

RWTH AACHEN

# CES Softwareentwicklungspraktikum

Analyse- und Entwurfsdokument - Wärmeleitung

Christian BILAS  
 christian.bilas@rwth-aachen.de, Matrikelnummer: 334829

Robin Tim BROESKE  
 robin.tim.broeske@rwth-aachen.de, Matrikelnummer: 334031

Konstantin KEY  
 konstantin.key@rwth-aachen.de, Matrikelnummer: 332523

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                | <b>1</b>  |
| <b>1 Vorwort</b>   | <b>2</b>  |
| 1.1 Aufgabenstellung und Struktur des Dokument . . . . . | 2         |
| 1.2 Projektmanagement . . . . .                          | 2         |
| 1.3 Lob und Kritik . . . . .                             | 2         |
| <b>2 Analyse</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 Anforderungsanalyse . . . . .                        | 3         |
| 2.1.1 Benutzeranforderungen . . . . .                    | 3         |
| 2.1.2 Anwendungsfallanalyse . . . . .                    | 3         |
| 2.1.2.1 Anwendungsfalldiagramm . . . . .                 | 3         |
| 2.1.2.2 Beschreibungen der Anwendungsfälle . . . . .     | 4         |
| 2.1.2.3 Aktivitätsdiagramme . . . . .                    | 9         |
| 2.1.2.4 Systemanforderungen . . . . .                    | 14        |
| 2.2 Begriffsanalyse . . . . .                            | 15        |
| 2.2.1 Klassenkandidaten . . . . .                        | 15        |
| 2.2.2 Begriffsnetz . . . . .                             | 15        |
| <b>3 Entwurf</b>   | <b>17</b> |
| 3.1 Pakete . . . . .                                     | 17        |
| 3.2 Abstrakte Datentypen . . . . .                       | 17        |
| 3.3 Klassen . . . . .                                    | 17        |
| 3.3.1 Paket algorithms . . . . .                         | 17        |
| 3.3.1.1 IntMethod . . . . .                              | 18        |
| 3.3.1.2 IterativeSolver . . . . .                        | 20        |
| 3.3.2 Paket model . . . . .                              | 21        |
| 3.3.2.1 model . . . . .                                  | 22        |
| 3.3.3 Paket presentation . . . . .                       | 27        |
| 3.3.3.1 UI . . . . .                                     | 28        |
| 3.3.3.2 Controller . . . . .                             | 32        |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                             | <b>42</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                               | <b>43</b> |

# **Kapitel 1**

## **Vorwort**

**1.1 Aufgabenstellung und Struktur des Dokument**

**1.2 Projektmanagement**

**1.3 Lob und Kritik**

# Kapitel 2

## Analyse

### 2.1 Anforderungsanalyse

#### 2.1.1 Benutzeranforderungen

Es soll eine Software zur Simulation der zeitlichen Entwicklung einer Temperaturverteilung in Metallplatten entwickelt werden. Diese sollen die Abmessungen 1 Meter x 1 Meter besitzen. Diese können weiterhin inhomogen sein und somit beliebig ortsabhängige Temperaturleitkoeffizienten besitzen. Außerdem ist es dem Benutzer möglich, sowohl die Start- und Randbedingungen des Wärmeleitungsproblems als auch den Endzeitpunkt der Simulation vorzugeben. Des Weiteren ist es dem Benutzer möglich Wärmequellen und deren Intensität ein- sowie weiterhin die Simulationsparameter der Ortsbeziehungsweise Zeitdiskretisierung vorzugeben. Jegliche Benutzereingaben erfolgen über eine grafische Oberfläche. Nach Abschluss der Berechnung wird das Ergebnis visualisiert und die zeitliche Entwicklung der Temperaturverteilung kann in Form eines Videos untersucht werden.

#### 2.1.2 Anwendungsfallanalyse

##### 2.1.2.1 Anwendungsfalldiagramm

Das Anwendungsfalldiagramm zeigt die Abbildung 2.1.

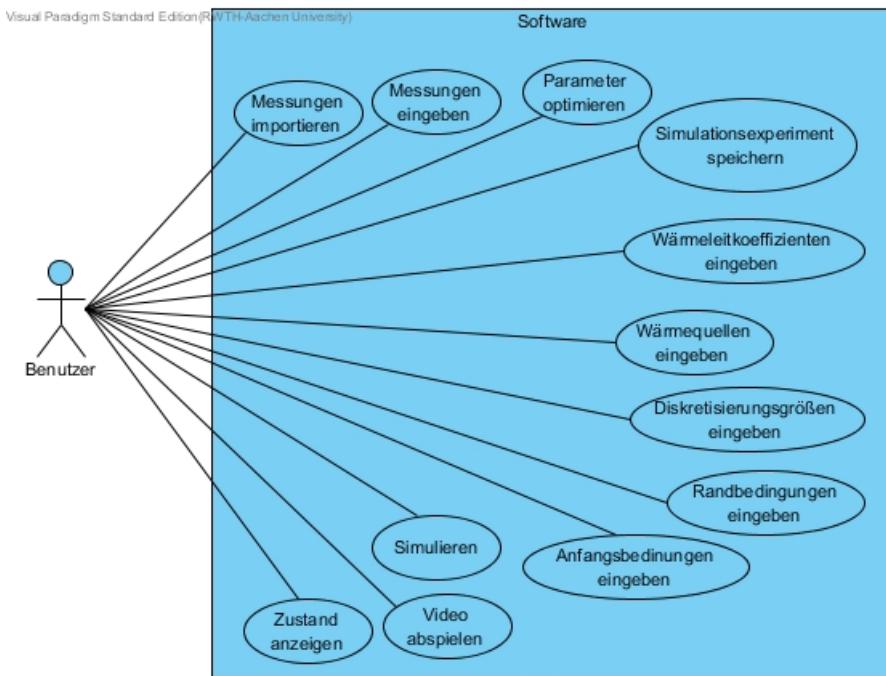


Abbildung 2.1: Anwendungsfalldiagramm

### 2.1.2.2 Beschreibungen der Anwendungsfälle

Die folgenden Tabellen (Tab. 2.1 - 2.11) zeigen die Beschreibungen der Anwendungsfälle.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Name</b>                                | Anfangsbedingungen eingeben   |   |
| <b>Ziel</b>                                | Der Benutzer möchte Anfangsbedingungen vorgeben.  |   |
| <b>Einordnung</b>                          | Basisfunktion   |   |
| <b>Vorbedingung</b>                        | Die Software wird korrekt ausgeführt.   |   |
| <b>Nachbedingung</b>                       | Die Anfangsbedingungen wurden vorgegeben und gespeichert.   |   |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b>         | Die Anfangsbedingungen wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |   |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>                  | Benutzer  |   |
| <b>Auslöser</b>                            | Der Benutzer möchte Anfangsbedingungen vorgeben.  |   |
| <b>Standardfluss</b>                       | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>   |
|  | 1   | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Anfangsbedingungen</i> aus. |
|  | 2   | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.               |
|  | 3   | Der Benutzer gibt die Anfangsbedingungen vor.                   |
|  | 4   | Die Software prüft die eingegebenen Anfangsbedingungen.         |
|  | 5   | Die Software speichert die Anfangsbedingungen.                  |
| <b>Nebenfluss</b>                          | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>   |
| <b>Anfangsbedingungen nicht akzeptiert</b> | 5a.1  | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.                              |
|  | 5a.2  | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                          |
|  | 5a.3  | → Schritt 4   |

Tabelle 2.1: Beschreibung Use Case Anfangsbedingungen eingeben

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Name</b>                                | Diskretisierungsgrößen eingeben   |   |
| <b>Ziel</b>                                | Der Benutzer möchte Diskretisierungsgrößen eingeben.  |   |
| <b>Einordnung</b>                          | Basisfunktion   |   |
| <b>Vorbedingung</b>                        | Die Software wird korrekt ausgeführt.   |   |
| <b>Nachbedingung</b>                       | Die Diskretisierungsgrößen wurden vorgegeben und gespeichert.   |   |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b>         | Die Diskretisierungsgrößen wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |   |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>                  | Benutzer  |   |
| <b>Auslöser</b>                            | Der Benutzer möchte Diskretisierungsgrößen eingeben.  |   |
| <b>Standardfluss</b>                       | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>   |
|  | 1   | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Diskretisierungsgrößen</i> aus.     |
|  | 2   | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.                       |
|  | 3   | Der Benutzer gibt die Stützstellenzahl der Ortsdiskretisierung $n$ ein. |
|  | 4   | Der Benutzer gibt die Stützstellenzahl der Zeitdiskretisierung $m$ ein. |
|  | 5   | Der Benutzer gibt den Endzeitpunkt $T$ ein.                             |
|  | 6   | Die Software prüft die eingegebenen Größen.                             |
|  | 7   | Die Software speichert die eingegebenen Größen.                         |
| <b>Nebenfluss</b>                          | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>   |
| <b>Eingegebene Größen nicht akzeptiert</b> | 7a.1  | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.                                      |
|  | 7a.2  | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                                  |
|  | 7a.3  | → Schritt 6   |

Tabelle 2.2: Beschreibung Use Case Diskretisierungsgrößen eingeben

|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| <b>Name</b>                        | Messungen eingeben   |  |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte experimentelle Daten eingeben.                                   |  |
| <b>Einordnung</b>                  | Basisfunktion  |  |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt.  |  |
| <b>Nachbedingung</b>               | Die eingegebenen Daten wurden gespeichert.   |  |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Die Daten wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |  |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer   |  |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte Messdaten eingeben.  |  |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>   | <b>Aktion</b>  |
|                                    | 1  | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Optimierung</i> aus. |
|                                    | 2  | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.        |
|                                    | 3  | Der Benutzer gibt die Messungen ein.                     |
|                                    | 4  | Die Software prüft die eingegebenen Messwerte.           |
|                                    | 5  | Die Software speichert die Daten.                        |
| <b>Nebenfluss</b>                  | <b>Schritt</b>   | <b>Aktion</b>  |
| Randbedingungen nicht akzeptiert   | 5a.1   | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.                       |
|                                    | 5a.2   | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                   |
|                                    | 5a.3   | → Schritt 4  |

Tabelle 2.3: Beschreibung Use Case Messungen eingeben

|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| <b>Name</b>                        | Messungen importieren  |  |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte experimentelle Daten importieren.                                |  |
| <b>Einordnung</b>                  | Basisfunktion  |  |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt.  |  |
| <b>Nachbedingung</b>               | Die ausgewählten Daten wurden geladen.   |  |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Die Daten wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |  |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer   |  |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte Messdaten importieren.   |  |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>   | <b>Aktion</b>  |
|                                    | 1  | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Optimierung</i> aus. |
|                                    | 2  | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.        |
|                                    | 3  | Der Benutzer wählt die entsprechende Datei aus.          |
|                                    | 4  | Die Software prüft die angegebene Datei.                 |
|                                    | 5  | Die Software wertet die Datei aus.                       |
| <b>Nebenfluss</b>                  | <b>Schritt</b>   | <b>Aktion</b>  |
| Randbedingungen nicht akzeptiert   | 5a.1   | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.                       |
|                                    | 5a.2   | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                   |
|                                    | 5a.3   | → Schritt 4  |

Tabelle 2.4: Beschreibung Use Case Messungen importieren

|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| <b>Name</b>                        | Randbedingungen eingeben   |  |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte Randbedingungen vorgeben.  |  |
| <b>Einordnung</b>                  | Basisfunktion  |  |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt.  |  |
| <b>Nachbedingung</b>               | Die Randbedingungen wurden vorgegeben und gespeichert.   |  |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Die Randbedingungen wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |  |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer   |  |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte Randbedingungen vorgeben.  |  |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>   | <b>Aktion</b>  |
|                                    | 1  | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Randbedingungen</i> aus. |
|                                    | 2  | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.            |
|                                    | 3  | Der Benutzer gibt die Randbedingungen vor.                   |
|                                    | 4  | Die Software prüft die eingegebenen Randbedingungen.         |
|                                    | 5  | Die Software speichert die Randbedingungen.                  |
| <b>Nebenfluss</b>                  | <b>Schritt</b>   | <b>Aktion</b>  |
| Randbedingungen nicht akzeptiert   | 5a.1   | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.                           |
|                                    | 5a.2   | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                       |
|                                    | 5a.3   | → Schritt 4  |

Tabelle 2.5: Beschreibung Use Case Randbedingungen eingeben

|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| <b>Name</b>                        | Parameter optimieren   |  |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte die Wärmeleitkoeffizienten optimal im Sinne kleinsten Fehlerquadrat an experimentelle Daten anpassen lassen. |  |
| <b>Einordnung</b>                  | Hauptfunktion  |  |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt.  |  |
| <b>Nachbedingung</b>               | Die Parameter wurden optimiert.  |  |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Die Daten wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben.   |  |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer   |  |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte die Wärmeleitkoeffizienten optimieren lassen.  |  |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>   | <b>Aktion</b>  |
|                                    | 1  | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Optimierung</i> aus.             |
|                                    | 2  | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.                    |
|                                    | 3  | Der Benutzer startet die Optimierung.                                |
|                                    | 4  | Die Software setzt das Ergebnis als aktuelle Wärmeleitkoeffizienten. |

Tabelle 2.6: Beschreibung Use Case Parameter optimieren

|                                    |   |   |
|------------------------------------|---|---|
| <b>Name</b>                        | Simulieren  |   |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte simulieren.   |   |
| <b>Einordnung</b>                  | Hauptfunktion   |   |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt.   |   |
| <b>Nachbedingung</b>               | Die Simulation wurde ausgeführt.  |   |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Die Simulation wurden nicht ausgeführt und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |   |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer  |   |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte die Simulation starten.   |   |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>   |
|                                    | 1   | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Simulieren</i> aus.   |
|                                    | 2   | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.         |
|                                    | 3   | Der Benutzer drückt den Knopf <i>Simulieren</i> .         |
|                                    | 4   | Die Software simuliert.                                   |
|                                    | 5   | Die Software wechselt zu dem Menü <i>Visualisierung</i> . |
|                                    | 6   | Die Software stellt den Endzustand dar.                   |

Tabelle 2.7: Beschreibung Use Case Simulieren

|                                    |   |   |
|------------------------------------|---|---|
| <b>Name</b>                        | Video abspielen   |   |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte die zeitliche Entwicklung der Temperaturverteilung untersuchen.         |   |
| <b>Einordnung</b>                  | Hauptfunktion   |   |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt und es wurde eine Simulation erfolgreich durchgeführt. |   |
| <b>Nachbedingung</b>               | Das Video wird abgespielt.  |   |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Das Video wurde nicht abgespielt und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben.       |   |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer  |   |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte die zeitliche Entwicklung der Temperaturverteilung untersuchen.         |   |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>   |
|                                    | 1   | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Visualisierung</i> aus. |
|                                    | 2   | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.           |
|                                    | 3   | Der Benutzer startet das Video.                             |
|                                    | 4   | Die Software spielt das Video ab.                           |

Tabelle 2.8: Beschreibung Use Case Video abspielen

|                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
| <b>Name</b>                        | Wärmeleitkoeffizienten eingeben   |  |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte Wärmeleitkoeffizienten eingeben.  |  |
| <b>Einordnung</b>                  | Basisfunktion   |  |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt.   |  |
| <b>Nachbedingung</b>               | Die Wärmeleitkoeffizienten wurden eingegeben und gespeichert.   |  |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Die Wärmeleitkoeffizienten wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |  |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer  |  |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte Wärmeleitkoeffizienten eingeben.  |  |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>  |
|                                    | 1   | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Wärmeleitkoeffizienten</i> aus.        |
|                                    | 2   | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.                          |
|                                    | 3   | Der Benutzer wählt auf der Darstellung der Platte die gewünschten Gebiete. |
|                                    | 4   | Die Software prüft die eingegebenen Gebiete.                               |
|                                    | 5   | Der Benutzer wählt die Werte für die einzelnen Gebiete.                    |
|                                    | 6   | Die Software prüft die eingegebenen Werte.                                 |
|                                    | 7   | Die Software speichert die Gebiete und die Werte.                          |
| <b>Nebenfluss</b>                  | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>  |
| Gebiet nicht akzeptiert            | 5a.1  | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.   |
|                                    | 5a.2  | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                                     |
|                                    | 5a.3  | → Schritt 4  |
| Werte nicht akzeptiert             | 7a.1  | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.   |
|                                    | 7a.2  | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                                     |
|                                    | 7a.3  | → Schritt 6  |

Tabelle 2.9: Beschreibung Use Case Wärmeleitkoeffizienten eingeben

|                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
| <b>Name</b>                        | Wärmequellen eingeben   |  |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte Wärmequellen eingeben.  |  |
| <b>Einordnung</b>                  | Basisfunktion   |  |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt.   |  |
| <b>Nachbedingung</b>               | Die Wärmequellen wurden eingegeben und gespeichert.   |  |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Die Wärmequellen wurden nicht geändert und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben. |  |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer  |  |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte Wärmequellen eingeben.  |  |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>  |
|                                    | 1   | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Wärmequellen</i> aus.                  |
|                                    | 2   | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.                          |
|                                    | 3   | Der Benutzer wählt auf der Darstellung der Platte die gewünschten Gebiete. |
|                                    | 4   | Die Software prüft die eingegebenen Gebiete.                               |
|                                    | 5   | Der Benutzer wählt die Werte für die einzelnen Gebiete.                    |
|                                    | 6   | Die Software prüft die eingegebenen Werte.                                 |
|                                    | 7   | Die Software speichert die Gebiete sowie die Werte.                        |
| <b>Nebenfluss</b>                  | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>  |
| Gebiet nicht akzeptiert            | 5a.1  | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.   |
|                                    | 5a.2  | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                                     |
|                                    | 5a.3  | → Schritt 4  |
| Werte nicht akzeptiert             | 7a.1  | Eine Fehlermeldung wird angezeigt.   |
|                                    | 7a.2  | Der Benutzer korrigiert seine Eingabe.                                     |
|                                    | 7a.3  | → Schritt 6  |

Tabelle 2.10: Beschreibung Use Case Wärmequellen eingeben

|                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
| <b>Name</b>                        | Zustand anzeigen  |  |
| <b>Ziel</b>                        | Der Benutzer möchte ein Zustand anzeigen lassen.  |  |
| <b>Einordnung</b>                  | Hauptfunktion   |  |
| <b>Vorbedingung</b>                | Die Software wird korrekt ausgeführt und es wurde eine Simulation erfolgreich durchgeführt. |  |
| <b>Nachbedingung</b>               | Der Zustand wird angezeigt.   |  |
| <b>Nachbedingung im Fehlerfall</b> | Der Zustand wurde nicht angezeigt und entsprechende Fehlermeldungen wurden ausgegeben.      |  |
| <b>Haupt-Neben-Akteur</b>          | Benutzer  |  |
| <b>Auslöser</b>                    | Der Benutzer möchte ein Zustand anzeigen lassen.  |  |
| <b>Standardfluss</b>               | <b>Schritt</b>  | <b>Aktion</b>  |
|                                    | 1   | Der Benutzer wählt den Menüpunkt <i>Visualisierung</i> aus.                            |
|                                    | 2   | Die Software wechselt zu dem entsprechenden Menü.                                      |
|                                    | 3   | Der Benutzer wählt per Maus den Zeitpunkt des Zustands, den er betrachten möchte, aus. |
|                                    | 4   | Die Software zeigt den Zustand an.   |

Tabelle 2.11: Beschreibung Use Case Zustand anzeigen

### 2.1.2.3 Aktivitätsdiagramme

Die folgenden Abbildungen (Abb. 2.2 - 2.13) zeigen die Aktivitätsdiagramme der Anwendungsfälle.

