Aussagesicherheit von Rechenprogrammergebnissen zum Kühlkreislauf und Sicherheitsbehälter

**Abschlussbericht** 

## Abschlussbericht/ Final Report

Reaktorsicherheitsforschung-Vorhabens Nr.:/ Reactor Safety Research-Project No.:

**RS 1142** 

Vorhabenstitel / Project Title:

Aussagesicherheit von Rechenprogrammergebnissen zum Kühlkreislauf und Sicherheitsbehälter

Prediction capability of computer code calculations for cooling system and containment

Autoren / Authors:

- H. Bartalszky,
- H. Glaeser,
- B. Krzykacz-Hausmann

Berichtsdatum / Publication Date: Juli 2005

#### Anmerkung:

Das diesem Bericht zugrundeliegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) unter dem Kennzeichen RS 1142 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

## Kurzfassung

Im Rahmen des Vorhabens RS 1142 wurde die Aussagesicherheit von Rechenprogrammergebnissen zum Kühlkreislauf und Sicherheitsbehälter bestimmt. Es kann aufgrund ungenauen Kenntnisstands zu Modellparametern, Anfangs- und Randbedingungen sowie Anlagendaten nicht immer ein bestimmter Wert angegeben werden, sondern häufig zutreffende Bereiche und Verteilungen. Der Einfluss dieser Verteilungen auf die Rechenergebnisse wurde untersucht, und zwar für den Kühlkreislauf bei einem angenommenen 2 x 100%-Bruch in der kaltseitigen Leitung eines Referenzreaktors, sowie für das Experiment T31.5 in der HDR-Experimentalanlage, in dem ein großer Bruch im Sicherheitsbehälter simuliert wurde. Diese Bruchgröße hat im deutschen Genehmigungsverfahren noch immer eine große Bedeutung, da für diesen Fall die höchsten Hüllrohrtemperaturen und Druckdifferenzen zwischen Innen- und Außenseite des Hüllrohrs sowie hohe Drücke und Temperaturen im Sicherheitsbehälter auftreten. Auch international ist die Bedeutung des großen Bruchs weiterhin für den Nachweis der Notkühlwirksamkeit sehr hoch. Für die Analyse des Kühlkreislaufs wurde das Rechenprogramm ATHLET eingesetzt, für die zweite Untersuchung das Sicherheitsbehälter-Rechenprogramm COCOSYS.

Für die Beurteilung der Beherrschbarkeit der Folgen schwerer Störfälle in Kernkraftwerken werden unter anderem Sicherheitsbehälter-Berechnungsprogramme wie das Thermohydraulik-Programm COCOSYS eingesetzt. Es ermöglicht eine weitgehend diskretisierte Abbildung des Gebäudes, seiner Einbauten, der Funktion seiner unterschiedlichen Komponenten und des Störfallablaufes. Die Qualität der Aussagen, die für eine konkrete Anlage gemacht werden kann, hängt im Wesentlichen von drei Teilaspekten ab:

- Güte der eingesetzten Modelle im Rechenprogramm,
- Güte der dokumentierten Anlagendaten für Geometrie, Materialeigenschaften, Anfangszustand der Komponenten,
- Güte der Nodalisierung, d. h. Aufteilung des Sicherheitsbehälters in virtuelle Kontrollräume und deren Verknüpfung mit ihren Komponenten sowie untereinander.

Die Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse, hier durchgeführt mit dem Programmsystem SUSA (**S**oftware-System für **U**nsicherheits- und **S**ensitivitäts-**A**nalysen), behandelt im Wesentlichen die beiden letzten Punkte der vorstehenden Aufzählung. Von den Modellen werden der Wärmeübergang sowie Kondensation an den Strukturen, Wassermitriss und Strömungsverlustbeiwerte berücksichtigt. Den Parametern, die nicht die Rechenmodelle ansprechen, wird zunächst ein größerer Einfluss als den Modellen beigemessen.

Dieses Vorgehen unterscheidet sich von anderen, von der GRS durchgeführten Untersuchungen, in denen auch eine Anzahl von Modellparametern einbezogen wird, die über die übliche Programmeingabe nicht zugänglich sind. Dies ist unter anderem der Fall für die bereits erwähnte, ebenfalls im Rahmen des Vorhabens RS 1142 durchgeführte Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der Ergebnisse des Reaktorkühlkreislauf-Thermohydraulik-Rechenprogramms ATHLET für eine deutsche Referenz-Druckwasserreaktoranlage mit 200%-Leck im kalten Strang. Diese Untersuchung ist detailliert in einem gesonderten Bericht dargestellt.

In diesem Bericht werden im Wesentlichen die Rechnungen zum Großversuch T31.5 im HDR-Sicherheitsbehälter beschrieben. Dieses Experiment gilt als sehr gut dokumentiert, was die Erstellung eines Datensatzes erleichtert.

Es bestand bereits ein Datensatz, der im Rahmen dieses Vorhabens mittels zahlreicher Rechnungen so lange verbessert wurde, bis man eine möglichst gute Übereinstimmung der Rechenergebnisse mit den Messergebnissen erreichte. Dieser Datensatz wird als qualifizierter Datensatz bezeichnet.

Für die Sensitivitäts- und die Unsicherheitsanalyse wurden aus der Fülle der Eingabeparameter 79 wichtige unsichere Einzelparameter bzw. Parametergruppen ausgewählt und 200-mal gemäß den spezifizierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen per Zufallsauswahl variiert (Monte Carlo Simulation). Sämtliche Rechnungen liefen fehlerfrei und ohne Abbruch über den gesamten Zeitbereich.

Für die Analyse der Ergebnisse wurden 33 Ergebnisparameter ausgewählt, von denen 10 mit Versuchsergebnissen verglichen werden konnten. Für jeden dieser 33 Ergebnisparameter wurden folgende Auswertungen durchgeführt:

- Ergebnisse der aus der Monte Carlo Simulation resultierenden 200 Zeitverläufe
- Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse in Form zeitabhängiger zweiseitiger Toleranzgrenzen einschließlich Referenzkurve und Messkurve (soweit vorhanden)
- Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse in Form zeitabhängiger Rang-Korrelations-Koeffizienten.

Ein Ergebnis der durchgeführten Analyse ist, dass die Beiträge der Wärmeübergangsmodelle an die Strukturen, die Wärmekapazität der Strukturen, deren Oberflächen und Wanddicken den dominanten Einfluss auf den Druck und die Temperatur im Sicherheitsbehälter haben.

#### **Abstract**

The prediction capability of computer code calculations for cooling system and containment was investigated in the frame of Project RS 1142. Several values of model parameters, initial and boundary conditions as well as plant conditions have a fixed but imprecisely known value. Therefore, rather than to apply one single value a range and distribution of values should be taken into account. These ranges are considered as input uncertainties to determine their influence on the calculation results. This was performed for both a 2 x 100% cold leg break of a reference reactor, and for the T31.5 large break experiment on the HDR experimental facility simulating containment behaviour of a nuclear power plant. That break size is still of high interest because of the highest fuel rod clad temperatures and pressure differences between inner and outer side of the clad as well as high pressure and temperature in the containment. Internationally, the importance of emergency core cooling system effectiveness during a large break is still considered high. The computer code ATHLET was used for the cooling system analysis, the code COCOSYS for the containment analysis.

In order to master the consequences of severe accidents in nuclear power plant containment codes like COCOSYS are used for simulation. It allows a discrete representation of the building and its installations, of the functions of its different components and of the simulation of the thermal-hydraulic processes. Three aspects are influencing the quality of results for a specific plant:

- Accuracy of mathematical models in the code
- Accuracy of the documented geometry, material properties, initial states of the components
- Appropriateness of the nodalisation by subdividing the containment into virtual control volumes and interconnections between them.

The uncertainty and sensitivity analyses performed with the SUSA code (**S**oftware System for **U**ncertainty and **S**ensitivity **A**nalyses) is focused on the last two points of the list. Only some containment code models are varied in this investigation, like heat transfer, condensation, water entrainment and flow loss coefficients. The last two points of the above list were considered most important at the start of the project.

This is different to other GRS uncertainty analyses, like the already mentioned uncertainty and sensitivity analysis of the computer code ATHLET results in the case of a large 200% cold leg break of a German reference pressurised water reactor. The investigation was also performed within this project RS 1142. A high number of model parameters were included which are not accessible via the usual code input decks. This analysis is documented in detail in a separate report.

This report mainly deals with an uncertainty and sensitivity analysis of COCOSYS posttest calculation results of the HDR T31.5 experiment. The experiment is documented very well and allows to set-up a qualified input deck.

For the uncertainty and sensitivity analysis 79 influential uncertain input parameters have been selected from the large number of all input parameters. They were varied randomly 200 times according to the specified probability distributions. All runs were completed without failure over the whole problem time.

From the results 33 output parameters were selected and 10 of them were compared with experimental results. For each of the selected output parameters the following results are reported:

- time histories from Monte Carlo sampling,
- uncertainty results in form of upper and lower statistical tolerance limits versus time along with the reference and experimental data (if available) and
- sensitivity results in form of the rank correlation coefficients versus time.

One result of the analysis is that the main influence on the uncertainty of the calculation results of pressure and temperature in the containment comes from heat transfer to the structure material, heat capacity of the structures, wall surface area and wall thickness.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung1
1.1	Gesamtziel1
1.2	Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele
2	Planung und Ablauf des Vorhabens 3
3	Rechenprogramm COCOSYS <sup>®</sup>
4	Berechnung des Experiments HDR T31.57
4.1	Die Kurzzeitphase9
4.2	Die Langzeitphase
4.2.1	Ergebnisse der Langzeitrechnung
4.3	Sicherheitsbehälter und Nodalisierung
5	Referenz-Datensatz17
6	Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse21
6.1	Methode der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse
6.2	Durchzuführende Schritte einer Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse 23
6.3	Unsicherheitsanalyse
6.4	Sensitivitätsanalyse
7	Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der Ergebnisse des
	Sicherheitsbehälter-Programms COCOSYS für das Experiment HDR
	T31.530
7.1	Unsichere Parameter30
7.2	Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse
7.3	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	41
9	Literatur	44
Anhäng	e	46
Anhang	A:	48
Tabelle /	A-1: Liste der unsicheren Eingangsparameter für COCOSYS-Rechnungen zum Experiment HDR T31.5	48
Anhang	B: Zusätzliche Abbildungen und Zeichnungen	52
B.1	Abbildungen zu Abschnitt 4.2.1: Wasserstoff-Konzentrationen im Sicherheitsbehälter	52
B.2	Abbildungen zu Abschnitt 7.2: Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse	58
B.3	Abbildungen zu Abschnitt 7.2: Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse, statistische Toleranzgrenzen	70
B.4	Abbildungen zu Abschnitt 7.3: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse, Rang- Korrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße	84
B.5	Zeichnungen	95
10	Verteiler 1	05

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1	Struktur des COCOSYS <sup>©</sup> -Gesamtsystems5
Abbildung 4-1	Einspeiseraten in den Sicherheitsbehälter während des Experiments T31.5
Abbildung 4-2	Duckverlauf im Sicherheitsbehälter bis 2 h
Abbildung 4.1-1	Druckverlauf im Bruchstutzen und im Sicherheitsbehälter10
Abbildung 4.1-2	Dampfeinspeiserate in den Sicherheitsbehälter11
Abbildung 4.1-3	In den Sicherheitsbehälter eingespeiste Energie12
Abbildung 4.2.1-1	Druckverläufe über den gesamten Zeitbereich
Abbildung 4.2.1-2	Gastemperatur in der Bruchzone14
Abbildung 4.2.1-3	Wasserstoff-Konzentration15
Abbildung 5-1	Wasserstand im Sicherheitsbehälter18
Abbildung 5-2	Druck in den Bruchräumen19
Abbildung 5-3	Druckdifferenz zwischen Bruchraum und Dombereich20
Abbildung 5-4	Wassermitriss-Faktor
Abbildung 7.2-1	Druck in der Domzone, Ergebnisse von 200 Variationen
Abbildung 7.2-2	Vergleich des zeitlichen Verlaufs des berechneten (95%, 95%)- Wertebereichs mit dem gemessenen Druck im Dom und mit der Referenzrechnung
Abbildung 7.2-3	Verteilungsfunktion der Ergebnisse für den Maximaldruck im Sicherheitsbehälter

Abbildung 7.2-4	Vergleich des zeitlichen Verlaufs des berechneten (95%, 95%)-	
	Wertebereichs mit der gemessenen Temperatur in der Bruchzor	ne
	und mit der Referenzrechnung	35
Abbildung 7.3-1	Rangkorrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße für den Druc	
	im Dom	36
Abbildung 7.3-2	Sensitivitätsmaße der 79 Eingangsparameter für den maximalen	
	Druck im Sicherheitsbehälter-Dom	38
Abbildung 7.3-3	Rangkorrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße für die	
	Temperatur in der Zone, in die der Bruchmassenstrom aus dem	
	RDB eingespeist wird	39
Abbildung 7.3-4	Rangkorrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße für die	
	Temperatur in der Domzone	40

# 1 Einleitung

### 1.1 Gesamtziel

Die GRS entwickelt und validiert Rechenprogramme für realistische ("best estimate") Störfallsimulationen im Auslegungs- und auslegungsüberschreitenden Bereich bis hin zu schweren Störfällen. Zur Simulation des Verhaltens des nuklearen Dampferzeugungssystems unter Störfallbedingungen wird das Rechenprogramm ATHLET angewendet. Für die Simulation der Vorgänge im Sicherheitseinschluss unter Stör- und Unfallbedingungen wird das Programm COCOSYS verwendet. Das Arbeitsziel des vorliegenden Vorhabens ist es, die Aussagesicherheit der mit den Rechenprogrammen ATHLET und COCOSYS ermittelten Ergebnissen zu quantifizieren und Hinweise für gezielte Modellverbesserungen abzuleiten.

Diese Rechenprogramme werden unter anderem eingesetzt

- zur sicherheitstechnischen Bewertung des Anlagenverhaltens von Druck- und Siedewasserreaktoren im Rahmen des Aufsichtsverfahrens,
- als wesentliches Analysewerkzeug der anlagenspezifischen Störfallsimulatoren, die von der GRS erstellt werden,
- zur Bewertung von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes,
- zur Bestimmung der Mindestanforderungen an Sicherheitssysteme im Rahmen probabilistischer Sicherheitsanalysen,
- als wesentliches Analysewerkzeug im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit mit Russland, der Ukraine und den Beitrittsländern der Europäischen Union.

Für Stör- und Unfallanalysen werden zunehmend konservative Annahmen und Modelle durch realistische Simulationen ersetzt. Der Übergang auf den Einsatz von Rechenprogrammen mit realistischer Berechnung von Stör- und Unfallabläufen erfordert eine Angabe zur Aussagesicherheit der mit diesen Rechenprogrammen erzielten Ergebnisse. Damit lässt sich der Abstand zu sicherheitsrelevanten Grenzwerten quantitativ beurteilen.

Angaben zur Aussagesicherheit oder Ergebnisunschärfe erhält man mit Hilfe von Unsicherheitsanalysen. Diese liefern quantitative Aussagen über den gemeinsamen Einfluss von Unsicherheiten der Eingabeparameter und der Modelle des Rechenprogramms sowie der Anfangs- und Randbedingungen auf die Bandbreite des Rechenergebnisses.

Mit Hilfe derartiger Unsicherheitsanalysen erhält man zusätzlich Sensitivitätsangaben darüber, welche der Unsicherheiten, z. B. individuelle Modellunsicherheiten im Rechenprogramm oder Rand- und Anfangsbedingungen, am meisten zur Ergebnisunsicherheit beitragen. Damit ist ein Bewertungskriterium für die Planung von analytischen und experimentellen Forschungsaktivitäten zur effizienten Verbesserung der Aussagesicherheit von Rechenprogrammen gegeben.

#### 1.2 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele

In den Rechenprogrammen werden Angaben verarbeitet, für die nicht nur ein bestimmter Wert zutrifft, sondern ein Wertebereich. Um die Aussagesicherheit von Rechenergebnissen zu bestimmen, werden diese Bereiche als Eingangsunsicherheiten berücksichtigt, um ihren Einfluss auf die Rechenergebnisse zu ermitteln. Neben den Wertebereichen können auch Angaben zu Häufigkeitsverteilungen dieser Eingangswerte berücksichtigt werden. Es ist notwendig, den Kenntnisstand zu diesen Eingangsparametern zu ermitteln und basierend darauf eine Eingrenzung der Wertebereiche vorzunehmen. Hierfür sind insbesondere Informationen aus Nachrechnungen von Experimenten, vorzugsweise von Einzeleffektexperimenten, heranzuziehen. Es sind hohe Ansprüche an die Bestimmung dieser Eingangsbereiche und -verteilungen zu stellen, da sie die Bandbreite des Rechenergebnisses beeinflussen.

Die Einzelzielsetzungen dieses Vorhabens sind

quantitative Angaben zur Unsicherheit und Sensitivität der mit dem Thermohydraulik-Rechenprogramm ATHLET erzielten Ergebnisse für einen Referenzreaktor mit 200%-Bruch im kalten Strang zu erhalten. Die Absicherung der GRS-Methode für den Störfallbereich "großer Bruch" ist zwingend erforderlich, um eine fundierte Basis für den zu ermittelnden Schadensumfang bereitzustellen. Unsicherheits- und Sensitivitätsaussagen zu Ergebnissen des Rechenprogramms COCOSYS für das repräsentative Experiment HDR T31.5. Das Experiment simuliert einen großen Bruch der Hauptkühlmittelleitung in mittlerer Höhe des Sicherheitsbehälters. Die Kurzzeitphase ist im Hinblick auf maximale Drücke und Temperaturen auszuwerten. In der anschließenden Langzeitphase wird zunächst Dampf und später ein Helium-Wasserstoffgemisch eingespeist, die grob skaliert den Freisetzungsraten des Niederdruckszenarios der Deutschen Risikostudie entsprechen. Hierfür sind die Gasverteilungsmechanismen zu berechnen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung erlauben eine generelle Angabe zur Aussagesicherheit von COCOSYS- Rechenergebnissen.

## 2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Arbeitsbeginn des Vorhabens RS 1142 war am 01. Januar 2002, das Arbeitsende ist der 31. März 2005. Es wurde das Programmpaket zur Durchführung von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen SUSA (Programm-System zur Unsicherheits- und Sensitivitäts-Analyse) verwendet. Das Paket ist entsprechend den Schritten einer Unsicherheitsanalyse strukturiert.

Entsprechend der Einzelzielsetzungen wurde das Vorhaben in zwei Arbeitspunkte (AP) gegliedert:

AP1: Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der Ergebnisse des Reaktorkühlkreislauf-Thermohydraulik-Rechenprogramms ATHLET für eine deutsche Referenz-Druckwasserreaktoranlage mit 200%-Leck im kalten Strang.

AP2: Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der Ergebnisse des Sicherheitsbehälter-Programms COCOSYS für das Experiment HDR T31.5.

Der Arbeitspunkts 1 wurde zuerst durchgeführt und detailliert in einem gesonderten Bericht dargestellt /GLA 05/. Ein wesentliches Ergebnis dieses Arbeitspunktes sind die berechneten maximalen Hüllrohrtemperaturen. Die (95 %, 95 %) obere einseitige Toleranzgrenze der maximalen im Kern berechneten Hüllrohrtemperatur während der Druckabsenkungsphase wird zu 1016 °C berechnet.

Während der Kernflutphase beträgt der entsprechende Wert 974 °C. Die Ergebnisse der maximalen Hüllrohrtemperatur der Referenzrechnung, in der die in ATHLET verfügbaren Standardwerte (defaults) für die Modellgleichungen und die Nominalwerte für die Anfangs- und Randbedingungen ohne Berücksichtigung von Unsicherheiten verwendet werden, sind für die Druckabsenkungsphase 833 °C und für die Kernflutphase 808 °C. Die relativ hohe Differenz von 183 °C und 166 °C zur oberen einseitigen Toleranzgrenze der Analyse sind Auswirkungen der Unsicherheiten/ Unschärfen in den Brennstabparametern, in der Reaktorleistung, in den zahlreichen Modellen und Korrelationen, die in einem Thermohydraulik-Rechenprogramm implementiert sind sowie in den Bypass-Strömungsflächen zwischen oberem Ringraum und Deckelraum des Reaktorbehälters. Die Analyse hat zusätzlich Angaben darüber geliefert, welche dieser ungenau bekannten Eingangsparameter den größten Einfluss auf die Verteilung der Ergebnisse haben.

In dem vorliegenden Abschlussbericht sind im Weiteren die Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchungen der Ergebnisse des Sicherheitsbehälter-Programms COCOSYS für das Experiment HDR T31.5 dokumentiert. Dies beinhaltet den Arbeitspunkt 2 des Vorhabens RS 1142.

# 3 Rechenprogramm COCOSYS®

Das Programm COCOSYS® (Containment Code System) wurde für die Simulation von schweren Störfällen im Sicherheitsbehälter eines Leichtwasserreaktors entwickelt /KLE 98a/, /KLE 98b/. Zielsetzung ist dabei eine möglichst realistische Simulation sämtlicher relevanter Phänomene, wobei soweit möglich die Wechselwirkung dieser Phänomene berücksichtigt wird. Für eine realistische Simulation werden in COCOSYS® soweit verfügbar mechanistische Modelle gegenüber Korrelationen bevorzugt. Das Programm COCOSYS® setzt sich aus einem Treiber und drei Hauptmodulen für die Simulation des thermischen Verhaltens (THY®), des Aerosol- und Spaltproduktverhaltens (AFP®) und der Beton-Schmelze-Wechselwirkung (CCI®) zusammen. Weitere Programme wurden mit COCOSYS® gekoppelt. In Bild 3-1 ist die Struktur des COCOSYS®-Gesamtsystems dargestellt.

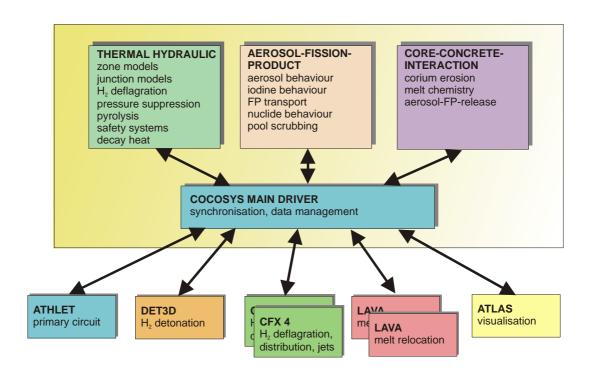


Abbildung 3-1 Struktur des COCOSYS<sup>©</sup>-Gesamtsystems

Das COCOSYS<sup>®</sup>-Programm basiert auf dem so genannten "lumped parameter"-Konzept. Dabei wird das betrachtete Gesamtvolumen (z. B. ein Raum, Raumbereich oder Gebäude) in eine Anzahl von Teilvolumina (Zonen) aufgeteilt. In jeder Zone wird die Massen- und Energiebilanz gelöst. Der Massenstrom zwischen den einzelnen Zonen wird mittels einer Impulsgleichung berechnet. Der wesentliche Unterschied zu CFD (computational fluid dynamics)-Programmen besteht darin, dass die Impulsbilanz im 'lumped parameter'-Konzept nicht betrachtet wird.

Es ist mit COCOSYS<sup>©</sup> möglich, Raumbereiche aus mehreren Räumen in einer Zone zusammenzufassen, aber auch einen Raum in mehrere Zonen aufzuteilen. Diese Aufteilung wird gerade bei detaillierten Rechnungen genutzt, um lokale Temperaturen und Gaskonzentrationen (z. B. eine vorhandene Temperatur- und Gasschichtung) simulieren zu können. Der Vorteil dieses Konzepts besteht vor allem im relativ niedrigen Rechenzeitbedarf (gegenüber CFD-Programmen) bei einer gleichzeitig guten lokalen Auflösung (im Vergleich zu reinen Zonenmodellen).

Nachteile, insbesondere die Vernachlässigung der Impulsbilanz, müssen aber bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Der thermohydraulische Teil von COCOSYS<sup>©</sup> wird zur Bestimmung von

- Druckaufbau und Temperaturentwicklung,
- lokalen Temperatur- und Druckverteilungen,
- Energieverteilung und lokaler Wärmeübergang und Wärmeleitung in Strukturen,
- lokalen Gasverteilungen (Dampf und verschiedene nicht kondensierbare Gase),
- Wasserverteilung,
- Wasserstoffverbrennung,
- Massen- und Volumenströme bei Freisetzung von Fluiden durch Öffnungen und Leckagen und
- Wärme- und Rauchgasverteilung bei Bränden

in einfach und vielfach unterteilten Sicherheitsbehältern und geschlossenen Gebäuden von Kernkraftwerken sowie sonstigen umschlossenen Raumsystemen (Gebäude, Tunnel, Schachtanlagen) mit mehr oder weniger großen Öffnungen zur Umgebung eingesetzt. Mit COCOSYS<sup>©</sup> werden hauptsächlich Auswirkungen von Auslegungsstörfällen und schweren Unfällen in Sicherheitsbehältern von Kernkraftwerken mit Druck- und Siedewasserreaktoren sowie in Sicherheitsbehältern von Reaktoren sowjetischer Bauart vom Typ WWER analysiert, aber auch Brände in Mehrraumanordnungen untersucht.

In COCOSYS<sup>©</sup> sind mehrere Zonenmodelle vorhanden. Meistens wird das Gleichgewichtszonenmodell EQUIL\_MOD verwendet. In diesem Modell werden alle Komponenten (flüssiges Wasser, Dampf und weitere, nicht-kondensierbare Gase) homogen gemischt innerhalb des Volumens angenommen. Überhitzte wie auch gesättigte Zustände mit Nebel sind möglich. Zwischen den Zonen können Atmosphären- und Drainageverbindungen definiert werden. Zwangsströmungen können durch ein Gebläsemodell simuliert werden. Dabei kann die Gebläsecharakteristik berücksichtigt werden. Die Wärmeabfuhr durch die Wände wird durch eine eindimensionale Wärmeleitungsgleichung sowie die zugehörigen Wärmeübergangskorrelationen für Konvektion und Strahlung simuliert.

# 4 Berechnung des Experiments HDR T31.5

Das Experiment T31.5 im HDR-Sicherheitsbehälter dauerte 20 Stunden /KFK 89/, /KFK 91/. Während dieser Zeit wurden verschiedene Messdaten unterschiedlich lange aufgezeichnet. Die gesamte Dauer des Experiments kann in zwei Phasen unterteilt werden. Die Kurzzeitphase dauert 20 min und anschließend folgt die Langzeitphase, die bis 20 h dokumentiert ist. Die Kurzzeitphase simuliert die Sicherheitsbehältereinspeisung mit Dampf aufgrund eines großen Bruchs der Hauptkühlmittelleitung und demzufolge der Druckabsenkung des Reaktordruckbehälters (RDB). Die Langzeitphase beginnt mit einer 15 min dauernden Dampfeinspeisung aus einer zweiten Quelle, gefolgt von der Einspeisung eines Helium- Wasserstoffgemisches, die auch 15 min dauert. In Abbildung 4-1 sind die jeweiligen Einspeiseraten zu sehen. Grob skaliert entsprechen die Einspeisemengen den Freisetzungsraten des Niederdruckszenarios der Deutschen Risikostudie. Hierfür sind die Gasverteilungsmechanismen zu berechnen.

