

Finale Thermodynamique CIGEO 2.1 vs CSD-V EuGH



Berechnung befülltes CIGEO Endlager- 50 MW NZW

Physiker Dr. Herres calculated : 2.0 - CSD-V - CIGEO 2.1 with 11 m and 30 m



CIGEO 2.1 - 30 m - Berechnung Linien-Quelle = + 27 K max. - Nachweis - Behälter-Mitte

CIGEO 2.1 - 30 m . max. 36,3  C - Final - OK



Integration der Temperatur um eine Linienquelle mit 20 kg Beh lern

G rhard Herres, 2026-06-25, 2026-08-28, 2026-09-19

In ein horizontales Bohrloch werden Behälter mit radioaktivem Müll aus einer Wiederaufbereitungsanlage, WAA genannt, geschoben. Jeder ELB 08 FR, PTH 09 FR Behälter ist 0,64 m dick und 0,96 m lang, incl. der Edelstahlh lle. Zu Beginn gibt jeder Behälter eine Wärmeleistung Q0 = 56,25 W ab. Da die Wärmeabgabe auf Grund des radioaktiven Zerfalls mit einer exponentiellen Zerfallrate von b = 7,3125 10 10 pro Sekunde abnimmt, k ngt die Wärmeabgabe langsam ab. Nach dem Lehrbuch Wärme- und Stoffübertragung von Baehr und Stephan kann man für eine Linienquelle eine Temperaturfunktion in Abhängigkeit von Abstand r und Zeit t angeben.

$$\theta(r,t) = \frac{1}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[Q(t) \cdot (t-\tau) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha(t-\tau)} \right) \right] \cdot d\tau + \theta_{\infty}$$

Mit $Q(t) = Q_0 \exp(-bt)$ wird die exponentiell abnehmende Wärmeabgabe eingesetzt. Eine Substitution $u = t - \tau \Rightarrow du = d\tau$ vereinfacht das Integral.

$$\theta(r,t) = \frac{1}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[Q_0 \exp(-b(t-\tau)) \cdot (t-\tau) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha(t-\tau)} \right) \right] \cdot du + \theta_{\infty}$$

Aus diesem Integral lässt sich der konstante Anteil $Q_0 \cdot \exp(-b \cdot t)$ heraus ziehen. Die Integrationsgrenzen werden verändert.

$$\theta(r,t) = \frac{Q_0 \exp(-bt)}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[\exp(b \cdot u) \cdot (u) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha u} \right) \right] \cdot du + \theta_{\infty}$$

Leider gibt es für dieses Integral keine geschlossene Lösung. Für konstante Wärmeleistung geht es zwar als Lösung der Exponentialformel, welches hier aber nicht zutrifft. Folglich kann man nur mit einer numerischen Integration die Funktionen erhalten.

$$\theta(r,t) = \frac{Q_0 \exp(-bt)}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[\exp(b \cdot u) \cdot (u) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha u} \right) \right] \cdot du + \theta_{\infty}$$

Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 01-10

$L = 0,96 \text{ m}$ Länge einer Einheit = 1 WAA Behälter
 $L = 0,96$

$b = 7,3125 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ Zerfallskonstante
 $b = 7,3125 \cdot 10^{-10}$

Die Stoffdaten von Tonstein dürfen ähnlich sein wie die von Ton. Aus dem Lehrbuch von Baehr/Stephan stammen die folgenden Daten:

$\rho = 1450 \text{ kg/m}^3$ Dichte
 $c_p = 880 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ spezifische Wärmekapazität
 $\lambda = 1,28 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmeleitfähigkeit
 $\alpha = 0,000001003134796 \text{ m}^2/\text{s}$ Temperaturleitfähigkeit

Die räumliche Aufteilung beträgt ein Bel Dekade, beginnend mit $R = 0,1 \text{ m}$. Der nächste Radius ist dann jeweils um den Faktor 10 (10 = 1,3332) größer. So kann sowohl der Bereich nahe an der Linienquelle, als auch fern davon mit geringem Aufwand berechnet werden.