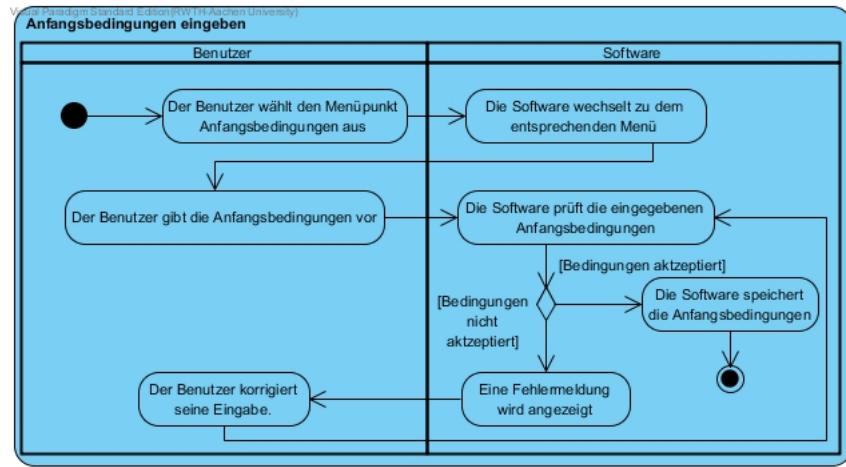


Abbildung 2.2: Aktivitätsdiagramm Use Case Anfangsbedingungen eingeben

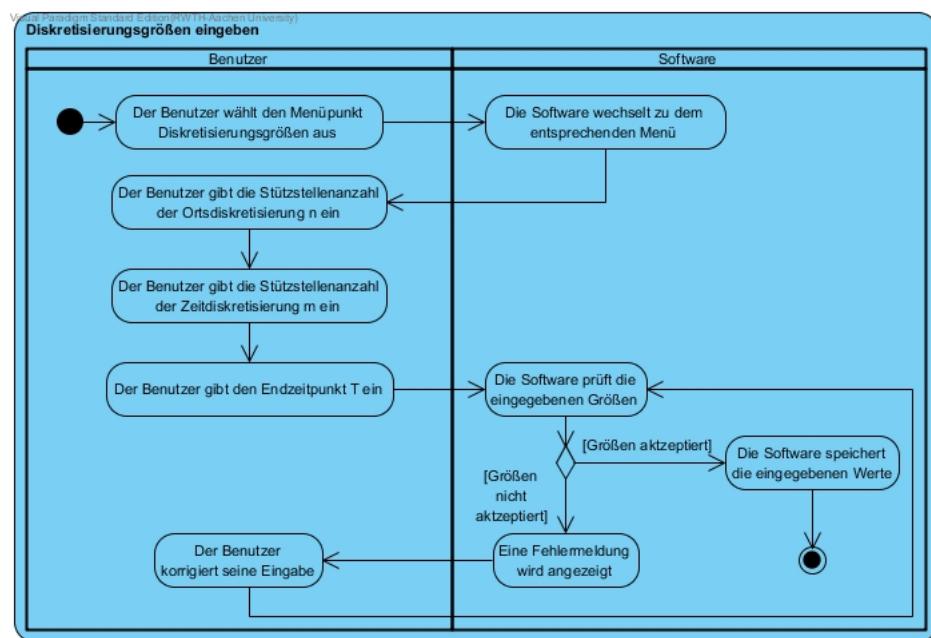


Abbildung 2.3: Aktivitätsdiagramm Use Case Diskretisierungsgrößen eingeben

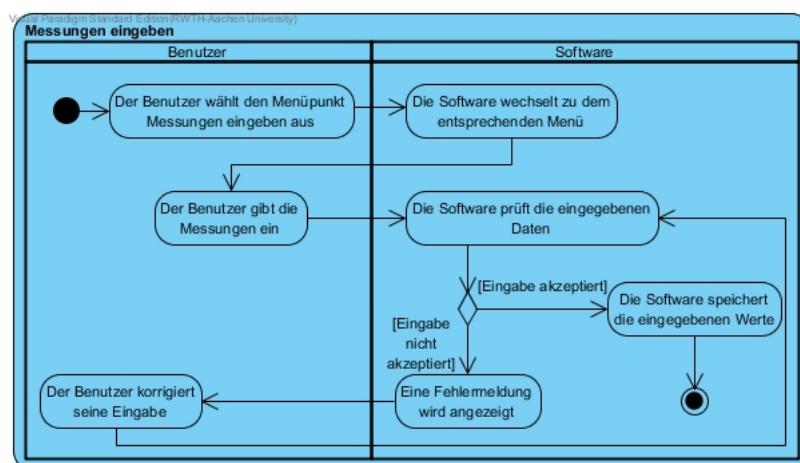


Abbildung 2.4: Aktivitätsdiagramm Use Case Messungen eingeben

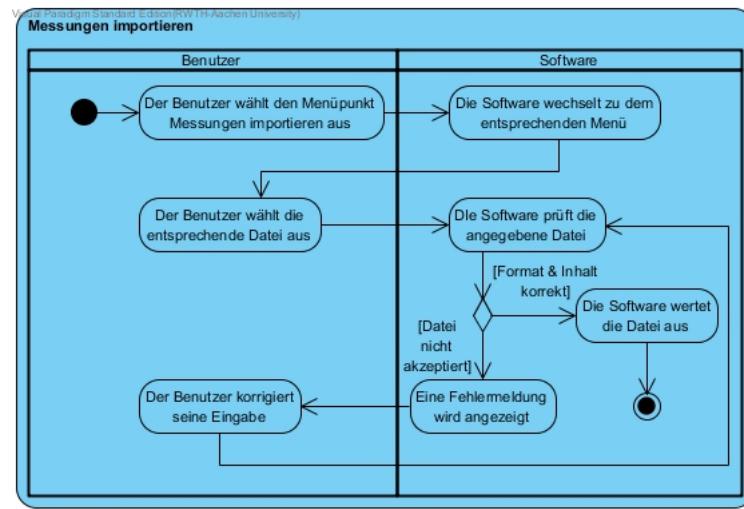


Abbildung 2.5: Aktivitätsdiagramm Use Case Messungen importieren

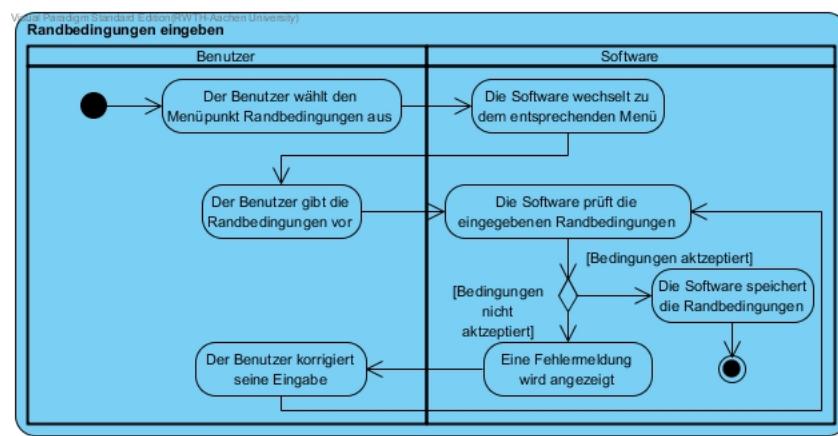


Abbildung 2.6: Aktivitätsdiagramm Use Case Randbedingungen eingeben

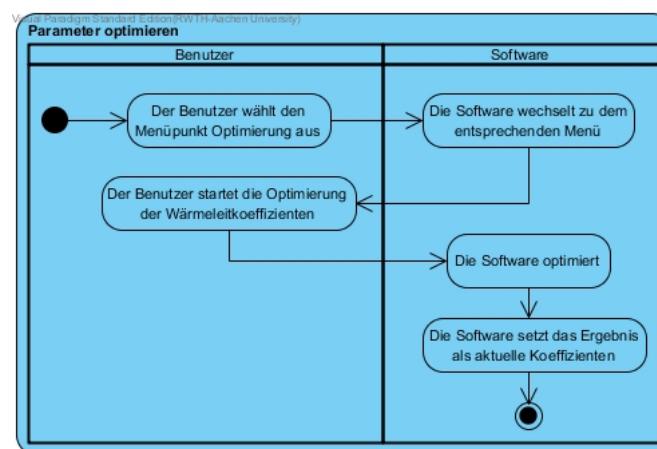


Abbildung 2.7: Aktivitätsdiagramm Use Case Parameter optimieren

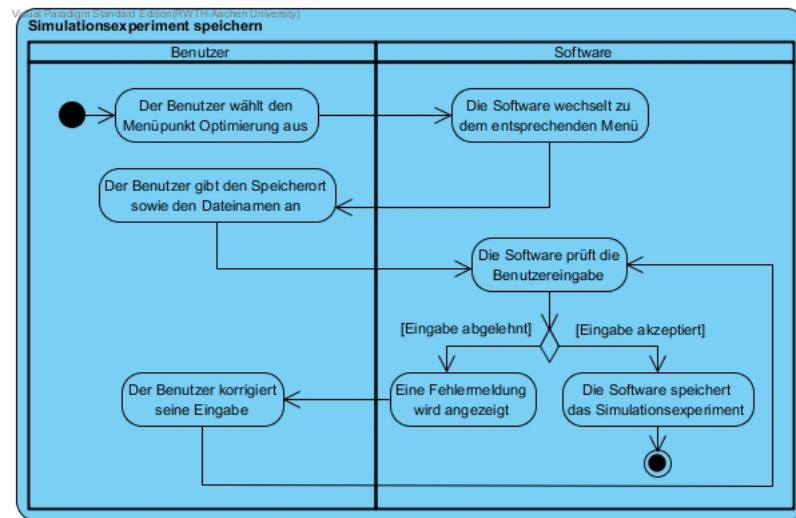


Abbildung 2.8: Aktivitätsdiagramm Use Case Simulationsexperiment speichern

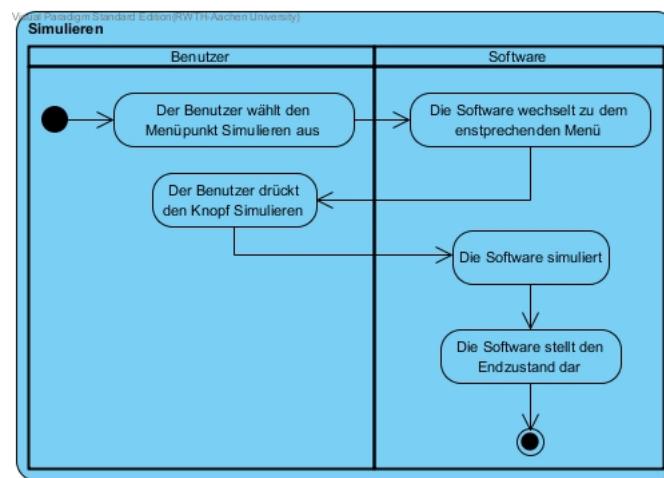


Abbildung 2.9: Aktivitätsdiagramm Use Case Simulieren

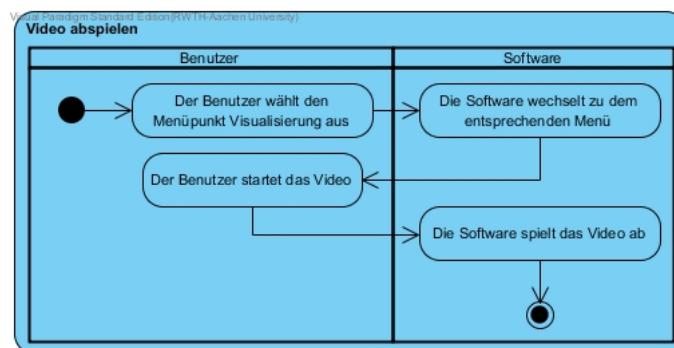


Abbildung 2.10: Aktivitätsdiagramm Use Case Video abspielen

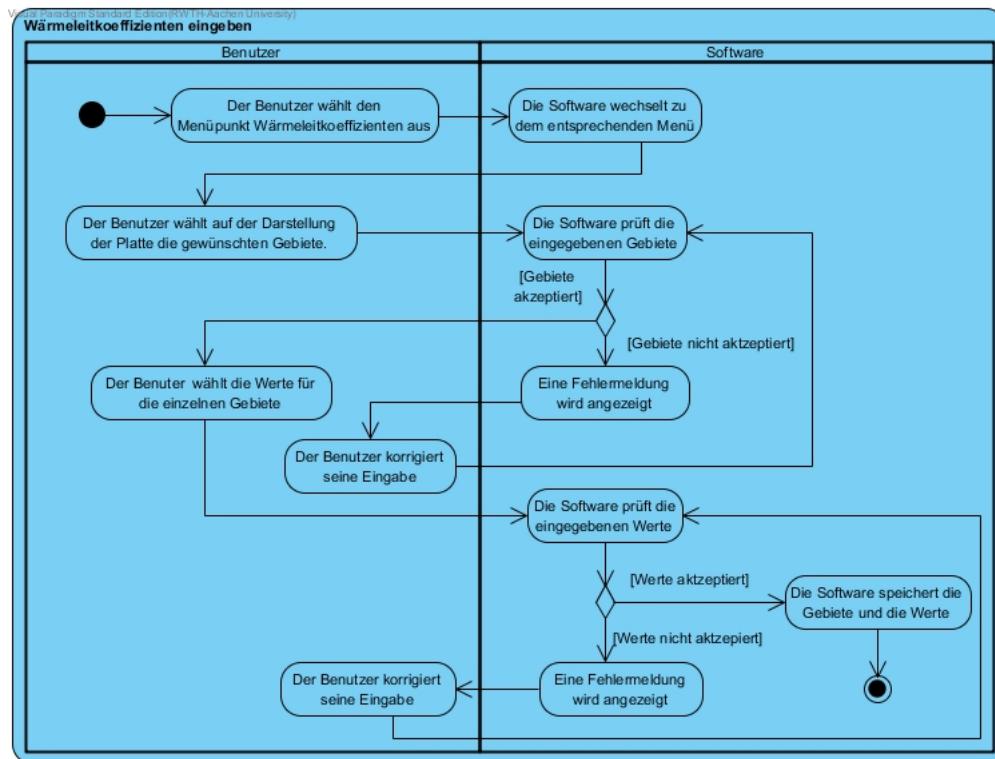


Abbildung 2.11: Aktivitätsdiagramm Use Case Wärmeleitkoeffizienten eingeben

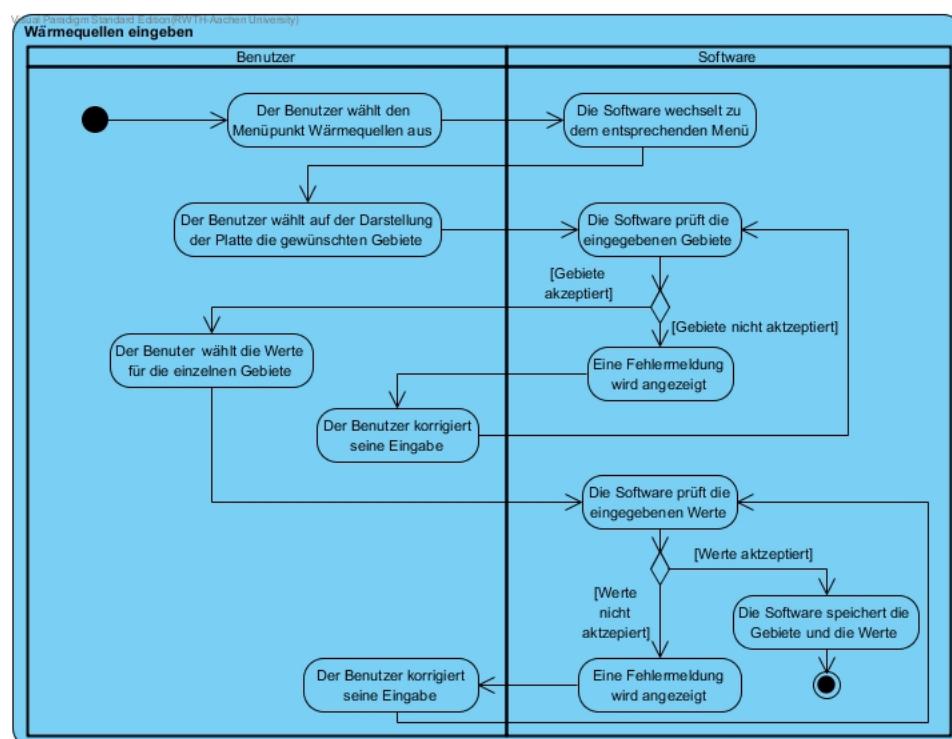


Abbildung 2.12: Aktivitätsdiagramm Use Case Wärmequellen eingeben

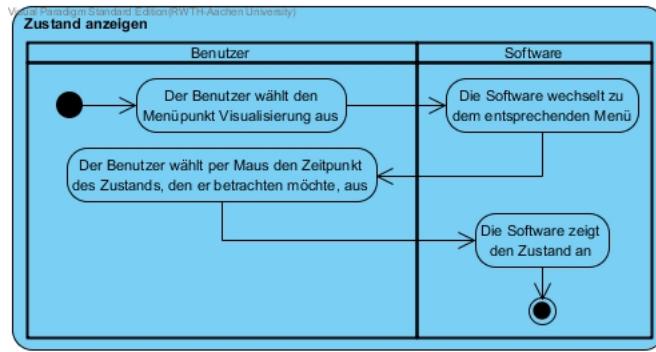


Abbildung 2.13: Aktivitätsdiagramm Use Case Zustand anzeigen

### 2.1.2.4 Systemanforderungen

#### Funktionale Anforderungen

1. Der Benutzer kann mit linken Mausklicks Gebiete der Wärmeleitkoeffizienten eingeben und deren Werte per Tastatur festlegen.
2. Der Benutzer kann mit linken Mausklicks Wärmequellen eingeben und deren Werte per Tastatur festlegen.
3. Um das Problem zu spezifizieren, kann der Benutzer Funktionen für die Anfangs- und Randbedingungen vorgeben.
4. Die Diskretisierungsparameter (Stützstellenzahlen der Orts- beziehungsweise Zeitdiskretisierungen sowie den Endzeitpunkt der Simulation) & Simulationsparameter (Integrationsverfahren) können durch den Benutzer festgelegt werden.
5. Die Simulation kann per Knopfdruck durch den Benutzer gestartet werden.
6. Der Benutzer kann sich die zeitliche Entwicklung der Temperaturverteilung als Video oder einen Zustand als Standbild anzeigen lassen.
7. Die Software kann durch den Benutzer per Knopfdruck auf den Ausgangszustand zurückgesetzt werden.