#### HDR-Test T31.5 COCOSYS-V2.2

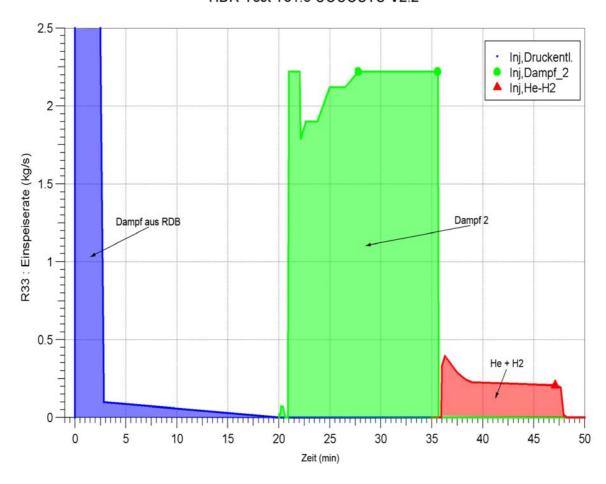


Abbildung 4-1 Einspeiseraten in den Sicherheitsbehälter während des Experiments T31.5

Das Diagramm ist der Übersichtlichkeit wegen oben bei 2,5 kg/s abgeschnitten, die Einspeisung erfolgte jedoch bis zu 3000 (kg/s). Wichtige Erkenntnisse über den Ablauf des Experiments vermittelt Abbildung 4-2, es zeigt den Duckverlauf im Sicherheitsbehälter bis 2 h. Man erkennt, dass der Dampfeintrag aus dem RDB bei 0,35 h zunächst beendet wird, da der verbleibende RDB-Inhalt bei Sättigungsbedingungen bleibt, und das weitere Ausdampfen durch die zweite Einspeisung von Dampf und des He-H<sub>2</sub>-Gemisches durch den damit verbundenen Druckanstieg sofort gestoppt wird. Der erneute Druckanstieg bis 0,8 h wird gefolgt von einem Druckabfall durch Kondensation im Sicherheitsbehälter, bis nach 1,75 h der Druck zum Beginn der zweiten Einspeisung erreicht wird.

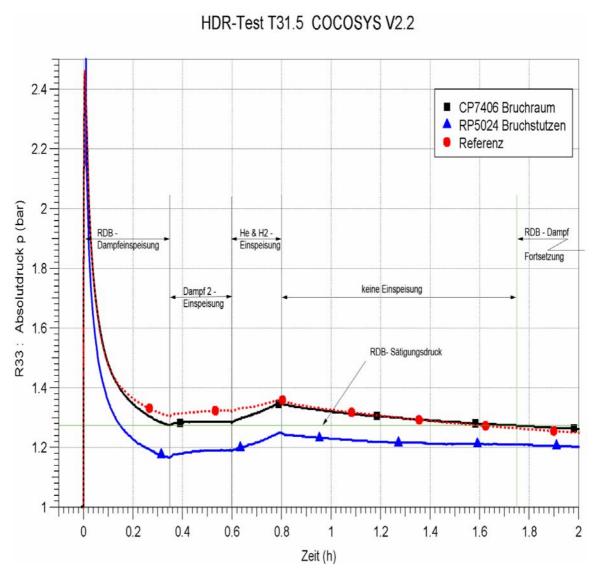


Abbildung 4-2 Duckverlauf im Sicherheitsbehälter bis 2 h

Von diesem Zeitpunkt an ist im RDB wieder Sättigung erreicht, eventuell verzögert wegen des Wärmeübergangs vom RDB an die ihn umgebende Atmosphäre, und es erfolgt wieder ein Dampfeintrag aus dem RDB. Letzteres ist durch Messungen nicht belegt, kann aber aus den Ergebnissen geschlossen werden. Dies wird bei der Diskussion der Rechenergebnisse für die Langzeitphase erläutert.

## 4.1 Die Kurzzeitphase

Die Kurzzeitphase bis 0,35 h ist der Zeitraum, für den der Datensatz optimiert wurde und für die anschließend die Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden. Um eine Optimierung zu erreichen, wurde der Einspeisevorgang analysiert. Abbildung 4.1-1 zeigt die Druckverläufe im Bruchstutzen (break nozzle) und im Bruchraum des Sicherheitsbehälters (break chamber). Die Kurven müssten zusammen laufen. Dass dies nicht geschieht, liegt am unterschiedlichen Messbereich der Drucksonden bei gleichen relativen Fehlern, was zu Abweichungen führt. Die Parallelität der Kurven weist jedoch das Ende der RDB-Druckentlastung, auch Blowdown genannt, bei 39.5 s aus. Das Druckmaximum Im Sicherheitsbehälter ist bei 22 s erreicht, danach fällt der Druck trotz fortgesetzter Einspeisung. Nach der Druckentlastungsphase schließt sich die Phase der Naturkonvektion an, während der die Strömungsverteilung im Sicherheitsbehälter lediglich durch Auftriebskräfte bewirkt wird. Das stimmt allerdings nur bedingt, da weiterhin Dampf aus dem RDB nachströmt und so bei geringen Einspeiseraten lokal Zwangskonvektion verursacht.

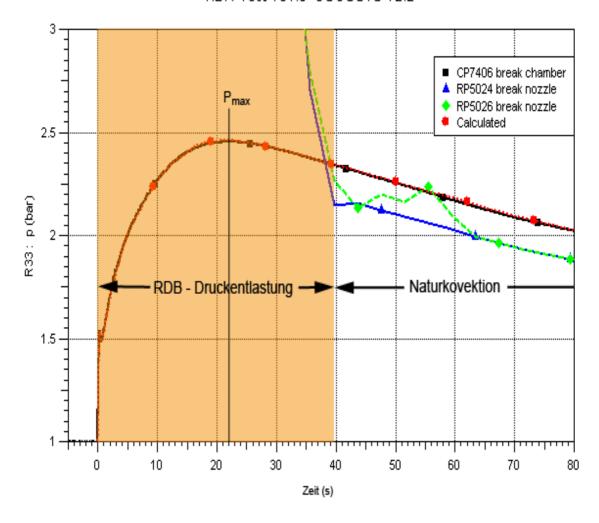


Abbildung 4.1-1 Druckverlauf im Bruchstutzen und im Sicherheitsbehälter

Ein besonderes Problem ist die ungenaue Bestimmung der korrekten Dampfeinspeisung. Dazu liegt eine Vorausrechnung mit dem Thermohydraulik-Rechenprogramm DRUFAN vor und aus den Messergebnissen berechnete sowie bilanzierte Endwerte. Von den Experimentatoren wird eingeräumt, dass die Vorrausrechnung die Einspeisung unterschätzt, während die Messwert-Auswertung zu hohe Werte liefert. Da aber die Druckentlastungsphase den gesamten Prozess wesentlich bestimmt, wurde in zahlreichen Rechnungen eine Einspeisung bestimmt, die den Ablauf optimal beschreibt, auf Einzelheiten wird später eingegangen. Abbildung 4.1-2 zeigt die Einspeiseraten. Für den optimierten Fall werden im Maximum 2700 kg/s erreicht, wovon bei Erreichen des Maximaldruckes im Sicherheitsbehälter nur noch 12,5% eingespeist werden. Am Ende der Druckentlastung sind es noch 2,7%. Abbildung 4.1-3 zeigt die dabei eingespeiste Energie. Man sieht, dass zur Zeit des Druckmaximums 85% der Energie eingespeist sind, am Ende der Druckentlastung bereits 94%.

HDR - Test T31.5 COCOSYS V2.2

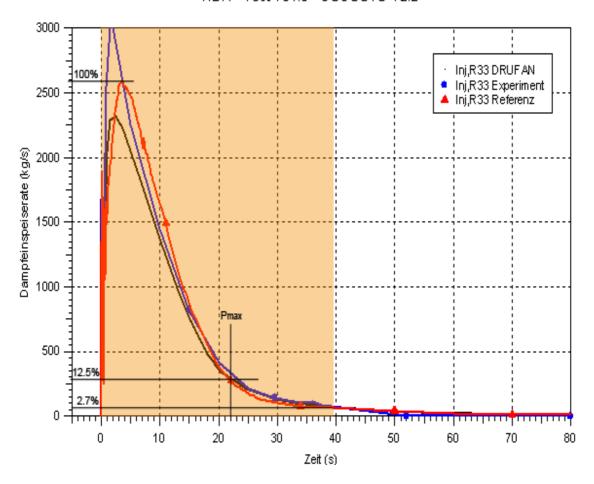


Abbildung 4.1-2 Dampfeinspeiserate in den Sicherheitsbehälter

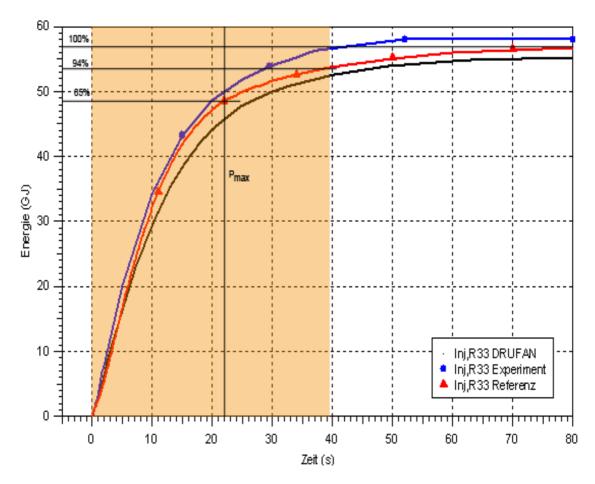


Abbildung 4.1-3 In den Sicherheitsbehälter eingespeiste Energie

# 4.2 Die Langzeitphase

Die Langzeitphase beginnt ab 1200 s mit der zweiten Einspeisung von Dampf und einem Gasgemisch aus Helium und Wasserstoff.

# 4.2.1 Ergebnisse der Langzeitrechnung

Abbildung 4.2.1-1 zeigt die Druckverläufe über den gesamten Zeitbereich.

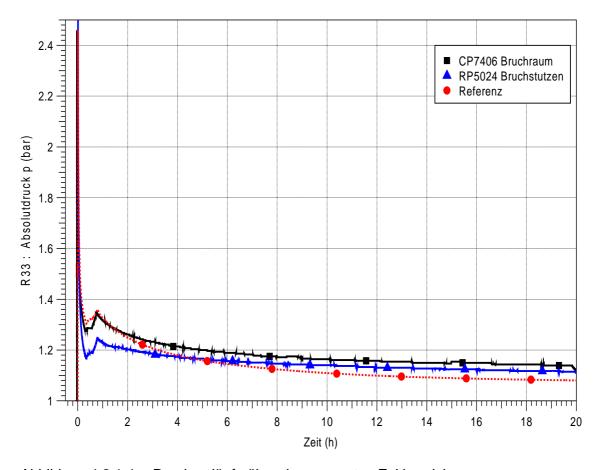
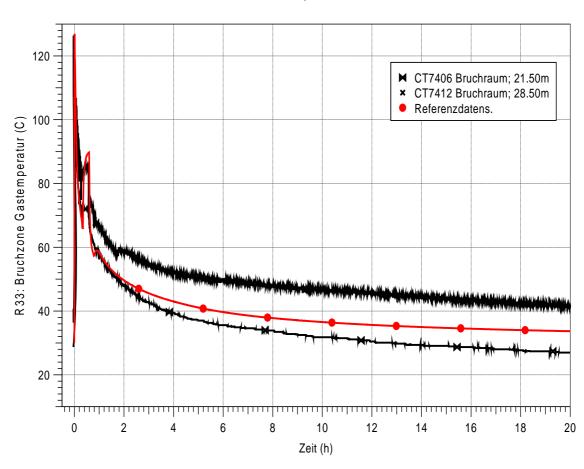


Abbildung 4.2.1-1 Druckverläufe über den gesamten Zeitbereich

Für den Bruchraum stimmt das Ergebnis der Referenzrechnung mit dem gemessenen Druck in der Kurzzeitphase gut überein. In der Referenzrechnung sind möglichst realistische Werte der Eingangsparameter gewählt worden. Vor dem Ende der ersten Gaseinspeisung werden etwas höhere Werte gerechnet, was auf einen zu geringen Wärmeverlust an die Umgebung schließen lässt. Der Wärmeübergang an die Wände wäre durch Einführung von "Drainwall"-Verbindungen in COCOSYS, die den Drainage-Wasserstrom gezielt als Film an der Wand ablaufen lassen, zu verbessern. Für die Langzeitphase sind jedoch die berechneten Werte niedriger, was im Widerspruch zu vorstehendem steht. Eine Erklärung dafür ist, dass aus dem Reaktorbehälter weiterhin Dampf in den Sicherheitsbehälter strömt und damit der Druck im Sicherheitsbehälter langsamer absinkt. Der Reaktorbehälter wurde in der Langzeitphase nicht abgesperrt, und von den Experimentatoren ist ein geringer Dampfeintrag nicht erfasst worden. In der COCOSYS-Rechnung wurde der Dampfstrom aus dem Reaktorbehälter als Eintrittsmassenstrom vorgegeben, das mögliche weitere Ausdampfen wurde in der COCOSYS-Rechnung nicht berücksichtigt. Eine Bestimmung des Ausdampfstroms ist

nicht Ziel dieser Analyse, die Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse wurde für die Kurzzeitphase hinsichtlich des Druck- und Temperaturverlaufs durchgeführt.

In Abbildung 4.2.1-2 sehen wir die Temperaturverläufe in der Bruchzone. Die Messstellen liegen mit 7 m Höhendifferenz auseinander, das Zentrum der Nodalisierungszone etwa in der Mitte zwischen beiden. Die berechnete Temperatur liegt daher zwischen den beiden Messwerten.

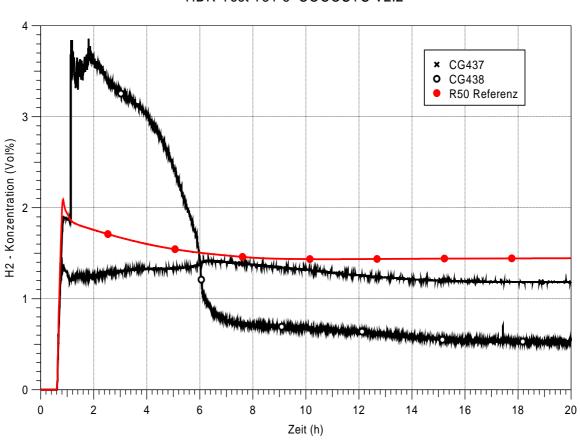


HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

Abbildung 4.2.1-2 Gastemperatur in der Bruchzone

Das Ergebnis ist plausibel, da die Kurven in der Anfangsphase, in der nur Dampfatmosphäre vorliegt, nahe beieinander liegen, es langfristig aber zur Temperaturschichtung kommt. Da gerechnete Temperaturen immer Mittelwerte der Zone sind, können individuelle Temperaturen in einer Zone nicht berechnet werden.

Ähnliches gilt auch für H<sub>2</sub> – Konzentrationen, die in den Abbildungen zu Abschnitt 4.2.1 im Anhang B.1 dargestellt werden. Besonders hervorzuheben ist Abbildung 4.2.1-3 in diesem Abschnitt. Es zeigt die H<sub>2</sub>-Konzentration an der höchstgelegenen Messstelle in der Domkuppel. Die gezeigten beiden Messstellen sind in derselben Höhe und demselben Radius angebracht, jedoch in verschiedenen "Azimutwinkeln". Sie zeigen stark unterschiedliche Konzentrationsverläufe. Die Sonde CG438 scheint nahe dem Staupunkt der Kuppel zu liegen, die gerechnete Kurve stellt in etwa den Mittelwert beider Sonden dar. Zündfähige Konzentrationen werden weder gemessen noch berechnet.



HDR-Test T31-5 COCOSYS V2.2

Abbildung 4.2.1-3 Wasserstoff-Konzentration

## 4.3 Sicherheitsbehälter und Nodalisierung

Zwei Längsschnitte des HDR-Sicherheitsbehälters in Nord-Süd- und Ost-West-Richtung sind in Abbildung B.5-1 im Anhang B.5 zu sehen. Das Gebäude hat eine Höhe von 60 m und einen Innendurchmesser von 20 m. Das Volumen beträgt ca. 11300 m³ und die Kondensationsfläche ca. 30000 m². Man erkennt die Reaktorräume in den unteren zwei Dritteln, den RDB im mittleren Teil und die Domzone im oberen Drittel. Aus dem RDB strömt sein Inhalt durch einen schräg nach oben gerichteten Bruchstutzen in die so genannten Bruchräume und von dort durch horizontale und vertikale Verbindungen in den gesamten Sicherheitsbehälter. Im Ost-West-Schnitt sind zwei Treppenhäuser zu sehen, von denen das bei 90° über alle Ebenen reicht, wogegen die Wendeltreppe erst bei 12 m beginnt und bis zum Dom reicht. Neun Grundrisse in verschiedenen Höhenlagen zeigen die Abbildungen B.5-2 bis B.5-10 im Anhang B.5.

Dieser Sicherheitsbehälter wurde in einem COCOSYS-Datensatz nachgebildet mit 61 Zonen, 234 Strömungsverbindungen und 157 Strukturen.

#### 5 Referenz-Datensatz

Für den Referenzdatensatz wurde auf einem vorhandenen Datensatz aufgebaut, der im Rahmen eines früheren Standardproblems erstellt wurde /HUE 91/. Um den Datensatz zu qualifizieren, wurden einige wenige Parameter aus den experimentellen Ergebnissen identifiziert, deren zeitlicher Verlauf durch die Rechnung möglichst genau getroffen werden muss. Um dies zu erreichen wurde die Rechnung auf fünf besonders wichtige Größen hin optimiert. Diese sind:

- Der Sicherheitsbehälterdruck, wie er oben gezeigt wurde
- Der Wasserspiegel im Gebäudesumpf
- Die Druckdifferenz zwischen Bruchraum und Dom
- Die Dampfeinspeiserate, wie sie oben beschrieben wurde
- Eine empirische Funktion für den Wassermitriss.

Der Wasserstand im Gebäudesumpf ist von besonderer Bedeutung, da er wesentlich die Energieverteilung im gesamten Sicherheitsbehälter beeinflusst. Wird er mit zu großen Abweichungen berechnet, dann sind auch große Abweichungen in den Massenund Energieverteilungen gegenüber dem Experiment vorhanden. Abbildung 5-1 zeigt den Vergleich zwischen berechnetem und gemessenem Wasserstand.

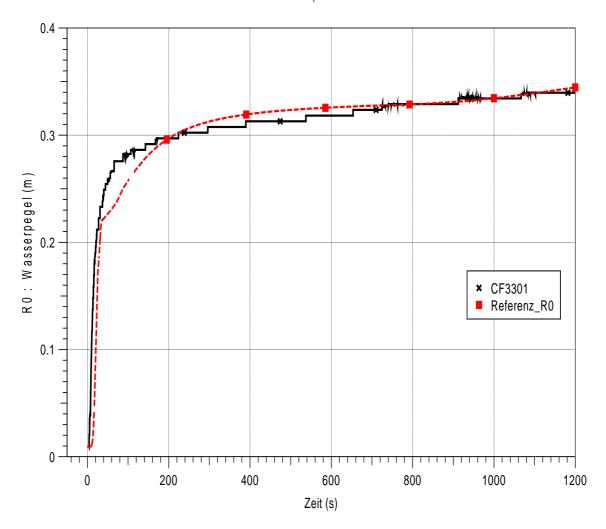


Abbildung 5-1 Wasserstand im Sicherheitsbehälter

Weitere Verbesserungen wären nur mit Hilfe zusätzlicher Informationen zum Experiment möglich, die nicht vorliegen. Im Wesentlichen gelang die Abstimmung durch Umstellen zahlreicher Drainagen von DRAIN\_BOT - auf SUMP\_BAL – Verbindungen. Damit wird der Niveauausgleich des Drainagewassers zwischen Räumen gleicher Bodenhöhen und das Variieren des an den Strukturen verbleibenden Restwassers erreicht.

Die Druckverläufe in den Bruchräumen und im Dom sind schwierig zu treffen, da der Massen- und Energieeintrag die Höhe des Drucks bestimmt. Der Mitriss von Wassertröpfchen muss berücksichtigt werden, da er in der Frühphase der Druckabsenkung die Verteilung des Energieeintrags maßgeblich beeinflusst. Abbildung 5-2 zeigt den Druckverlauf in den Bruchräumen.

HDR-T31.5 COCOSYS V2.2

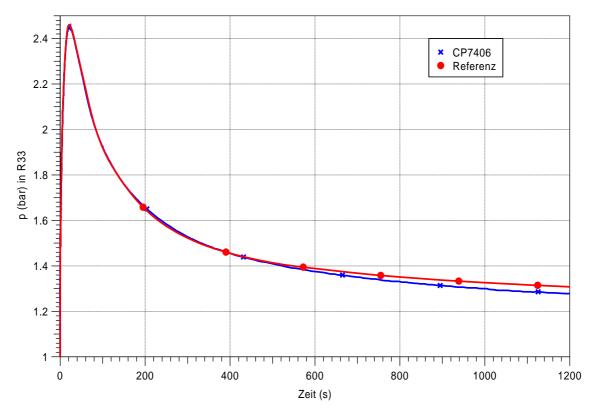


Abbildung 5-2 Druck in den Bruchräumen

Erst in der Spätphase der Naturkonvektion zeigen sich größere Abweichungen zwischen berechnetem und gemessenem Druck. Abbildung 5-3 beschreibt die Druckdifferenz zwischen Bruchraum und Dombereich. Sie wurde sehr gut getroffen, was dem in Abbildung 5-4 dargestellten Wassermitriss-Faktor zu danken ist, der durch zahlreiche Anpassungen ermittelt wurde. Dieser Wassermitriss-Faktor ist in den Bruchräumen des Gleichgewichts-Zonenmodells zu verwenden, zumindest solange das Nichtgleichgewichts-Zonenmodell in COCOSYS nicht derart aufgerüstet ist, dass es diesen Vorgang realistisch berechnet.

Man sieht aus Abbildung 5-4, dass in den ersten 2 s alle in der Atmosphäre schwebenden Tröpfchen aus der Bruchzone transportiert werden, nach 5 s ist dies auf nahezu Null gesunken. Die Mitrissfunktion ist nicht verallgemeinerbar, sie hängt von der räumlichen Gestaltung des Sicherheitsbehälters und vermutlich auch vom Verhältnis Massenstrom zu Bruchraumvolumen und weiteren Größen ab. Es darf jedoch erwartet werden, dass die Verläufe und Zeitpunkte auf andere Sicherheitsbehälter skalierbar sind.

HDR - Test T31-5, COCOSYS V2.2

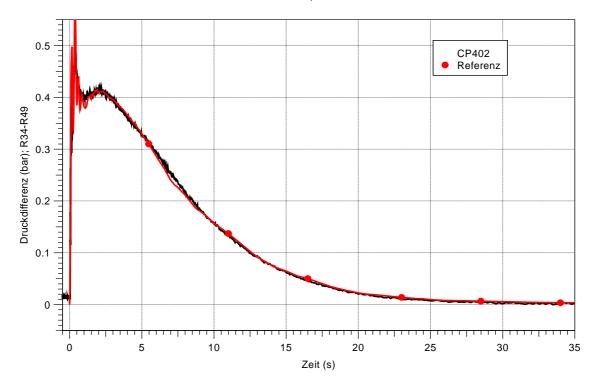


Abbildung 5-3 Druckdifferenz zwischen Bruchraum und Dombereich

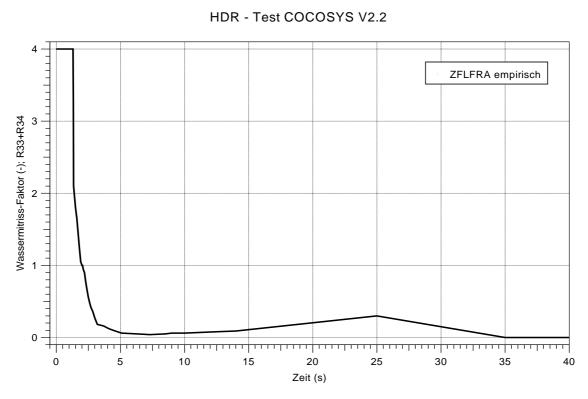


Abbildung 5-4 Wassermitriss-Faktor

#### 6 Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse

#### 6.1 Methode der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse

Aussagen zu sicherheitstechnischen Fragestellungen stützen sich in zunehmendem Maße auf Ergebnisse von Anwendungen komplexer Rechenmodelle. Ergebnisse solcher Modelle weisen naturgemäß Unsicherheiten auf, die auf epistemische Eingangsunsicherheiten zurückzuführen sind, d. h. auf Unsicherheiten im Kenntnisstand zu Eingabeparametern, zu Parametern von Modellformulierungen und zu Parametern der numerischen Lösungsalgorithmen.

Ziel von Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen zu Anwendungen komplexer Rechenmodelle ist die Beantwortung von zwei Fragen:

- (1) Wie groß ist der gemeinsame Einfluss aller dieser epistemischen Eingangsunsicherheiten auf die Ergebnisse des Rechenmodells? (=> Unsicherheitsanalyse)
- (2) Welche dieser Eingangsunsicherheiten tragen am meisten zur Ergebnisunsicherheit bei? (=> Sensitivitätsanalyse)

Aussagen zu (1) sind von Bedeutung u. a.

- beim Vergleich von Rechenmodellergebnissen mit Genehmigungsanforderungen bzw. sicherheitsrelevanten Grenzwerten. Damit lässt sich der Abstand der errechneten Werte zu den Grenzwerten quantitativ bewerten.
- beim Vergleich von Rechenmodellergebnissen mit Messwerten bei Voraus- oder Nachrechnung von Experimenten. Damit lässt sich der Grad der Übereinstimmung von Experiment und Rechnung bewerten.
- beim Vergleich von Ergebnissen verschiedener Rechenmodelle zu demselben Szenario. Damit lässt sich der Grad der Übereinstimmung der Ergebnisse der beteiligten Rechenmodelle untereinander bewerten.

Aussagen zu (2) liefern u. a. Anhaltspunkte dafür, wo der Kenntnisstand durch weitere theoretische Untersuchungen, Experimente, Expertenbefragungen, Datensammlungen usw. vorrangig verbessert werden sollte, um die Unsicherheit der Ergebnisse des Rechenmodells in möglichst effizienter Weise zu reduzieren. Damit können Schwerpunkte für die Weiterentwicklung und Verbesserung des Rechenmodells gesetzt bzw. Hinweise geliefert werden, wo Entwicklungsarbeiten eingestellt werden könnten, weil durch

genauere Modellierung keine wesentliche Reduzierung der Gesamtunsicherheit der Rechnung mehr zu erzielen ist.

