



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklear-
sicherheitsinspektorat ENSI

Sicherheitsanalysen für Transport- und Lagerbehälter für radioaktive Stoffe

Dr.-Ing. Frank Koch

Konstrukteurstag, Bayreuth, 29. September 2010



Inhalt

- ① Einführung
- ② Anforderungen an Behälter
- ③ Thermische Analysen
 - Transport
 - Zwischenlagerung



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat

Hauptaufgabe

Sicherheit der Kernanlagen in der Schweiz

Bereiche

- Betriebsüberwachung
- Anlagentechnik
- Sicherheitsanalysen
- Strahlenschutz
- Entsorgung

Kernkraftwerk Leibstadt



Bild: KKL



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat

Hauptaufgabe

Sicherheit der Kernanlagen in der Schweiz

Bereiche

- Betriebsüberwachung
- Anlagentechnik
- Sicherheitsanalysen
- Strahlenschutz
- Entsorgung

Kernkraftwerk Leibstadt



Bild: KKL



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat

Abteilung Entsorgung

- Geologie
- Tiefenlagerung und Sicherheitsanalysen
- Beförderung und Abfalltechnik

Endlagerstandorte

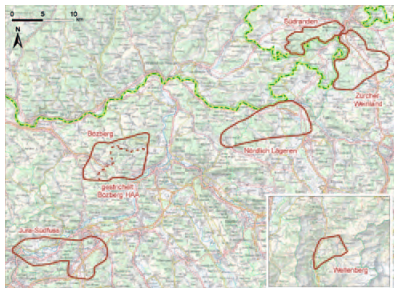


Bild: ENSI



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat

Abteilung Entsorgung

- Geologie
- Tiefenlagerung und Sicherheitsanalysen
- **Beförderung und Abfalltechnik**

Endlagerstandorte

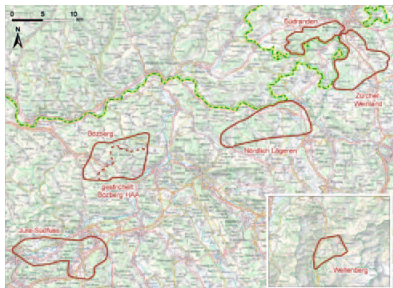


Bild: ENSI



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat

Sektion: Beförderung und Abfalltechnik

- Behälterzulassungen
- Transportbewilligungen
- Fertigungsüberwachung
- Abfallbehandlungsverfahren
- Zwischenlagerung: Bewilligung und Betrieb
- Inspektionen

Zentrales Zwischenlager Würenlingen



Bild: ZWILAG



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat

Sektion: Beförderung und Abfalltechnik

- **Behälterzulassungen**
- Transportbewilligungen
- Fertigungsüberwachung
- Abfallbehandlungsverfahren
- Zwischenlagerung: Bewilligung und Betrieb
- Inspektionen

Zentrales Zwischenlager Würenlingen



Bild: ZWILAG



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat

Umladestation Würenlingen



Bild: ENSI



Schutzziele für Transport- und Lagerbehälter

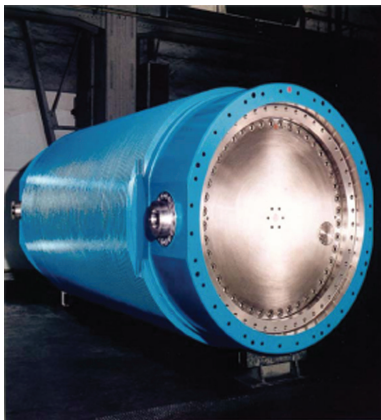


Bild Fa. GNS

- Dichte Umschließung
 - Dichtheit
 - Integrität
- Abschirmung
- Unterkritikalität



Randbedingungen Transport

Routine-Beförderungsbedingungen

- Umgebungstemperatur von -40°C bis 38°C
- Volle Sonneneinstrahlung
- Gesamtwärmeleistung bis 56kW
- Thermische Barriere z. B. Transporthaube



Randbedingungen Transport

Routine-Beförderungsbedingungen

- Umgebungstemperatur von -40°C bis 38°C
- Volle Sonneneinstrahlung
- Gesamtwärmeleistung bis 56kW
- Thermische Barriere z. B. Transporthaube