8. Der Benutzer kann sich eine Hilfe zur Benutzung der Software anzeigen lassen.

#### Nicht-funktionale Anforderungen

1. Dokumentation der Implementierung mittels Doxygen
2. Grafische Oberfläche mit Qt
3. Einfache Erweiterbarkeit um weitere Simulationsmethoden
4. Lauffähig unter Windows und Linux (insbesondere auf dem RWTH Aachen Cluster)
5. Grafische Oberfläche skaliert korrekt bei Veränderung der Fenstergröße
6. Die Berechnung im Laufe der Simulation soll innerhalb von maximal 45 Sekunden abgeschlossen sein.

## 2.2 Begriffsanalyse

### 2.2.1 Klassenkandidaten

- Platte → Gitter
- Temperaturverteilung
- Temperaturkoeffizient (→ durch *Area* implementiert)
- Wärmequellen (→ durch *Area* implementiert)
- **Function**
  - Startbedingung (→ durch *Function* implementiert)
  - Randbedingung (→ durch *Function* implementiert)
  - Endzeitpunkt, Stützstellenzahl (Ort- & Zeitdiskretisierung)
  - Simulation
- Problem + Ergebnis → **Model**
- Zustand/Video
- Fehlermeldung (→ durch GUI implementiert)
- **Area**
- **IntMethod** → **ImpEuler**, ...
- **IterativeSolver** → **Jacobi**, ...

### 2.2.2 Begriffsnetz

Abbildung 2.14 zeigt das Begriffsnetz.

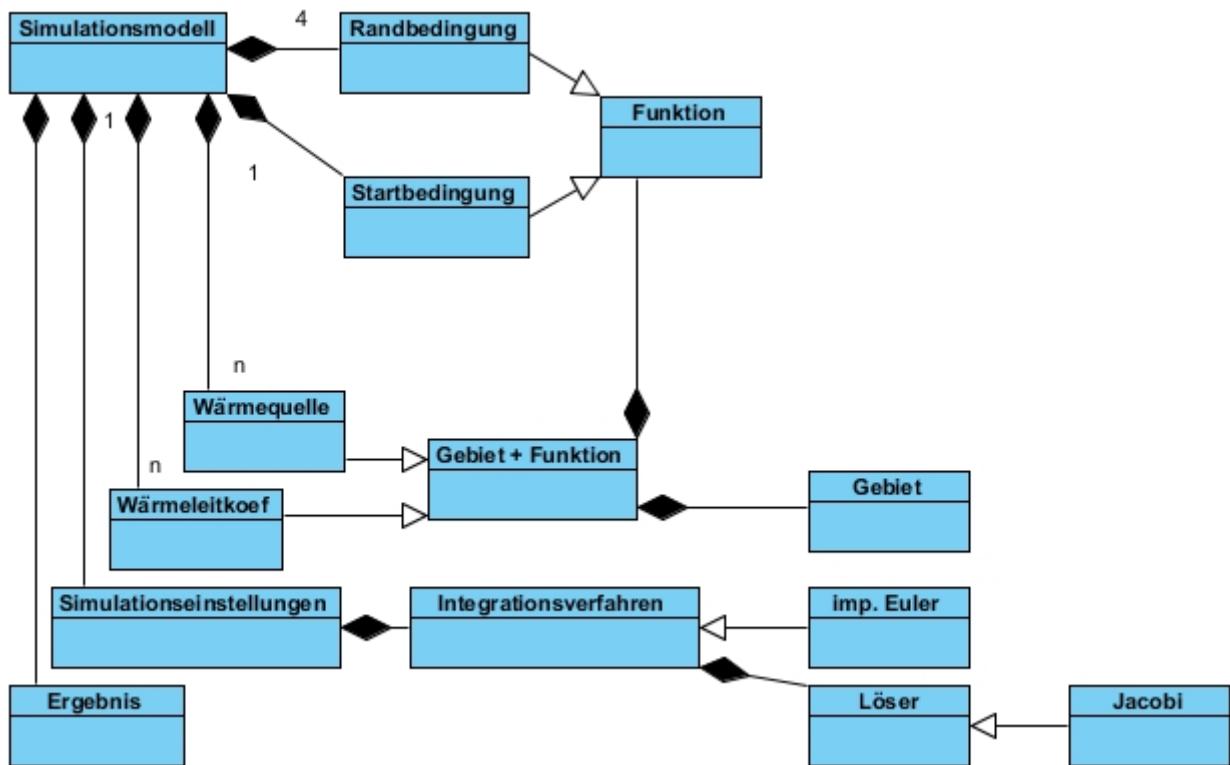


Abbildung 2.14: Begriffsnetz

# Kapitel 3

## Entwurf

### 3.1 Pakete

Unsere Software gliedert sich in drei Pakete, deren Struktur in Abbildung 3.1 dargestellt ist.

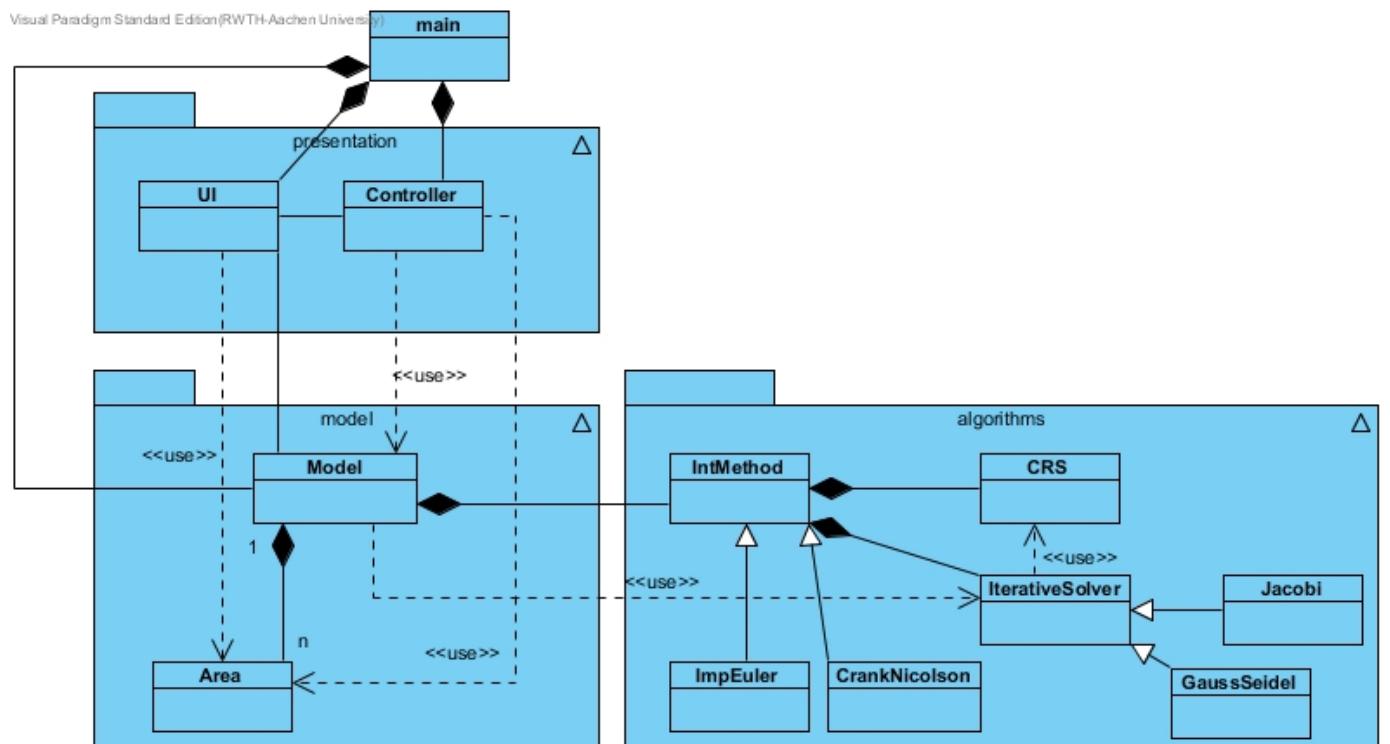


Abbildung 3.1: Paketstruktur

### 3.2 Abstrakte Datentypen

### 3.3 Klassen

Nachfolgend sind die Klassen-/Sequenzdiagramme nach Paketen sortiert aufgelistet.

Dabei werden keine Sequenzdiagramme gezeigt, falls es sich um Methoden ohne Kommunikation mit anderen Objekten handelt, insbesondere auch getter-Funktionen, Funktionen die Algorithmen implementieren.

#### 3.3.1 Paket algorithms

Das Klassendiagramm in Abbildung 3.2 zeigt alle im Paket *algorithms* enthaltene Klassen.

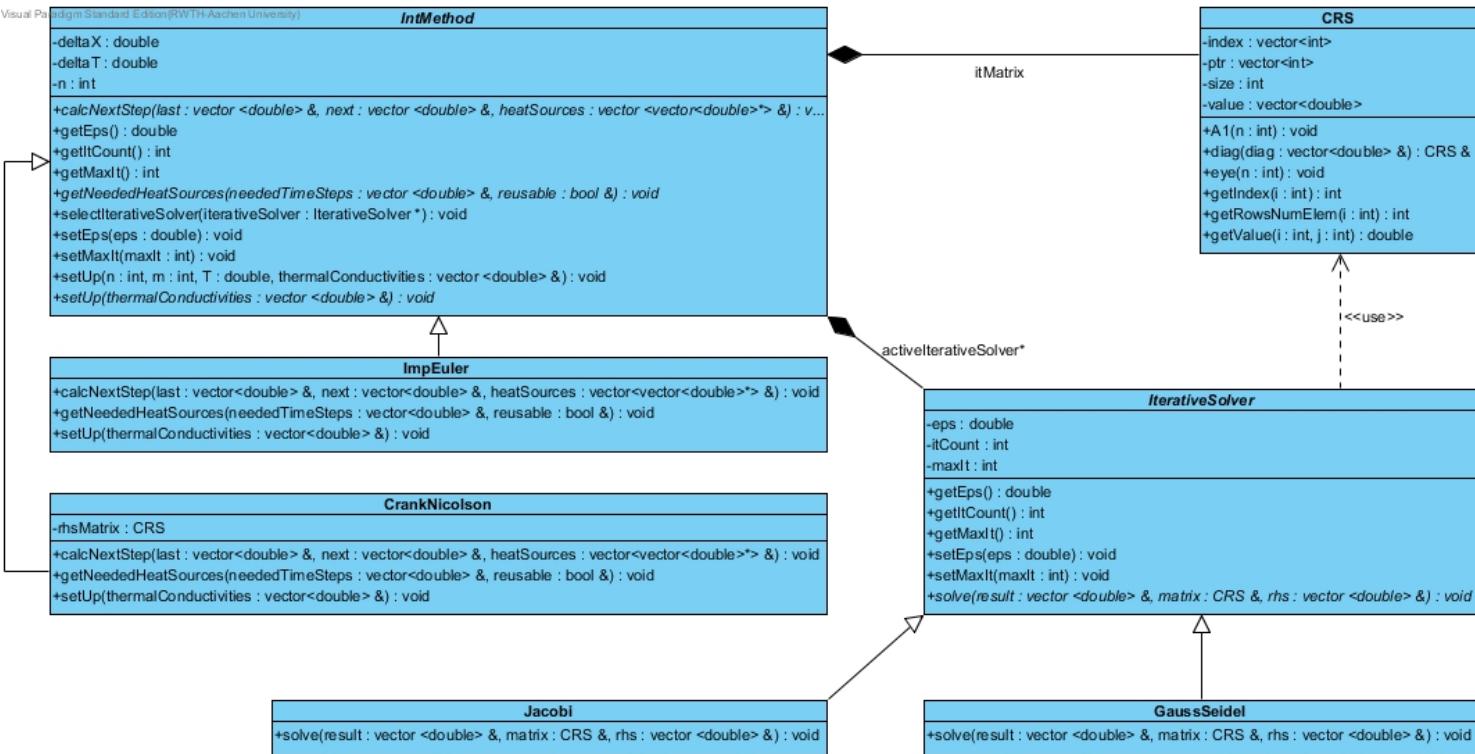


Abbildung 3.2: Klassendiagramm algorithms

### 3.3.1.1 IntMethod

#### calcNextStep

Das Sequenzdiagramm für *calcNextStep* ist in 3.3 dargestellt. *calcNextStep* berechnet die Approximation der Temperaturverteilung zum nächsten Zeitpunkt unter Verwendung der aktuellen Verteilung sowie der eingegebenen Wärmeleitkoeffizienten und Wärmequellen.