Hauptmerkmale der von der GRS entwickelten Methodik zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse ("GRS-Methode") sind:

- (1) Die Quantifizierung der epistemischen Eingangsunsicherheiten erfolgt "probabilistisch" unter Zugrundelegung der "subjektiven" oder Bayes'schen Interpretation des Wahrscheinlichkeitsbegriffs (Wahrscheinlichkeit ≈ "Grad des Fürwahrhaltens", "degree-of-belief", Quantifizierung des Kenntnisstandes).
- (2) Die "Fortpflanzung" der Eingangsunsicherheiten durch das Rechenmodell bis zur Ergebnisunsicherheit erfolgt mit Methoden der Monte Carlo Simulation. Wegen des hohen Rechenzeitbedarfs der verwendeten Rechenprogramme (z.B. ATHLET, COCOSYS) soll der Stichprobenumfang, d.h. die Anzahl der im Zuge dieser Monte Carlo Simulation durchzuführenden Modell-Rechenläufe, möglichst klein sein.
- (3) Aussagen zur resultierenden Ergebnisunsicherheit basieren auf statistischen Methoden der "order statistics" ("geordnete Stichproben") und werden in Form verteilungsfreier statistischer Toleranzgrenzen formuliert. Die "Schärfe" dieser Unsicherheitsaussagen wird dabei durch zwei statistische Größen  $\beta$  und  $\gamma$  vorgegeben:
  - $\beta$  (=,Wahrscheinlichkeitsinhalt", "Überdeckungswahrscheinlichkeit", "probability content", "coverage") gibt an, welchen Anteil der Ergebnisunsicherheit von den zu ermittelnden Grenzen erfasst werden soll (in der Regel  $\beta$ =0.95), und
  - γ (=,,Vertrauensgrad", ,Konfidenzniveau", ,confidence level") gibt an, mit welcher statistischen Sicherheit (Vertrauen, Konfidenz) dies aufgrund der Beschränktheit des Stichprobenumfangs gelten soll (in der Regel γ=95%).
- (4) Sensitivitätsaussagen sollen zum Ausdruck bringen wie hoch der Beitrag ist, den die Unsicherheit in jedem der einzelnen Eingangsparameter zur Gesamtunsicherheit in der Ergebnisgröße liefert ("Sensitivität" im Sinne von "uncertainty importance"). Sie basieren auf geeigneten "Sensitivitätsmaßen" oder "Sensitivitätsindizes" ("uncertainty importance indices"), in deren Berechnung sowohl die im Rechenmodell abgebildeten funktionalen Zusammenhänge als auch die Verteilungen zur Quantifizierung der Unsicherheiten eingehen.

Die "GRS-Methode" hat gegenüber anderen Methoden der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse folgende Vorteile:

- Sie ist ohne Einschränkungen auf jedes beliebige Rechenmodell anwendbar. Besondere Anpassungen des Rechenprogramms sind nicht nötig.

- Die Anzahl der durchzuführenden Rechenläufe hängt nur von der geforderten "Schärfe" der Unsicherheitsaussagen ab, nicht aber von der Anzahl der beteiligten unsicheren Eingangs- und Ergebnisparameter.
- Für die Aussagen zur Sensitivitätsanalyse werden keine zusätzlichen Rechenläufe benötigt.

Die "GRS-Methode" ist daher besonders geeignet für Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen von Anwendungen sehr komplexer und rechenzeitintensiver Computermodelle, bei denen es darauf ankommt, die Anzahl der Modellrechnungen so gering wie möglich zu halten.

Programmtechnisch wird eine Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse durch das Programmpaket SUSA (Programm-System zur Unsicherheits- und Sensitivitäts-Analyse) unterstützt. Die "GRS-Methode" hat sich in allen Anwendungen als effizientes Werkzeug zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit und Sensitivität erwiesen. Darüber hinaus trugen die durchgeführten Analysen immer wieder auch zur Qualitätssicherung der jeweiligen Rechenprogramme bei.

#### 6.2 Durchzuführende Schritte einer Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse

Für die Durchführung dieser Analysen sind folgende Arbeiten erforderlich:

- Erstellung eines Eingabedatensatzes für COCOSYS zur Modellierung eines Sicherheitsbehälters, hier HDR-Experiment T31.5.
- Auswahl derjenigen Eingabeparameter, deren Unsicherheiten für einflussreich auf das Ergebnis gehalten werden, hier 79 unsichere Parameter.
- Quantifizierung der Parameterunsicherheiten: Für jeden der ausgewählten Eingabeparameter Festlegung von Referenzwert, Wertebereich, Wahrscheinlichkeitsverteilung und evtl. weiterer Zusatzbedingungen, die im Zuge der Monte Carlo Simulation zu beachten sind.
- Auswahl der Ergebnisparameter, für die Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden sollen, hier 33 Ergebnisparameter.
- Durchführung der Variationsrechnungen mit COCOSYS
   Für jeden unsicheren Parameter werden aus den festgelegten Wertebereichen entsprechend den Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Abhängigkeiten jeweils Parameterwerte ausgewählt. Mit diesen Parameterwerten werden Rechenläufe mit COCOSYS durchgeführt. Aus jedem Rechenlauf ergibt sich je ein alternati-

ver zeitabhängiger Verlauf für jede Ergebnisgröße. Durch die Gesamtheit der alternativen Ergebnisse wird eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für jede der interessierenden Ergebnisgrößen eindeutig festgelegt. Die Anzahl der hierzu erforderlichen Rechenläufe ist bei der Anwendung der mathematischen GRS-Werkzeuge unabhängig von der Anzahl der unsicheren Modellparameter und der Anzahl der interessierenden Ergebnisgrößen. Die Zahl der Läufe hängt lediglich von den statistischen Toleranzgrenzen ab. Diese sind die gewünschte Vertrauensgrenze (z.B. 90% oder 95%) und der Wahrscheinlichkeitsgehalt, die Quantile (z.B. 95%). Die 95%-Quantile der Temperatur ist z.B. derjenige Temperaturwert, der mit 95% Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. Für z.B. eine einseitige 95%/95%-Toleranzgrenze sind mindestens 59 Rechenläufe durchzuführen, für die zweiseitige Toleranzgrenze (Toleranzintervall) sind es mindestens 93 Rechenläufe.

- Unsicherheits- und Sensitivitätsaussagen
- Angabe quantitativer Unsicherheitsaussagen der Rechenergebnisse
   Aus der Gesamtheit der im vorhergehenden Schritt errechneten alternativen
   Ergebnisse werden quantitative Unsicherheitsaussagen, z. B. Toleranzgrenzen
   und -bereiche (90%, 95%, usw.) hergeleitet.
- Ermittlung von Sensitivitätsmaßen
   Die Rangfolge der Beiträge der einzelnen Eingangsunsicherheiten zur Ergebnisunsicherheit wird ermittelt.
- Darstellung und Interpretation der Analyseergebnisse.

Dies beinhaltet die gewonnenen Erfahrungen bei der Bestimmung der Wertebereiche und Wahrscheinlichkeitsverteilungen der unsicheren Modellparameter, die Unsicherheitsbereiche der Rechenergebnisse und die Sensitivitätsmaße.

#### 6.3 Unsicherheitsanalyse

Aufgabe der Unsicherheitsanalyse ist es, quantitative Aussagen zur Unsicherheit von Ergebnissen von Rechnungen von Rechenprogrammen oder Rechenmodellen zu machen. Die Unsicherheit einer Ergebnisgröße einer Modellrechnung wird vollständig beschrieben durch die Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Ergebnisgröße, die sich aus den von Experten festgelegten Wahrscheinlichkeitsverteilungen der unsicheren Eingangsparameter und deren Verknüpfungen im Rechenmodell ergibt. Diese Verteilung

lässt sich jedoch aufgrund der Komplexität des Rechenmodells und der Vielzahl der unsicheren Parameter nur in den seltensten Fällen analytisch bestimmen. Ist das Rechenmodell auch noch sehr rechenzeitintensiv, kann man auch die erforderliche hohe Zahl von Rechenläufen zur hinreichend genauen Ermittlung dieser Verteilung per Monte-Carlo-Simulation nicht durchführen.

In solchen Fällen liefern die sog. *verteilungsfreien statistischen Toleranzgrenzen* geeignete Aussagen nicht nur über extreme Quantile dieser Verteilung sondern auch über die Lage und Weite von Wertebereichen, denen eine hohe Überdeckungswahrscheinlichkeit zukommt. Dabei ist die Anzahl der durchzuführenden Modellrechnungen relativ gering und vor allem gänzlich unabhängig von der Anzahl der beteiligten unsicheren Eingangsparameter und Ergebnisgrößen.

Ausgehend von der Stichprobe  $Y_1,..., Y_n$  einer skalaren Ergebnisgröße Y mit der (unbekannten) Verteilungsdichte f(y) sucht man zwei Grenzwerte L und U, so dass gelten soll:

$$pr(\int\limits_{L}^{U}f(y)dy\geq\beta)\geq\gamma$$

für vorher fest gewählte Werte  $0 < \beta$ ,  $\gamma < 1$  (in der Regel:  $\beta = 0.95$ ,  $\gamma = 0.95$ ).

Die Grenzen L und U heißen  $(\beta, \gamma)$  -Toleranzgrenzen, oder -Toleranzintervall,  $\beta$  heißt: Wahrscheinlichkeitsinhalt (probability content, coverage, proportion),  $\gamma$  heißt Vertrauensgrad, statistische Sicherheit, Konfidenzniveau, Sicherheitswahrscheinlichkeitt.

Ein (0.95,0.95) -Toleranzintervall [L,U] ist demnach ein Intervall, in dem mit der statistischen Sicherheit von mindestens 95%, mindestens 95% der Verteilung der Ergebnisgröße liegen. Anders ausgedrückt: mit mindestens 95% statistischer Sicherheit deckt das errechnete Toleranzintervall [L,U] mindestens 95% der resultierenden Unsicherheit der Ergebnisgröße ab.

Die Toleranzgrenzen L und U werden aus den der Größe nach geordneten Stichprobenwerten  $Y_{(1)},...,Y_{(n)}$  der betrachteten Ergebnisgröße Y in folgender Weise bestimmt. Wählt man

$$L = Y_{(r)} \qquad \text{und} \qquad U = Y_{(s)}$$

d.h. den r-ten bzw. den s-ten der entsprechend der Größe geordneten n Stichprobenwerte als untere bzw. obere  $(\beta,\gamma)$ -Toleranzgrenze L und U, so muss zwischen n, r, s,  $\beta$  und  $\gamma$  die folgende Beziehung gelten:

$$\sum_{i=1}^{s-r-l} \binom{n}{i} \beta^i (1-\beta)^{n-i} \ge \gamma.$$

In der vorliegenden COCOSYS-Anwendung ist n=200,  $\gamma$ =0.95 und  $\beta$ =0.95. Daraus ergibt sich (s-r)=196 und schließlich unter der Symmetriebedingung, dass r und n-s möglichst gleich sein sollten, die Werte r=2 und s=198. D.h. die (0.95, 0.95)-Toleranzgrenzen aus einer Stichprobe vom Umfang n=200 ergeben sich als der zweite und der 198-te aus den 200 geordneten Stichprobenwerten der betrachteten Ergebnisgröße. Es gilt dann die Unsicherheitsaussage:

Mit der statistischen Sicherheit von mindestens 95% (hier sogar 97.36% aufgrund des gewählten Stichprobenumfangs n=200) befinden sich zwischen dem zweitkleinsten und dem drittgrößten der 200 Ergebniswerte mindestens 95% der resultierenden Unsicherheit der betrachteten Ergebnisgröße.

Für die Gültigkeit dieser Aussage ist es wesentlich, dass die Werte der betrachteten Ergebnisgröße Y eine Stichprobe im Sinne der mathematischen Statistik bilden, d.h. Realisationen von unabhängigen und identisch verteilten Zufallsgrößen Y<sub>1</sub>,..., Y<sub>n</sub> sind. Dies ist prinzipiell aber nur dann gewährleistet, wenn die zugrunde liegende Parameterstichprobe nach dem Prinzip der sog. *einfachen Zufallsauswahl (simple random sampling, SRS)* generiert wurde. Andere Parameterauswahlverfahren wie z.B. das sog. *latin hypercube sampling* und andere Formen des *importance sampling* sind zur Bestimmung von verteilungsfreien Toleranzgrenzen nicht geeignet.

Der erforderliche Mindestumfang m der Stichprobe (=Mindestanzahl der durchzuführenden Rechenläufe) zur Bestimmung derartiger Toleranzintervalle lässt sich ebenfalls aus den obigen Beziehungen bestimmen. Man hält  $\beta$  (=0.95) und  $\gamma$  (=0.95) fest und setzt r=1 und s=m, d.h. das Toleranzintervall [L, U]=[Y<sub>(1)</sub>, Y<sub>(m)</sub>] soll aus dem Bereich zwischen dem kleinsten und dem größten aller m Ergebniswerte bestehen. Nach der obigen Formel ergibt sich daraus für m die Beziehung:

$$1 - \beta^{\mathbf{m}} - \mathbf{m}(1-\beta) \beta^{\mathbf{m}-1} \geq \gamma.$$

Die Tabelle dazu:

m	38	46	64	77	93	130	388	473	661
γ	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99
β	0.90			0.95			0.99		

In der vorliegenden Anwendung ergibt sich aus  $\beta$ =0.95 und  $\gamma$ =0.95 für den Mindeststichprobenumfang m der Wert m=93. D.h. mit bereits 93 Modellrechnungen wären Unsicherheitsaussagen in Form von (0.95, 0.95)-Toleranzgrenzen möglich.

Der Vorteil eines gegenüber dem Mindestwert (m=93) erhöhten Stichprobenumfang (n=200) liegt in der geringeren "Konservativität" der resultierenden Unsicherheitsaussagen. Toleranzgrenzen aus kleineren Stichproben können bekanntlich mit einem noch relativ hohen Vertrauensgrad einen Anteil an Ergebnisunsicherheit erfassen, der deutlich höher sein kann als der ursprünglich geforderte Anteil. Vergleiche mit sicherheitsrelevanten Grenzwerten z.B. können deshalb zu pessimistisch, d.h. konservativ ausfallen. Mit wachsendem Stichprobenumfang n nimmt diese Konservativität entsprechend ab.

Für die praktische Durchführung einer Unsicherheitsanalyse bei zeitabhängigen Ergebnisgrößen werden Zeitpunkte entlang der Zeitachse festgelegt. Zu diesen Zeitpunkten werden dann die Toleranzgrenzen wie bei skalaren Ergebnisgrößen ermittelt. Die obige Unsicherheitsaussage gilt dann lokal, d.h. zu jedem dieser festgelegten Zeitpunkte separat.

Grafisch dargestellt werden diese zeitabhängigen Toleranzgrenzen zusammen mit dem entsprechenden Zeitverlauf der Ergebnisgröße im Referenzfall sowie, falls vorhanden, mit der entsprechenden Messkurve aus dem nachzurechnenden Experiment.

Ausführliche Darstellung, weitere Details und Literaturhinweise siehe /KRZ 90a/.

#### 6.4 Sensitivitätsanalyse

Aufgabe der Sensitivitätsanalyse ist es festzustellen, wie hoch der Beitrag ist, den die Unsicherheit in jedem der einzelnen Eingangsparameter zur Gesamtunsicherheit in der Ergebnisgröße liefert. Gemäß der Höhe der einzelnen Beiträge ergibt sich eine Rangordnung unter den unsicheren Eingangsparametern bezüglich des Einflusses ihrer Un-

sicherheiten auf die Unsicherheit der Ergebnisgröße. Diese Rangordnung liefert nützliche Hinweise u. a. darauf, wo der Kenntnisstand vorrangig verbessert werden sollte, um die Unsicherheit im Ergebnis möglichst effektiv zu reduzieren.

Im Vordergrund des Interesses einer Sensitivitätsanalyse steht also nicht die Frage, wie sensitiv ist der Wert einer Ergebnisgröße gegenüber kleinen Schwankungen der Werte der einzelnen unsicheren Eingangsparameter um den jeweiligen Nominalwert ("lokale", "differentielle" Sensitivität), sondern vielmehr, wie stark hängt die Unsicherheit einer Ergebnisgröße von den Unsicherheiten in den einzelnen Eingangsparametern ab ("globale" Sensitivität im Sinne von Unsicherheitsimportanz, "uncertainty importance"). Im ersten Fall sind nur die im Rechenmodell abgebildeten funktionalen Beziehungen zwischen Eingangsarametern und Ergebnisgröße wirksam, im zweiten zusätzlich auch die durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen quantifizierten Parameterunsicherheiten.

Die Rangordnung unter den unsicheren Parametern gemäß ihrem Beitrag zur Ergebnisunsicherheit erhält man mit Hilfe von *Sensitivitätsmaßen (-indices)*. Ein Sensitivitätsmaß für eine Ergebnisgröße Y bezüglich eines unsicheren Parameters X ist eine Zahl (in der Regel normiert zwischen -1 und +1), die den Einfluss der Unsicherheit dieses Parameters auf die Unsicherheit der Ergebnisgröße quantitativ zum Ausdruck bringt.

Es gibt viele unterschiedliche Arten von Sensitivitätsmaßen mit unterschiedlichen Eigenschaften und Besonderheiten. Um zu beurteilen, welche von ihnen im jeweiligen Fall die geeigneten sind, ist nicht nur die genaue Kenntnis dieser Eigenschaften und Besonderheiten erforderlich, sondern häufig sind auch zusätzliche Untersuchungen durchzuführen.

Im vorliegenden Fall wurde für die gesamte Analyse als Sensitivitätsmaß der *Rang-Korrelationskoeffizient nach Spearman* (*Spearman's rank correlation coefficient*, Abkürzung: RCC) gewählt.

Er wird nach der Formel

$$\mathsf{RCC}(\mathsf{Y},\mathsf{X}) = \frac{\sum (\mathsf{R}(\mathsf{y}_i) - \overline{\mathsf{R}\mathsf{y}})(\mathsf{R}(\mathsf{x}_i) - \overline{\mathsf{R}\mathsf{x}})}{\sqrt{\sum (\mathsf{R}(\mathsf{y}_i) - \overline{\mathsf{R}\mathsf{y}})^2 \ \sum (\mathsf{R}(\mathsf{x}_i) - \overline{\mathsf{R}\mathsf{x}})^2}}$$

ermittelt. Hierbei sind

$$\begin{split} R(y_i) &= \text{Rang des Wertes } y_i \text{ innerhalb der n Stichprobenwerte der Ergebnisgröße Y} \\ R(x_i) &= \text{Rang des Wertes } x_i \text{ innerhalb der n Stichprobenwerte des Parameters X} \\ \overline{Rx} \;\;,\; \overline{Ry} \;= \text{Stichprobenmittelwerte davon}. \end{split}$$

Die wichtigsten Eigenschaften des Sensitivitätsmaßes RCC sind:

Ist die Ergebnisgröße Y unabhängig von Parameter X, so ist RCC=0,
Ist die Ergebnisgröße Y eine monotone steigende Funktion in X, so ist RCC=+1,
Ist die Ergebnisgröße Y eine monotone fallende Funktion in X, so ist RCC= -1.

Der Rang-Korrelationskoeffizient ist also ein Maß für den Grad der *monotonen* Abhängigkeit der Ergebnisgröße Y vom Eingangsparameter X, im Unterschied zum gewöhnlichen Korrelationskoeffizienten (nach Pearson), der nur den Grad der *linearen* Abhängigkeit wiedergibt. Je größer der Rang-Korrelationskoeffizient seinem Betrage nach ist, desto größer ist daher der Grad dieser Abhängigkeit und damit auch der Einfluss des betreffenden Parameters auf die Unsicherheit der Ergebnisgröße. Das Vorzeichen des Rang-Korrelationskoeffizienten gibt die Ausrichtung dieses Einflusses wider. Ein positives Vorzeichen bedeutet, dass mit zunehmenden Werten des betreffenden Parameters die betrachtete Ergebnisgröße ebenfalls zu größeren Werten tendiert. Entsprechend bedeutet ein negatives Vorzeichen die Umkehrung dieser Tendenz. Diese Eigenschaft kann bei der Interpretation der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse wichtig sein.

Die Darstellung der Sensitivitätsergebnisse für zeitabhängige Ergebnisgrößen erfolgt grafisch, indem der Verlauf des Rang-Korrelationskoeffizienten bezüglich jedes einzelnen Parameters zu den für die Analyse festgelegten Zeitpunkten über der Zeitachse aufgetragen wird.

Im übrigen kann man davon ausgehen, dass bei dem vorliegenden Stichprobenumfang von n=200 Werte des Rang-Korrelationskoeffizienten, die betragsmäßig kleiner sind als ca. 0.15-0.20, statistisch nicht signifikant sind und daher vernachlässigt werden können.

Ausführlichere Darstellung, weitere Details und Literaturhinweise siehe /KRZ 90b/, /HOF 93/.

# 7 Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der Ergebnisse des Sicherheitsbehälter-Programms COCOSYS für das Experiment HDR T31.5

Die Unsicherheit der Ergebnisse des Rechenprogramms COCOSYS ist eine Zusammenfassung im Wesentlichen dreier unsicherer Eingangskomponenten:

- Die Unsicherheit in der Darstellung durch die mathematischen Modelle im Sicherheitsbehälter-Rechenprogramm COCOSYS
- Die Unsicherheit in der gewählten Nodalisierung, d. h. ob sie hinreichend fein unterteilt ist und in der Lage, den thermohydraulischen Prozess abzubilden
- Die Unsicherheit der Werte einzelner Eingabeparameter, die aus der Dokumentation der Anlage, aus Stoffwerttabellen und ingenieurmäßiger Einschätzung gewonnen wurden.

Die Eignung des Rechenprogramms für das zugrunde liegende Szenario des Experiments HDR T31.5 wurde durch die Nachrechnung zahlreicher Experimente festgestellt. Aus den Rechenergebnissen ergeben sich keine Hinweise auf grundlegende Schwächen des Rechenprogramms.

Unsicherheiten in der gewählten Nodalisierung sind vorhanden, obwohl durch zahlreiche Variationen ein qualitativ guter Referenzdatensatz erstellt werden konnte. Weitere Verbesserungen sind durch differenziertere Nodalisierung zu erreichen. Nodalisierungsschema und Wahl der Eingabeparameter sind miteinander verbunden, nur ihre gemeinsame Modifizierung könnte weitere Verbesserungen ergeben.

In der vorliegenden Untersuchung werden das Rechenprogramm und die Nodalisierung des Referenzdatensatzes unverändert festgehalten und lediglich die Unsicherheiten ausgewählter Eingabeparameter untersucht.

#### 7.1 Unsichere Parameter

In dem erstellten Referenzdatensatz wurden die ausgewählten 79 Eingabeparameter bzw. -parametergruppen identifiziert. Mit den entsprechenden Programmen aus SUSA wurden Werte für diese Parameter gemäß den spezifizierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen zufällig ausgewählt und daraus 200 Datensätze erzeugt. Anschließend wurden die entsprechenden 200 COCOSYS Rechnungen durchgeführt. Das dauerte auf einem

PC mit Intel-CPU ca. 25 Stunden. In Tabelle A-1 sind die Angaben zu den Verteilungen der einzelnen Parameter aufgelistet. Die einzelnen Parameter haben unterschiedlichen Einfluss auf die Unschärfebereiche der Ergebnisse. Man muss unterscheiden zwischen Parametern mit lokaler und solchen mit globaler Wirkung, sowie zwischen temporär und im gesamten Zeitbereich wirkenden. Beispielsweise haben einzelne Volumenänderungen im Gesamtsystem Auswirkung auf den Druck. Da aber das Sicherheitsbehältervolumen gut bekannt ist, wurden im Zuge der Monte Carlo Simulation einzelne Volumenänderungen unter der Nebenbedingung eines invarianten Gesamtvolumens durchgeführt, sie haben damit nur lokale Wirkung. Anders liegt der Fall bei den Wärmeübergangsparametern, hier bestehen Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Werte und der Auswirkung der beteiligten unterschiedlichen Modelle. Sie wirken auf das Gesamtsystem. Druckdifferenzen zwischen benachbarten Räumen sind nur während der Druckabsenkungsphase wirksam, nach 40 s nicht mehr. Wie bereits erwähnt, hört der Einfluss des Wassermitrisses bereits nach 5 s auf. Er ist nur zwischen dem Bruchraum und den Folgeräumen von Bedeutung.

Insgesamt wurden drei Sätze vom Stichprobenumfang 200 durchgerechnet. In einem Satz wurden jeweils Dreiecksverteilungen vorgegeben und in zwei Sätzen Gleichverteilungen. Die Dreiecksverteilungen führten zu einer Häufung der Rechenergebnisse um das Referenzergebnis. Im dritten Satz wurden im Vergleich zum zweiten die Grenzen der Verteilungen erweitert, insbesondere wurde die Wirksamkeit der beteiligten Wärmeübergangsmodelle freie Konvektion, erzwungene Konvektion und Kondensation an Strukturen in physikalisch sinnvollen Grenzen variiert. Im zweiten Satz waren die Verteilungen dieser Korrelationen nur in Richtung niedrigerer Werte als der Referenzwert spezifiziert worden. Sämtliche Rechnungen liefen fehlerfrei und ohne Unterbrechung über den gesamten Zeitbereich.

33 Parameter wurden ausgewählt, um die Ergebnisse der Rechnungen darzustellen.

#### 7.2 Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse

Der zeitliche Verlauf aller 200 Rechnungen mit dem COCOSYS-Rechenprogramm wird für jeden Ergebnisparameter dargestellt. Er verschafft einen Eindruck über deren Verteilung, ist aber wenig übersichtlich, siehe z. B. Abbildung 7.2-1. In dieser Abbildung sind die 200 Ergebnisse für den Druck in der Domkuppel zu sehen. Die rote Kurve zeigt das Ergebnis der Referenzrechnung. In der Referenzrechnung sind die möglichst realistischen Werte der Eingangsparameter gewählt worden, wie sie z.B. für eine mög-

lichst realistische Voraus- oder Nachrechnung verwendet werden. Man sieht, dass die Mehrzahl der Ergebnisse beidseitig um den Referenzfall verteilt sind und weniger häufig in größerem Abstand von diesem Wert. Weitere Darstellungen sind im Anhang B.2 zu finden.

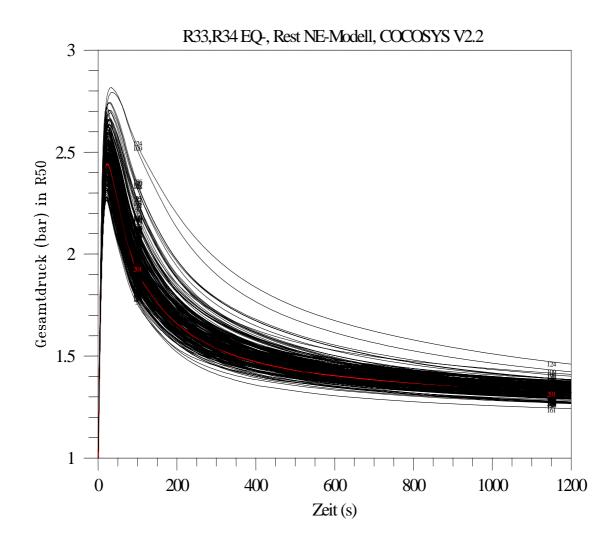


Abbildung 7.2-1 Druck in der Domzone, Ergebnisse von 200 Variationen

Wie zuvor im Abschnitt 6.3 ausgeführt, wird der Unschärfebereich der Ergebnisse durch statistische 95%/ 95%-Toleranzgrenzen angegeben, die aus den 200 Zeitverläufen der einzelnen Ergebnisgrößen ermittelt werden. Für diese Grenzen gilt die lokale Unsicherheitsaussage:

Zu jedem der zugrunde gelegten, diskreten Zeitpunkte werden mit der statistischen Sicherheit von mindestens 95% von den jeweils errechneten Grenzen mindestens 95% der resultierenden Unsicherheit der betrachteten Ergebnisgröße überdeckt.

Die grafische Darstellung dieser zeitabhängigen Toleranzgrenzen erfolgt zusammen mit dem entsprechenden Zeitverlauf der Ergebnisgröße für den Referenzfall sowie, falls vorhanden, mit der entsprechenden Messkurve aus dem nachzurechnenden Experiment. Abbildung 7.2-2 zeigt die Endpunkte der (95%, 95%) statistischen Toleranzintervalle für den Druck im Dom, die zu ausgewählten Zeiten berechnet wurden. Zusätzlich sind die Referenz- und Messwerte dargestellt. Es fällt auf, dass die Referenzkurve näher am unteren Rand liegt, obwohl die Variationsbandbreite für alle Parameter nach oben und unten gleich groß ist. Der maximale Druck nach der Referenzrechnung beträgt 2,47 bar, der gemessene Wert ist 2,45 bar. Das (95%, 95%) Toleranzintervall für den maximalen Druck umfasst 2,26 bis 2,75 bar.