$R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten

Darstellung des Integranden

Numerische Integration

Die Integration wird über jeweils eine Bel Dekade der Zeit t durchgeführt, da dann vom Programm die Schritte jeweils passend gewählt werden kann.

$$\theta(r,t) = \frac{Q_0 \exp(-bt)}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[\exp(b \cdot u) \cdot (u) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha u} \right) \right] \cdot du + \theta_{\infty}$$

Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 02-10

$$F(r) = \ln \left(\frac{Q_0 \exp(-bt)}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[\exp(b \cdot u) \cdot (u) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha u} \right) \right] \right)$$

Die räumliche Aufteilung beträgt ein Bel Dekade, beginnend mit $R = 0,1 \text{ m}$. Der nächste Radius ist dann jeweils um den Faktor 10 (10 = 1,3332) größer. So kann sowohl der Bereich nahe an der Linienquelle, als auch fern davon mit geringem Aufwand berechnet werden.

$R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten

Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 03-10

$$F(r) = \ln \left(\frac{Q_0 \exp(-bt)}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[\exp(b \cdot u) \cdot (u) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha u} \right) \right] \right)$$

Die räumliche Aufteilung beträgt ein Bel Dekade, beginnend mit $R = 0,1 \text{ m}$. Der nächste Radius ist dann jeweils um den Faktor 10 (10 = 1,3332) größer. So kann sowohl der Bereich nahe an der Linienquelle, als auch fern davon mit geringem Aufwand berechnet werden.

$R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten

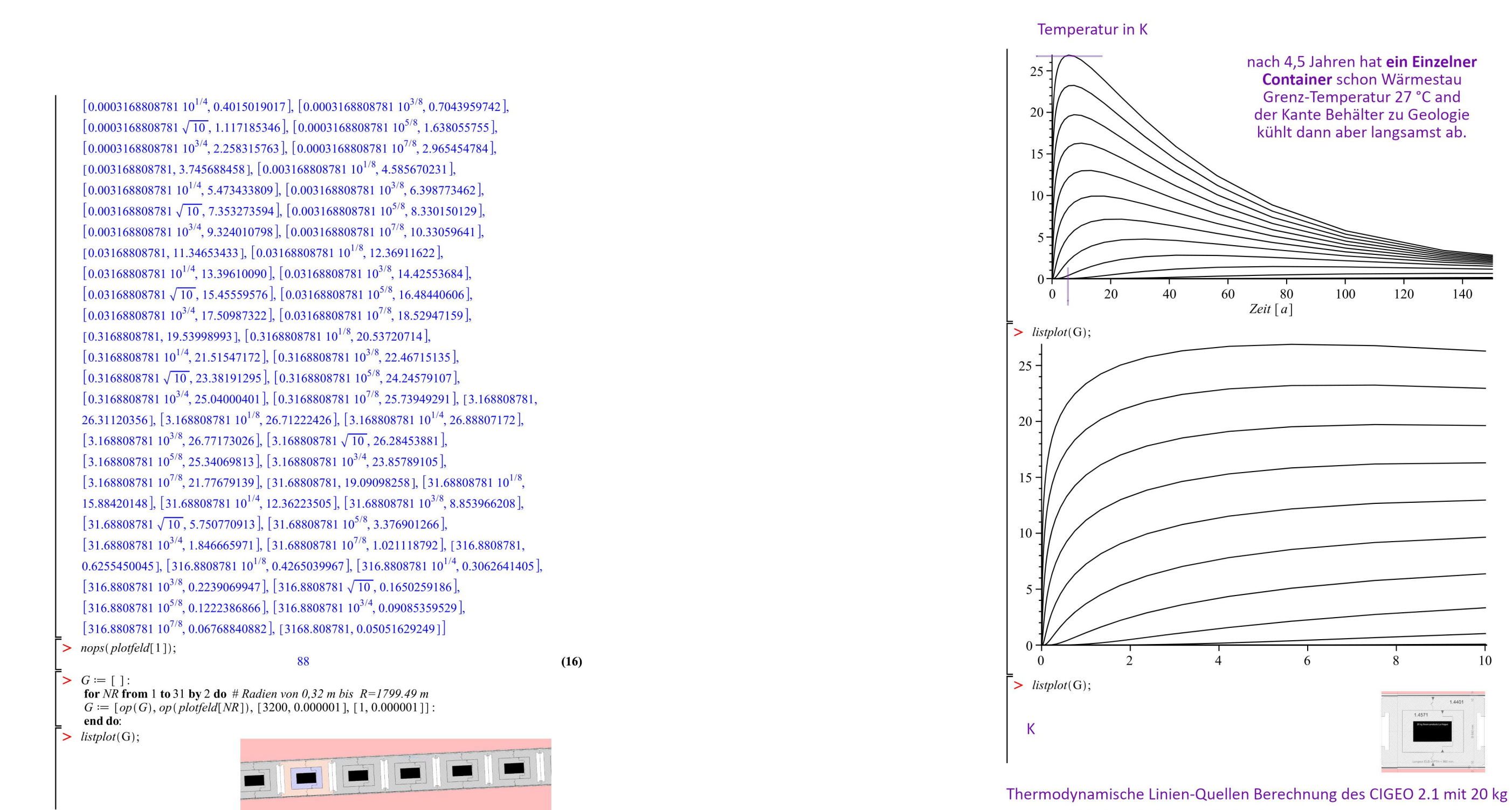
Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 04-10