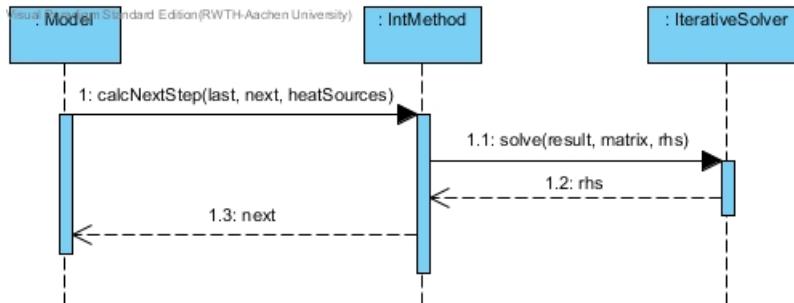


Abbildung 3.3: Sequenzdiagramm calcNextStep

#### selectIterativeSolver

Das Sequenzdiagramm für *selectIterativeSolver* ist in 3.4 dargestellt. *selectIterativeSolver* setzt den gewählten iterativen Löser.

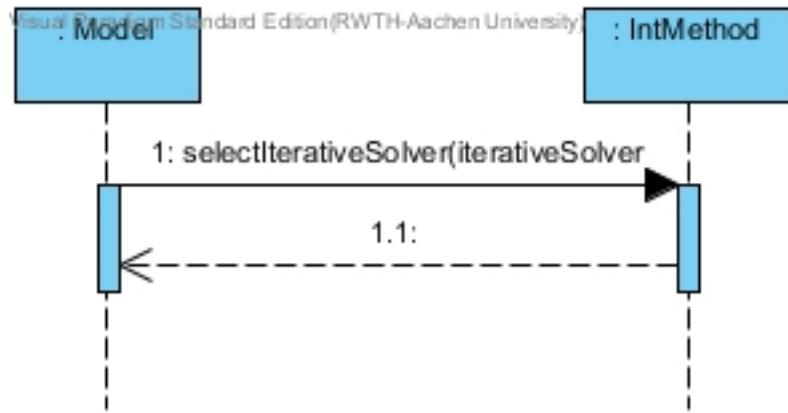


Abbildung 3.4: Sequenzdiagramm `selectIterativeSolver`

### `setEps`

Das Sequenzdiagramm für `setEps` ist in 3.5 dargestellt. `setEps` setzt die gewählte relative Fehlerschranke für den Löser.

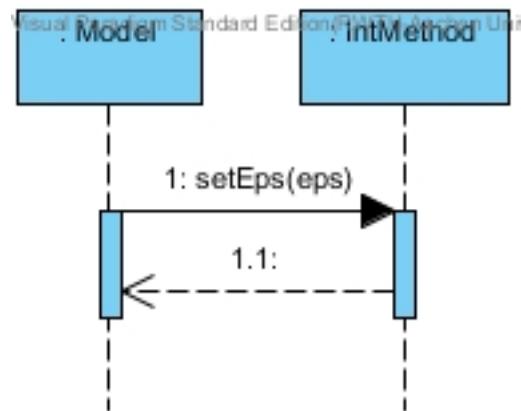


Abbildung 3.5: Sequenzdiagramm `setEps`

### `setMaxIt`

Das Sequenzdiagramm für `setMaxIt` ist in 3.6 dargestellt. `setMaxIts` setzt die gewählte maximale Iterationsanzahl für den Löser.

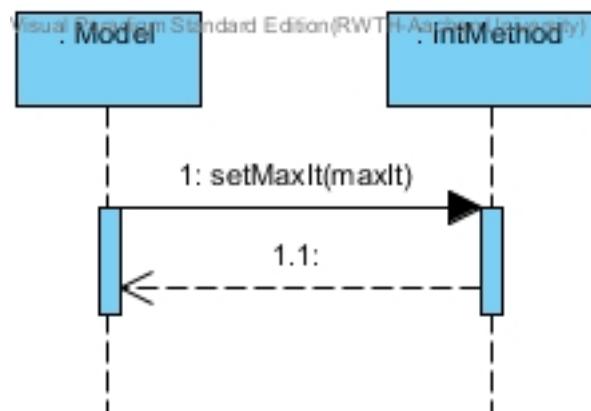


Abbildung 3.6: Sequenzdiagramm `setMaxIt`

### `setUp`

Das Sequenzdiagramm für `setUp` ist in 3.7 dargestellt. `setUp` bereitet die Simulationsberechnung vor.

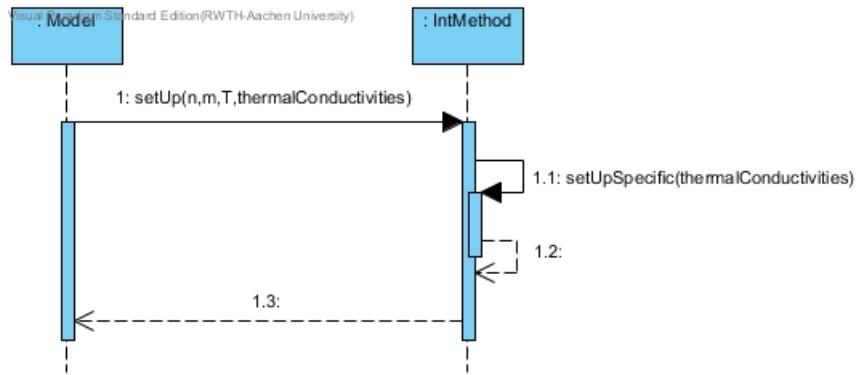


Abbildung 3.7: Sequenzdiagramm *setUp*

### **setUpSpecific**

Das Sequenzdiagramm für *setUpSpecific* ist in 3.8 dargestellt. *setUpSpecific* trifft für die gewählte Integrationsmethode spezifische Vorbereitungen.

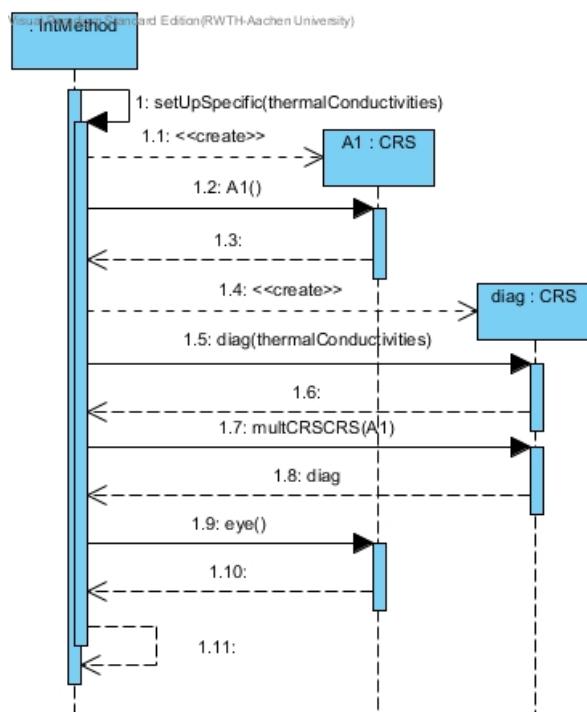


Abbildung 3.8: Sequenzdiagramm *setUpSpecific*

#### 3.3.1.2 IterativeSolver

##### **setEps**

Das Sequenzdiagramm für *setEps* ist in 3.9 dargestellt. *setEps* setzt die gewählte relative Genauigkeit.

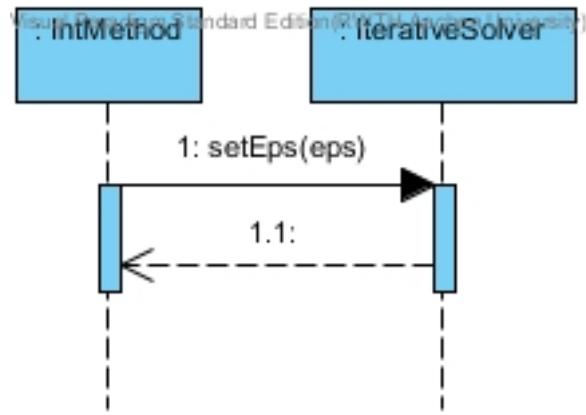


Abbildung 3.9: Sequenzdiagramm `setEps`

### `setMaxIt`

Das Sequenzdiagramm für `setMaxIt` ist in Abbildung 3.10 dargestellt. `setMaxIt` setzt die gewählte maximale Iterationsanzahl.

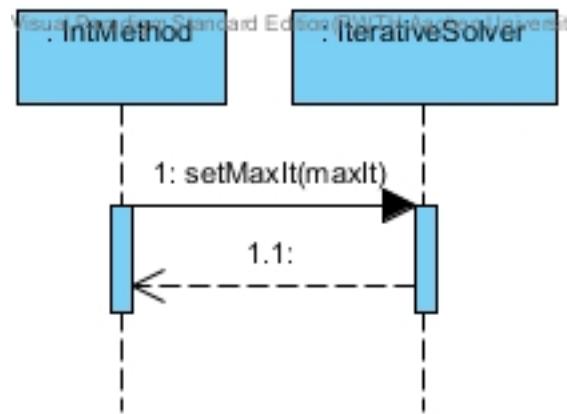


Abbildung 3.10: Sequenzdiagramm `setMaxIt`

### 3.3.2 Paket `model`

Das Klassendiagramm in Abbildung 3.11 zeigt alle im Paket `model` enthaltene Klassen.

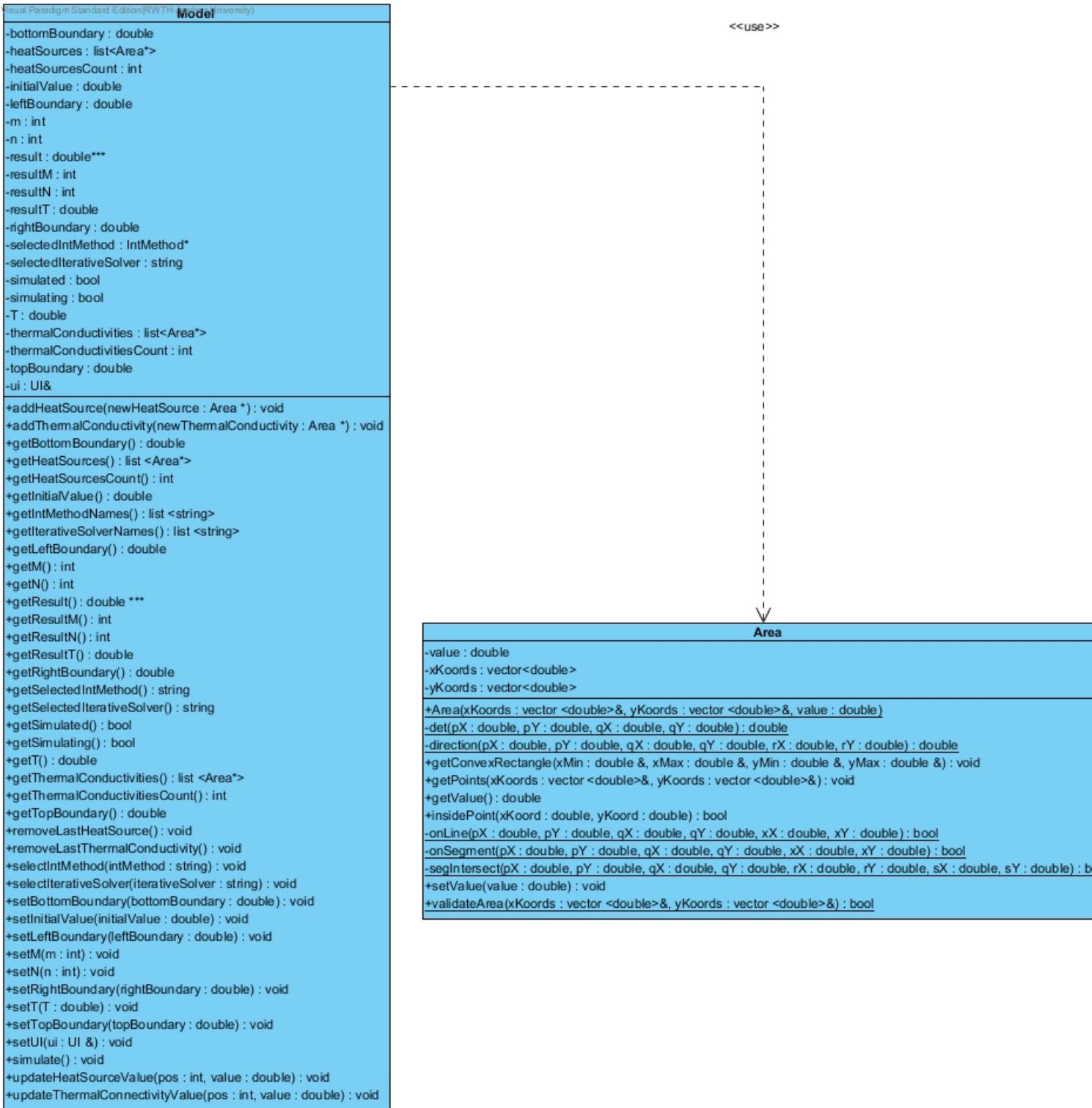


Abbildung 3.11: Klassendiagramm model

### 3.3.2.1 model

#### addHeatSource

Das Sequenzdiagramm für *addHeatSource* ist in 3.12 dargestellt. *addHeatSource* fügt eine weitere Wärmequelle hinzu.

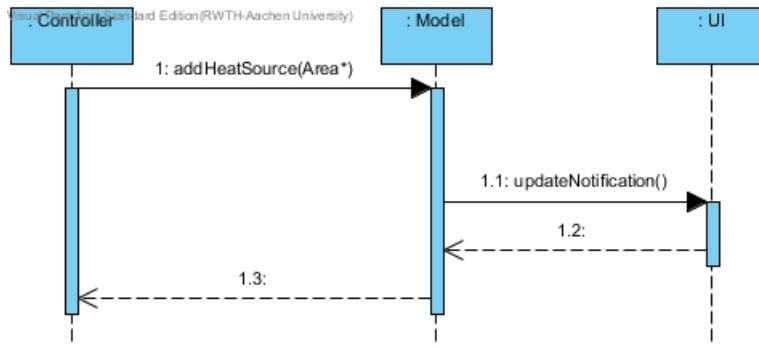


Abbildung 3.12: Sequenzdiagramm addHeatSource

### **addThermalConductivity**

Das Sequenzdiagramm für `addThermalConductivity` ist in 3.13 dargestellt. `addThermalConductivity` fügt ein durch den Nutzer gewähltes Gebiet mit zugehörigem Wärmeleitkoeffizienten hinzu.

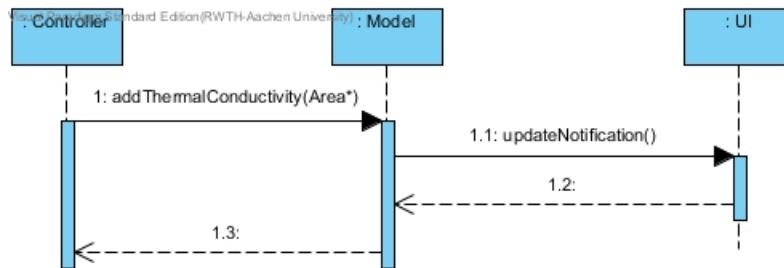


Abbildung 3.13: Sequenzdiagramm addThermalConductivity

### **removeLastHeatSource**

Das Sequenzdiagramm für `removeLastHeatSource` ist in 3.14 dargestellt.

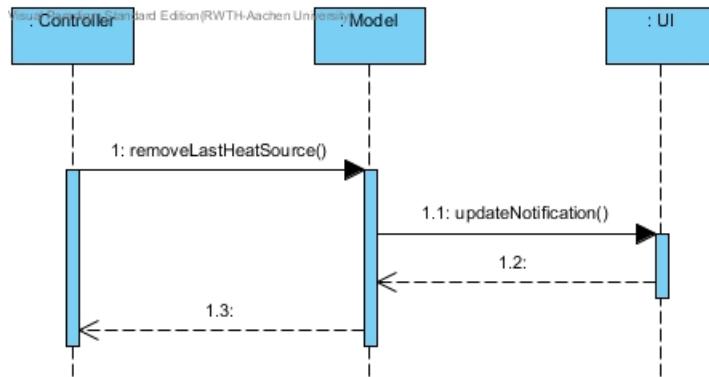


Abbildung 3.14: Sequenzdiagramm removeLastHeatSource

### **removeLastThermalConductivity**

Das Sequenzdiagramm für `removeLastThermalConductivity` ist in 3.15 dargestellt.

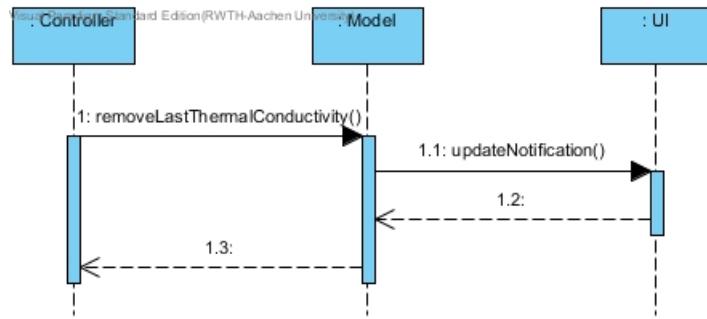


Abbildung 3.15: Sequenzdiagramm `removeLastThermalConductivity`

### **selectIntMethod**

Das Sequenzdiagramm für `selectIntMethod` ist in 3.16 dargestellt.