Normale Beförderungsbedingungen

- Wassersprühprüfung
- Fallprüfung (Fallhöhe je nach Behältergewicht)
- Stapeldruckprüfung
- Durchstossprüfung



Randbedingungen Transport

Unfall-Beförderungsbedingungen

- 9m-Fall auf unnachgiebiges Fundament
- 1m-Fall auf einen Dorn
- 30 Minuten bei 800°C
- Gesteigerte Wassertauchprüfung (200m-Wassertiefe)
- Wassereindringprüfung bei spaltbaren Stoffen (8 Stunden bei 0,9m Tiefe)



Bild: BAM



Randbedingungen Zwischenlagerung

Bestimmungsgemässer Betrieb

- Zulufttemperatur 32°C
- Keine Sonneneinstrahlung
- Gesamtwärmeleistung bis 56kW
- Keine thermische Barriere, aber Flugzeugabsturzdeckel



Randbedingungen Zwischenlagerung

Bestimmungsgemässer Betrieb

- Zulufttemperatur 32°C
- Keine Sonneneinstrahlung
- Gesamtwärmeleistung bis 56kW
- Keine thermische Barriere, aber Flugzeugabsturzdeckel

Kriterien

- Bauteiltemperaturen Behälter
- Temperaturen für Gebäudeteile
- Dosisleistung
- Dichtheit, Doppeldeckelsystem
- Langzeiteigenschaften



Randbedingungen Zwischenlagerung

Störfall

- Flugzeugabsturz mit anschliessendem Kerosinfeuer
- Verschütten durch Trümmerteile
- Erdbeben
- Flutung



Randbedingungen Zwischenlagerung

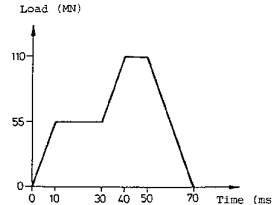
Störfall

- Flugzeugabsturz mit anschliessendem Kerosinfeuer
- Verschütten durch Trümmerteile
- Erdbeben
- Flutung

Randbedingungen Flugzeugabsturz

- Militärflugzeug
- Masse 20 t
- Geschwindigkeit 215 m/s
- Aufprallfläche 7 m²
- Tankinhalt 6000 l

Lastkurve





Transportsituation

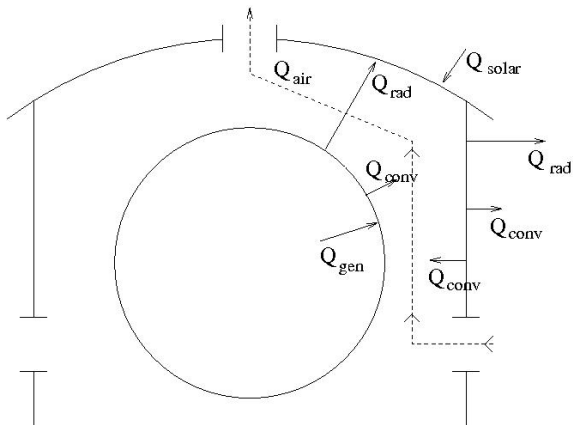
Behälter TN81CH mit Transporthaube



Bild: ENSI



Wärmeabfuhr Transport





Berechnungsziele

Bauteiltemperaturen

- Leicht zugängliche Oberflächen
- Kunststoffe als Neutronenmoderatoren
- Dichtungen
- Tragkorb: Strukturbauteile, Neutronenabsorber
- Brennelement-Hüllrohre



Berechnungsziele

Bauteiltemperaturen

- Leicht zugängliche Oberflächen
- Kunststoffe als Neutronenmoderatoren
- Dichtungen
- Tragkorb: Strukturbauteile, Neutronenabsorber
- Brennelement-Hüllrohre

Berechnungsannahmen für nachfolgende Analysen

- Wärmedehnungen
- Gasdrücke
- Verminderte Festigkeitswerte
- Verminderte Dichten für Abschirmungsanalysen