$$F(r) = \ln \left(\frac{Q_0 \exp(-bt)}{4\pi\lambda L} \cdot \ln \left[\exp(b \cdot u) \cdot (u) \cdot \exp \left(-\frac{r^2}{4\alpha u} \right) \right] \right)$$

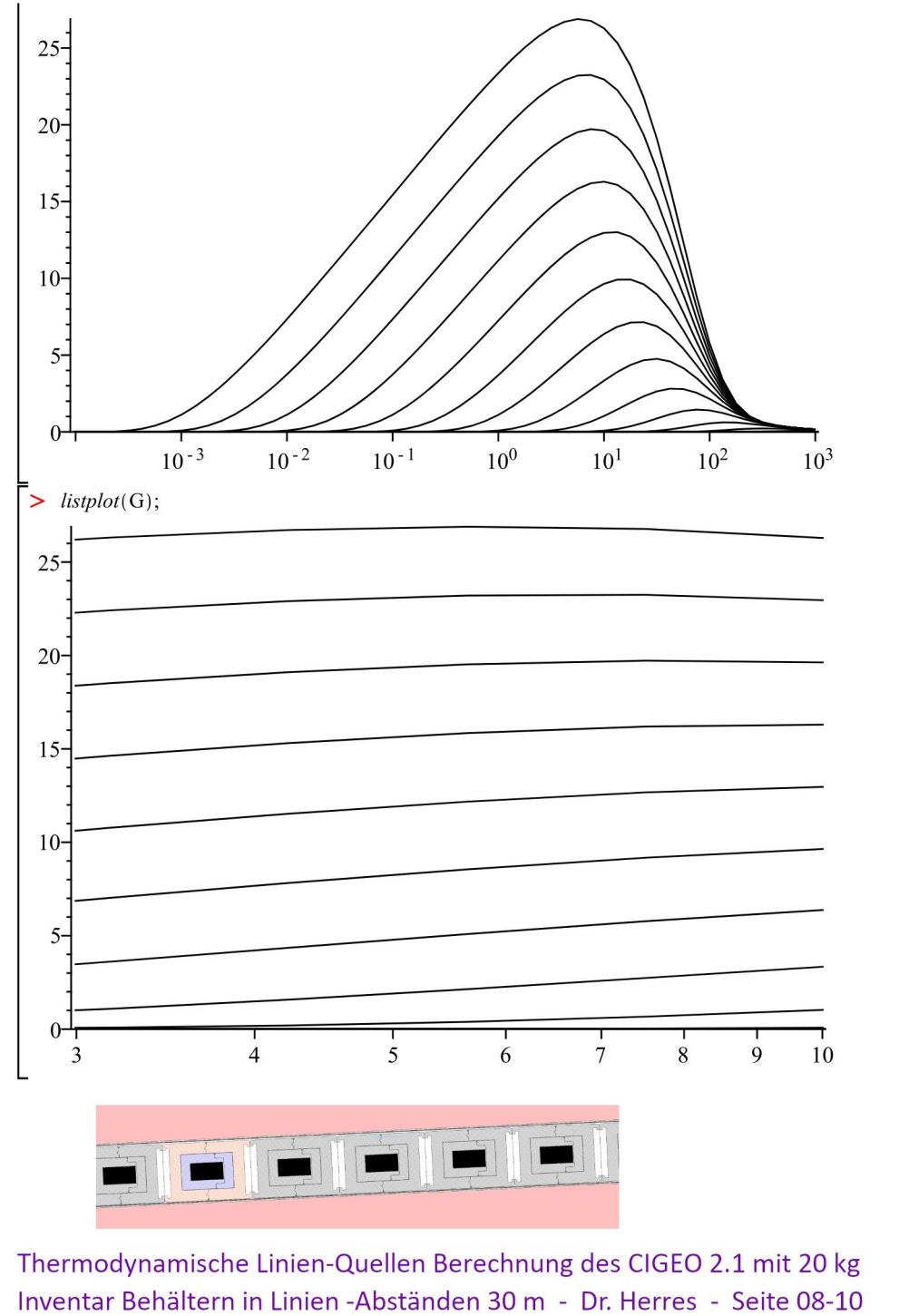
Die räumliche Aufteilung beträgt ein Bel Dekade, beginnend mit $R = 0,1 \text{ m}$. Der nächste Radius ist dann jeweils um den Faktor 10 (10 = 1,3332) größer. So kann sowohl der Bereich nahe an der Linienquelle, als auch fern davon mit geringem Aufwand berechnet werden.