Probe CP409 Referenzdatens. untere Schranke obere Schranke R50 : Absolutdruck p (bar) 1.5 0 200 400 600 800 1000 1200 Zeit (s)

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

Abbildung 7.2-2 Vergleich des zeitlichen Verlaufs des berechneten (95%, 95%)-Wertebereichs mit dem gemessenen Druck im Dom und mit der Referenzrechnung

Einzelwerte, wie z.B. den Maximaldruck im Sicherheitsbehälter kann man als Verteilungsfunktion der Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse darstellen, Abbildung 7.2-3.

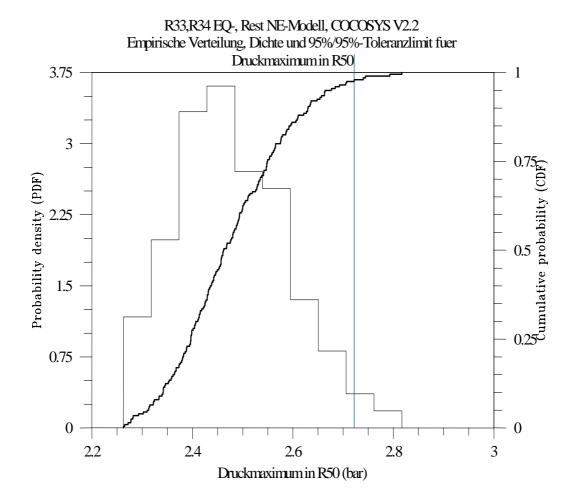


Abbildung 7.2-3 Verteilungsfunktion der Ergebnisse für den Maximaldruck im Sicherheitsbehälter

Abbildung 7.2-4 zeigt die Endpunkte der (95%, 95%) statistischen Toleranzintervalle der Temperatur in der Zone, in die der Bruchmassenstrom aus dem RDB eingespeist wird. Zusätzlich sind die Referenz- und Messwerte dargestellt. Die maximale Temperatur der Referenzrechnung beträgt 125°C, der gemessene Wert ist 126°C. Das (95%, 95%) Toleranzintervall für das Temperaturmaximum schließt Werte von 124 bis 132°C ein. Weitere Abbildungen zu den Unschärfebereichen der Rechenergebnisse sind im Anhang B.3 dargestellt.

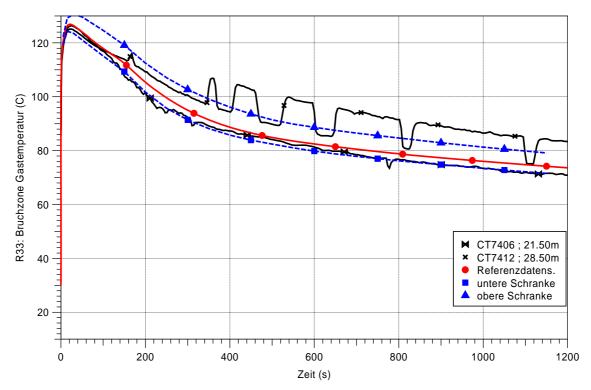


Abbildung 7.2-4 Vergleich des zeitlichen Verlaufs des berechneten (95%, 95%)Wertebereichs mit der gemessenen Temperatur in der Bruchzone und mit der Referenzrechnung

#### 7.3 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden durch Rangkorrelations-Koeffizienten (RCC) repräsentiert, die als normierte Größen zwischen -1 und +1 liegen. Sie beschreiben den zeitlichen Einfluss eines jeden der 79 Eingabeparameter auf die Unsicherheit der betreffenden Ergebnisgröße, s. Abbildung 7.3-1. Je größer der Betrag des Rangkorrelations-Koeffizienten, desto einflussreicher ist der Parameter zum betrachteten Zeitpunkt. Das Vorzeichen des RCC gibt die Ausrichtung dieses Einflusses an (siehe Abschnitt 6.4). Man erkennt, dass sich nicht nur die Stärke der Sensitivität, sondern auch deren Richtung zeitlich ändern kann.

Wie früher bereits erwähnt, sind bei dem vorliegenden Stichprobenumfang von n=200 RCC-Werten, diejenigen, die betragsmäßig kleiner sind als etwa 0.15-0.20, statistisch nicht signifikant. Der Einfluss dieser Eingangsparameter kann daher vernachlässigt werden.

Dies bedeutet, dass bei der Ermittlung der Unsicherheit der Eingabeparameter mit geringer Sensitivität ein geringerer Aufwand genügen würde als für Parameter mit großer Sensitivität.

Die Interpretation der Sensitivitätsergebnisse ist in den meisten Fällen einfach, in wenigen Fällen kompliziert. Sie wird hier für die Ergebnisse Druck und Temperatur im Dom sowie Temperatur in der Bruchzone vorgenommen. Zunächst die Parameter 69, 77, 79, die für die Wärmekapazität von Beton, die Oberfläche des freien Liners und die Materialdicke des Liners stehen, siehe Tabelle A-1.

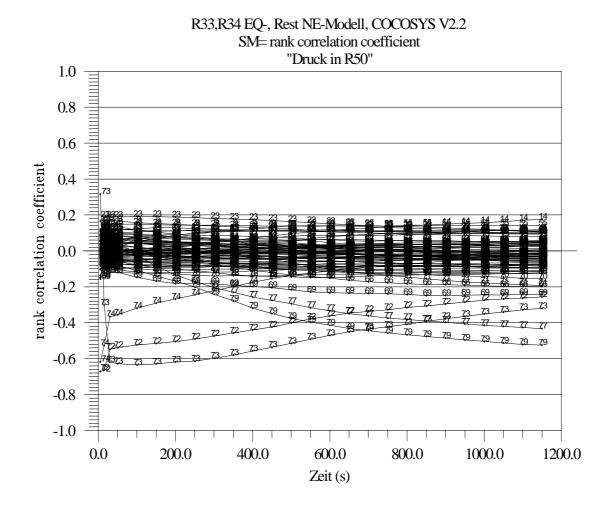


Abbildung 7.3-1 Rangkorrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße für den Druck im Dom

Ihr Sensitivitätskoeffizient RCC ist negativ und fällt mit der Zeit, d. h. betragsmäßig nehmen die Maße zu. Das bedeutet, dass der Druck im Sicherheitsbehälter tendenziell steigt (fällt), wenn die die Werte dieser Parameter fallen (steigen) und dass sich

diese Tendenz mit der Zeit noch verstärkt. Das heißt, mit zunehmender Wärmekapazität, Oberfläche und Materialdicke nimmt der Systemdruck ab. Dieser Einfluss nimmt mit der Zeit zu, da die Konvektion abnimmt.

Als zweite Gruppe betrachten wir die Parameter 72, den Wärmeübergang durch freie Konvektion und Parameter 74, die Wandkondensation. Ihre Sensitivitätskoeffizienten (RCC) sind negativ und steigen mit der Zeit an, d.h. werden betragsmäßig kleiner. Das bedeutet ebenfalls, dass der Druck im Sicherheitsbehälter tendenziell steigt (fällt), wenn die die Werte dieser Parameter fallen (steigen). Allerdings schwächt sich diese Tendenz mit der Zeit ab. Das ist plausibel, da der Energietransport an die Wände wegen der abnehmenden Naturkonvektion abnimmt.

Eine Besonderheit stellt Parameter 73 dar, er stellt einen Wichtungsfaktor zwischen erzwungener Konvektion und freier Konvektion dar. Der Beitrag der erzwungenen und der freien Konvektion sind in einer Formel kombiniert. Ist der Wert des Parameters 73 FOC = 0, wird nur die erzwungene Konvektion berechnet, ist FOC = 2, wird nur die freie Konvektion gerechnet. Im Referenzfall FOC = 1 werden beide Anteile berücksichtigt. Betrachten wir die ersten 200 s, stellen wir fest, dass der Einfluss des Parameters 73, ausgedrückt durch den RCC (73) bei positiven Werten beginnt, nach 10 s zu negativen Werten wechselt, die bei 100 s ein Minimum erreicht und dann allmählich wieder wächst. Um dies zu verstehen, muss man Abbildung 4.1-2, das die Dampfeinspeisung aus dem RDB wiedergibt, mitberücksichtigen. Bei 3 s erreicht die Einspeisung ihren höchsten Wert, nach 22 s hat sich der höchste Sicherheitsbehälterdruck aufgebaut und nach 39,5 s ist die RDB-Druckabsenkung beendet. Entsprechend entwickeln sich auch die Geschwindigkeiten entlang der Wände. Mit abnehmendem FOC sinkt zunächst tendenziell der Druck, da die erzwungene Konvektion im Zeitbereich hoher Dampfeinspeisung einen starken Wärmeübergang an die Struktur zur Folge hat (positives Vorzeichen von RCC). Sinkt die Dampfgeschwindigkeit, nimmt die erzwungene Konvektion ab, es wirkt jedoch nur eine reduzierte oder gar keine freie Konvektion, was eine tendenzielle Erhöhung des Druckes bewirkt, das Vorzeichen des Sensitivitätsmaßes wird negativ. Nimmt dagegen FOC zu, so sinkt in den ersten 10 s der Anteil der erzwungenen Konvektion, so dass der Druck im Sicherheitsbehälter tendenziell steigt (positives Vorzeichen des Sensitivitätsmaßes). Nimmt die Dampfgeschwindigkeit ab, so setzt die Wirkung der freien Konvektion ein, die den Wärmeübergang erhöht, wodurch der Druck tendenziell sinkt, das Vorzeichen des Sensitivitätsmaßes wird negativ.

Für Einzelwerte, wie den Maximaldruck im Sicherheitsbehälter-Dom, kann eine gesonderte Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, siehe Abbildung 7.3-2. Das Druckmaximum stellt sich von Rechenlauf zu Rechenlauf zu unterschiedlichen Zeitpunkten ein. Die Sensitivitätsmaße werden für den Maximaldruck zu den jeweiligen Zeiten bestimmt. Für den Unschärfebereich des Maximaldrucks sind im Wesentlichen verantwortlich die Parameter 72 (freie Wandkonvektion), 73 (Wichtungsfaktor für erzwungene Wandkonvektion) und 74 (Wandkondensation). Diese Darstellung bietet den Vorteil, dass man die Beiträge einzelner Parameter besser überblicken kann.

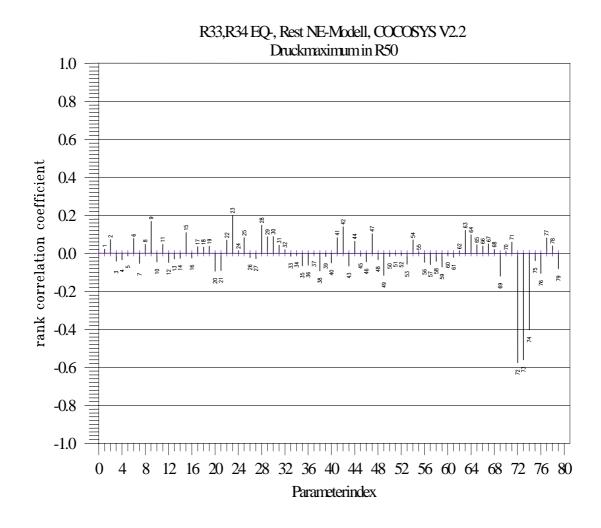


Abbildung 7.3-2 Sensitivitätsmaße der 79 Eingangsparameter für den maximalen Druck im Sicherheitsbehälter-Dom

Für die Temperatur im Sicherheitsbehälter sind darüber hinaus bedeutend:

Parameter 14, Verbindungsquerschnitt, positiv, d. h. je größer desto höher ist tendenziell die Temperatur.

Parameter 70, Wärmeleitfähigkeit von Beton, negativ, d. h. je größer desto niedriger ist tendenziell die Temperatur.

Parameter 66, Wärmekapazität von Stahl, negativ, d. h. je größer desto niedriger ist tendenziell die Temperatur.

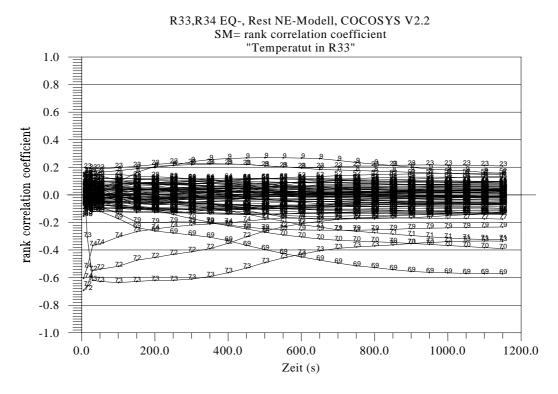


Abbildung 7.3-3 Rangkorrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße für die Temperatur in der Zone, in die der Bruchmassenstrom aus dem RDB eingespeist wird

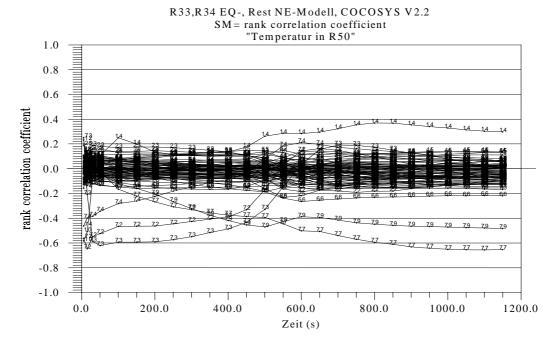


Abbildung 7.3-4 Rangkorrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße für die Temperatur in der Domzone

Die Sensitivitätsergebnisse für weitere Ergebnisparameter sind im Anhang B.4 zu finden. Für die Dampfkonzentration im Sicherheitsbehälter z.B. haben danach großen Einfluss:

Parameter 8 (positiv), Höhe des Zonenzentrums Parameter 9 (positiv), Höhe des Zonenzentrums Parameter 10 (negativ), Wassermitriss-Faktor.

Als wichtiges Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist zu sehen, dass etwa 9 der insgesamt 79 ausgewählten unsicheren Parameter einen signifikanten Einfluss auf die Unsicherheit der Ergebnisparameter Druck und Temperatur im Sicherheitsbehälter haben. Der Einfluss der übrigen Eingabeparameter ist nur marginal. Auffällig ist, dass im Wesentlichen die Modelle für den Wärmeübergang an die Strukturen, die Wärmekapazität der Strukturen, deren Oberfläche und Wanddicke den Druck und die Temperatur im Sicherheitsbehälter beeinflussen. Eine Variation des Wassermitriss-Faktors, Parameter 10, um bis zu ± 10% in den Bruchräumen zeigt dagegen keinen signifikanten Einfluss auf den Druck und die Temperatur im Sicherheitsbehälter, sondern nur z. B. in Zone 1 auf die Dampfkonzentration (Abb. B.4-4 in Anhang B.4).

#### 8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Vorhabens RS 1142 wurde der Einfluss des Kenntnisstands zu Modellparametern, Anfangs- und Randbedingungen sowie Anlagendaten auf die Rechenergebnisse untersucht. Dies wurde durchgeführt zum Kühlkreislauf für einen 2 x 100%-Bruch in der kaltseitigen Leitung eines Referenzreaktors, sowie zum Sicherheitsbehälter für das Experiment T31.5 in der HDR-Experimentalanlage, in dem ein großer Bruch simuliert wurde. Für die erste Analyse wurde das Kühlkreislauf-Rechenprogramm ATHLET eingesetzt, für die zweite Untersuchung das Sicherheitsbehälter-Rechenprogramm COCOSYS. Es wurde der kombinierte Einfluss der Verteilungen von Eingangsparametern auf die Rechenergebnisse quantifiziert.

Die Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der Ergebnisse des Reaktorkühlkreislauf-Thermohydraulik-Rechenprogramms ATHLET für eine deutsche Referenz-Druckwasserreaktoranlage mit 200%-Leck im kalten Strang wurde zuerst durchgeführt und detailliert in einem gesonderten Bericht dargestellt /GLA 05/. Ein wesentliches Ergebnis dieses Arbeitspunktes sind die berechneten maximalen Hüllrohrtemperaturen. Die (95 %, 95 %) obere einseitige Toleranzgrenze der maximalen im Kern berechneten Hüllrohrtemperatur während der Druckabsenkungsphase wird zu 1016 °C berechnet. Während der Kernflutphase beträgt der entsprechende Wert 974 °C. Die Ergebnisse der maximalen Hüllrohrtemperatur der Referenzrechnung, in der die in ATHLET verfügbaren Standardwerte (defaults) für die Modellgleichungen und die Nominalwerte für die Anfangs- und Randbedingungen ohne Berücksichtigung von Unsicherheiten verwendet werden, sind für die Druckabsenkungsphase 833 °C und für die Kernflutphase 808 °C. Die relativ hohe Differenz von 183 °C und 166 °C zur oberen einseitigen Toleranzgrenze der Analyse sind Auswirkungen der Unsicherheiten/ Unschärfen in den Brennstabparametern, in der Reaktorleistung, in den zahlreichen Modellen und Korrelationen, die in einem Thermohydraulik-Rechenprogramm implementiert sind sowie in den Bypass-Strömungsflächen zwischen oberem Ringraum und Deckelraum des Reaktorbehälters. Die Analyse hat zusätzlich Angaben darüber geliefert, welche dieser ungenau bekannten Eingangsparameter den größten Einfluss auf die Verteilung der Ergebnisse haben.

In dem zweiten Arbeitspunkt wurde eine Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der Ergebnisse des Sicherheitsbehälter-Programms COCOSYS für das Experiment HDR T31.5 durchgeführt. Dies ist im Wesentlichen Gegenstand des vorliegenden Berichts. Es wurde der Einfluss des Kenntnisstands zu Modellparametern sowie der Geometrie des Sicherheitsbehälters auf die Rechenergebnisse untersucht, und zwar zu einem Experiment in der HDR-Experimentalanlage, in der ein großer Bruch simuliert wurde. Für die Rechnungen ist das Rechenprogramm COCOSYS eingesetzt worden. Es wurden 79 als potentiell wichtig beurteilte Eingangsparameter berücksichtigt.

Der kombinierte Einfluss der Verteilungen von Eingangsparametern auf COCOSYS-Rechenergebnisse sind quantifiziert worden. Der hier analysierte Einfluss auf die Rechenergebnisse enthält nicht nur einige Einflüsse von Modellunsicherheiten des verwendeten Rechenprogramms sondern auch den der ungenauen Kenntnis der Experimentalanlage sowie der Anfangs- und Randbedingungen des Experiments.

Im Rahmen der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse wurde zunächst ein vorhandener Datensatz weiterentwickelt. Für die RDB-Druckabsenkungsphase wurde eine empirische Wassermitriss-Funktion für die Bruchzonen eingeführt. Die Dampfeinspeisung aus dem Reaktordruckbehälter in den Sicherheitsbehälter wurde überarbeitet. Weiterhin wurde der Kondensattransport durch den Sicherheitsbehälter optimiert. Diese Maßnahmen waren Voraussetzung zur Verbesserungen der Nachrechnung im Kurzzeitbereich des Experiments. Diese Maßnahmen für die RDB-Druckabsenkungsphase (bis 40 s) wirken noch weit in den Naturkonvektionsbereich (bis ca. 200 s) nach. Ab ca. 200 s wird beobachtet, dass die berechneten Gastemperaturen höher sind als die gemessenen. Aus den Druckverläufen ersieht man ebenfalls, dass zu viel Energie im Sicherheitsbehälter bleibt. Dies wäre durch feinere Nodalisierung des Dombereiches und die Einführung von Drainwall-Verbindungen im COCOSYS-Rechenprogramm zu verbessern, die das Wasser als Filmströmung an der Wand abfließen lässt. Es wird empfohlen für die Bruchräume das Gleichgewichts-Zonenmodell mit Aktivierung der Wassermitriss-Funktion zu verwenden, solange kein ertüchtigtes Nichtgleichgewichts-Zonenmodel verfügbar ist.

Ein Ergebnis der Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse besteht darin, dass COCO-SYS ist ein stabil arbeitendes Rechenprogramm ist, das für die gegebene Aufgabenstellung 200 Rechnungen mit breit angelegter Parametervariation ohne Abbruch gerechnet hat.

Ein wichtiges Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist, dass etwa 9 der insgesamt 79 ausgewählten unsicheren Parameter einen signifikanten Einfluss auf die Unsicherheit der Ergebnisparameter Druck und Temperatur im Sicherheitsbehälter haben. Der Einfluss der übrigen Eingabeparameter ist nur marginal. Auffällig ist, dass im Wesentlichen die Modelle für den Wärmeübergang an die Strukturen, die Wärmekapazität der Strukturen, deren Oberfläche und Wanddicke den Druck und die Temperatur im Sicherheitsbehälter beeinflussen. Eine Variation der Wassermitriss-Funktion, Parameter 10, um bis zu ± 10% in den Bruchräumen zeigt dagegen keinen signifikanten Einfluss auf den Druck und die Temperatur im Sicherheitsbehälter, sondern nur auf die Dampfkonzentration.

Im Langzeitbereich ist das mögliche erneute Ausdampfen des Reaktordruckbehälters nach Unterschreiten des Sättigungsdruckes nicht berücksichtigt worden, es wurde auch nicht gemessen. Ein höherer gemessener Druck als der gerechnete deutet auf diesen Effekt hin.

Für die GRS stellt sich die Aufgabe, für die von ihr entwickelten und angewendeten Rechenprogramme sowie für weitere, noch nicht behandelte wichtige Störfälle den Kenntnisstand zu unsicheren Eingangsparametern zu quantifizieren. Damit würden die Forschungsergebnisse für ein breiteres Störfall-Spektrum erweitert. Diese Informationen werden dann den Anwendern zur Verfügung gestellt und können von diesen für eigene Analysen übernommen werden. Dies gilt insbesondere für die Angaben zu Modellparametern.

#### 9 Literatur

/GLA 05/ Glaeser, H., Hora, A., Krzykacz-Hausmann, B.

Aussagesicherheit von ATHLET-Rechenprogrammergebnissen für eine deutsche Referenz-DWR-Anlage mit 200%-Bruch im kalten Strang; GRS-A-3279, Juli 2005

/HUE 91/ Hüttermann, B., Schwinges, B.

Blinde Nachrechnung des HDR-Versuches T31.5 mit RALOC MOD2/86 Abschlußbericht, GRS-A-1836, September 1991

/KFK 89/ Valencia, L, Cron T.

Untersuchungen zum Druckaufbau im Sicherheitsbehälter bei Bruch einer Reaktorkühlmittelleitung mit anschließender Gasfreisetzung Kernforschungszentrum Karlsruhe

Technischer Fachbericht PHDR 70-90, November 1989

/KFK 91/ Holzbauer, H. et al.

Sicherheitsbehälterverhalten beim Auslegungsstörfall Blowdown, Kernforschungszentrum Karlsruhe

Technischer Fachbericht PHDR 94-90, März 1991

/KLE 98a/ Klein-Heßling, W,

COCOSYS V0.2 User Manual

GRS-P-3/1

/KLE 98b/ Klein-Heßling, W.

COCOSYS V0

Program Reference Manual & Implementation Manual

GRS-P-3/2 & 3/3

/KRZ 90a/ Krzykacz B.

EQUUS, A Computer Program for the Derivation of Empirical Uncertainty Statements on Results from Large Computer Models. GRS-A-1720 (1990)

#### /KRZ 90b/ Krzykacz, B.

SAMOS, A Computer Program for the Derivation of Sensitivity Measures of Results from Large Computer Models. GRS-A-1700 (1990)

#### /HOF 93/ Hofer, E.

Probabilistische Unsicherheitsanalyse von Ergebnissen Umfangreicher Rechenmodelle; Abschlußbericht. GRS-A-2002 (1993)

# Anhänge

## Anhang A:

Tabelle A-1: Liste der unsicheren Eingangsparameter für COCOSYS-Rechnungen zum Experiment HDR T31.5