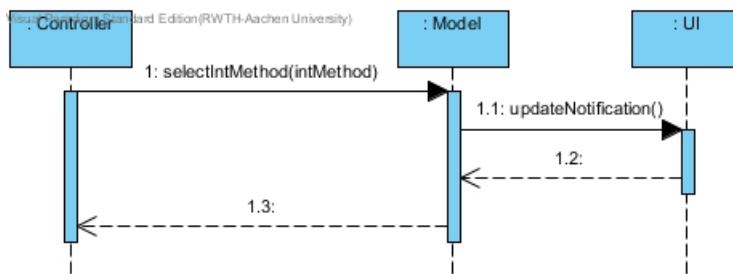


Abbildung 3.16: Sequenzdiagramm `selectIntMethod`

### **selectIterativeSolver**

Das Sequenzdiagramm für `selectIterativeSolver` ist in 3.17 dargestellt.

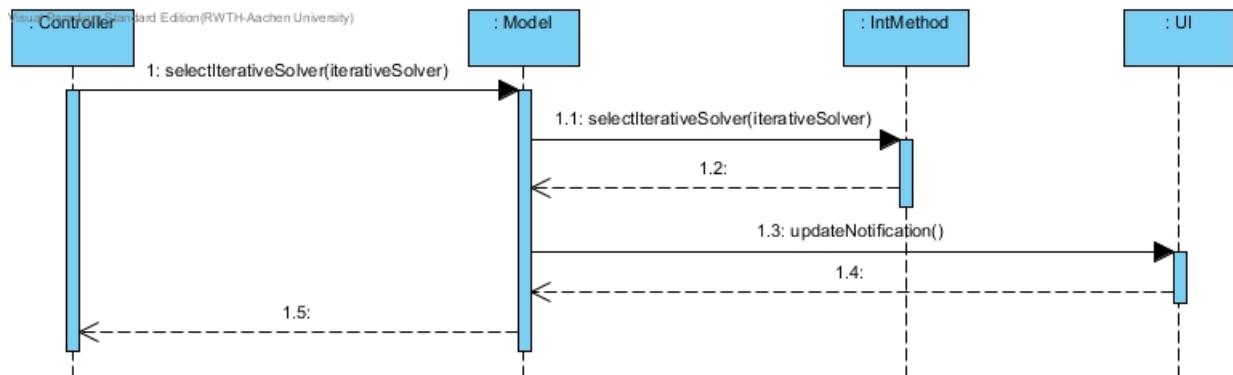


Abbildung 3.17: Sequenzdiagramm `selectIterativeSolver`

### **setBottomBoundary**

Das Sequenzdiagramm für `setBottomBoundary` ist in 3.18 dargestellt.

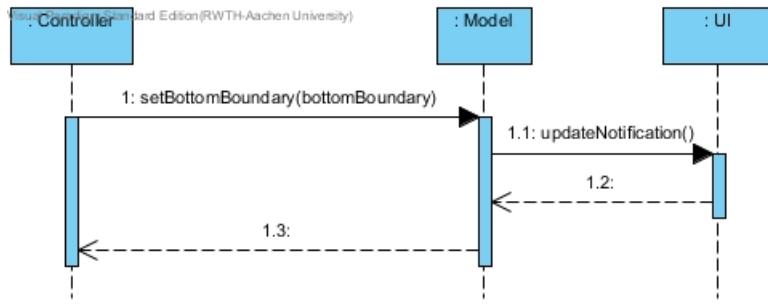


Abbildung 3.18: Sequenzdiagramm `setBottomBoundary`

### `setInitialValue`

Das Sequenzdiagramm für `setInitialValue` ist in 3.19 dargestellt.

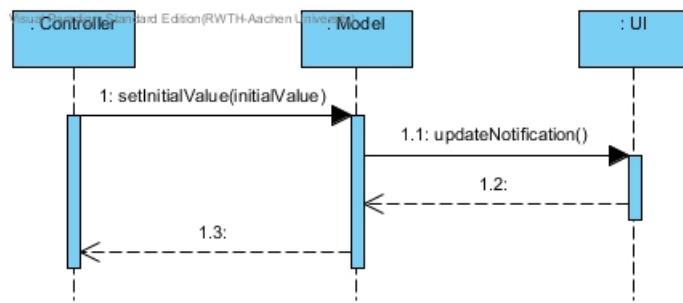


Abbildung 3.19: Sequenzdiagramm `setInitialValue`

### `setLeftBoundary`

Das Sequenzdiagramm für `setLeftBoundary` ist in 3.20 dargestellt.

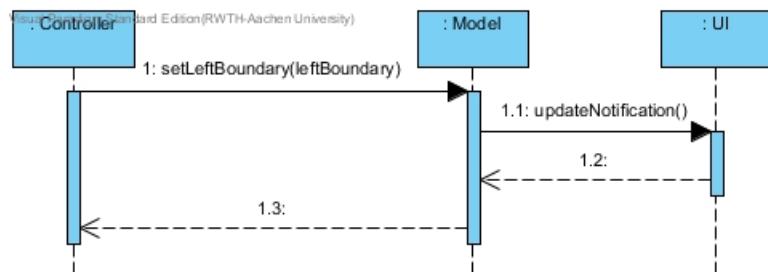


Abbildung 3.20: Sequenzdiagramm `setLeftBoundary`

### `setM`

Das Sequenzdiagramm für `setM` ist in 3.21 dargestellt.

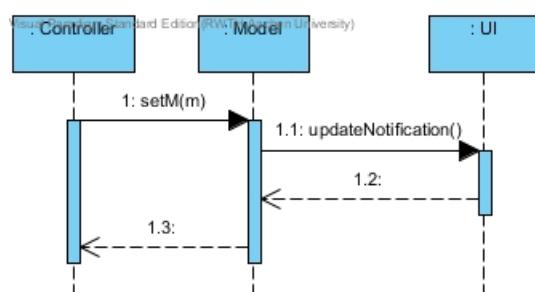


Abbildung 3.21: Sequenzdiagramm `setM`

## setN

Das Sequenzdiagramm für *setN* ist in 3.22 dargestellt.

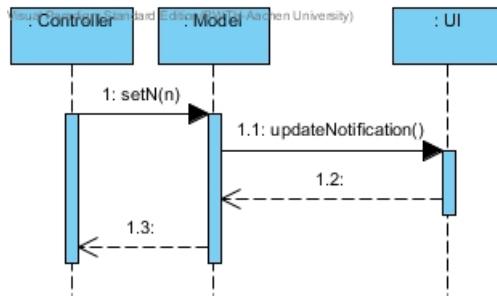


Abbildung 3.22: Sequenzdiagramm setN

## setRightBoundary

Das Sequenzdiagramm für *setRightBoundary* ist in 3.23 dargestellt.

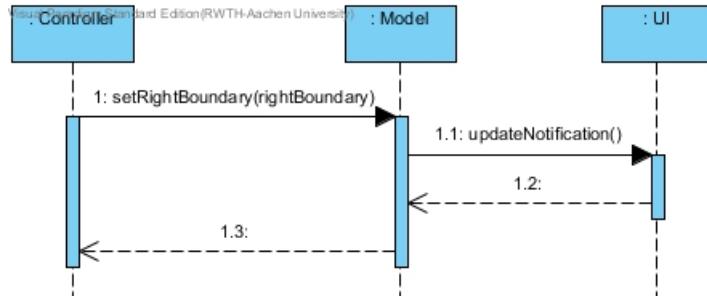


Abbildung 3.23: Sequenzdiagramm setRightBoundary

## setT

Das Sequenzdiagramm für *setT* ist in 3.24 dargestellt.

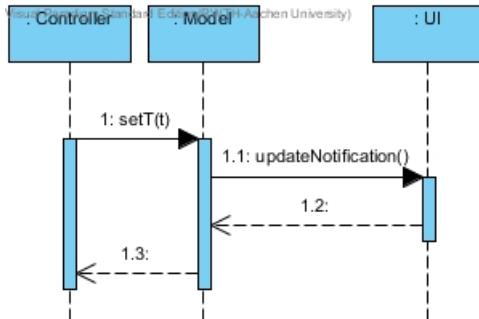


Abbildung 3.24: Sequenzdiagramm setT

## setTopBoundary

Das Sequenzdiagramm für *setTopBoundary* ist in 3.25 dargestellt.

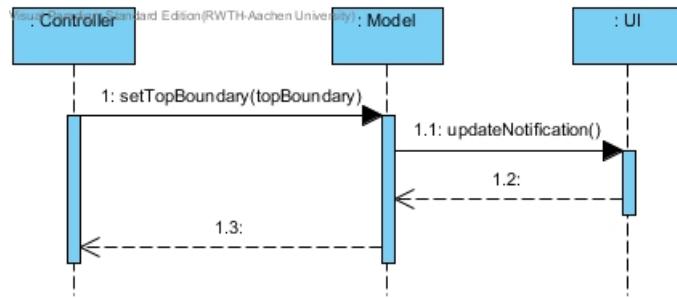


Abbildung 3.25: Sequenzdiagramm `setTopBoundary`

## simulate

Das Sequenzdiagramm für `simulate` ist in 3.26 dargestellt.

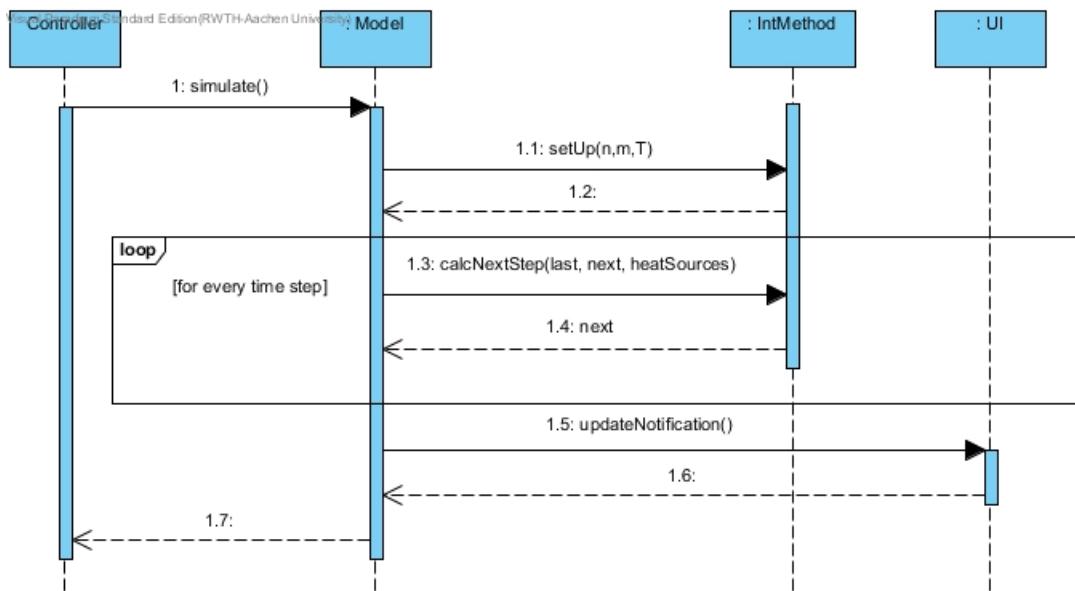


Abbildung 3.26: Sequenzdiagramm `simulate`

### 3.3.3 Paket presentation

Das Klassendiagramm in Abbildung 3.27 zeigt alle im Paket `presentation` enthaltene Klassen.

```

- activeTab : int
- model : Model&
- result : double*** &
- resultM : int&
- resultN : int&
- resultT : double&

+drawPartialHeatSource(partialAreaX : vector <double>&, partialAreaY : vector <double>&) : void
+drawPartialThermalConductivity(partialAreaX : vector <double>&, partialAreaY : vector <double>&) : void
+testFocusChange(old : QWidget *) : bool
+getInitialFrame() : int
+getNewHeatSourceValue(row : int) : double
+getNewThermalConductivityValue(row : int) : double
+heatSourcePixelToCoords(mouseX : double, mouseY : double, x : double &, y : double &) : void
+revertFocusChange(old : QWidget *, now : QWidget *) : void
+setActiveTab(tab : int) : void
+setController(controller : Controller &) : void
+setModel(model : Model &) : void
+thermalConductivityPixelToCoords(mouseX : double, mouseY : double, x : double &, y : double &) : void
-updateHeatSources() : void
-updateIBVs() : void
+updateNotification() : void
-updateSimulating() : void
-updateThermalConductivities() : void
-updateVisualization() : void
-visualizeHeatSourceArea(area : Area *) : void
+visualizeState(frame : int) : void
-visualizeThermalConductivityArea(area : Area *) : void

```

```

- model : mo
- partialArea
- partialArea
- startedNew
- startedNew
+ focusChan
+ heatSource
+ heatSource
+ newBottom
+ newInitialV
+ newLeftBo
+ newMSlot(
+ newNSlot(
+ newRightB
+ newTopBo
+ newTSlot(r
+ playVideoS
+ selectIntM
+ selectIterat
+ setModel(r
+ setUI(ui : U
+ simulateSk
+ testPartial
+ testPartial
+ thermalCon
+ thermalCon
+ undoHeatS
+ undoTherm
+ visualize St

```

Abbildung 3.27: Klassendiagramm presentation

### 3.3.3.1 UI

Es werden lediglich die Sequenzdiagramme der Update-Methoden dargestellt.

#### updateHeatSources

Das Sequenzdiagramm für *updateHeatSources* ist in 3.28 dargestellt.

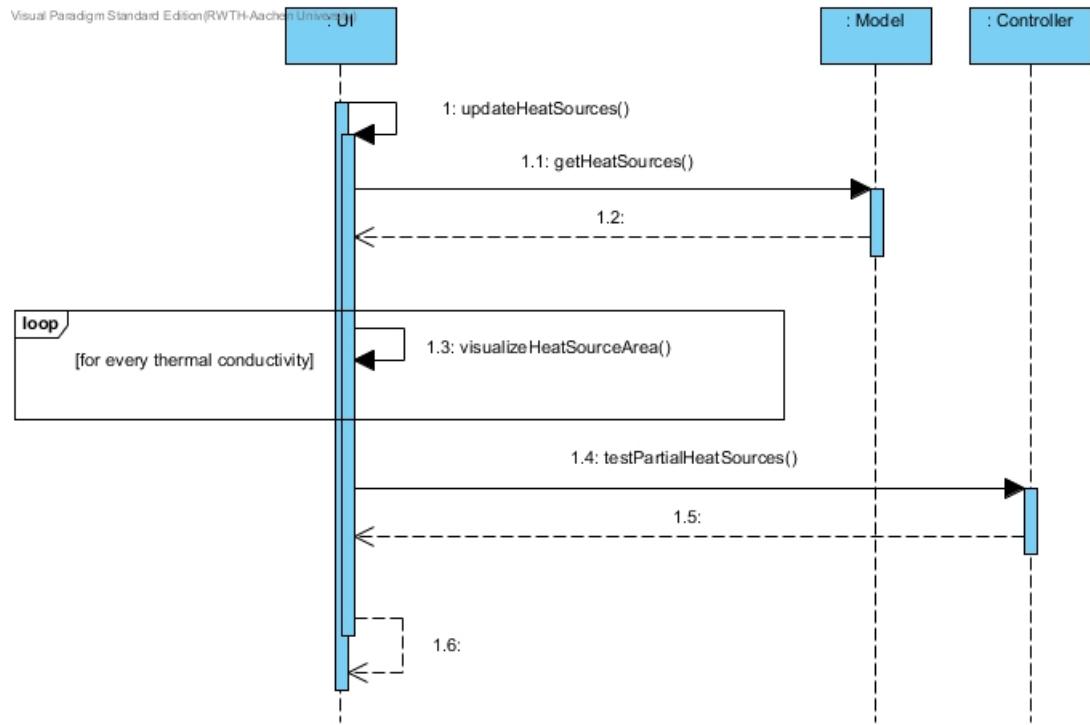


Abbildung 3.28: Sequenzdiagramm updateHeatSources

### updateIBVs

Das Sequenzdiagramm für *updateIBVs* ist in 3.29 dargestellt.

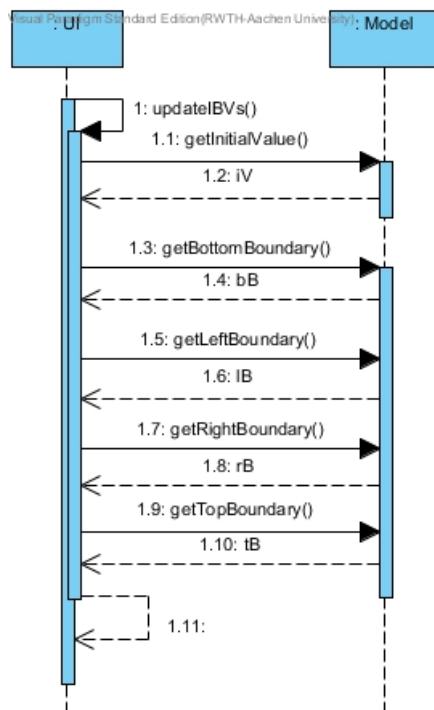


Abbildung 3.29: Sequenzdiagramm updateIBVs

### updateNotification

Das Sequenzdiagramm für *updateNotification* ist in 3.30 dargestellt.