$R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten
 $R = 0,1 \text{ m}$ bis $R = 0,8 \text{ m}$ in 8 Schritten

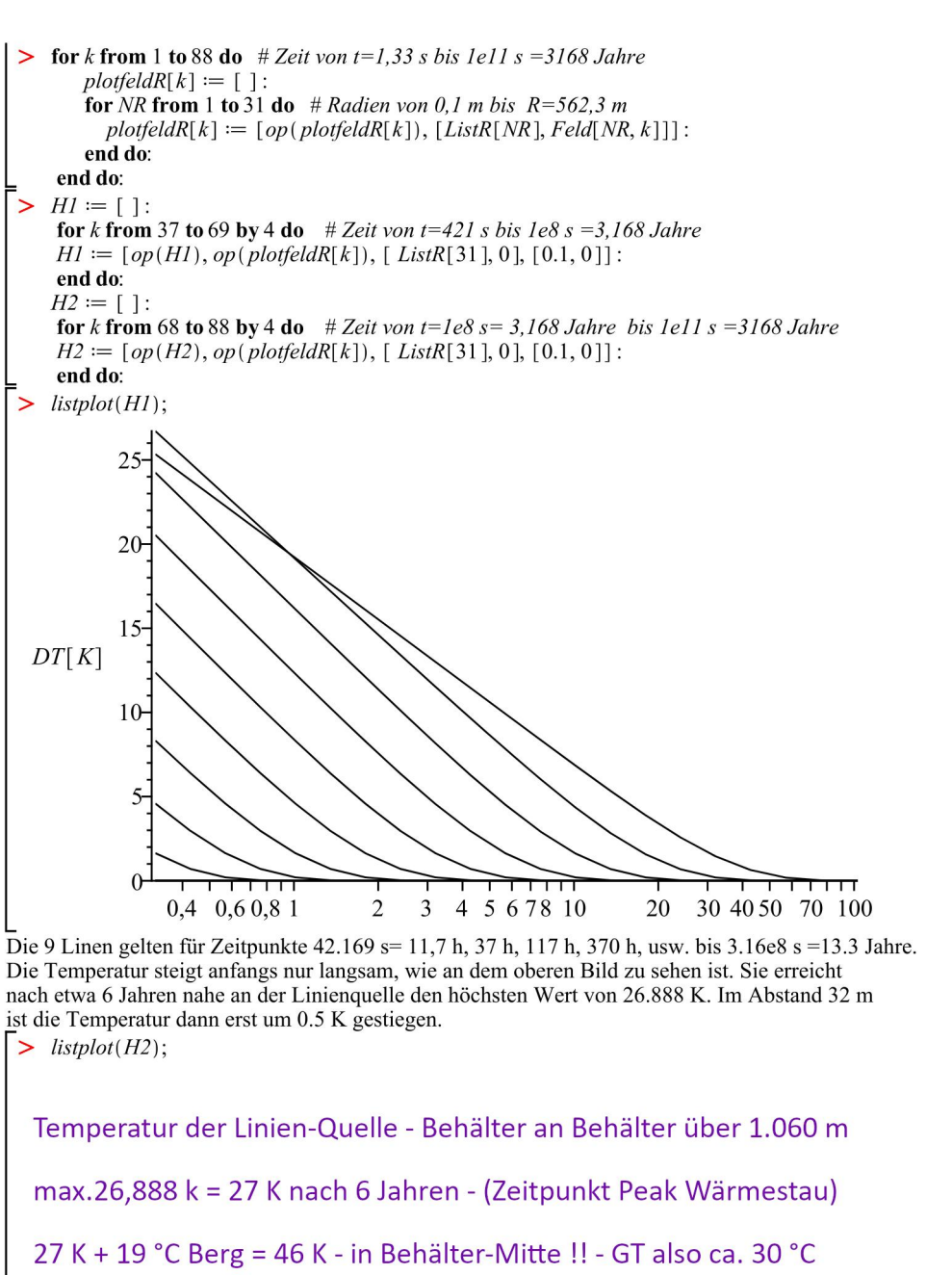
Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 05-10