Component	Gruppe tendaten	Variable	Kennzeichnung	Dimension	Node	Eingabewert	Startwert	Bereich	Verteilung	Bemerkung
1	COMPONENT	CDIFFC	Diffusions-Konstante	[m²/s]	Dampf	Dd	0.0000580	(0.91.1)*Dd	Gleichverteilt	Faktor
2	COMPONENT		Diffusions-Konstante	[m²/s]	Luft	DL			Gleichverteilt	
	COMM CITETA	05	Diridolorio rioriolarito	[ /0]	20.0		0.0000200	(0.0) DE	O.O.O.T.VO.TO.II	, anto
onen-Date	n									
	ii									
Gruppe 1	7015	771/01			D.4	1/0	440.470	(0.0.4.1)#\(	01 : 1	
3	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R1	V0		(0.91.1)*V		Faktor
3	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R2	V0	218.000		Gleichverteilt	
3	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R3	V0	206.000			
3	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R4	V0	195.000			
				Gruppensum	me :	V0,1	735.470			
Gruppe 2						,				
4	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R9	V0	159 000	(0.0. 1.1)*\/	Gleichverteilt	Faktor
	ZONE							(0.91.1) V	Gleichverteilt	i aktoi
4		ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R15	V0	322.000			
4	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R30	V0	152.000			
4	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R39	V0	68.000			
4	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R46	V0	82.000			
				Gruppensum	me:	V0,2	782.000			
Gruppe 3										
5	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R12	V0	223 000	(0.9 1.1)*\/	Gleichverteilt	Faktor
5	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R16	V0	192.000	(3.51.1) V	CICIOITY GITGIII	i antoi
										<b> </b>
5	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R23	V0	262.000			
5	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R31	V0	90.000			
5	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R41	V0	52.000			
5	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R56	V0	79.000			
				Gruppensum	me :	V0,3	898.000			
Gruppe 4										
6	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R21	V0	120 000	(0.9 1.1)*\/	Gleichverteilt	Faktor
	ZONE				R22	VO	192.000	(J.J 1. 1) V	CICIOIIVEITEIIL	i antol
6		ZTVOL	Volumen der Zone	[m <sup>3</sup> ]						
6	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m <sup>3</sup> ]	R24	V0	112.000			
6	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R25	V0	56.000			
6	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R26	V0	78.000			
6	ZONE	ZTVOL	Volumen der Zone	[m³]	R27	V0	167.000			
			İ	Gruppensum	me :	V0,4	725.000			
						Gesamt :	3140.470			
						Gesaint.	3140.470			
					l				L	
				Randbedingur		Summe der beteili				
						nt reduzierter Fakt	or der Zonengru	ppe j, des Spi	els k	
					$V_{j,k}^* = f_{j,k}^*$	* V0j				
					Vj,k* : nich	t reduzierte Volun	nensumme der Z	Zonegruppe j.	Spiel k	
			İ			elwert des Volume				
						/0j / SVj,k)				
						duktionsfaktor der	Cruppo i für Sp	iol k		
							Gruppe j iui Sp	IEI K		
					gj,k = fj,k					
						* hj,k				
					gj,k : redi	uzierter Faktor der	Zonegruppe j, o	des Spiels k		
				Eigabewert :	gj,k : redi		Zonegruppe j, o	des Spiels k		
				Eigabewert :	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l	uzierter Faktor der <b>x * Vj,k</b> *			für das Spiel	k
Grunne 1				Eigabewert :	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l	uzierter Faktor der			für das Spiel	k
	ZONE	ZEADEA	Podonfišeka Jaz 7		gj,k : redi Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redi	uzierter Faktor der <b>x * Vj,k*</b> uziertes Volumen	der Zone Ri, der	Zonenruppe		
3	ZONE	ZFAREA	Bodenfläche der Zon	[m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redi	uzierter Faktor der  k * Vj,k* uziertes Volumen  A0	der Zone Ri, der 61.300	Zonenruppe j	Gleichverteilt	Faktor
3	ZONE	ZFAREA	Bodenfläche der Zone	[m²] [m²]	gj,k : redu Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redu R1 R2	uzierter Faktor der  k * Vj,k* uziertes Volumen  A0  A0	der Zone Ri, der 61.300 60.000	Zonenruppe j gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3	ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zone Bodenfläche der Zone	[m²] [m²]	gj,k : redr Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redr R1 R2 R3	uzierter Faktor der  x * Vj,k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000	Zonenruppe j	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor
3	ZONE	ZFAREA	Bodenfläche der Zone	[m²] [m²]	gj,k : redu Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redu R1 R2	uzierter Faktor der  k * Vj,k* uziertes Volumen  A0  A0	der Zone Ri, der 61.300 60.000	Zonenruppe j gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3	ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zone Bodenfläche der Zone	[m²] [m²]	gj,k : redr Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redr R1 R2 R3	uzierter Faktor der  x * Vj,k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000	gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 Gruppe 2	ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zone Bodenfläche der Zone Bodenfläche der Zone	[m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4	uzierter Faktor der  * Vj,k* uziertes Volumen  A0 A0 A0 A0 A0	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000	gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 Gruppe 2	ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4	uzierter Faktor dei * * Vj.k* uziertes Volumen  A0 A0 A0 A0 A0 A0 A0 A0	61.300 60.000 40.000 54.000	gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 Gruppe 2 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15	uzierter Faktor dei x * Vj,k* uziertes Volumen  A0 A0 A0 A0 A0 A0 A0 A0	61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000	gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4  R9 R15 R30	uzierter Faktor dei  * Vj.k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0	61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 36.000	Zonenruppe gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 Gruppe 2 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39	Jzierter Faktor dei  * Y j,k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000	Zonenruppe j gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 Gruppe 2 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,l Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4  R9 R15 R30	uzierter Faktor dei  * Vj.k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0	61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 36.000	Zonenruppe gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 Gruppe 2 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39	Jzierter Faktor dei  * Y j,k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000	Zonenruppe j gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 3	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39	Jzierter Faktor dei  * Y j,k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000	gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R30 R39 R46	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000	Zonenruppe j gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 Gruppe 2 4 4 4 4 4 4 Gruppe 3 5	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R30 R39 R46	Jzierter Faktor dei  * Y j,k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000 48.000 38.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4  R9 R15 R30 R30 R39 R46  R12 R16 R23	Jzierter Faktor dei  * Yj,k*  Lziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 36.000 15.000 48.000 38.000 33.000	Zonenruppe	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R12 R16 R23 R31	Jzierter Faktor dei  * Vj.k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 36.000 15.000 48.000 38.000 33.000 8.000	Zonenruppe j gj.k gj.k gj.k gj.k gj.k gj.k gj.k gj.	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4  R9 R15 R30 R39 R46  R12 R16 R23 R41 R12 R16 R23 R31 R41	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000 48.000 38.000 33.000 8.000 10.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R12 R16 R23 R31	Jzierter Faktor dei  * Vj.k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 36.000 15.000 48.000 38.000 33.000 8.000	Zonenruppe j gj.k gj.k gj.k gj.k gj.k gj.k gj.k gj.	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4  R9 R15 R30 R39 R46  R12 R16 R23 R41 R12 R16 R23 R31 R41	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000 48.000 38.000 33.000 8.000 10.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 Gruppe 2 4 4 4 4 4 5 Gruppe 3 5 5 5 5 Gruppe 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi VI,j,k = gj,i VI,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R12 R16 R23 R31 R41 R56	Jzierter Faktor dei  * Yj,k*  Lziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 56.000 36.000 15.000 48.000 38.000 30.000 8.000 8.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R16 R23 R31 R41 R56	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 15.000 16.000 48.000 33.000 30.000 10.000 8.000	Zonenruppe	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 9 4 4 4 4 4 4 4 4 4	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R16 R23 R31 R41 R56	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000 48.000 38.000 30.000 8.000 10.000 8.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 3 Gruppe 3 5 5 5 5 5 5 5 6 Gruppe 4 6 6 6	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R16 R23 R31 R41 R56 R21 R24	Jzierter Faktor dei  * Y j,k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 56.000 15.000 16.000 48.000 38.000 38.000 10.000 8.000 25.000 40.000 35.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R16 R23 R31 R41 R56	Jzierter Faktor dei  * Vj.k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 56.000 36.000 15.000 48.000 38.000 10.000 8.000 25.000 40.000 35.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R16 R23 R31 R41 R56 R21 R22 R24 R25 R26	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000 48.000 38.000 30.000 10.000 8.000 10.000 40.000 35.000 12.000 17.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon Bodenfläche der Zon	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R16 R23 R31 R41 R56	Jzierter Faktor dei  * Vj.k* uziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 56.000 36.000 15.000 48.000 38.000 10.000 8.000 25.000 40.000 35.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5ruppe 3 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4 R9 R9 R15 R30 R39 R46 R12 R16 R23 R31 R41 R56 R23 R31 R41 R56 R23 R31 R41 R56	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000 48.000 38.000 30.000 10.000 8.000 10.000 40.000 35.000 12.000 17.000	Zonenruppe j  gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj,k gj	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5	ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE ZONE	ZFAREA ZFAREA	Bodenfläche der Zon- Bodenfläche der Zon-	[m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²] [m²]	gj,k : redi Vi,j,k = gj,i Vi,j,k : redi R1 R2 R3 R4  R9 R15 R30 R39 R46  R12 R16 R23 R31 R41 R56  R21 R22 R31 R41 R56  R21 R22 R31 R41 R56  R21 R22 R31 R41 R56	Jzierter Faktor dei  * Vj.k*  Jziertes Volumen  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A0  A	der Zone Ri, der 61.300 60.000 40.000 54.000 39.000 56.000 15.000 16.000 38.000 38.000 8.000 25.000 40.000 35.000 17.000 36.000	Zonenruppe	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor

Parameter	Gruppe	Variable	Kennzeichnung	Dimension	Node	Eingabewert	Startwert	Bereich	Verteilung	Bemerkung
7	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R0	Zs	-6.725	"=Zs +-1m"	Gleichverteilt	additiv!
Gruppe 5	70115	=======================================		, ,					01.11	1.00
8	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R21 R22	Zs	12.400 12.400	"=Zs +-1m"	Gleichverteilt	additiv !
- 8 - 8	ZONE ZONE	ZHIGH ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums Höhe des Zonenzentrums	[m] [m]	R23	Zs Zs	12.400			
8	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R24	Zs	12.400			
8	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R25	Zs	12.400			
8	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R26	Zs	12.400			
6 Gruppo 6	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R27	Zs	12.400			
Gruppe 6	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R33	Zs	22.900	"=Zs +-1m"	Gleichverteilt	additiv!
9	ZONE	ZHIGH	Höhe des Zonenzentrums	[m]	R34	Zs	22.050	-23 T IIII	Gicionvertent	additiv :
Wassermitri	ss									
10	ZONE	ZFLFRA	Wassermitrissfaktor	[-]	R33	Wc		(0.9 1.1)*Wo		Faktor
10	ZONE	ZFLFRA	Wassermitrissfaktor	[-]	R34	Wc	0.250		Gleichverteilt	
Juction-Date	l en									
11	JUNCTION	ICLIG	Abbruchkriterium	[kg/s]		CI	0	0' , '-1' , '-3'	0.6, 0.3, 0.1	0 für 60% der Fälle usw.
Atmophären	-Verbindunge							, , ,	, , , , ,	
Gruppe 7										
12	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V2-9	Ai		(0.8 1.2)*Ai	Gleichverteilt	Faktor
12	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V9-15	Ai	7.380			
12 12	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VAREA VAREA	Verbindungsquerschnitt Verbindungsquerschnitt	[m²] [m²]	V15-27 V27-30	Ai Ai	5.750 7.150			
12	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V30-39	Ai	7.130		<b> </b>	
12	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V39-46	Ai	8.290			
12	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V46-49	Ai	4.780			
Gruppe 8	l									
13	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V4-12	Ai		(0.8 1.2)*Ai	Gleichverteilt	Faktor
13	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V12-16	Ai	5.000			
13 13	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VAREA VAREA	Verbindungsquerschnitt Verbindungsquerschnitt	[m²] [m²]	V16-22 V22-31	Ai Ai	0.318 2.550		-	
13	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V22-31 V31-56	Ai	0.360			
13	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V56-41	Ai	4.810			
Gruppe 9										
14	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V6-20	Ai		(0.8 1.2)*Ai	Gleichverteilt	Faktor
14	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V20-25	Ai	4.540			
14 14	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VAREA VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V25-35 V35-40	Ai Ai	4.540 4.540			
14	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt Verbindungsquerschnitt	[m²] [m²]	V40-45	Ai	4.540			
14	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V45-51	Ai	4.840			
Gruppe 10			J. J. J. J. J. J. J. J. J. J. J. J. J. J	` 1						
15	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V21-27	Ai	0.075	(0.8 1.2)*Ai	Gleichverteilt	Faktor
15	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V22-21	Ai	2.860			
15	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V27-25	Ai	27.100			
15 15	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VAREA VAREA	Verbindungsquerschnitt Verbindungsquerschnitt	[m²] [m²]	V23-22 V23-26	Ai Ai	4.100 0.190			
15	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V25-20 V26-25	Ai	1.990			
15	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V26-27	Ai	0.280			
15	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V22-27	Ai	5.300			
15	ATMOS_JUN	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	V24-25	Ai	5.630			
Gruppe 11	A.T. 400 H. IV.	\// EN	1 "		1/0.0		0.000	(0.0 4.0)*!.	01 : 1	F.1.
16 16	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VLEN VLEN	Länge Länge	[m] [m]	V2-9 V9-15	Li Li		(0.8 1.2)*Li entspr. Grup. 7		Faktor
16	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V15-27	Li	10.000	entapr. Orup. 1	Oleichverteilt	
16	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V27-30	Li	10.000			
16	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V30-39	Li	10.000			
16	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V39-46	Li	13.000			
16 Gruppo 12	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V46-49	Li	9.000			
Gruppe 12	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V4-12	Li	3 000	(0.8 1.2)*Li	Gleichverteilt	Faktor
17	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V12-16	Li	7 000	entspr. Grup. 8	CICIOTIVETICIII	i antoi
17	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V16-22	Li	3.000			
17	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V22-31	Li	10.000			
17	ATMOS_JUN		Länge	[m]	V31-56	Li	10.000			
17 Gruppo 12	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V56-41	Li	10.000			
18 Table 13	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V6-20	Li	0 000	(0.8 1.2)*Li	Gleichvortoilt	Faktor
18	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V6-20 V20-25	Li		entspr. Grup. 9	SIGIOTIVETIEIIL	i antoi
18	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V25-35	Li	9.000			
18	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V35-40	Li	9.000			
18	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V40-45	Li	9.000			
18	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V45-51	Li	9.000			
Gruppe 14	ATMOS IIIN	VLEN	Länge	[m]	V21-27	1:	2 000	(0.8 1.2)*Li	Cloich corte	Eaktor
19 19	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VLEN	Länge Länge	[m] [m]	V21-27 V22-21	Li Li		(0.8 1.2) Li entspr. Grup. 10		Faktor
19	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V27-25	Li	13.000	J. Nopr. Orup. 10	Ĭ	
19	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V23-22	Li	8.000			
19	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V23-26	Li	3.000			
19	ATMOS_JUN	VLEN	Länge	[m]	V26-25	Li	4.000			
19	ATMOS_JUN	VLEN VLEN	Länge	[m]	V26-27	<u>Li</u> Li	3.000 6.000	ļ		
19 19	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VLEN	Länge Länge	[m] [m]	V22-27 V24-25	Li Li	10.000			
Gruppe 15		V LLIN	Lange	נייין	v 4 <del>4</del> -40	LI	10.000			
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V2-9	Zeta1 i	1.550	).8 1.2)*Zeta	Gleichverteilt	Faktor
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V9-15	Zeta1 i		entspr. Grup. 7		
20	ATMOS_JUN		Srömungsverlustbeiwert	[-]	V15-27	Zeta1 i	1.590			
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V27-30	Zeta1 i	1.590			
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[·]	V30-39	Zeta1 i	1.590			
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V39-46	Zeta1 i	1.800			
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V46-49	Zeta1 i	1.590	l	l	<u>I</u>

Tabelle 1/3

Parameter	Gruppe	Variable	Kennzeichnung	Dimension	Node	Eingabewert	Startwert	Bereich	Verteilung	Bemerkung
Gruppe 16	ATMOC IIIN	\/ZETA	Call and the same and the same at		1/4 40	7-1-1:	4.550	(0.0 4.0)*7****4	Claiabuawailt	Falston
21 21	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VZETA VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V4-12 V12-16	Zeta1 i		(0.8 1.2)*Zeta1	Gleichverteilt	Faktor
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert Srömungsverlustbeiwert	[-] [-]	V12-16 V16-22	Zeta1 i Zeta1 i	2.950 1.550	entspr. Grup. 8		
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V22-31	Zeta1 i	2.550			
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V31-56	Zeta1 i	1.550			
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V56-41	Zeta1 i	1.550			
Gruppe 17	/	122171	eromangeronaetzemen		100 11		1.000			
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V6-20	Zeta1 i	1 640	(0.8 1.2)*Zeta1	Gleichverteilt	Faktor
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V20-25	Zeta1 i	1.640	entspr. Grup. 9	G.O.O.T. O.T.O.T.	, and
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V25-35	Zeta1 i	1.640	отперти от при о		
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V35-40	Zeta1 i	1.640			
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V40-45	Zeta1 i	1.700			
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V45-51	Zeta1 i	1.630			
Gruppe 18										
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V21-27	Zeta1 i	1.550	(0.8 1.2)*Zeta1	Gleichverteilt	Faktor
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V22-21	Zeta1 i	1.550	entspr. Grup. 10		
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V27-25	Zeta1 i	1.500			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V23-22	Zeta1 i	2.110			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V23-26	Zeta1 i	1.550			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V26-25	Zeta1 i	1.550			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V26-27	Zeta1 i	1.550			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V22-27	Zeta1 i	1.640			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V24-25	Zeta1 i	1.500		ļ	
Gruppe 15a			L							
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V2-9	Zeta2 i	1.550	Zeta1 i	Gleichverteilt	Faktor
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V9-15	Zeta2 i	1.590	entspr. Grup. 7	ļ	
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V15-27	Zeta2 i	1.590		ļ	
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V27-30	Zeta2 i	1.590			
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V30-39	Zeta2 i	1.590		ļ	
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V39-46	Zeta2 i	1.800		<b> </b>	
20	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V46-49	Zeta2 i	1.590			
Gruppe 16a		\/7ETA				7 . 0 .		<b>-</b>	01:1 : 1	
21 21	ATMOS_JUN ATMOS_JUN	VZETA VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V4-12 V12-16	Zeta2 i Zeta2 i	1.550 2.950	Zeta1 i	Gleichverteilt	Faktor
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert Srömungsverlustbeiwert	[-] [-]	V12-10	Zeta2 i	1.550	entspr. Grup. 8		
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V22-31	Zeta2 i	2.550			
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V31-56	Zeta2 i	1.550			
21	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V56-41	Zeta2 i	1.550			
Gruppe 17a		VZLIX	Gromangovenaotociwert	LJ	100 41	Zotaz i	1.000			
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V6-20	Zeta2 i	1.640	Zeta1 i	Gleichverteilt	Faktor
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V20-25	Zeta2 i	1.640	entspr. Grup. 9	Cicionvertent	raktor
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V25-35	Zeta2 i	1.640	отторт отарт о		
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V35-40	Zeta2 i	1.640			
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V40-45	Zeta2 i	1.700			
22	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V45-51	Zeta2 i	1.630			
Gruppe 18a			Ü	.,					Gleichverteilt	
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V21-27	Zeta2 i	1.550	Zeta1 i	Gleichverteilt	Faktor
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V22-21	Zeta2 i	1.550	entspr. Grup. 10		
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		V27-25	Zeta2 i	1.500			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V23-22	Zeta2 i	2.110			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V23-26	Zeta2 i	1.550			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V26-25	Zeta2 i	1.550			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V26-27	Zeta2 i	1.550			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V22-27	Zeta2 i	1.640			
23	ATMOS_JUN	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	V24-25	Zeta2 i	1.500			
D1										
Drainagen-D		1/4554	Month for those and the first	f 23	Dc :	<b>.</b>	2 2 2 -	(0.7. 4.0)***	Olestelle i iii	F-1:
24	DRAIN_BOT		Verbindungsquerschnitt	[m²]	D2-1	Ad			Gleichverteilt	
25	DRAIN_BOT DRAIN BOT	VLEN	Länge	[m]	D2-1	Ld Zotd		(0.7 1.3)*Ld	Gleichverteilt	
26		VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	D2-1	Zetd		(0.7 1.3)*Zetd	Gleichverteilt	Faktor Faktor
27 28	DRAIN_BOT	VMWRST VAREA	Restwassermasse Verbindungsguerechnitt	[kg]	D2-1	Rw		(0.7 1.3)*Rw (0.7 1.3)*Ad	Gleichverteilt	
28	DRAIN_BOT DRAIN_BOT	VAREA	Verbindungsquerschnitt Länge	[m²] [m]	D8-0 D8-0	Ad Ld		(0.7 1.3)*Ad (0.7 1.3)*Ld	Gleichverteilt Gleichverteilt	Faktor Faktor
30	DRAIN_BOT	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	D8-0	Zetd		(0.7 1.3) Ld (0.7 1.3)*Zetd	Gleichverteilt	Faktor
31	DRAIN_BOT	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	D8-0	Rw		(0.7 1.3) Zeid	Gleichverteilt	
32	DRAIN_BOT	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[Kg] [m²]	D14-8	Ad		(0.7 1.3) KW	Gleichverteilt	
33	DRAIN_BOT	VAINLA	Länge	[m]	D14-8	Ld		(0.7 1.3)*Ld	Gleichverteilt	Faktor
34	DRAIN_BOT	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	D14-8	Zetd		(0.7 1.3)*Zetd	Gleichverteilt	
35	DRAIN_BOT	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	D14-8	Rw		(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	Faktor
36	DRAIN_BOT	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	D26-14	Ad		(0.7 1.3)*Ad	Gleichverteilt	
37	DRAIN_BOT	VLEN	Länge	[m]	D26-14	Ld		(0.7 1.3)*Ld	Gleichverteilt	Faktor
38	DRAIN_BOT	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		D26-14	Zetd		(0.7 1.3)*Zetd	Gleichverteilt	Faktor
39	DRAIN_BOT	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	D26-14	Rw		(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	Faktor
40	DRAIN_BOT	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	D32-26	Ad		(0.7 1.3)*Ad	Gleichverteilt	
41	DRAIN_BOT	VLEN	Länge	[m]	D32-26	Ld		(0.7 1.3)*Ld	Gleichverteilt	Faktor
42	DRAIN_BOT	VZETA	Srömungsverlustbeiwert		D32-26	Zetd	1.500	(0.7 1.3)*Zetd	Gleichverteilt	Faktor
43	DRAIN_BOT	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	D32-26	Rw		(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	Faktor
44	DRAIN_BOT	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	D36-32	Ad		(0.7 1.3)*Ad	Gleichverteilt	Faktor
45	DRAIN_BOT	VLEN	Länge	[m]	D36-32	Ld	10.000	(0.7 1.3)*Ld	Gleichverteilt	
46	DRAIN_BOT	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	D36-32	Zetd		(0.7 1.3)*Zetd	Gleichverteilt	Faktor
47	DRAIN_BOT	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	D36-32	Rw		(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	
48	DRAIN_BOT	VAREA	Verbindungsquerschnitt	[m²]	D47-36	Ad	0.796	(0.7 1.3)*Ad	Gleichverteilt	Faktor

Tabelle 1/4

Parameter	Gruppe	Variable	Kennzeichnung	Dimension	Node	Eingabewert	Startwert	Bereich	Verteilung	Bemerkung
49	DRAIN BOT	VLEN	Länge	[m]	D47-36	Ld	10.000	(0.7 1.3)*Ld	Gleichverteilt	Faktor
50	DRAIN BOT	VZETA	Srömungsverlustbeiwert	[-]	D47-36	Zetd		(0.7 1.3)*Zetd	Gleichverteilt	Faktor
51	DRAIN BOT	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	D47-36	Rw		(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	Faktor
52	SUMP BAL	VWIDTH	Überfallbreite	[m]	SBR1-R0	В		(0.7 1.3)*B	Gleichverteilt	
53	SUMP BAL	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	SBR1-R0	Rw		(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	Faktor
54	SUMP BAL	VWIDTH	Überfallbreite	[m]	SBR2-R0	В		(0.7 1.3)*B	Gleichverteilt	Faktor
55	SUMP BAL	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	SBR2-R0	Rw		(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	Faktor
56	SUMP BAL	VWIDTH	Überfallbreite	[m]	SBR9-R2	В		(0.7 1.3)*B	Gleichverteilt	Faktor
57	SUMP BAL	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	SBR9-R2	Rw		(0.7 1.3) B	Gleichverteilt	Faktor
58	SUMP BAL	VWIDTH	Überfallbreite	[m]	SBR15-R9	B		(0.7 1.3)*B	Gleichverteilt	Faktor
59	SUMP BAL	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	SBR15-R9	Rw		(0.7 1.3) B	Gleichverteilt	Faktor
60	SUMP BAL	VWIDTH	Überfallbreite	[m]	SBR27-R15	B		(0.7 1.3) KW	Gleichverteilt	Faktor
61	SUMP BAL	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	SBR27-R15	Rw		(0.7 1.3) B	Gleichverteilt	Faktor
62	SUMP_BAL	VWIDTH	Überfallbreite	[M]	SBR30-R27	B		(0.7 1.3) KW	Gleichverteilt	Faktor
63	SUMP_BAL	VMWRST			SBR30-R27	Rw		(0.7 1.3) B (0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	
64		VWIDTH	Restwassermasse	[kg]		RW B				
			Überfallbreite	[m]	SBR48-R42			(0.7 1.3)*B	Gleichverteilt	Faktor
65	SUMP_BAL	VMWRST	Restwassermasse	[kg]	SBR48-R42	Rw	6800.000	(0.7 1.3)*Rw	Gleichverteilt	Faktor
0		-								
Strukturdat										
Materialdat										
66	MATERIAL	HMTCPV	Wärmekapazität	[J/(kg*K)]	Stahl	Ср	475.000	(0.91.1)*Cp	Gleichverteilt	Faktor
67	MATERIAL	HMTDLV	Wärmeleitfähigkeit	[W/(m*K)]	Stahl	Lam	42.500	(0.91.1)*Lam	Gleichverteilt	Faktor
68	MATERIAL	HMTRHV	Materialdichte	[kg/m³]	Stahl	Rho	7840.000	(0.91.1)*Rho	Gleichverteilt	Faktor
69	MATERIAL	HMTCPV	Wärmekapazität	[J/(kg*K)]	Beton	Ср	879.000	(0.7 1.3)*Cp	Gleichverteilt	Faktor
70	MATERIAL	HMTDLV	Wärmeleitfähigkeit	[W/(m*K)]	Beton	Lam		(0.7 1.3)*Lam	Gleichverteilt	Faktor
71	MATERIAL	HMTRHV	Materialdichte	[kg/m³]	Beton	Rho	2225.000	(0.8 1.2)*Rho	Gleichverteilt	Faktor
Wärmeüberd	angdaten für a	alle Strukture						,		
72	STRUCTURE	FRC	Wärmmeübergang	[-]		FRC	1.000	0.5 1.5	Gleichverteilt	
73	STRUCTURE	FOC	Wärmmeübergang	[-]		FOC		0.0 2.0	Dreieck sym.	
74	STRUCTURE	COD	Wärmmeübergang	[-]		COD		0.5 1.5	Gleichverteilt	
75	STRUCTURE	WGR	Wärmmeübergang	[-]		WGR		0.5 1.5	Gleichverteilt	
- 10	OTTOOTORE	WOR	Warrimeasergang	- 11		WOR	1.000	0.0 1.0	Cicionvertent	
Struktur-God	ometriedaten									
Gruppe 19	metriedaten									
	OTRUCTURE	ADE A	Ob fly -b -	F 27	OTDO 4	Λ-	470 400	(0.7 4.0)+4-	Ola la la la casa da ilu	E-tre-
76	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	STR0-1	As		(0.7 1.3)*As	Gleichverteilt	Faktor
76	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	STR1-1	As		(0.7 1.3)*As		
76	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	STR1-2	As		(0.7 1.3)*As		
76	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	STR10-1	As		(0.7 1.3)*As	1	
76	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	STR10-2	As	257.000	(0.7 1.3)*As		
Gruppe 20		L	2							<u> </u>
77	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	TTR33-A54	As		(0.7 1.3)*As	Gleichverteilt	Faktor
77	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	TTR30-A53	As		(0.7 1.3)*As		
77	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	TTR48-A52	As		(0.7 1.3)*As		
77	STRUCTURE	AREA	Oberfläche	[m²]	TTR50-A52	As	790.000	(0.7 1.3)*As		
Gruppe 21										
78	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	STR0-1	Ds	0.400	(0.7 1.3)*Ds	Gleichverteilt	Faktor
78	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	STR1-1	Ds	0.400	(0.7 1.3)*Ds		
78	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	STR1-2	Ds	0.400	(0.7 1.3)*Ds		
78	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	STR10-1	Ds	0.400	(0.7 1.3)*Ds		
78	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	STR10-2	Ds	0.400	(0.7 1.3)*Ds		
Gruppe 22								·		
79	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	TTR33-A54	Ds	0.027	(0.7 1.3)*Ds	Gleichverteilt	Faktor
79	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	TTR30-A53	Ds		(0.7 1.3)*Ds		
79	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	TTR48-A52	Ds		(0.7 1.3)*Ds		
79	STRUCTURE	HTHICK	Materialdicke	[m]	TTR50-A52	Ds		(0.7 1.3)*Ds		<del>                                     </del>
10	STRUCTURE	THINON	Materialdicke	[iii]	111100-702	وط	0.021	(0.7 1.0) 03	l	

