor geschlossen, bekommt man Exceptions vom Typ `System.ObjectDisposedException`. Dies konnten wir vermeiden, indem nun an bestimmten Stellen mittels CountdownEvent gewartet wird.

7. Aufgewendete Zeit

Der aufwändigste und fehlerträchtigste Teil war die Implementierung der Verteilungslogik mittels 3-Schritte-Ansatz und Publish-Subscribe.

Es wurden insgesamt 80 Stunden aufgewendet.