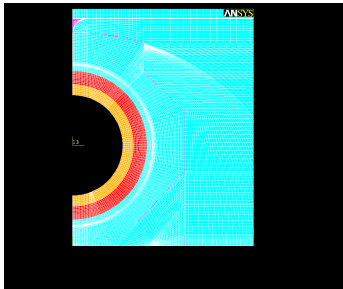
Vorgehensweise

Berechnung von aussen nach innen

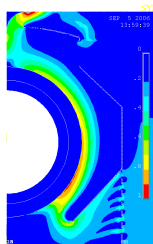
- CFD-Analyse für Haube: Oberflächentemperaturen
- Behälter ohne Brennelemente: Bauteiltemperaturen
- Brennelemente: Hüllrohrtemperaturen



CFD-Analyse für Transporthaube



CDF-Modell



Luftgeschwindigkeit

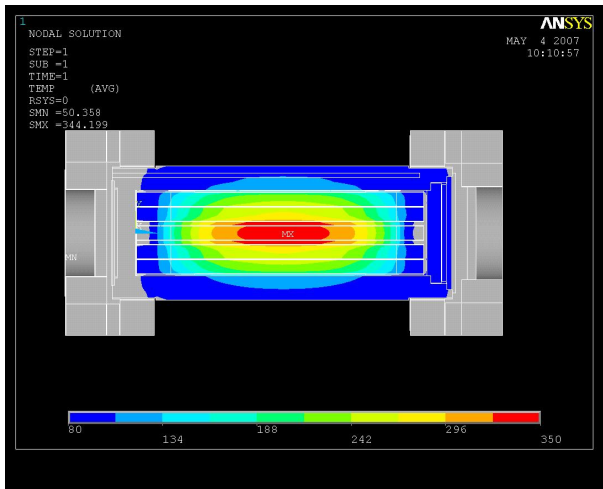


Ergebnisse

- Temperaturen der leicht zugänglichen Oberflächen
- Umgebungstemperatur für Wärmeabfuhr durch Strahlung (Haubentemperatur)
- Fluidtemperatur für konvektive Wärmeabfuhr (mittlere Lufttemperatur)
- Behälteroberflächentemperatur für Vergleichszwecke



Behältermodell



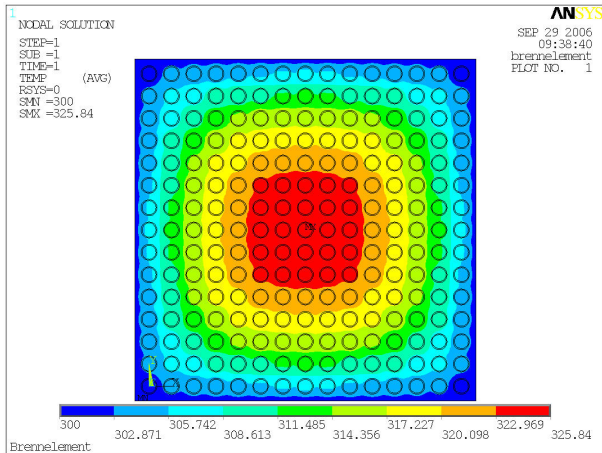


Ergebnisse

- Bauteiltemperaturen
- Behälteroberflächentemperaturen
- Temperaturen der Brennelementschächte



Inventaranalyse: Brennelemente





Integrierte Berechnung

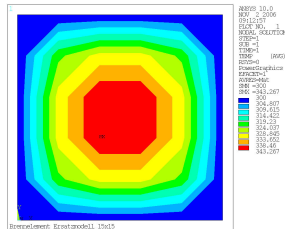
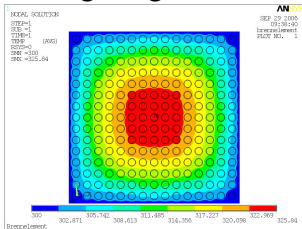


Integrierte Berechnung

Schwierigkeiten

- Ergebnisunsicherheit von CFD-Analysen
- Abmessungsunterschiede \Rightarrow Modellierungsaufwand

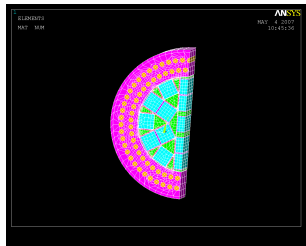
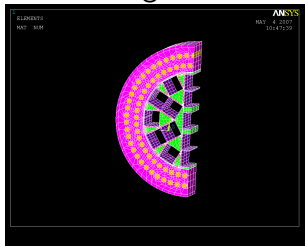
Lösungsmöglichkeiten