### Anhang B: Zusätzliche Abbildungen und Zeichnungen

# B.1 Abbildungen zu Abschnitt 4.2.1: Wasserstoff-Konzentrationen im Sicherheitsbehälter

HDR-Test T31-5 COCOSYS V2.2

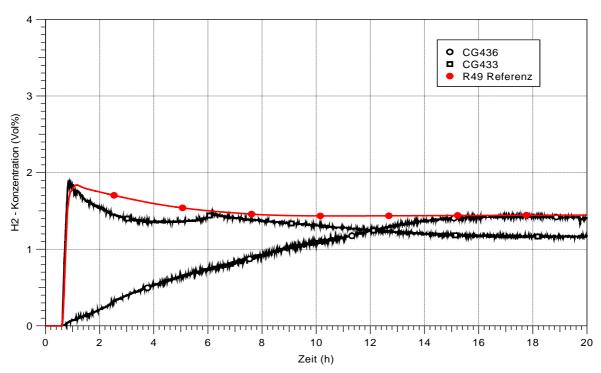


Abb. B.1-1 Wasserstoffkonzentration

#### HDR-Test T31-5 COCOSYS V2.2

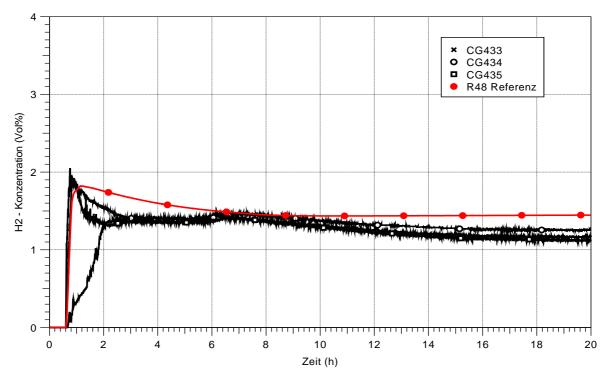


Abb. B.1-2 Wasserstoffkonzentration

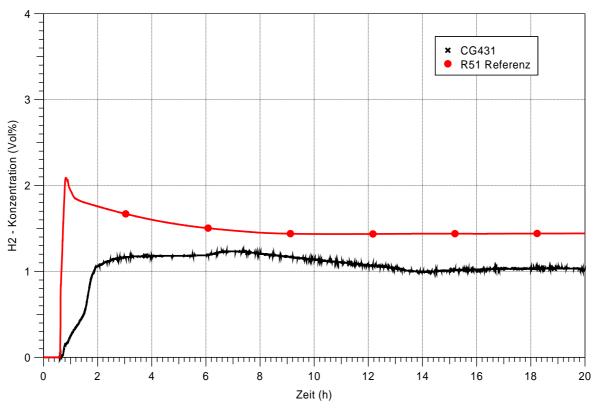


Abb. B.1-3 Wasserstoffkonzentration

#### HDR-Test T31-5 COCOSYS V2.2

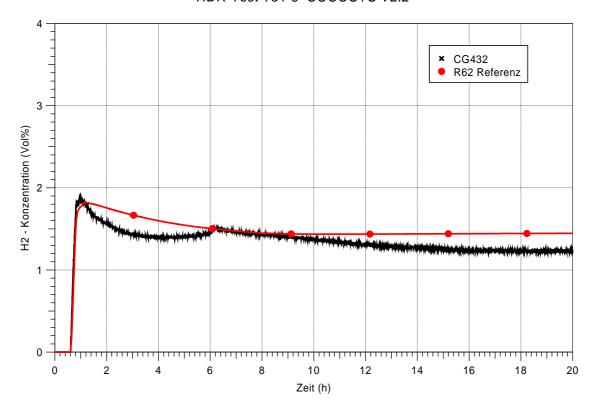
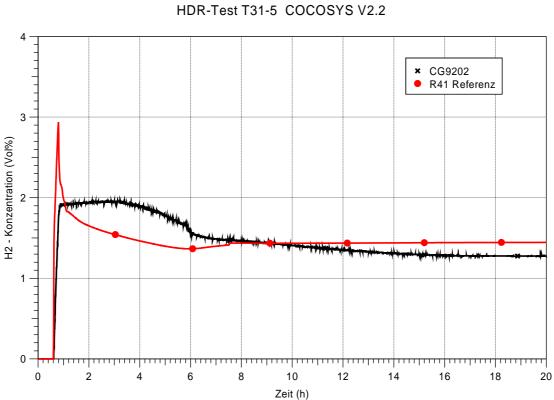


Abb. B.1-4 Wasserstoffkonzentration



Wasserstoffkonzentration

Abb. B.1-5

HDR-Test T31-5 COCOSYS V2.2

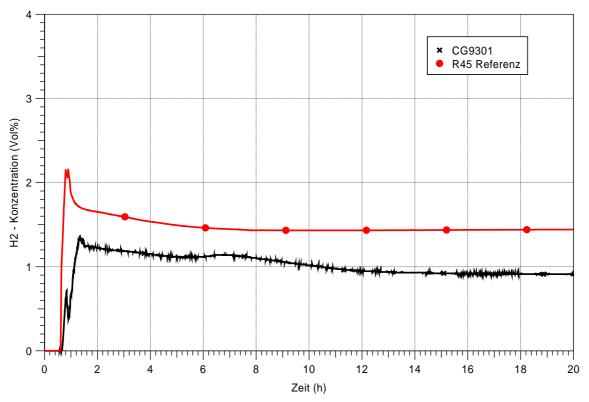
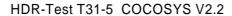


Abb. B.1-6 Wasserstoffkonzentration



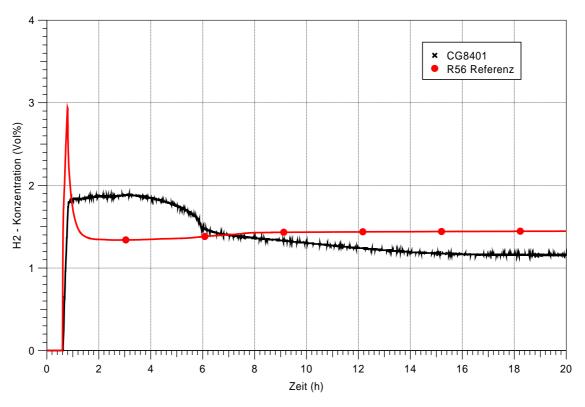


Abb. B.1-7 Wasserstoffkonzentration

HDR-Test T31-5 COCOSYS V2.2

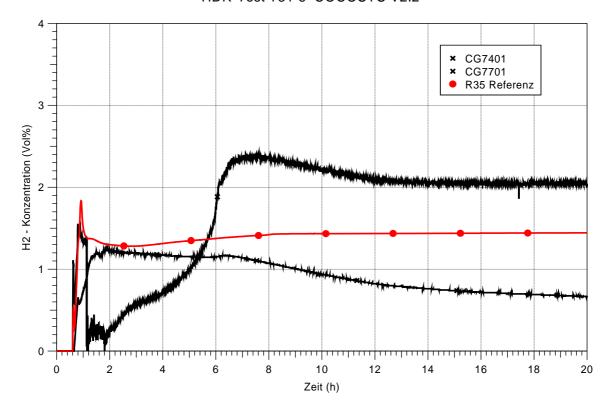


Abb. B.1-8 Wasserstoffkonzentration



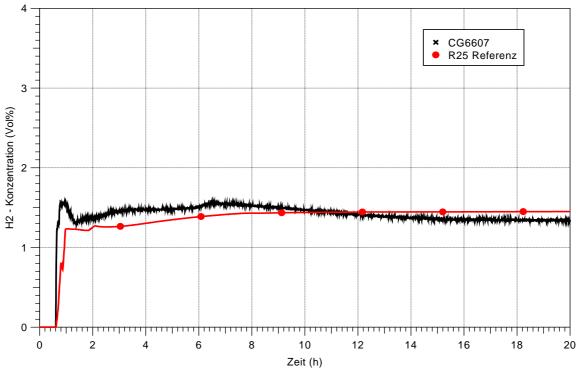


Abb. B.1-9 Wasserstoffkonzentration

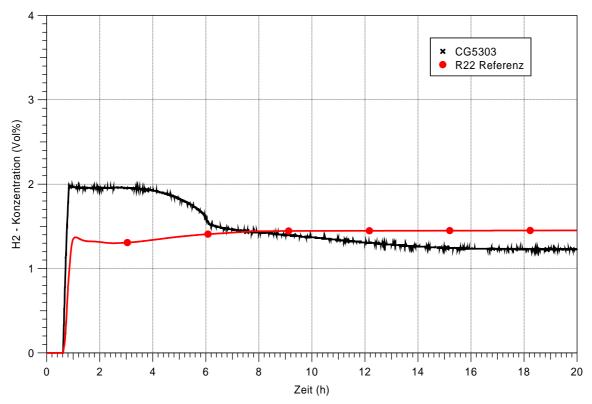


Abb. B.1-10 Wasserstoffkonzentration



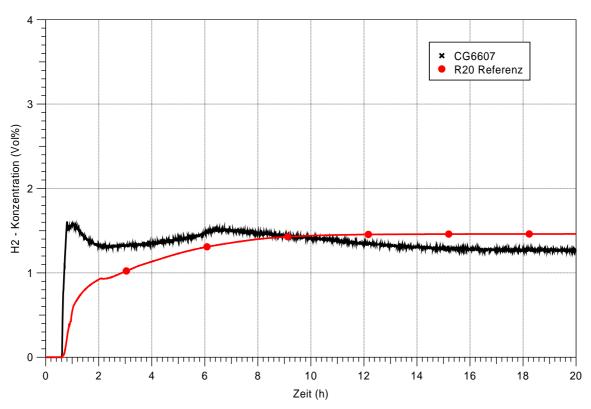


Abb. B.1-11 Wasserstoffkonzentration

# B.2 Abbildungen zu Abschnitt 7.2: Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse

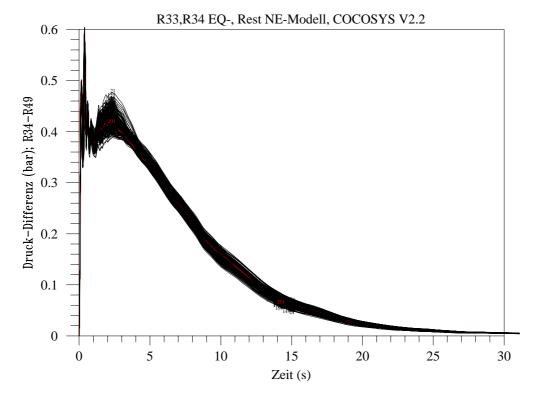


Abb. B.2-1 Druckdifferenz

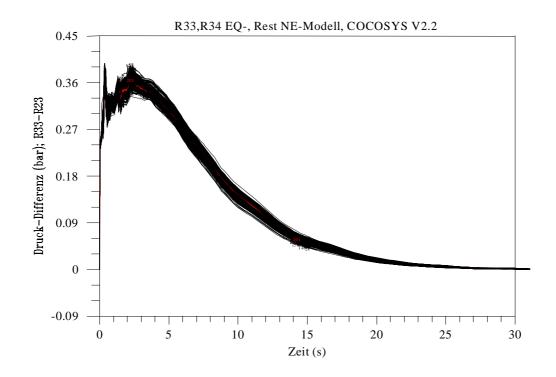


Abb. B.2-2 Druckdifferenz

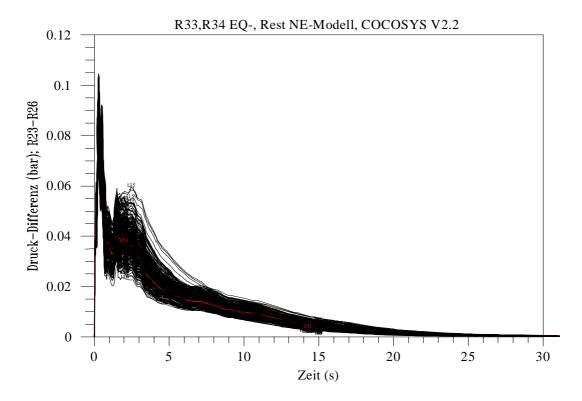


Abb. B.2-3 Druckdifferenz

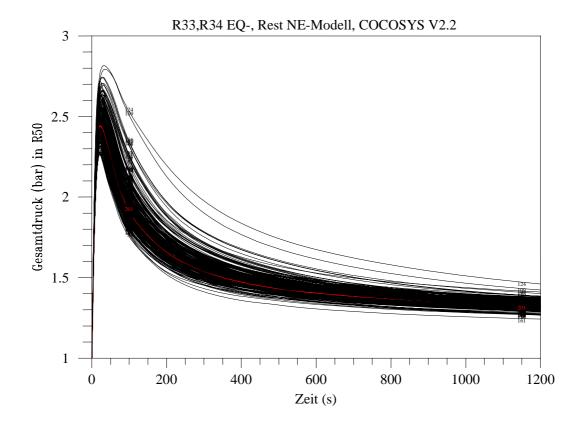


Abb. B.2-4 Gesamtdruck

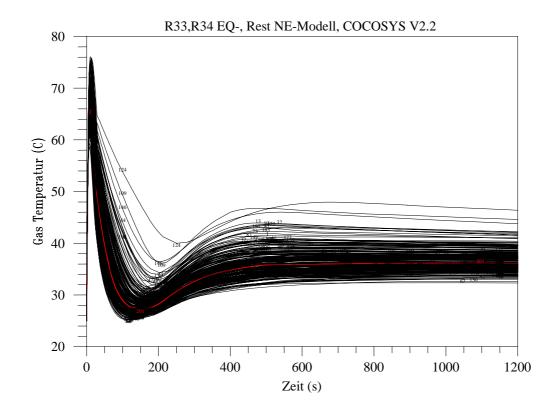


Abb. B.2-5 Temperatur

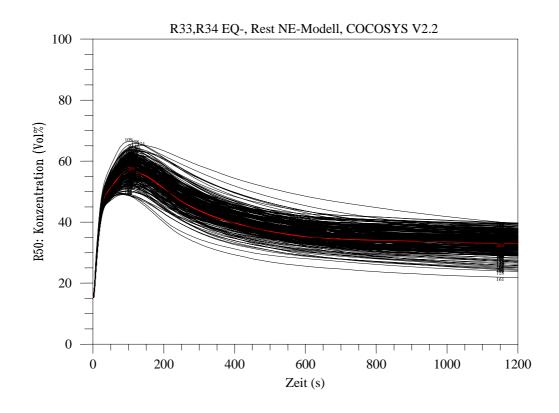


Abb. B.2-6 Dampfkonzentration

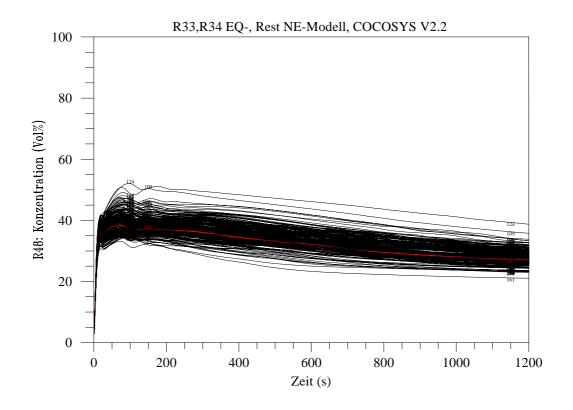


Abb. B.2-7 Dampfkonzentration

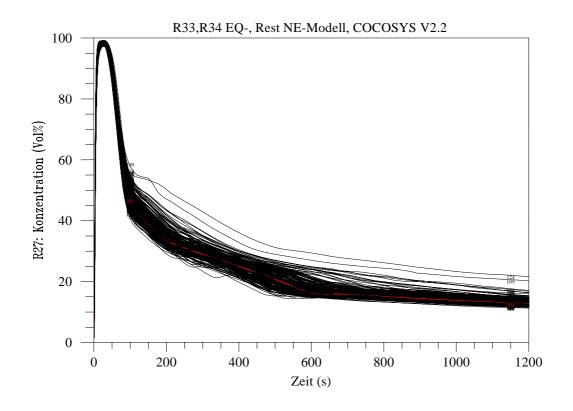


Abb. B.2-8 Dampfkonzentration

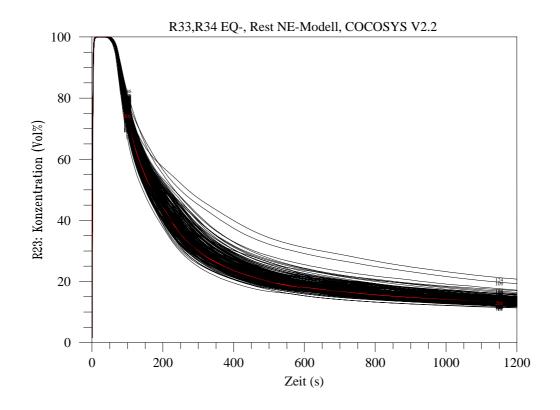


Abb. B.2-9 Dampfkonzentration

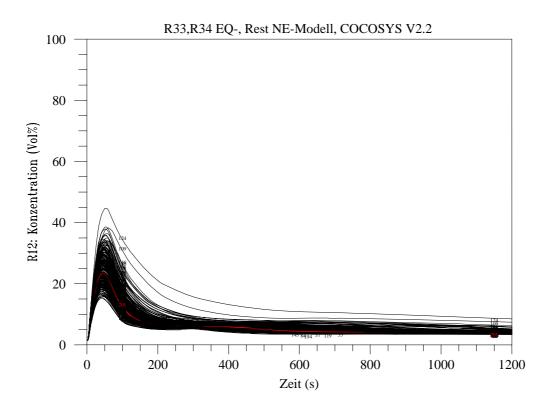


Abb. B.2-10 Dampfkonzentration

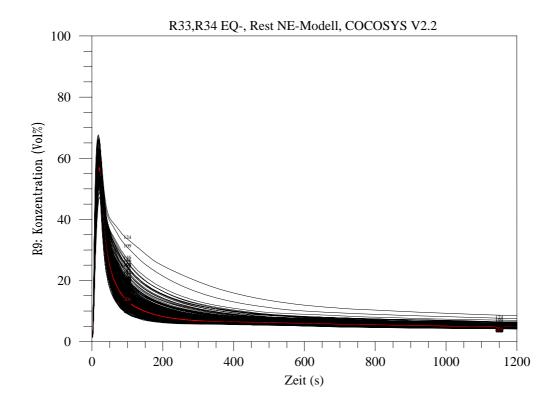


Abb. B.2-11 Dampfkonzentration

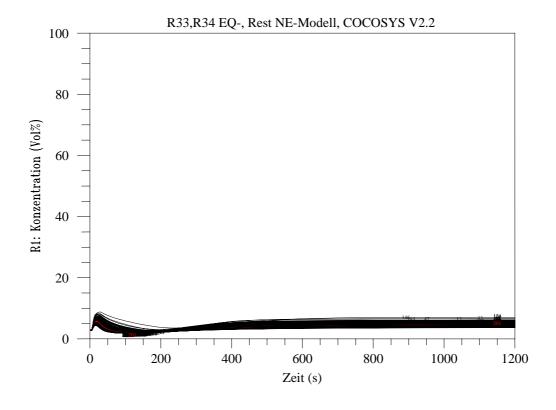


Abb. B.2-12 Dampfkonzentration

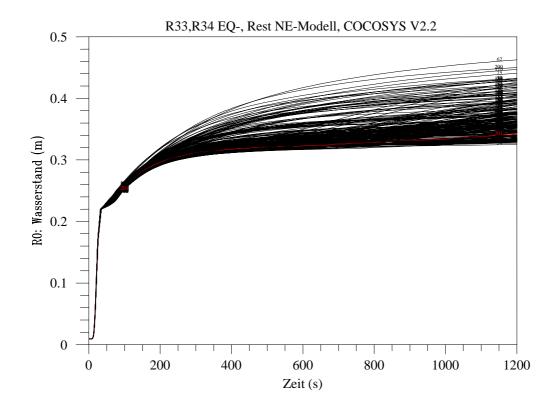


Abb. B.2-13 Wasserstand

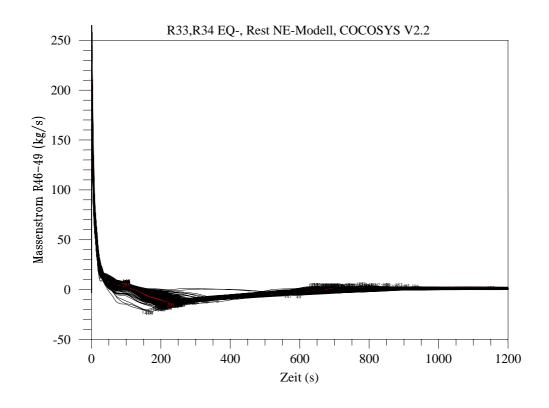


Abb. B.2-14 Massenstrom

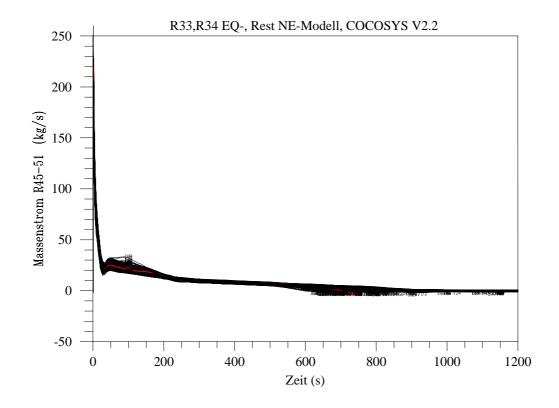


Abb. B.2-15 Massenstrom

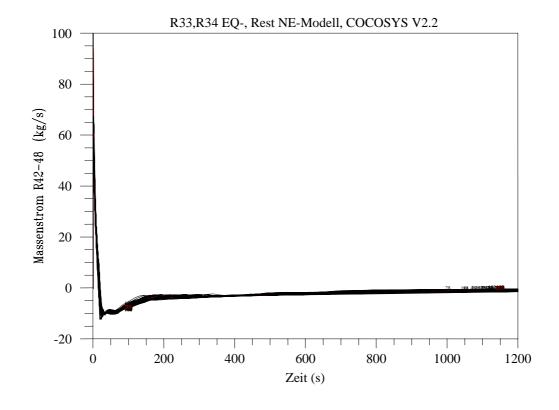


Abb. B.2-16 Massenstrom

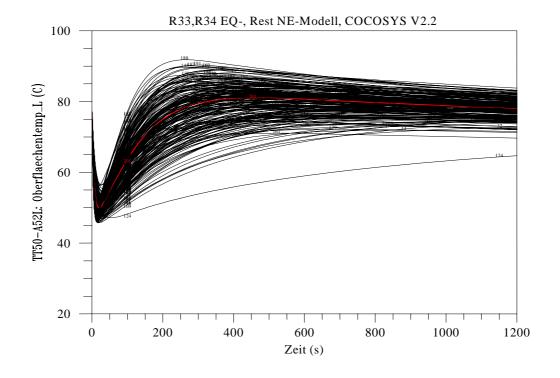


Abb. B.2-17 Oberflächentemperatur zum Sicherheitsbehälter

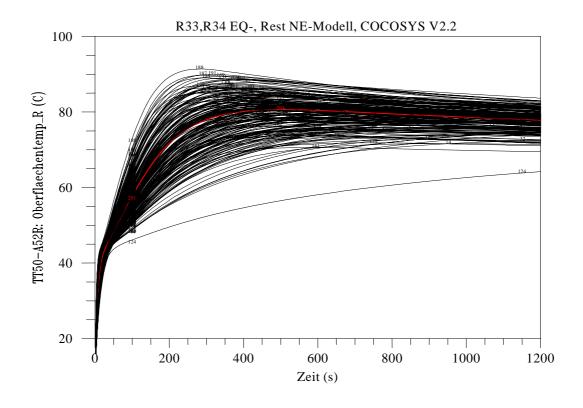


Abb. B.2-18 Oberflächentemperratur zum Ringraum

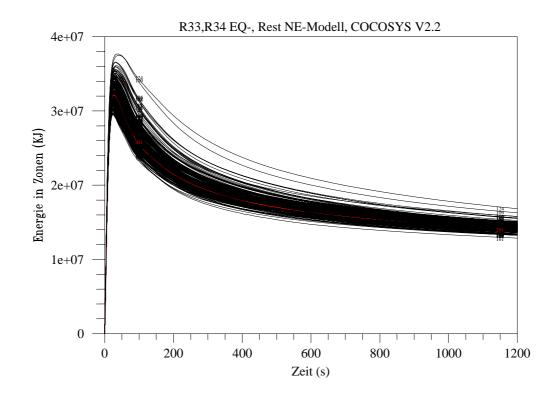


Abb. B.2-19 Gesamtenergie in den Zonen

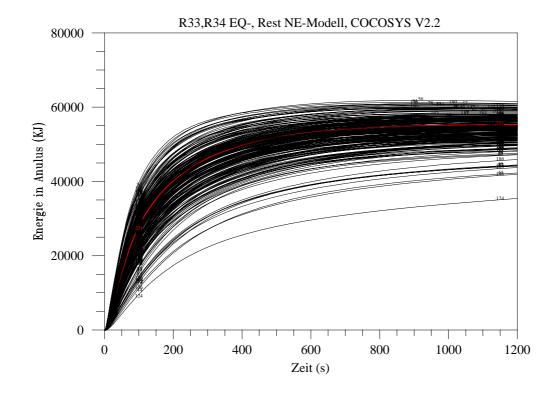


Abb. B.2-20 Energie im Ringraum

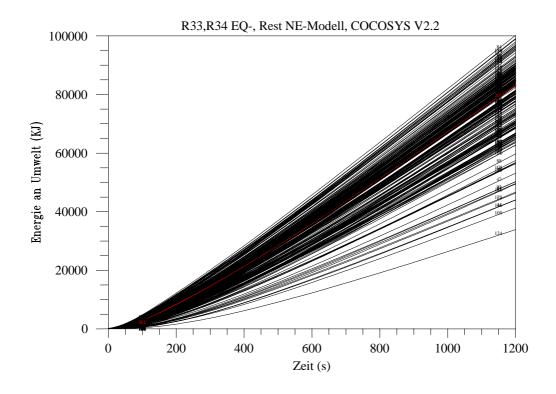


Abb. B.2-21 Energie an der Umgebung

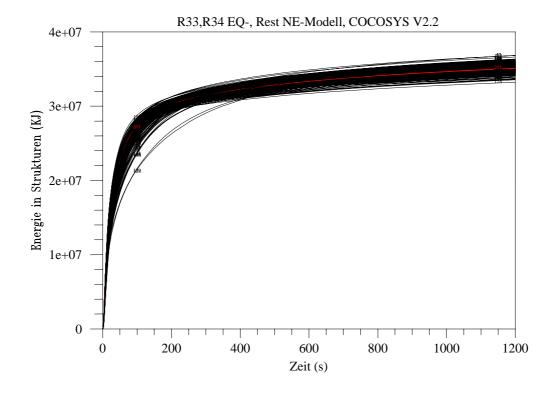


Abb. B.2-22 Energie in den Strukturen

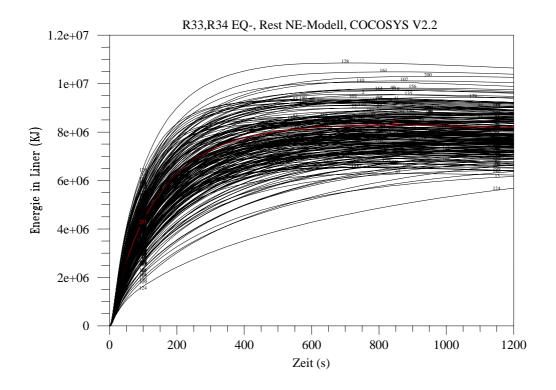


Abb. B.2-23 Energie in Liner

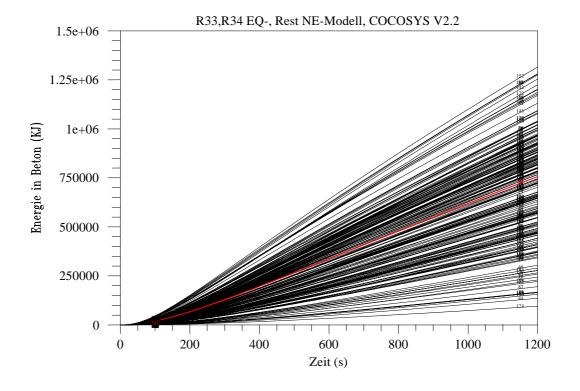


Abb. B.2-24 Energie in Beton

# B.3 Abbildungen zu Abschnitt 7.2: Ergebnisse der Unsicherheitsanalyse, statistische Toleranzgrenzen

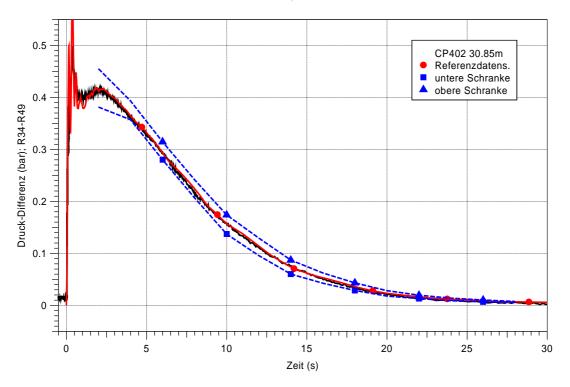
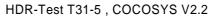