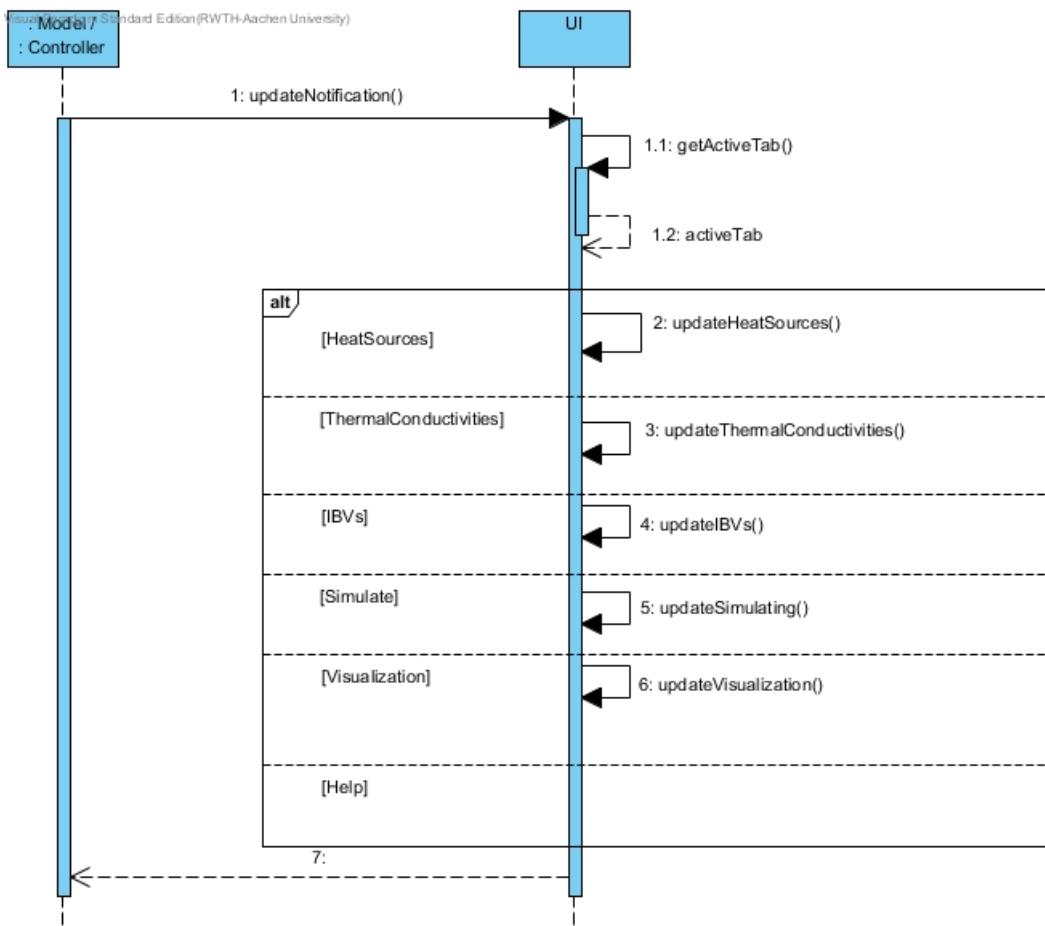


Abbildung 3.30: Sequenzdiagramm updateNotification

### updateSimulating

Das Sequenzdiagramm für *updateSimulating* ist in 3.31 dargestellt.

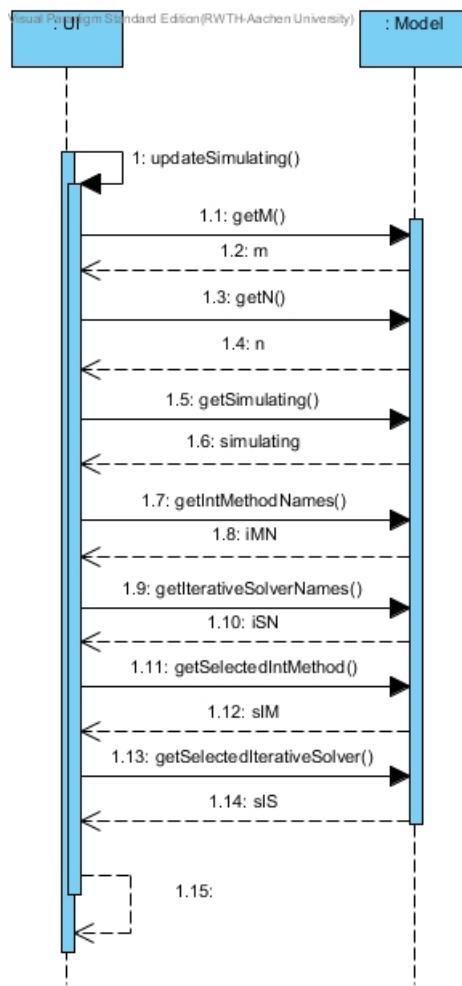


Abbildung 3.31: Sequenzdiagramm `updateSimulating`

## updateThermalConductivities

Das Sequenzdiagramm für `updateThermalConductivities` ist in 3.32 dargestellt.

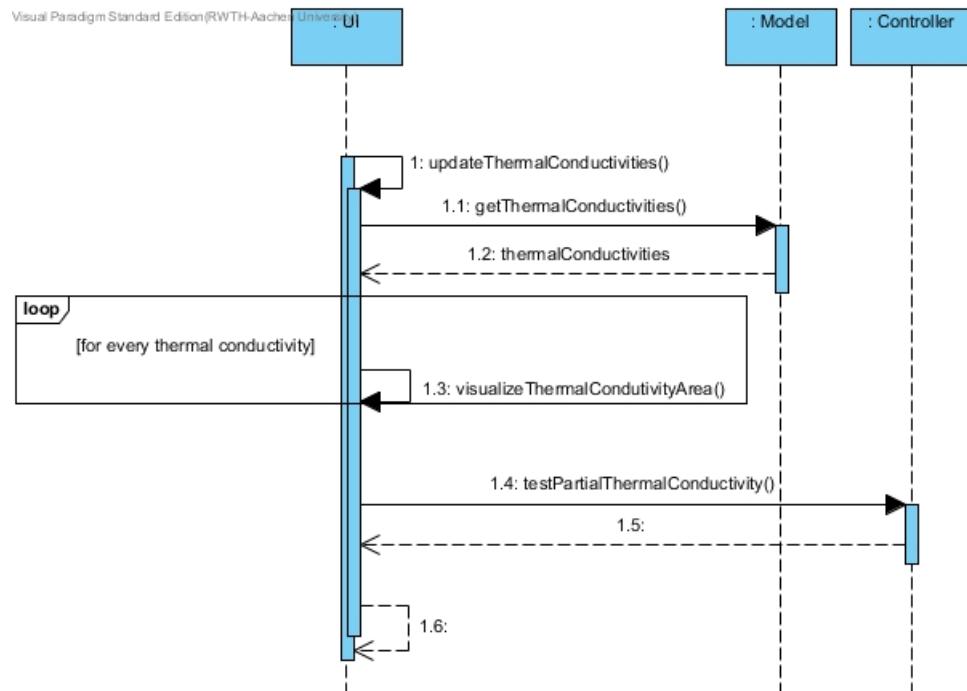


Abbildung 3.32: Sequenzdiagramm `updateThermalConductivities`

## updateVisualization

Das Sequenzdiagramm für *updateVisualization* ist in 3.33 dargestellt.

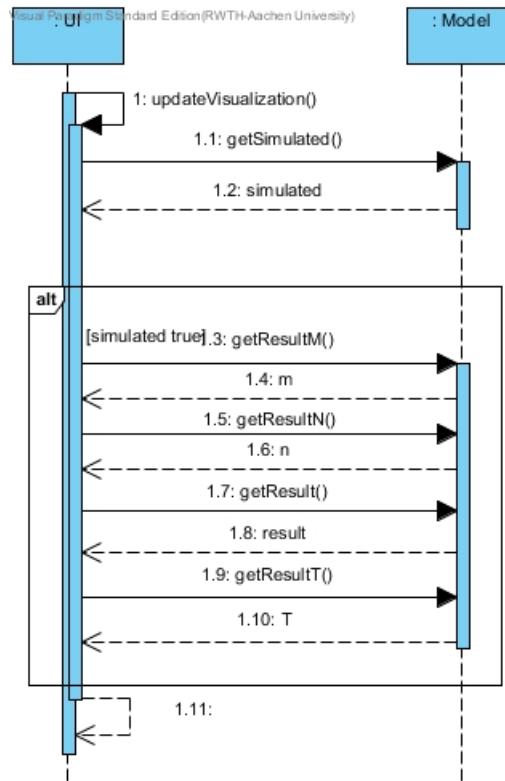


Abbildung 3.33: Sequenzdiagramm updateVisualization

### 3.3.3.2 Controller

#### focusChangedSlot

Das Sequenzdiagramm für *focusChangedSlot* ist in 3.34 dargestellt.

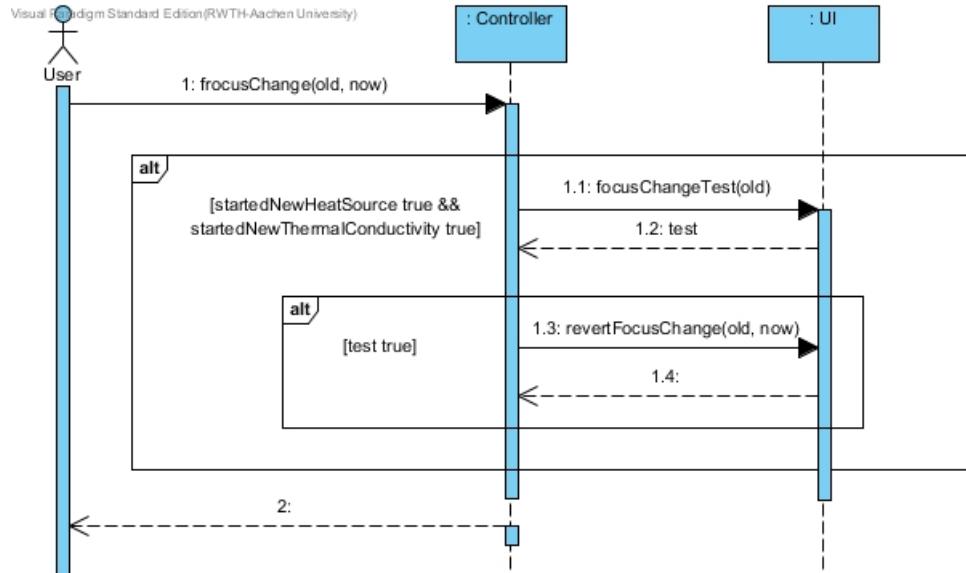


Abbildung 3.34: Sequenzdiagramm focusChangedSlot

#### heatSourceClickSlot

Das Sequenzdiagramm für *heatSourceClickSlot* ist in 3.35 dargestellt.

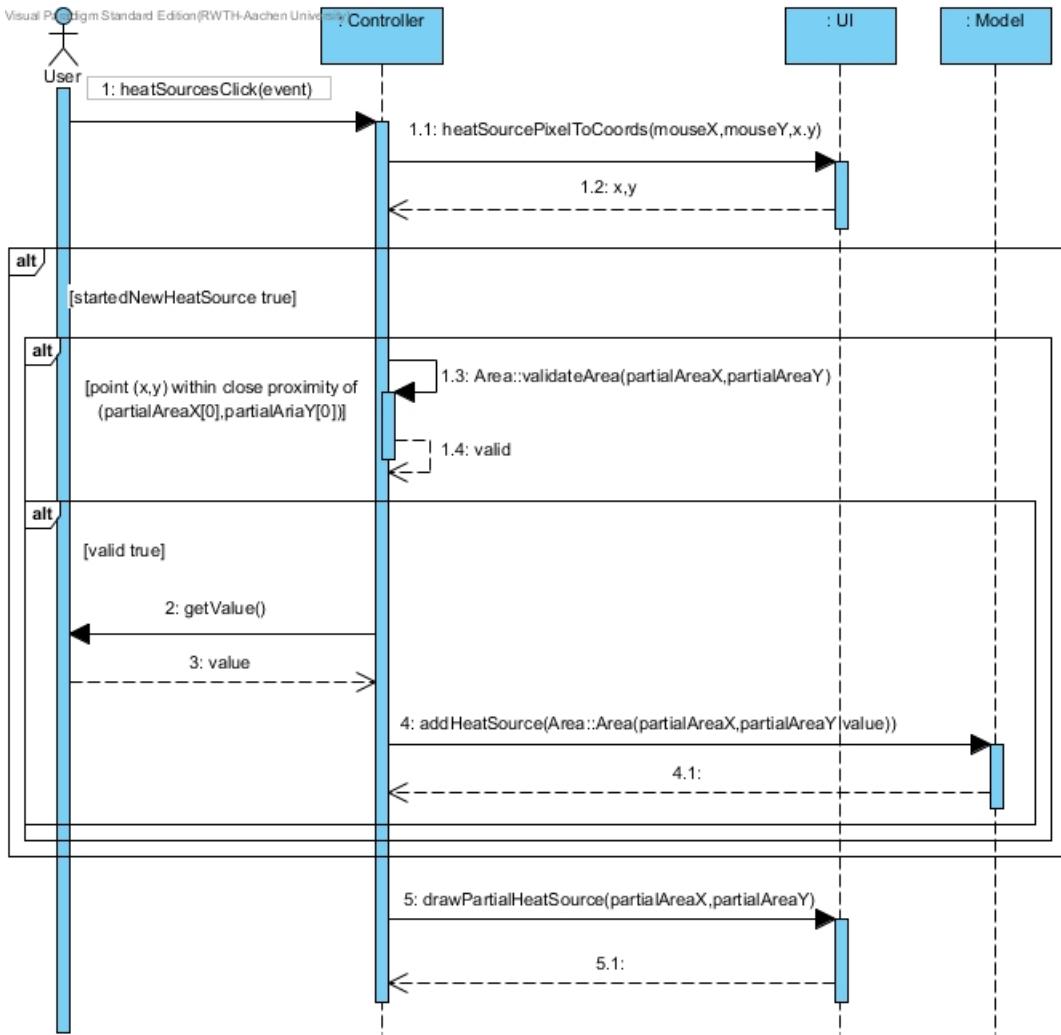


Abbildung 3.35: Sequenzdiagramm heatSourceClickSlot

### newBottomBoundarySlot

Das Sequenzdiagramm für *newBottomBoundarySlot* ist in 3.36 dargestellt.

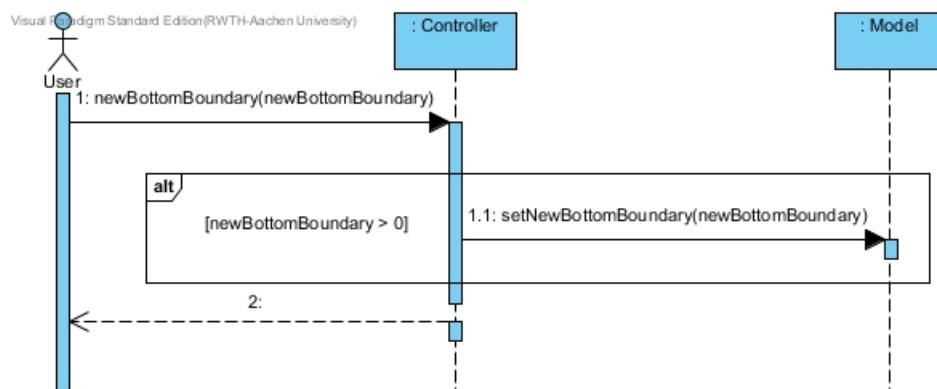


Abbildung 3.36: Sequenzdiagramm newBottomBoundarySlot

### newInitialValueSlot

Das Sequenzdiagramm für *newInitialValueSlot* ist in 3.38 dargestellt.

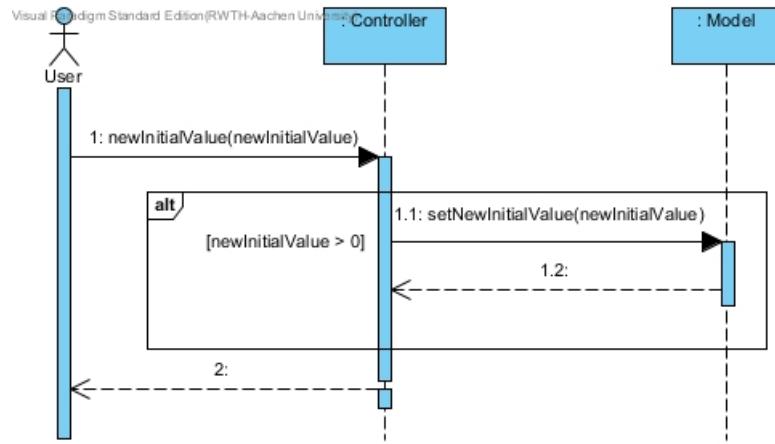


Abbildung 3.37: Sequenzdiagramm *newInitialValueSlot*

### **newInitialValueSlot**

Das Sequenzdiagramm für *newInitialValueSlot* ist in 3.38 dargestellt.