Integrierte Berechnung

Berechnung mit und ohne Brennelemente





Wärmeabfuhr Zwischenlager

FE-Modell

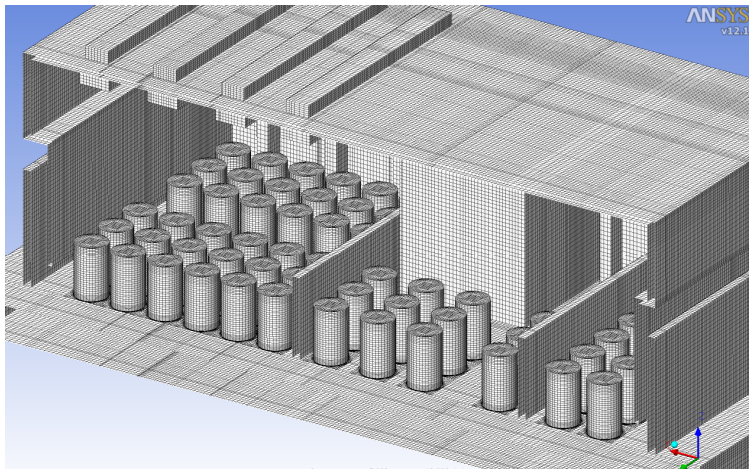


Bild: TÜV Nord



Wärmeabfuhr Zwischenlager

Temperaturen Behälteroberfläche

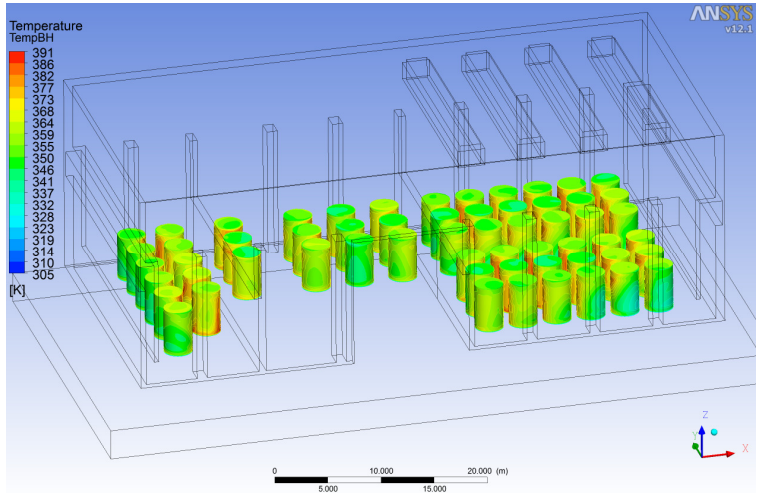


Bild: TÜV Nord



Wärmeabfuhr Zwischenlager

Temperaturen Gebäude

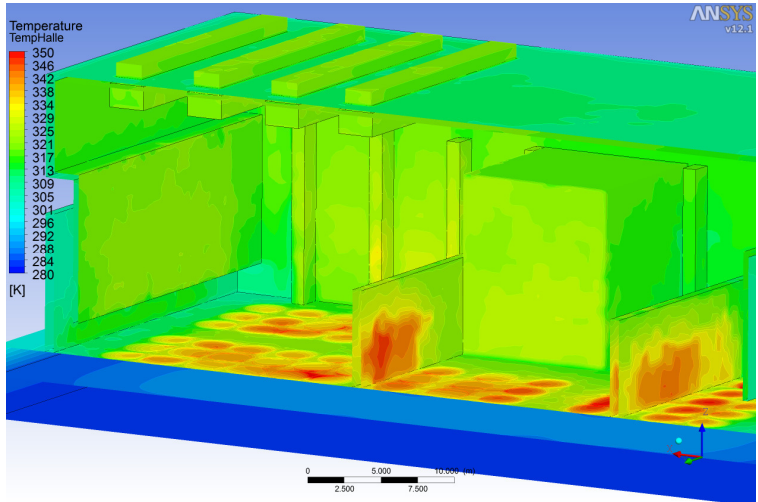


Bild: TÜV Nord