Abb. B.3-1 Energie in Liner



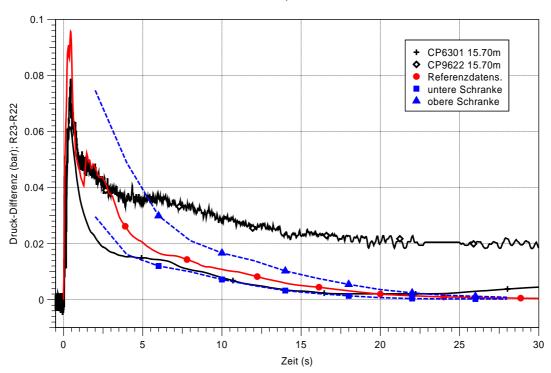


Abb. B.3-2 Energie in Beton

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

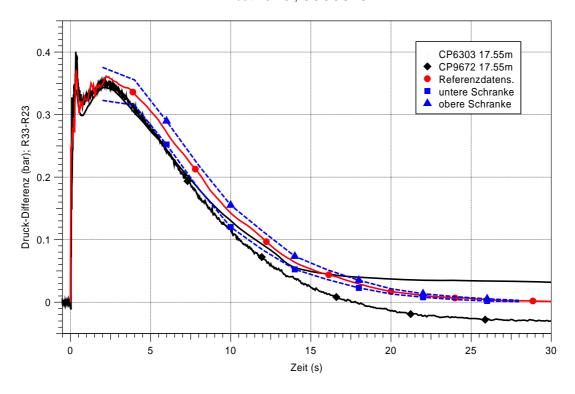


Abb. B.3-3 Druckdifferenz



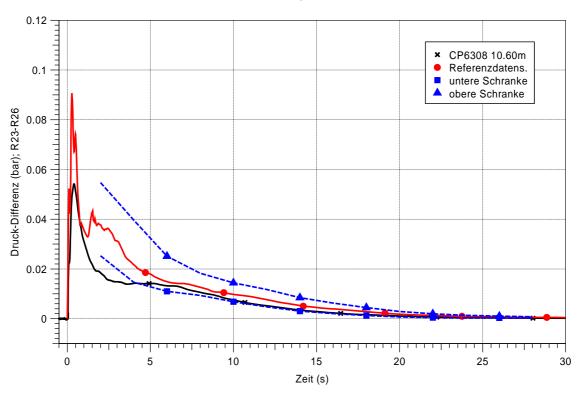


Abb. B.3-4 Druckdifferenz

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

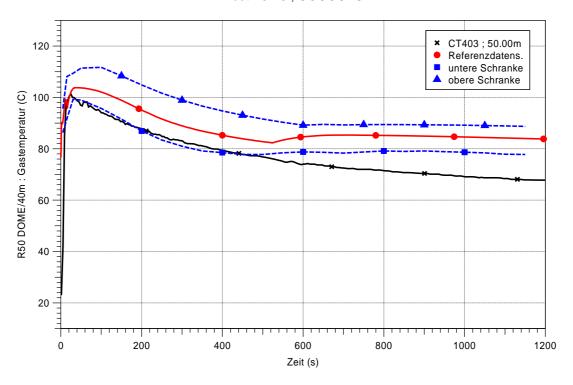


Abb. B.3-5 Gastemperatur

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

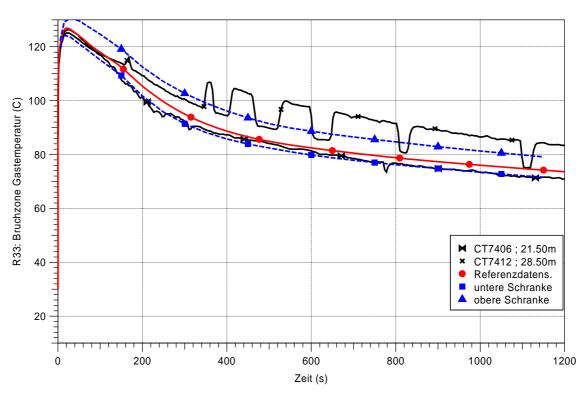


Abb. B.3-6 Gastemperatur

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

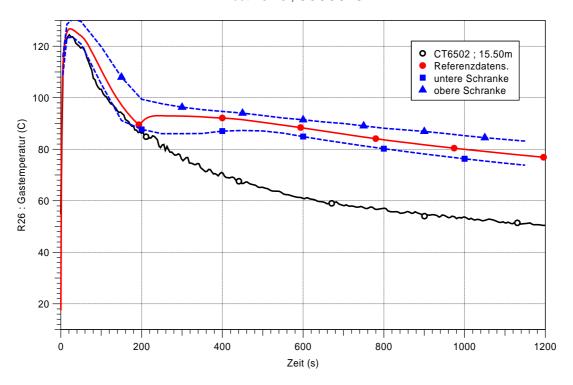


Abb. B.3-7 Gastemperatur



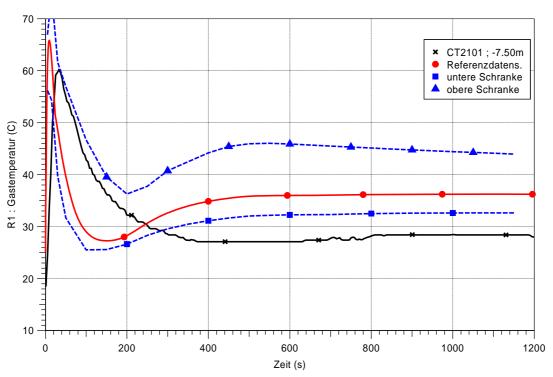


Abb. B.3-8 Gastemperatur

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

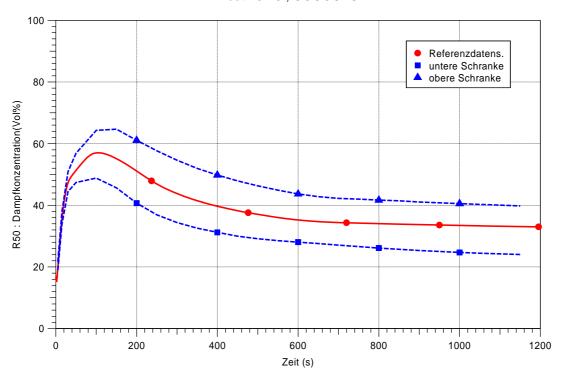
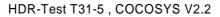


Abb. B.3-9 Dampfkonzentration



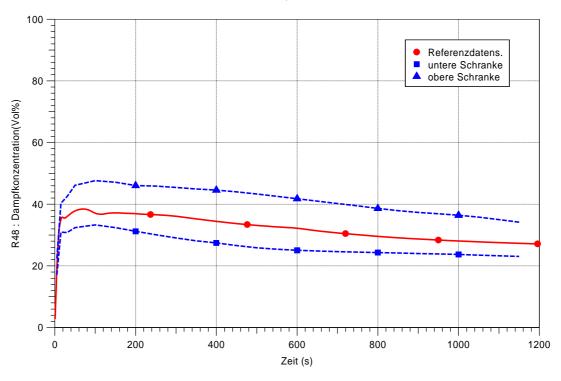


Abb. B.3-10 Dampfkonzentration

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

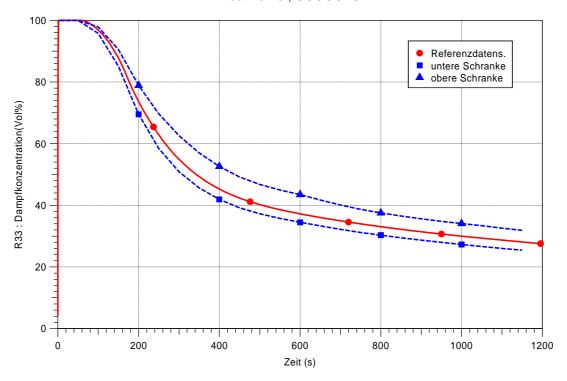


Abb. B.3-11 Dampfkonzentration



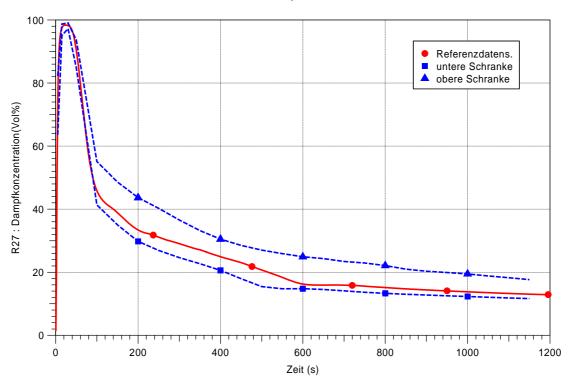


Abb. B.3-12 Dampfkonzentration

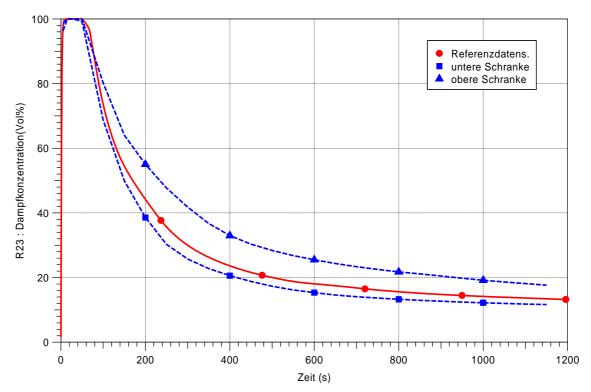
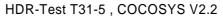


Abb. B.3-13 Dampfkonzentration



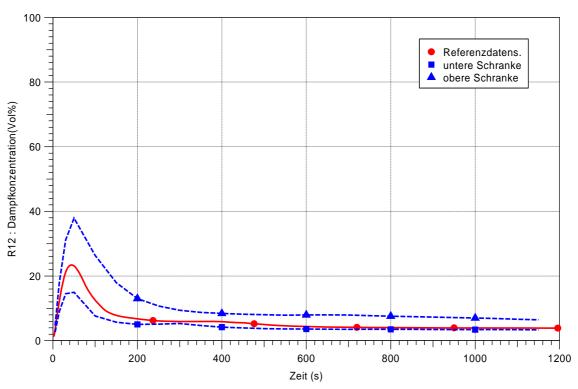


Abb. B.3-14 Dampfkonzentration

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

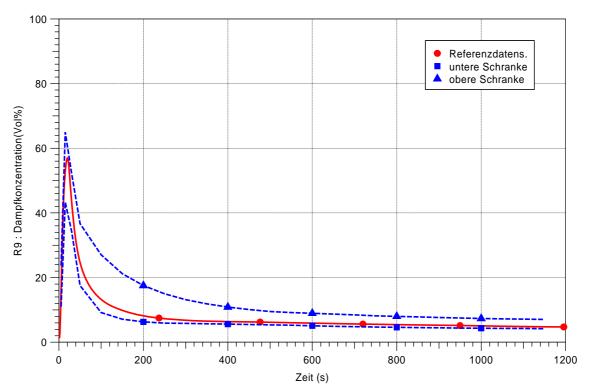
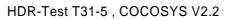


Abb. B.3-15 Dampfkonzentration



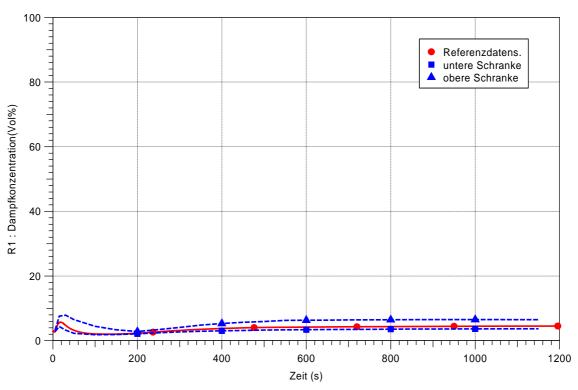


Abb. B.3-16 Dampfkonzentration

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

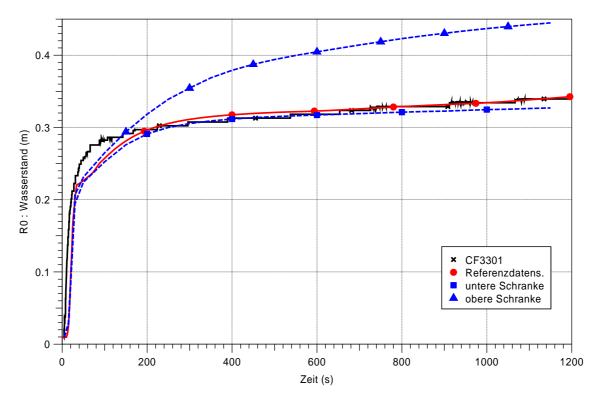
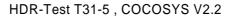


Abb. B.3-17 Wasserstand



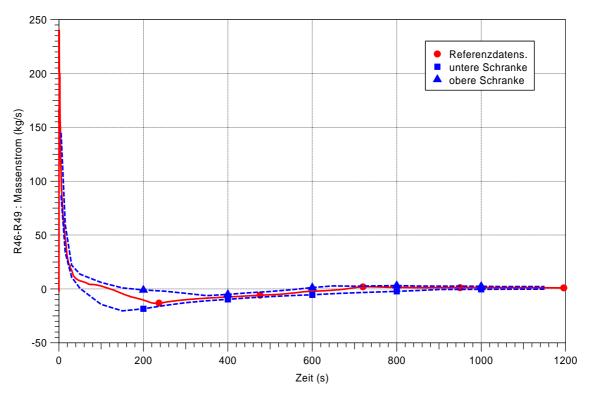


Abb. B.3-18 Massenstrom

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

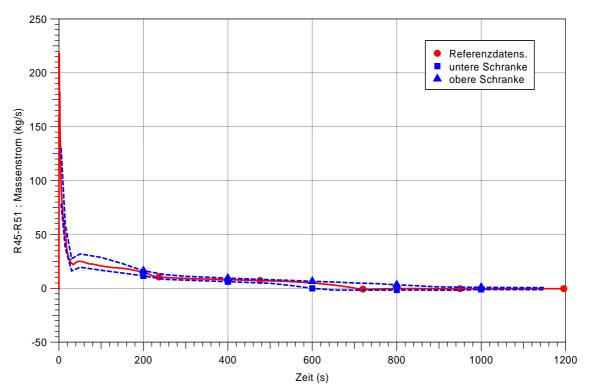
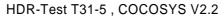


Abb. B.3-19 Massenstrom



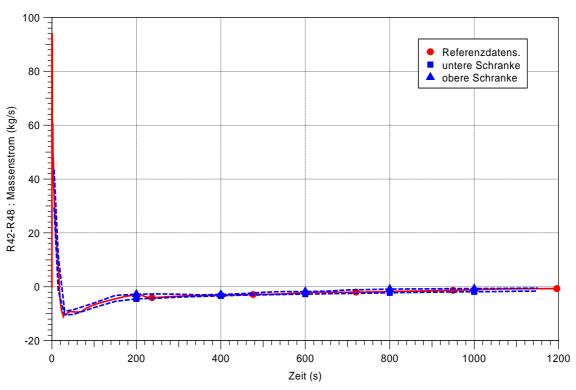


Abb. B.3-20 Massenstrom

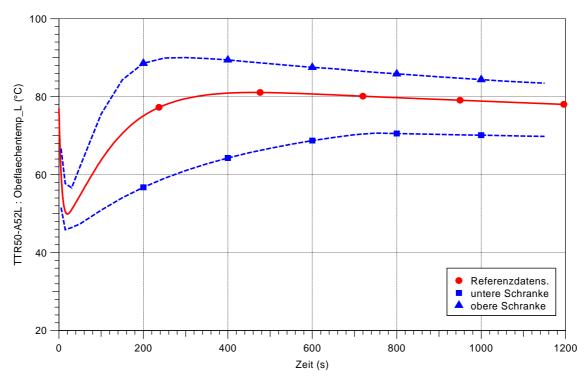


Abb. B.3-21 Oberflächentemperatur zum Sicherheitsbehälter

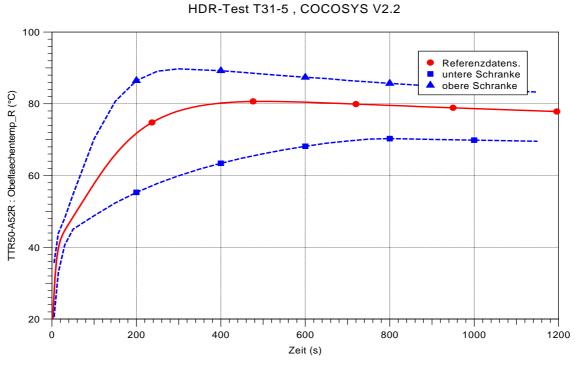


Abb. B.3-22 Oberflächentemperatur zum Ringraum

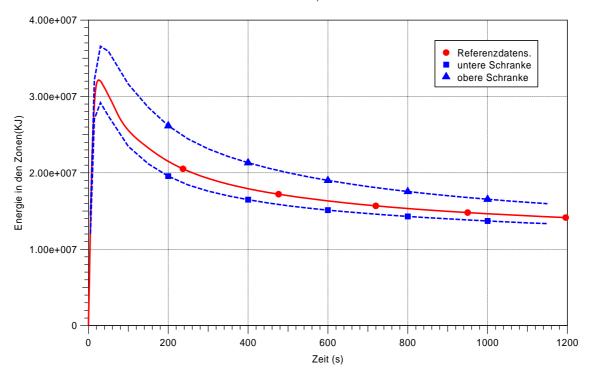
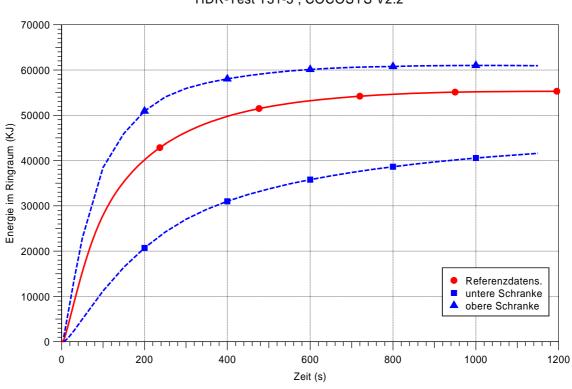


Abb. B.3-23 Über die Zonen des Sicherheitsbehälters aufsummierte Wärme über der Zeit



HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

Abb. B.3-24 Energie im Ringraum

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

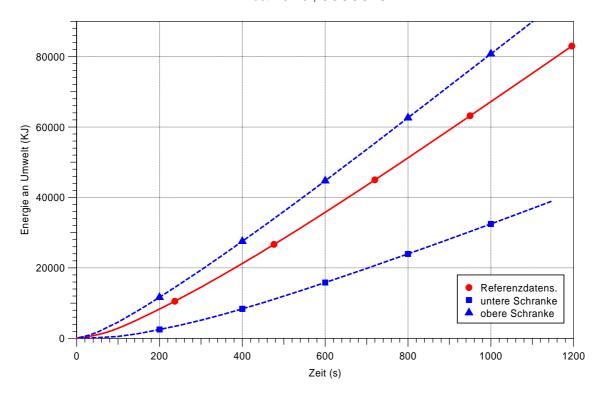


Abb. B.3-25 Energie an die Umgebung

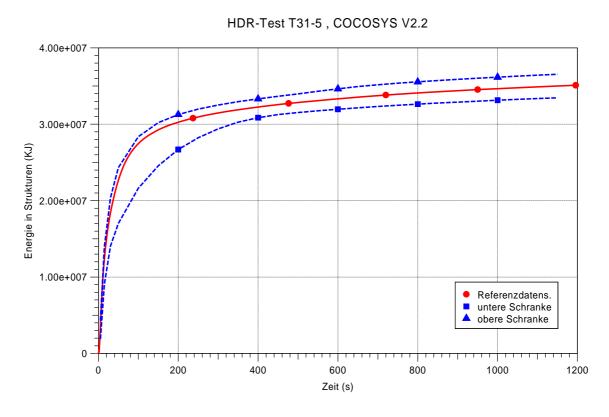


Abb. B.3-26 Energie in den Strukturen

HDR-Test T31-5, COCOSYS V2.2

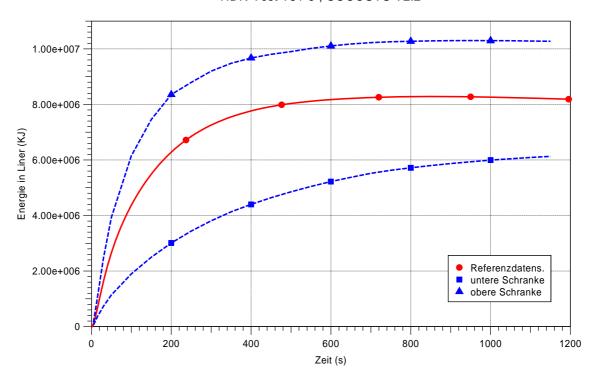


Abb. B.3-27 Energie im Liner



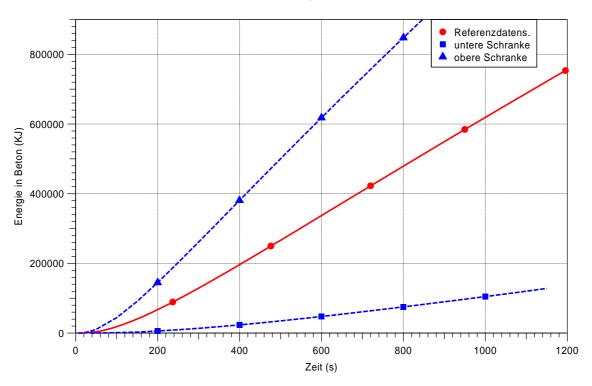


Abb. B.3-28 Energie im Beton

# B.4 Abbildungen zu Abschnitt 7.3: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse, Rang-Korrelationskoeffizienten als Sensitivitätsmaße

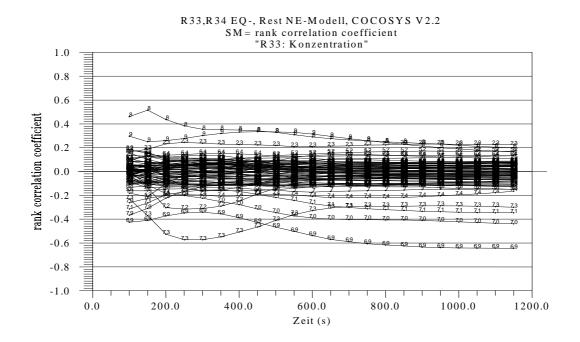


Abb. B.4-1 Sensitivitätsmaße für die Dampfkonzentration in Zone 33

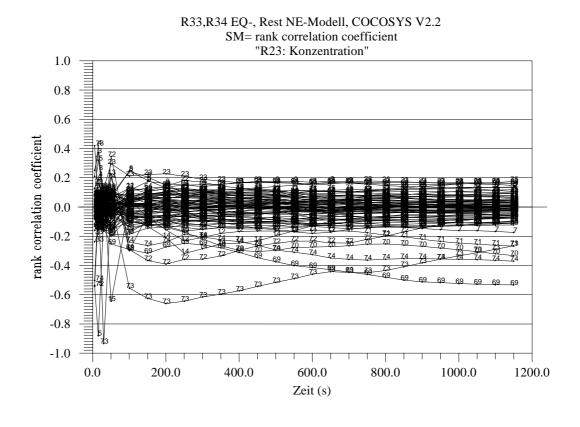


Abb. B.4-2 Sensitivitätsmaße für die Dampfkonzentration in Zone 23

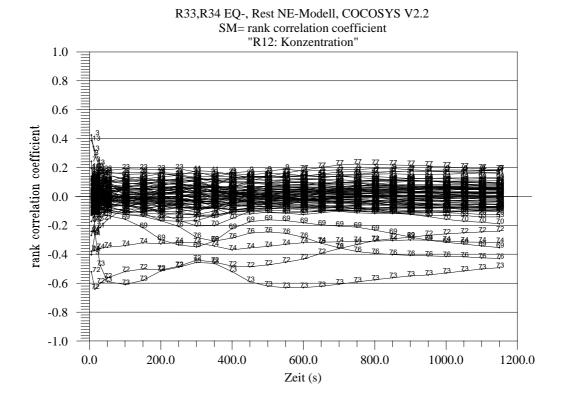


Abb. B.4-3 Sensitivitätsmaße für die Dampfkonzentration in Zone 12

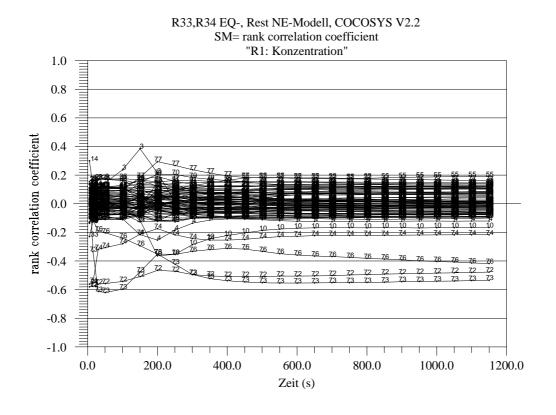


Abb. B.4-4 Sensitivitätsmaße für die Dampfkonzentration in Zone 1

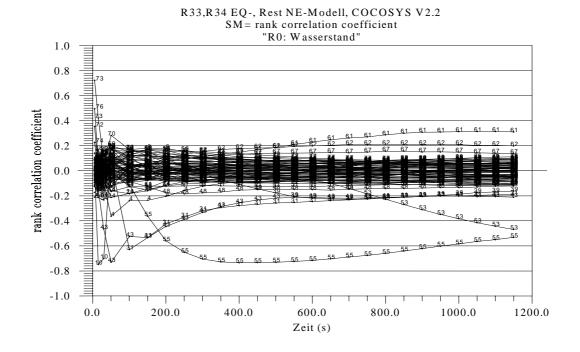


Abb. B.4-5 Sensitivitätsmaße für den Wasserstand

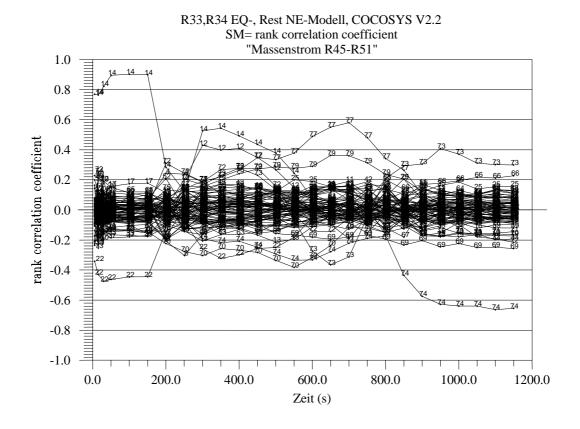


Abb. B.4-6 Sensitivitätsmaße für den Massenstrom innerhalb des Sicherheitsbehälters