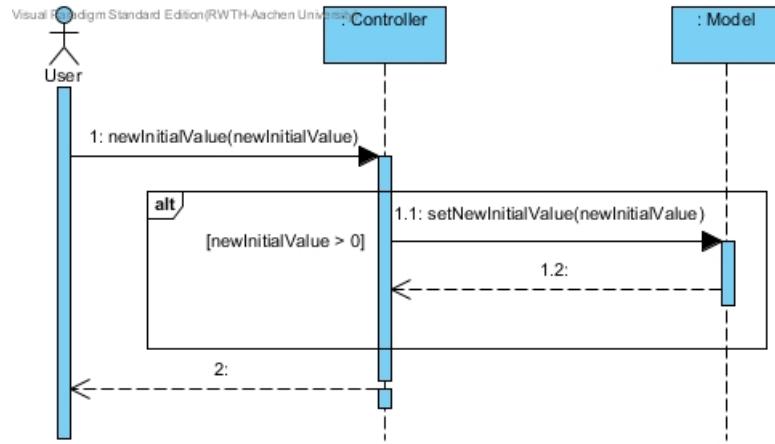


Abbildung 3.38: Sequenzdiagramm *newInitialValueSlot*

### **newLeftBoundarySlot**

Das Sequenzdiagramm für *newLeftBoundarySlot* ist in 3.39 dargestellt.

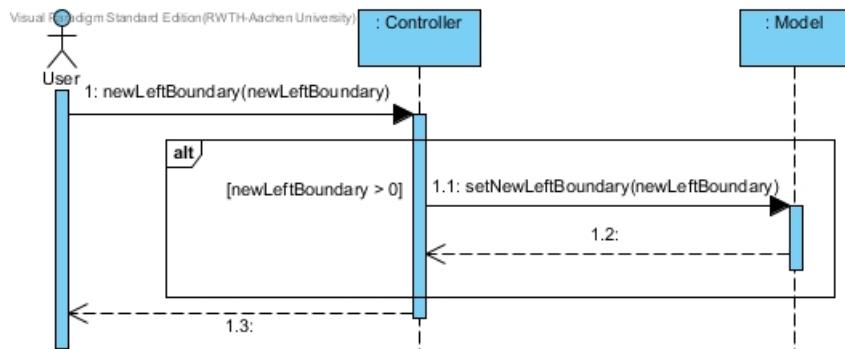


Abbildung 3.39: Sequenzdiagramm *newLeftBoundarySlot*

### **newMSlot**

Das Sequenzdiagramm für *newMSlot* ist in 3.40 dargestellt.

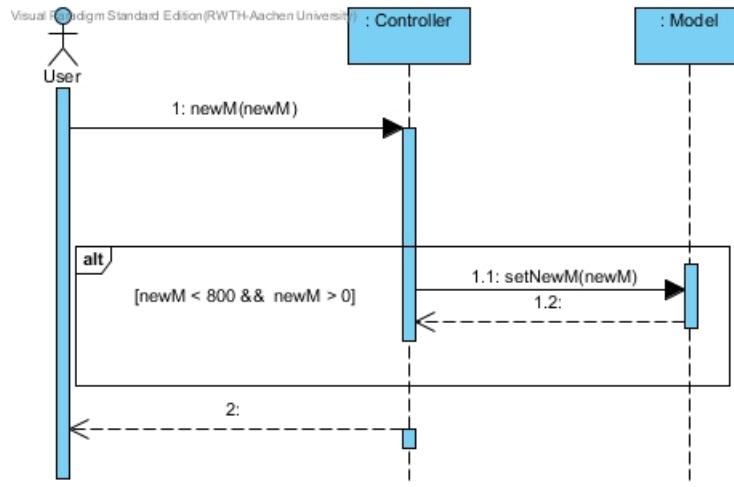


Abbildung 3.40: Sequenzdiagramm newMSlot

### newNSlot

Das Sequenzdiagramm für *newNSlot* ist in 3.41 dargestellt.

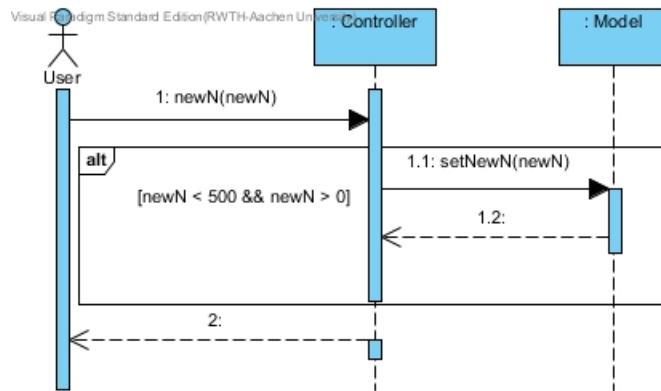


Abbildung 3.41: Sequenzdiagramm newNSlot

### newRightBoundarySlot

Das Sequenzdiagramm für *newRightBoundarySlot* ist in 3.42 dargestellt.

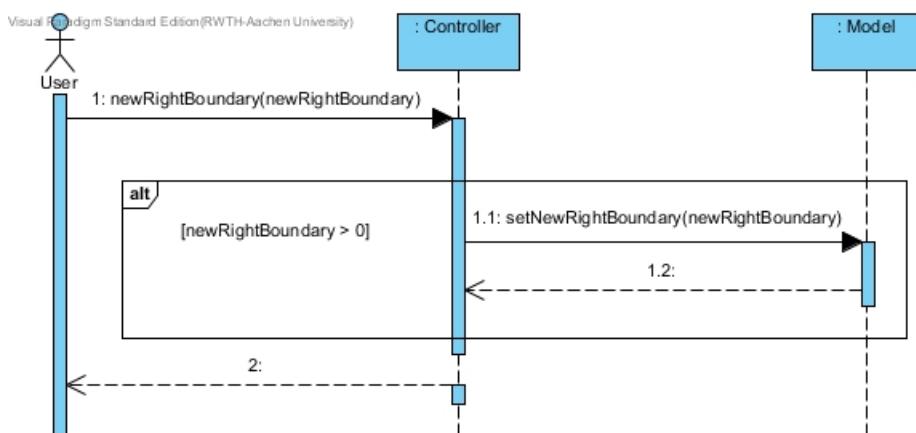


Abbildung 3.42: Sequenzdiagramm newRightBoundarySlot

### newTopBoundarySlot

Das Sequenzdiagramm für *newTopBoundarySlot* ist in 3.43 dargestellt.

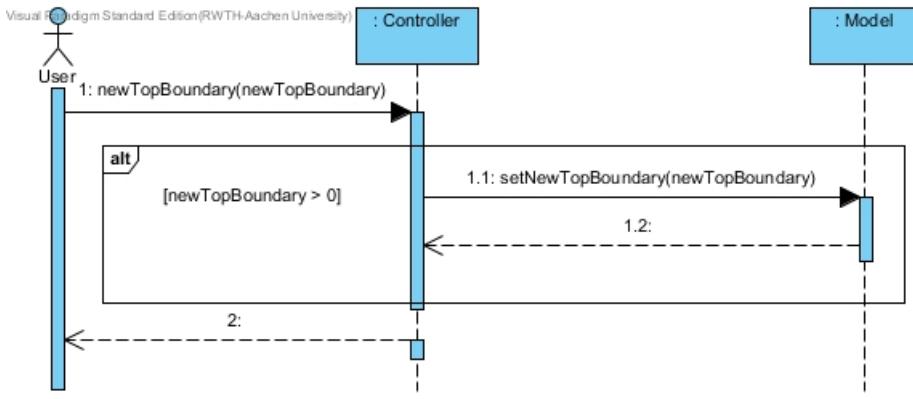


Abbildung 3.43: Sequenzdiagramm *newTopBoundarySlot*

### **newTSlot**

Das Sequenzdiagramm für *newTSlot* ist in 3.45 dargestellt.

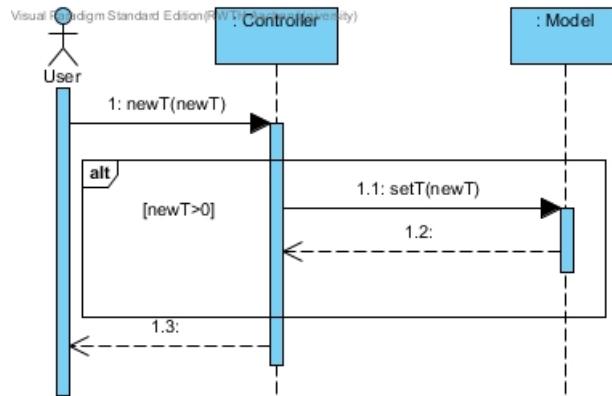


Abbildung 3.44: Sequenzdiagramm *newTSlot*

### **newTSlot**

Das Sequenzdiagramm für *newTSlot* ist in 3.45 dargestellt.

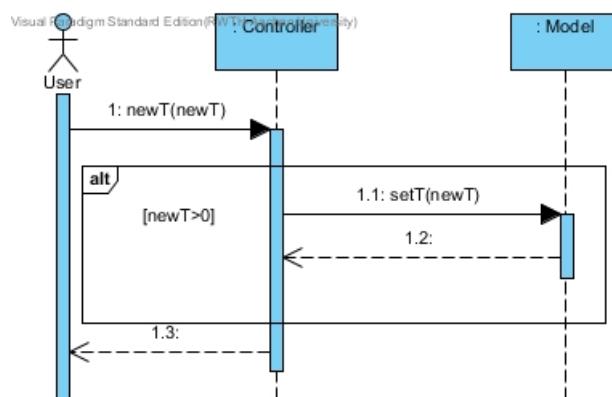


Abbildung 3.45: Sequenzdiagramm *newTSlot*

### **playVideoSlot**

Das Sequenzdiagramm für *playVideoSlot* ist in 3.46 dargestellt.

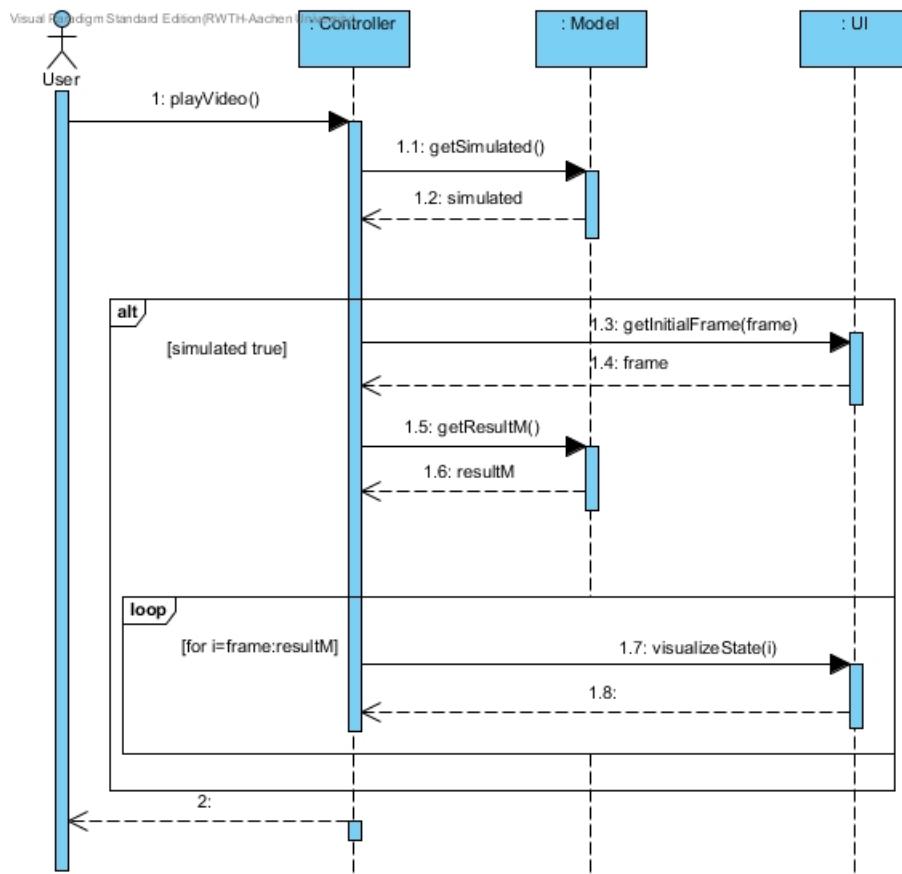


Abbildung 3.46: Sequenzdiagramm playVideoSlot

### selectIntMethodSlot

Das Sequenzdiagramm für *selectIntMethodSlot* ist in 3.47 dargestellt.

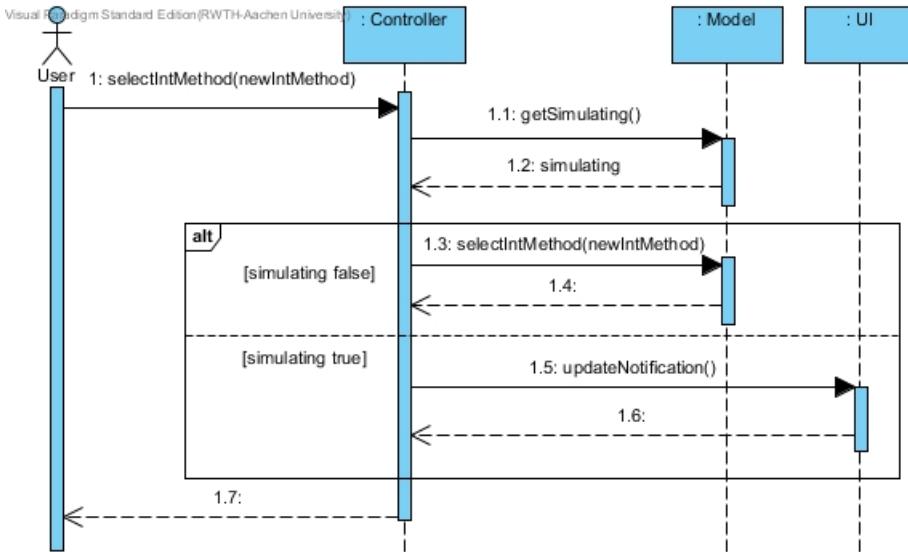


Abbildung 3.47: Sequenzdiagramm selectIntMethodSlot

### selectIterativeSolverSlot

Das Sequenzdiagramm für *selectIterativeSolverSlot* ist in 3.48 dargestellt.

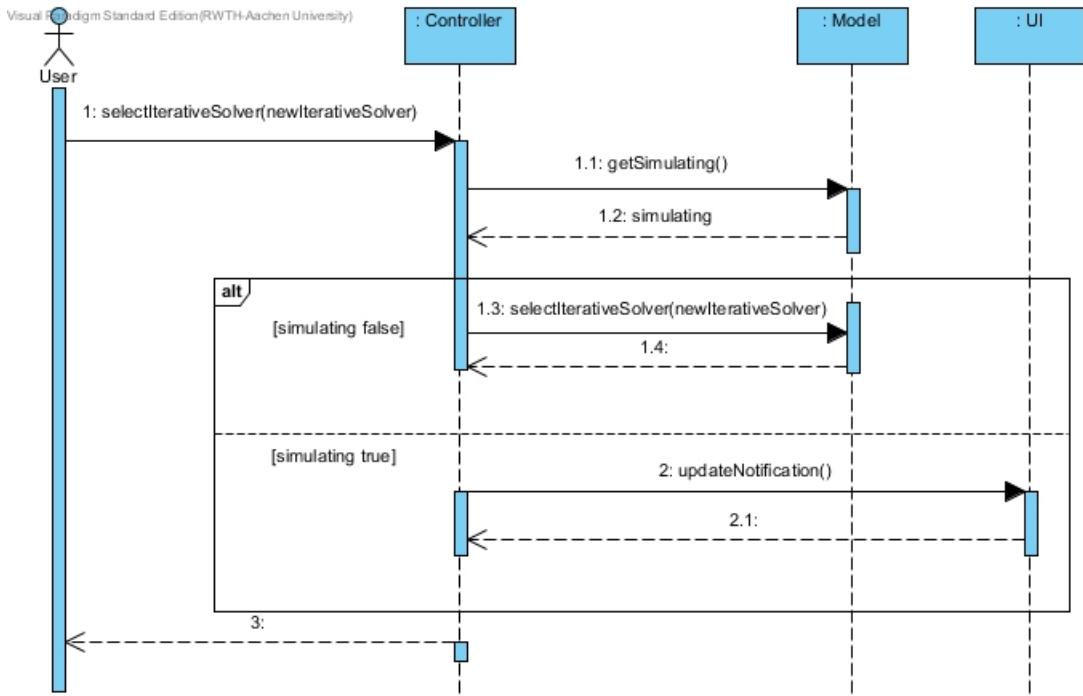


Abbildung 3.48: Sequenzdiagramm selectIterativeSolverSlot

### simulateSlot

Das Sequenzdiagramm für *simulateSlot* ist in 3.49 dargestellt.