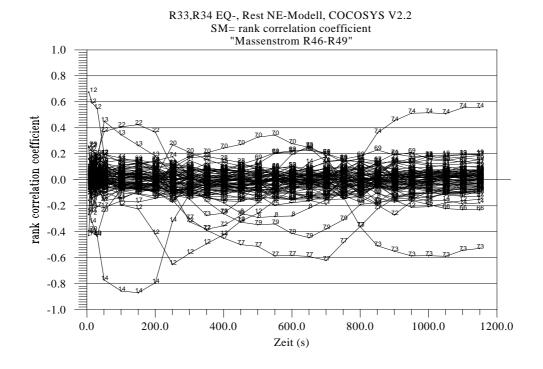


Abb. B.4-7 Sensitivitätsmaße für den Massenstrom innerhalb des Sicherheitsbehälters

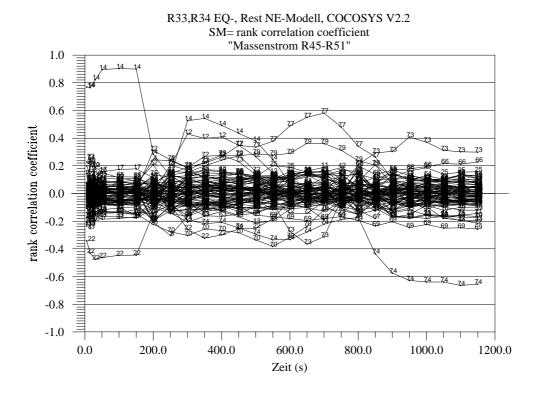


Abb. B.4-8 Sensitivitätsmaße für den Massenstrom innerhalb des Sicherheitsbehälters

#### R33,R34 EQ-, Rest NE-Modell, COCOSYS V2.2 SM= rank correlation coefficient "TTR50-A52L: Oberflaechentemp\_L" 1.0 0.8 0.6 rank correlation coefficient 0.4 0.2 0.0 -0.2 -0.4 -0.6 -0.8 -1.0 0.0 200.0 400.0 600.0 800.0 1000.0 1200.0 Zeit (s)

Abb. B.4-9 Sensitivitätsmaße für die Sicherheitsbehälter-Oberflächentemperatur der Struktur

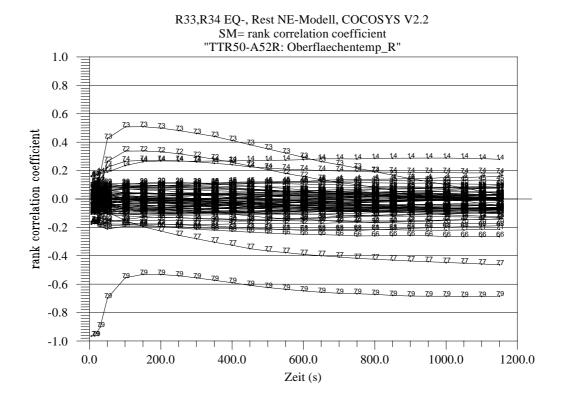


Abb. B.4-10 Sensitivitätsmaße für die Ringraum-Oberflächentemperatur der Struktur

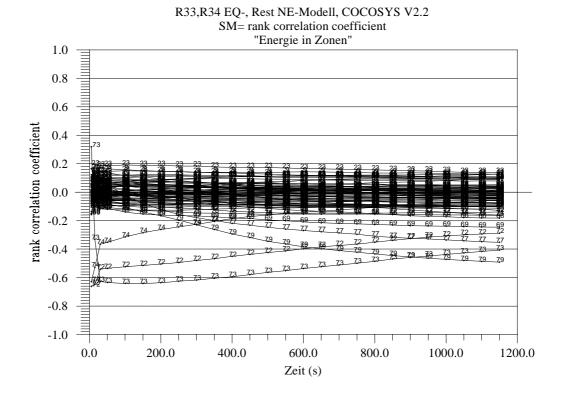


Abb. B.4-11 Sensitivitätsmaße für die Gesamtenergie in den Zonen

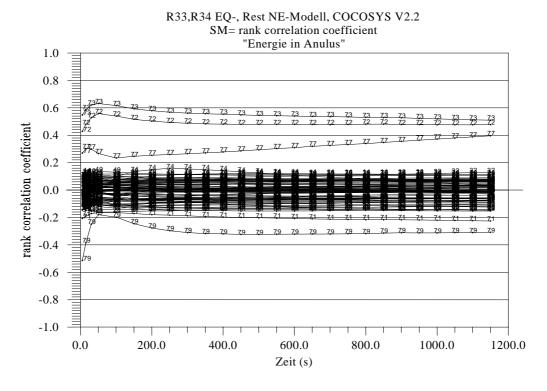


Abb. B.4-12 Sensitivitätsmaße für die Energie im Ringraum

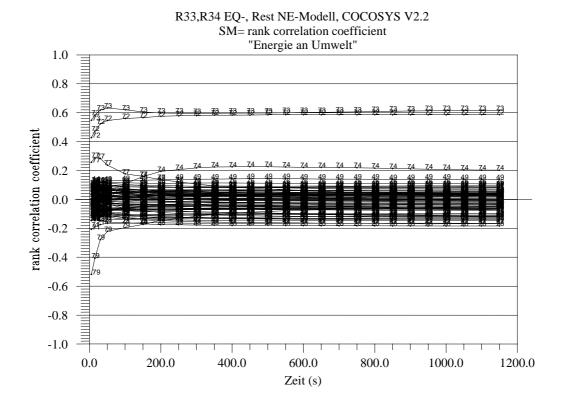


Abb. B.4-13 Sensitivitätsmaße für die Energie an die Umgebung

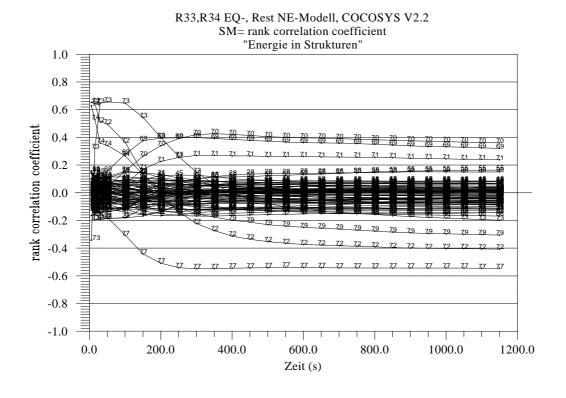


Abb. B.4-14 Sensitivitätsmaße für die Energie in den Strukturen

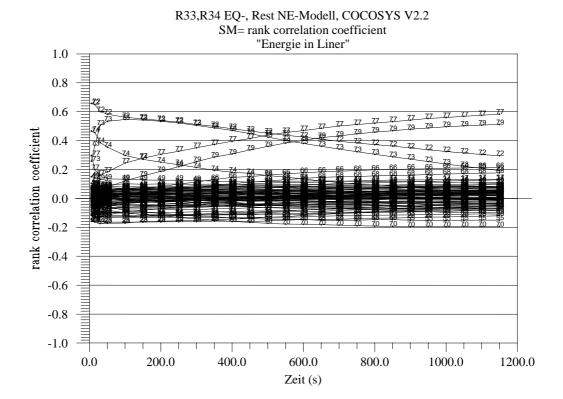


Abb. B.4-15 Sensitivitätsmaße für die Energie im Liner

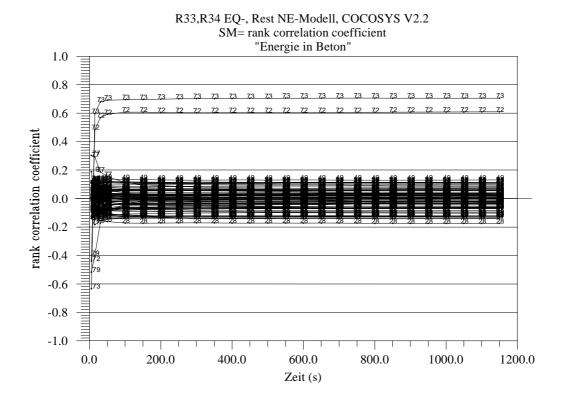


Abb. B.4-16 Sensitivitätsmaße für die Energie im Beton

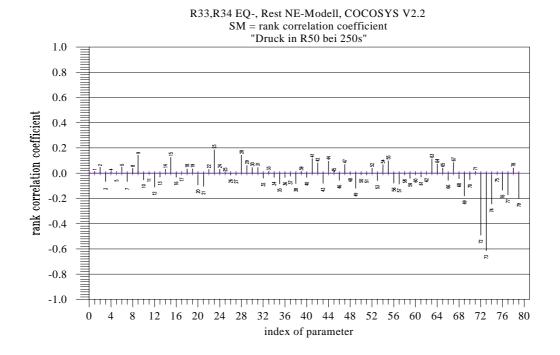


Abb. B.4-17 Sensitivitätsmaße für den Druck im Dom des Sicherheitsbehälters bei 250 s

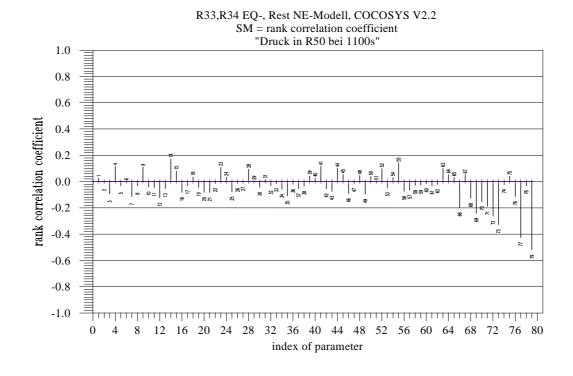


Abb. B.4-18 Sensitivitätsmaße für den Druck im Dom bei 1100s

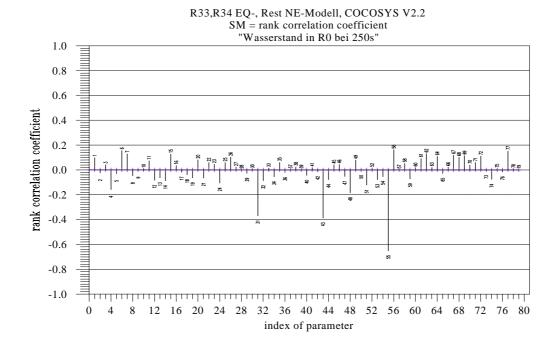


Abb. B.4-19 Sensitivitätsmaße für den Wasserstand bei 250s

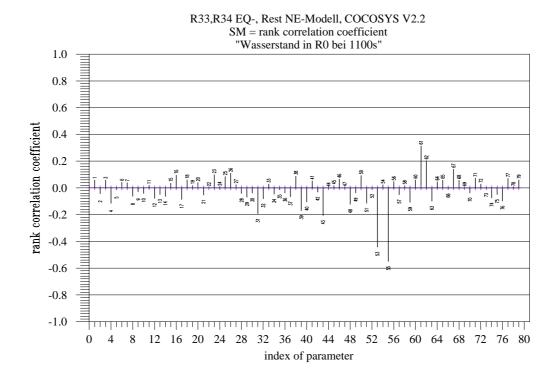


Abb. B.4-20 Sensitivitätsmaße für den Wasserstand bei 1100s

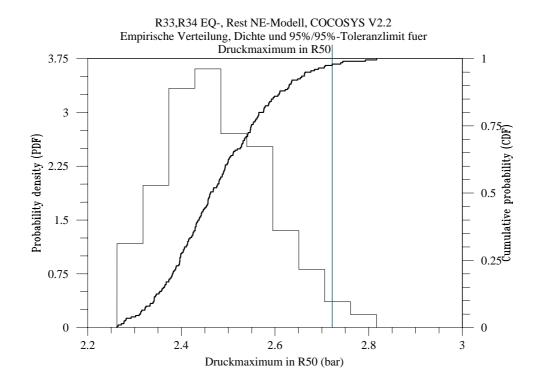


Abb. B.4-21 Verteilungsfunktion der Ergebnisse für den Maximaldruck im Sicherheitsbehälter - Dom

## B.5 Zeichnungen

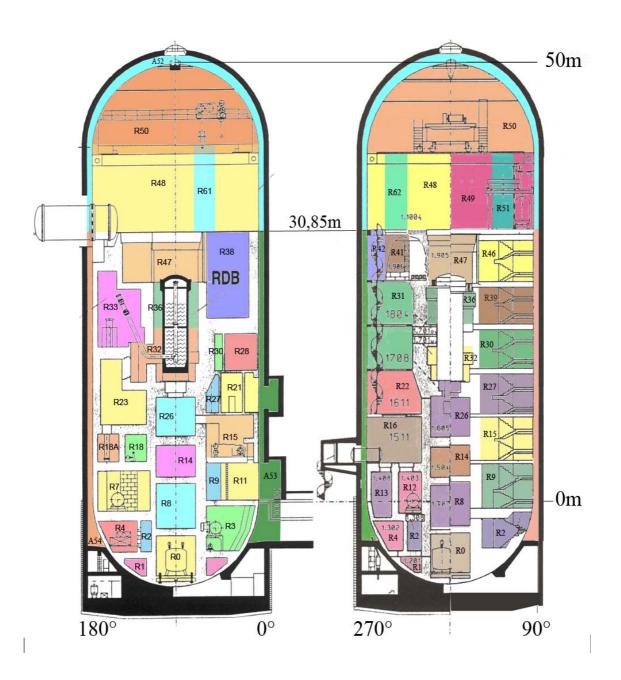


Abb. B.5-1 HDR – Sicherheitsbehälter, Nodalisierungsschema

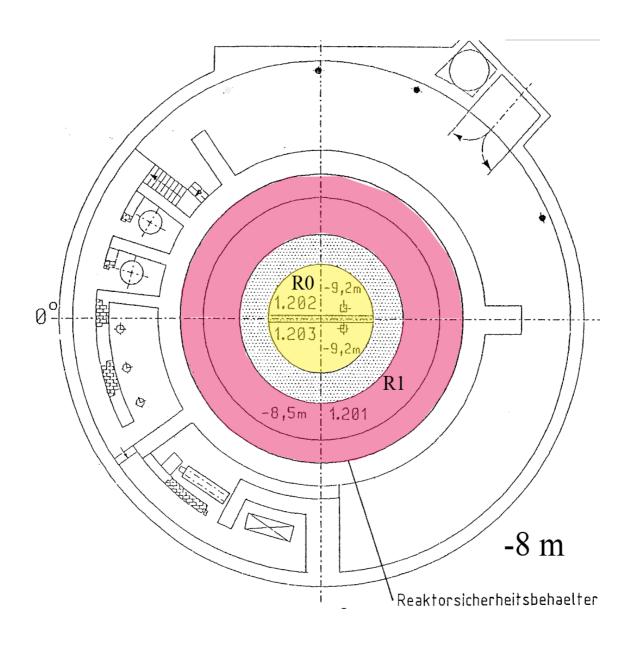


Abb. B.5-2 HDR – Sicherheitsbehälter, Grundriss bei -8 m

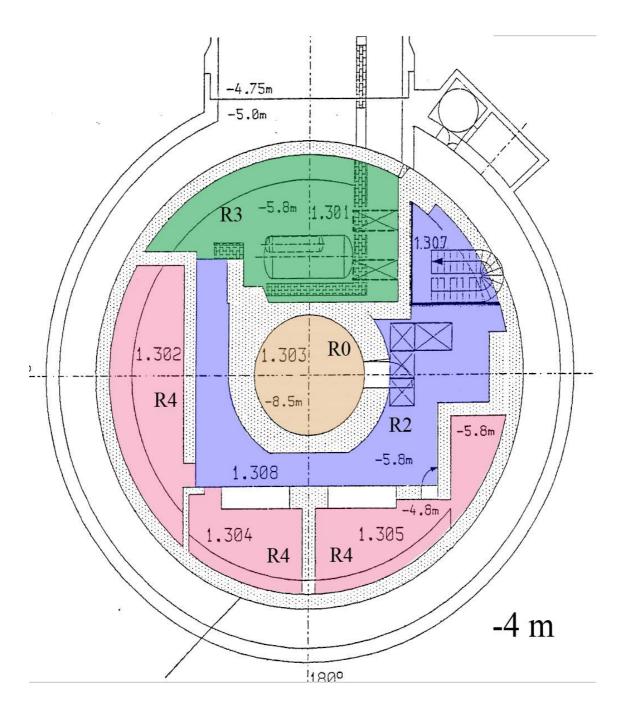


Abb. B.5-3 HDR – Sicherheitsbehälter, Grundriss bei -4 m

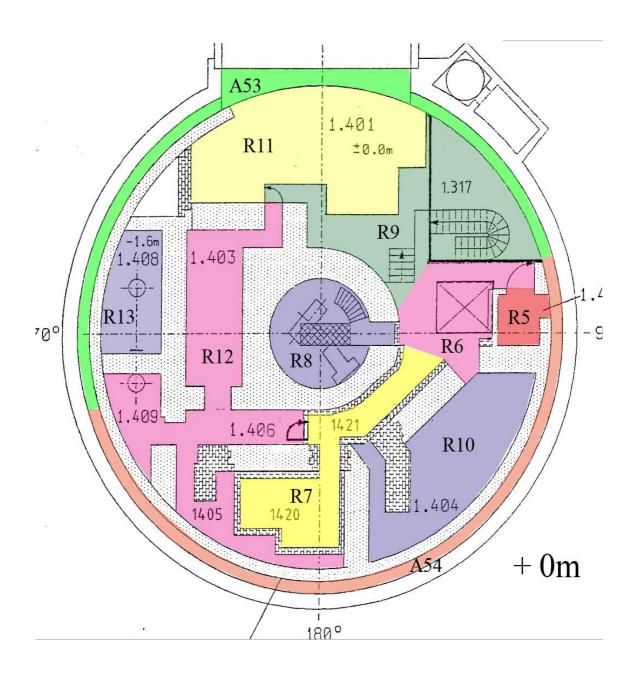


Abb. B.5-4 HDR – Sicherheitsbehälter, Grundriss bei +0 m

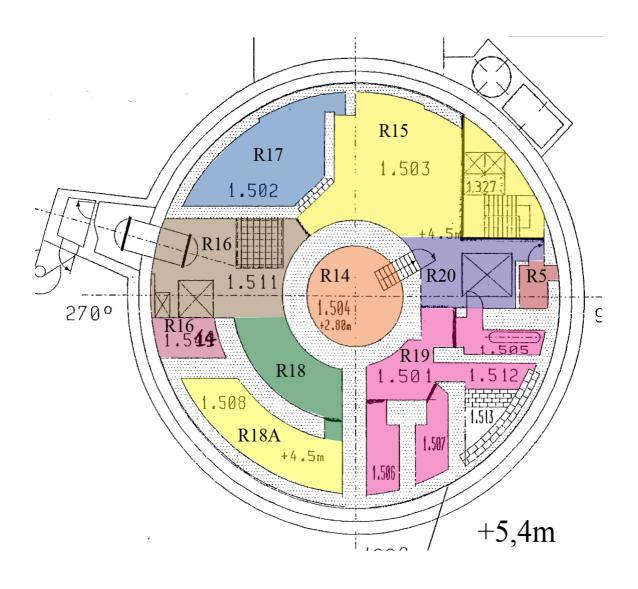


Abb. B.5-5 HDR – Sicherheitsbehälter, Grundriss bei +5,4 m

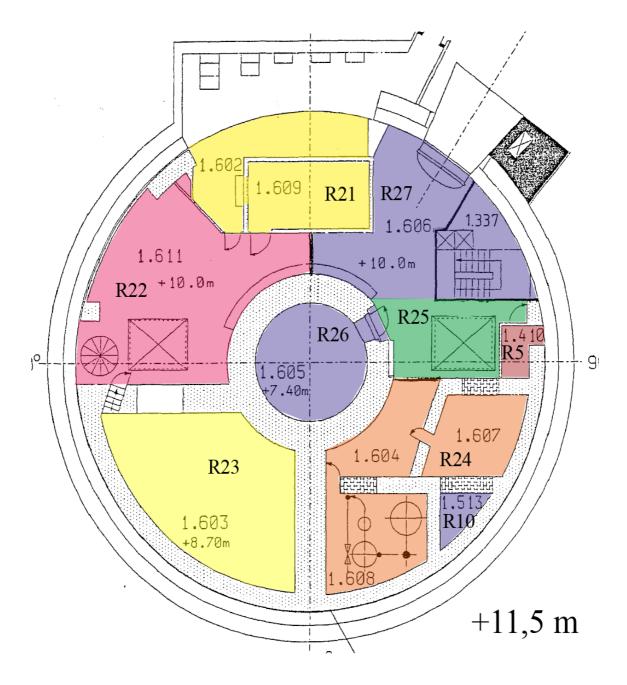


Abb. B.5-6 HDR - Sicherheitsbehälter, Grundriss bei 11,5 m

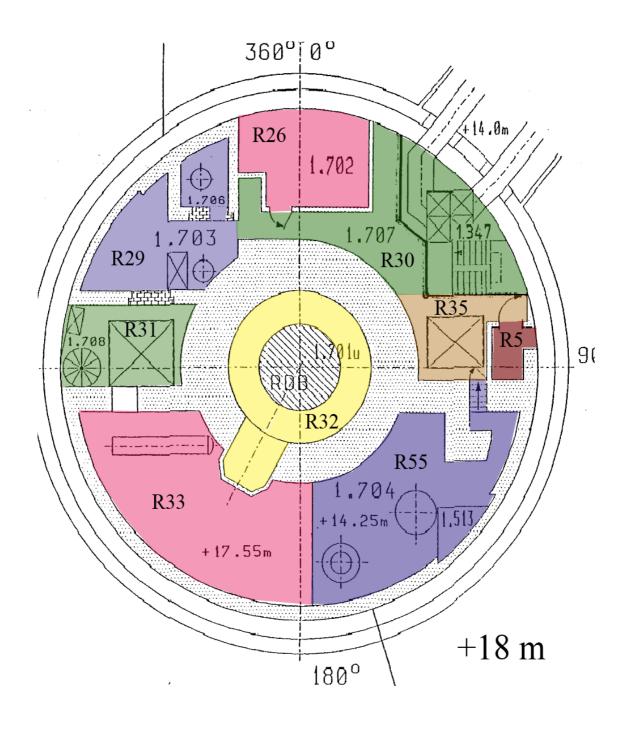


Abb. B.5-7 HDR - Sicherheitsbehälter, Grundriss bei 18 m

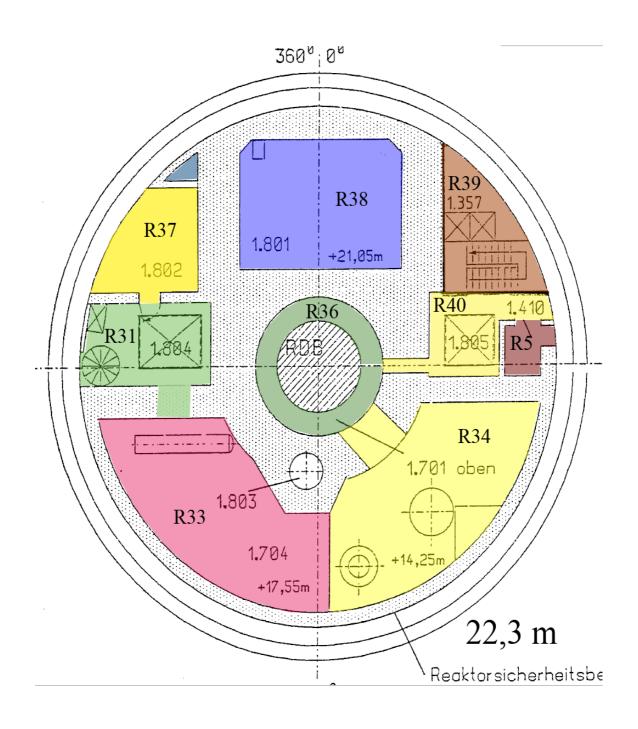


Abb. B.5-8 HDR – Sicherheitsbehälter, Grundriss bei 22,3 m

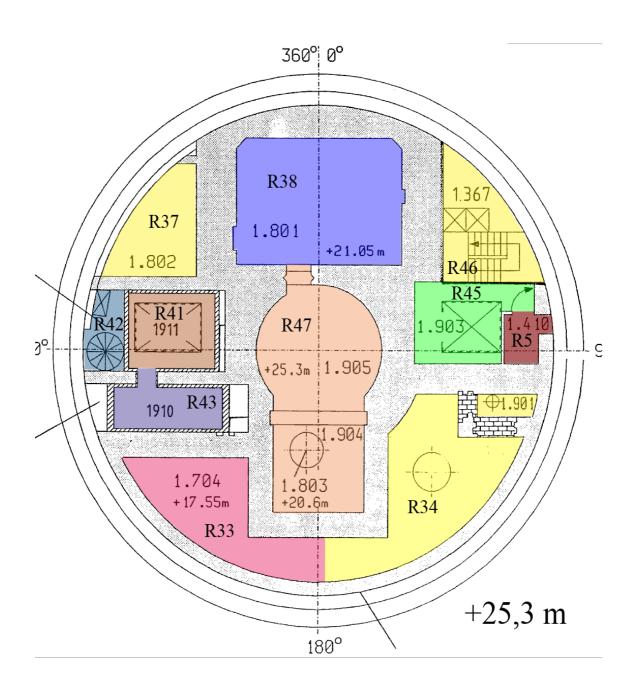


Abb. B.5-9 HDR - Sicherheitsbehälter, Grundriss bei 25,3 m

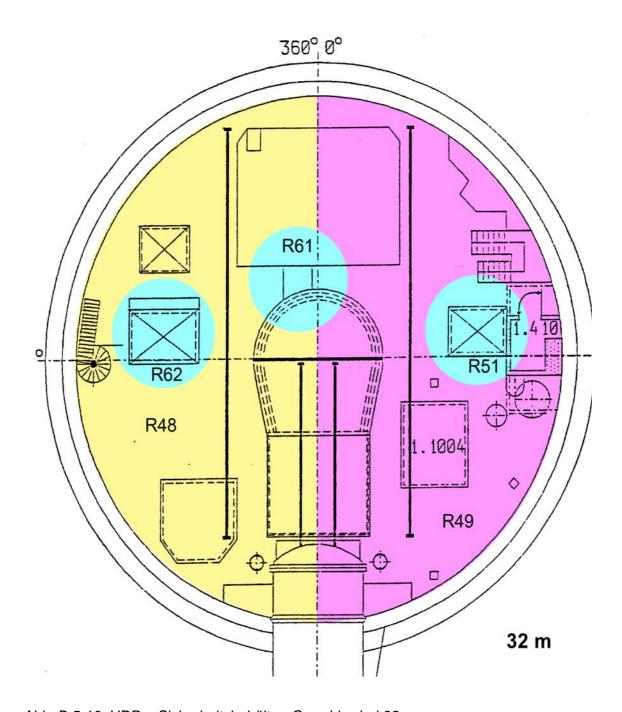


Abb. B.5-10 HDR – Sicherheitsbehälter, Grundriss bei 32 m

## 10 Verteiler

BMWA	
Referat IX B4	

1 x

## GRS-FB

Internationale Verteilung		40 x
Projektbegleiter	(kof)	3 x

## GRS

Geschäftsführung	(hah, ldr)	je 1 x
Bereichsleiter	(ban, brw, erl, erv, lim, tes, prg)	je 1 x
Abteilungsleiter	(all, gls, lab, bea)	je 1 x
Projektbetreuung	(kgl)	1 x
Projektleitung	(gls)	1 x
Informationsverarbeitung	(nit)	1 x
Bibliothek	(Garching, Köln)	je 1 x
Autoren	(bar, gls, krb)	je 2 x

Gesamtauflage: 68 Exemplare