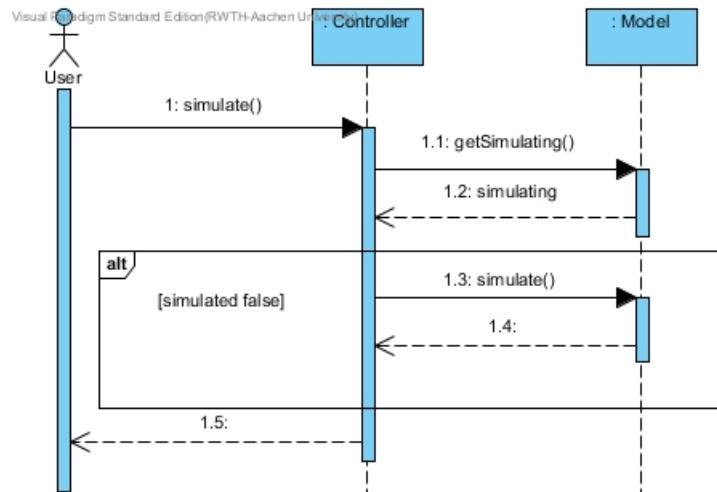


Abbildung 3.49: Sequenzdiagramm simulateSlot

### thermalConductivitiesClickSlot

Das Sequenzdiagramm für *thermalConductivitiesClickSlot* ist in 3.50 dargestellt.

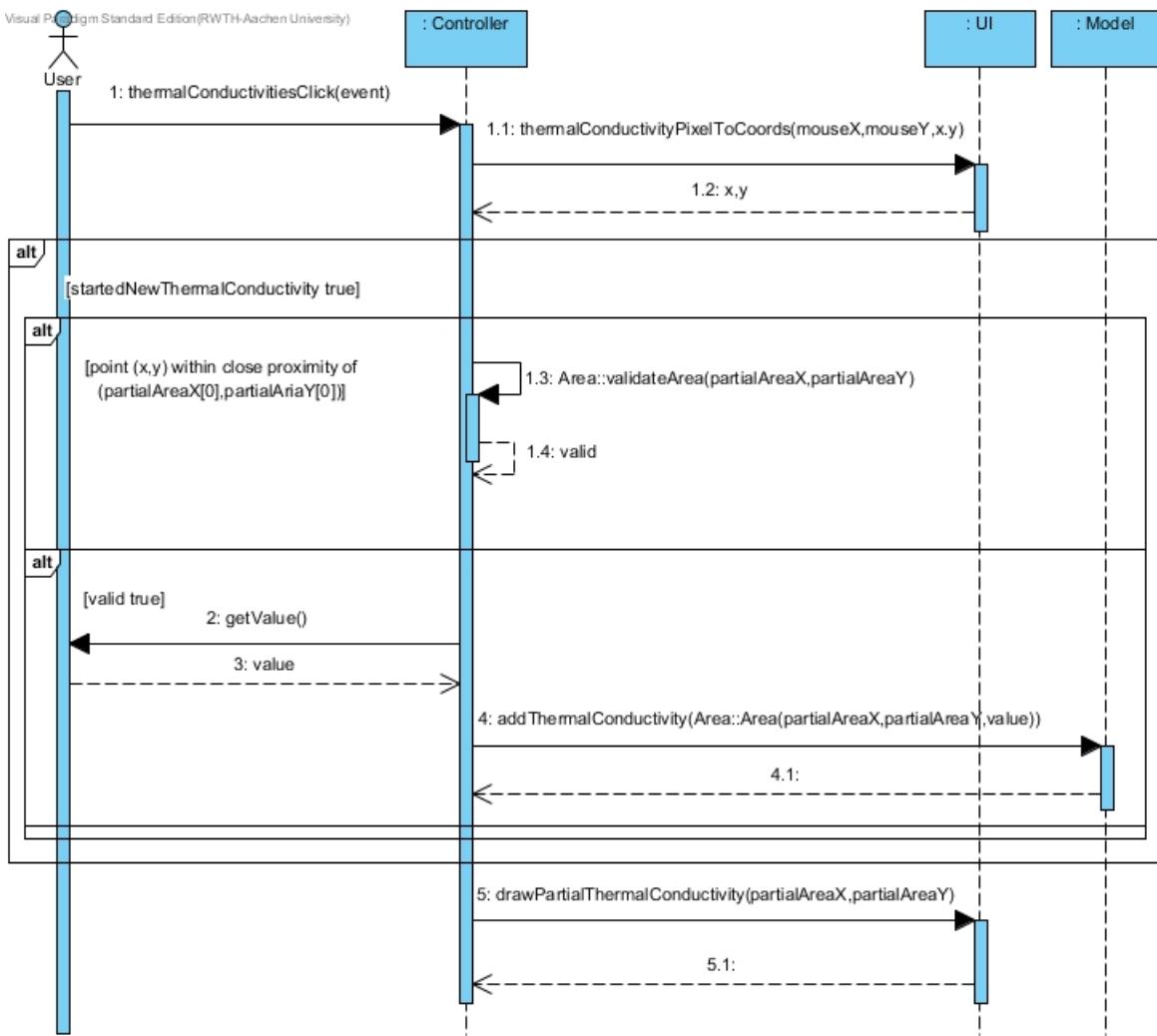


Abbildung 3.50: Sequenzdiagramm thermalConductivitiesClickSlot

### undoHeatSourceSlot

Das Sequenzdiagramm für *undoHeatSourceSlot* ist in 3.51 dargestellt.

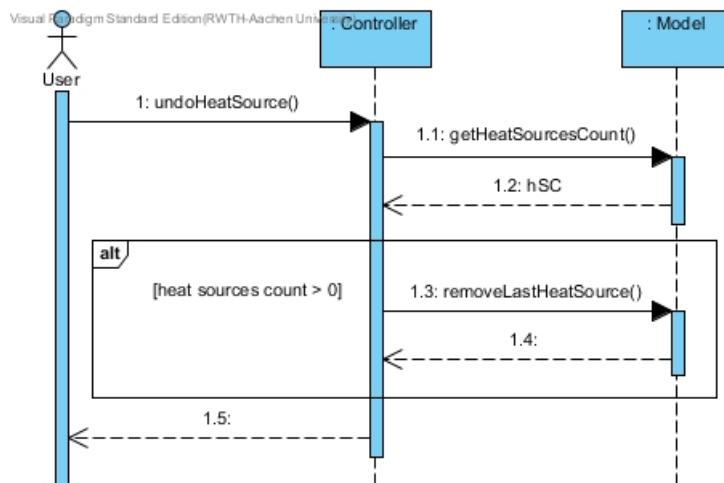


Abbildung 3.51: Sequenzdiagramm undoHeatSourceSlot

### undoThermalConductivitySlot

Das Sequenzdiagramm für *undoThermalConductivitySlot* ist in 3.52 dargestellt.

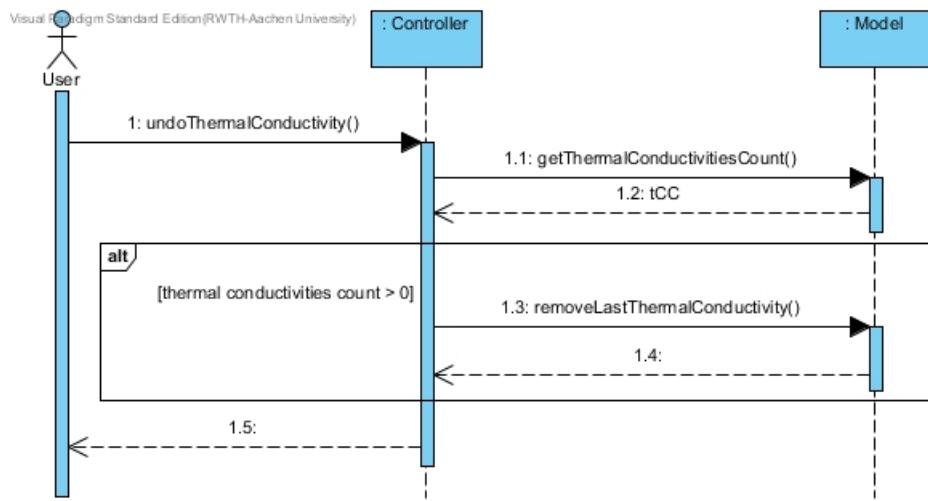


Abbildung 3.52: Sequenzdiagramm *undoThermalConductivitySlot*

### visualizeStateSlot

Das Sequenzdiagramm für *visualizeStateSlot* ist in 3.53 dargestellt.

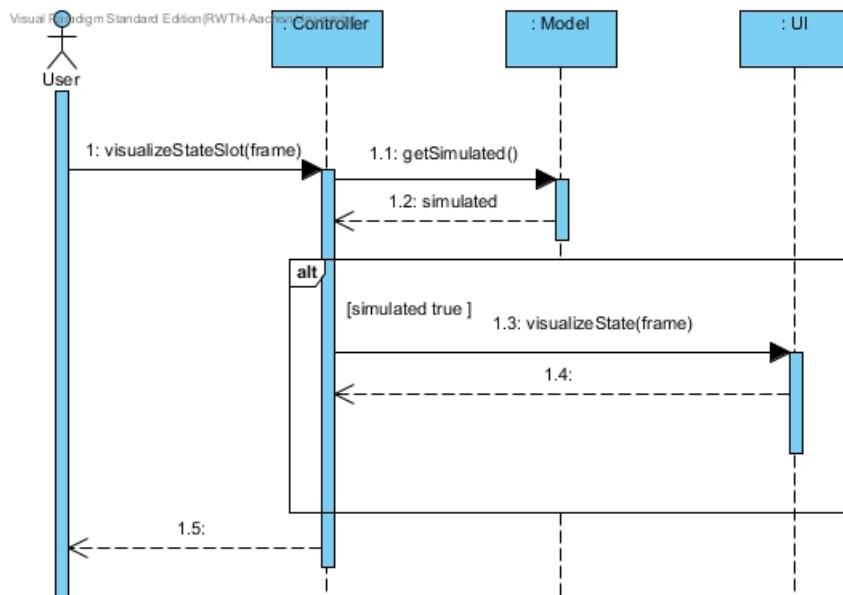


Abbildung 3.53: Sequenzdiagramm *visualizeStateSlot*

# Abbildungsverzeichnis

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Anwendungsfalldiagramm                                      | 3  |
| 2.2  | Aktivitätsdiagramm Use Case Anfangsbedingungen eingeben     | 10 |
| 2.3  | Aktivitätsdiagramm Use Case Diskretisierungsgrößen eingeben | 10 |
| 2.4  | Aktivitätsdiagramm Use Case Messungen eingeben              | 10 |
| 2.5  | Aktivitätsdiagramm Use Case Messungen importieren           | 11 |
| 2.6  | Aktivitätsdiagramm Use Case Randbedingungen eingeben        | 11 |
| 2.7  | Aktivitätsdiagramm Use Case Parameter optimieren            | 11 |
| 2.8  | Aktivitätsdiagramm Use Case Simulationsexperiment speichern | 12 |
| 2.9  | Aktivitätsdiagramm Use Case Simulieren                      | 12 |
| 2.10 | Aktivitätsdiagramm Use Case Video abspielen                 | 12 |
| 2.11 | Aktivitätsdiagramm Use Case Wärmeleitkoeffizienten eingeben | 13 |
| 2.12 | Aktivitätsdiagramm Use Case Wärmequellen eingeben           | 13 |
| 2.13 | Aktivitätsdiagramm Use Case Zustand anzeigen                | 14 |
| 2.14 | Begriffsnetz  | 16 |
| 3.1  | Paketstruktur   | 17 |
| 3.2  | Klassendiagramm algorithms                                  | 18 |
| 3.3  | Sequenzdiagramm calcNextStep                                | 18 |
| 3.4  | Sequenzdiagramm selectIterativeSolver                       | 19 |
| 3.5  | Sequenzdiagramm setEps                                      | 19 |
| 3.6  | Sequenzdiagramm setMaxIt                                    | 19 |
| 3.7  | Sequenzdiagramm setUp                                       | 20 |
| 3.8  | Sequenzdiagramm setUpSpecific                               | 20 |
| 3.9  | Sequenzdiagramm setEps                                      | 21 |
| 3.10 | Sequenzdiagramm setMaxIt                                    | 21 |
| 3.11 | Klassendiagramm model                                       | 22 |
| 3.12 | Sequenzdiagramm addHeatSource                               | 23 |
| 3.13 | Sequenzdiagramm addThermalConductivity                      | 23 |
| 3.14 | Sequenzdiagramm removeLastHeatSource                        | 23 |
| 3.15 | Sequenzdiagramm removeLastThermalConductivity               | 24 |
| 3.16 | Sequenzdiagramm selectIntMethod                             | 24 |
| 3.17 | Sequenzdiagramm selectIterativeSolver                       | 24 |
| 3.18 | Sequenzdiagramm setBottomBoundary                           | 25 |
| 3.19 | Sequenzdiagramm setInitialValue                             | 25 |
| 3.20 | Sequenzdiagramm setLeftBoundary                             | 25 |
| 3.21 | Sequenzdiagramm setM  | 25 |
| 3.22 | Sequenzdiagramm setN  | 26 |
| 3.23 | Sequenzdiagramm setRightBoundary                            | 26 |
| 3.24 | Sequenzdiagramm setT  | 26 |
| 3.25 | Sequenzdiagramm setTopBoundary                              | 27 |
| 3.26 | Sequenzdiagramm simulate                                    | 27 |
| 3.27 | Klassendiagramm presentation                                | 28 |
| 3.28 | Sequenzdiagramm updateHeatSources                           | 29 |

|   |    |
|---|----|
| 3.29 Sequenzdiagramm updateIBVs . . . . .                     | 29 |
| 3.30 Sequenzdiagramm updateNotification . . . . .             | 30 |
| 3.31 Sequenzdiagramm updateSimulating . . . . .               | 31 |
| 3.32 Sequenzdiagramm updateThermalConductivities . . . . .    | 31 |
| 3.33 Sequenzdiagramm updateVisualization . . . . .            | 32 |
| 3.34 Sequenzdiagramm focusChangedSlot . . . . .               | 32 |
| 3.35 Sequenzdiagramm heatSourceClickSlot . . . . .            | 33 |
| 3.36 Sequenzdiagramm newBottomBoundarySlot . . . . .          | 33 |
| 3.37 Sequenzdiagramm newInitialValueSlot . . . . .            | 34 |
| 3.38 Sequenzdiagramm newInitialValueSlot . . . . .            | 34 |
| 3.39 Sequenzdiagramm newLeftBoundarySlot . . . . .            | 34 |
| 3.40 Sequenzdiagramm newMSlot . . . . .                       | 35 |
| 3.41 Sequenzdiagramm newNSlot . . . . .                       | 35 |
| 3.42 Sequenzdiagramm newRightBoundarySlot . . . . .           | 35 |
| 3.43 Sequenzdiagramm newTopBoundarySlot . . . . .             | 36 |
| 3.44 Sequenzdiagramm newTSlot . . . . .                       | 36 |
| 3.45 Sequenzdiagramm newTSlot . . . . .                       | 36 |
| 3.46 Sequenzdiagramm playVideoSlot . . . . .                  | 37 |
| 3.47 Sequenzdiagramm selectIntMethodSlot . . . . .            | 37 |
| 3.48 Sequenzdiagramm selectIterativeSolverSlot . . . . .      | 38 |
| 3.49 Sequenzdiagramm simulateSlot . . . . .                   | 38 |
| 3.50 Sequenzdiagramm thermalConductivitiesClickSlot . . . . . | 39 |
| 3.51 Sequenzdiagramm undoHeatSourceSlot . . . . .             | 39 |
| 3.52 Sequenzdiagramm undoThermalConductivitySlot . . . . .    | 40 |
| 3.53 Sequenzdiagramm visualizeStateSlot . . . . .             | 40 |

# Tabellenverzeichnis

|   |   |
|---|---|
| 2.1 Beschreibung Use Case Anfangsbedingungen eingeben . . . . .     | 4 |
| 2.2 Beschreibung Use Case Diskretisierungsgrößen eingeben . . . . . | 4 |
| 2.3 Beschreibung Use Case Messungen eingeben . . . . .              | 5 |
| 2.4 Beschreibung Use Case Messungen importieren . . . . .           | 5 |
| 2.5 Beschreibung Use Case Randbedingungen eingeben . . . . .        | 6 |
| 2.6 Beschreibung Use Case Parameter optimieren . . . . .            | 6 |
| 2.7 Beschreibung Use Case Simulieren . . . . .                      | 7 |
| 2.8 Beschreibung Use Case Video abspielen . . . . .                 | 7 |
| 2.9 Beschreibung Use Case Wärmeleitkoeffizienten eingeben . . . . . | 8 |
| 2.10 Beschreibung Use Case Wärmequellen eingeben . . . . .          | 9 |
| 2.11 Beschreibung Use Case Zustand anzeigen . . . . .               | 9 |