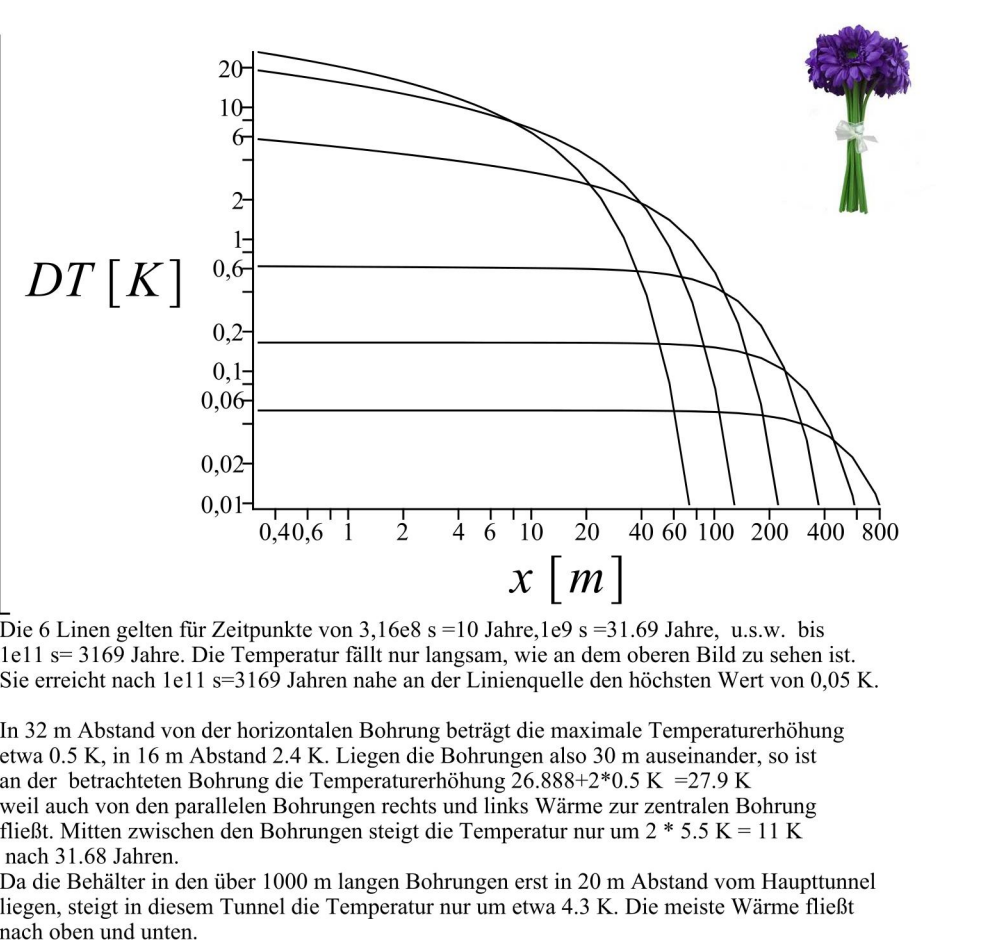
Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 06-10



Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 08-10



Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 09-10



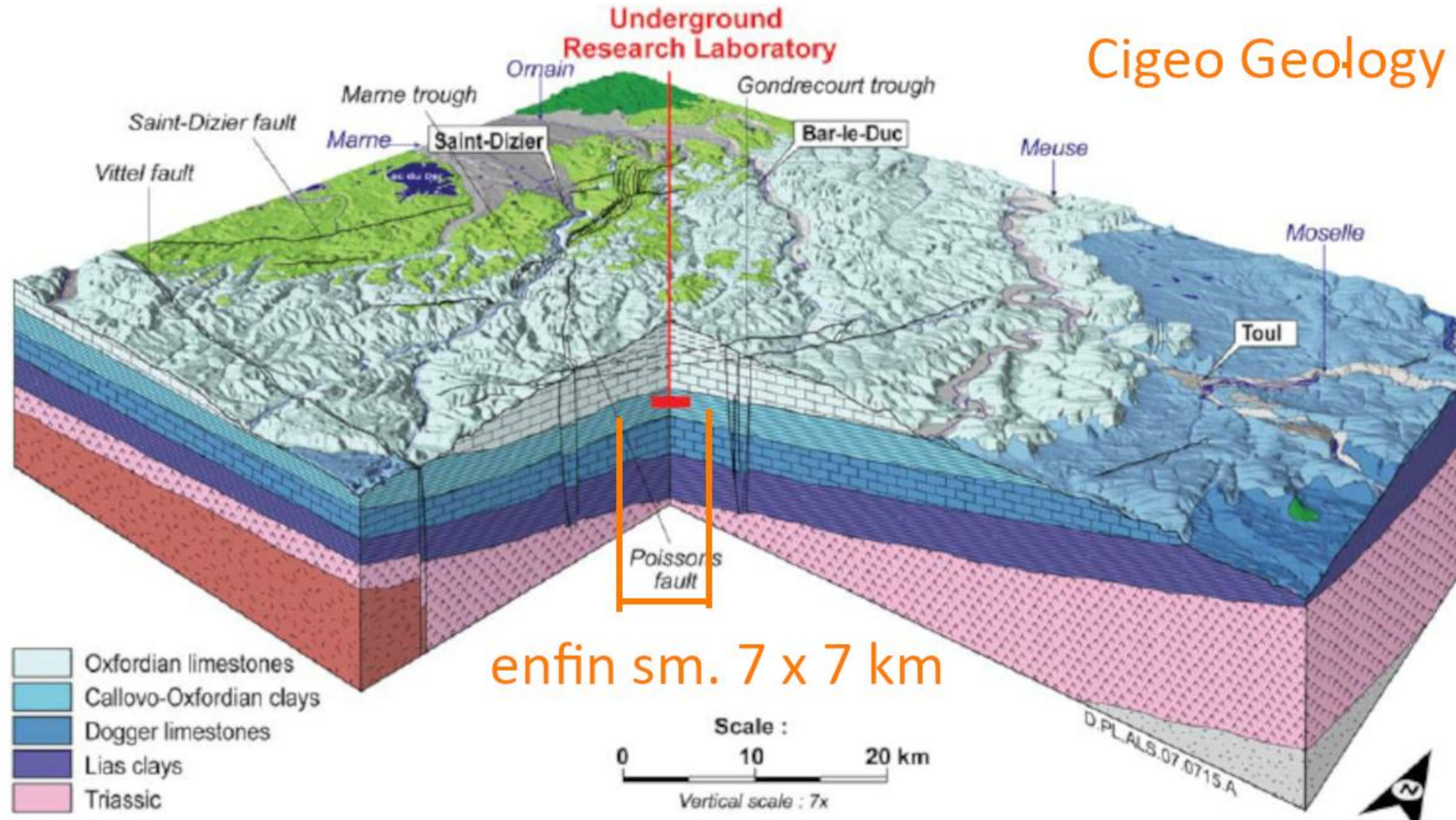
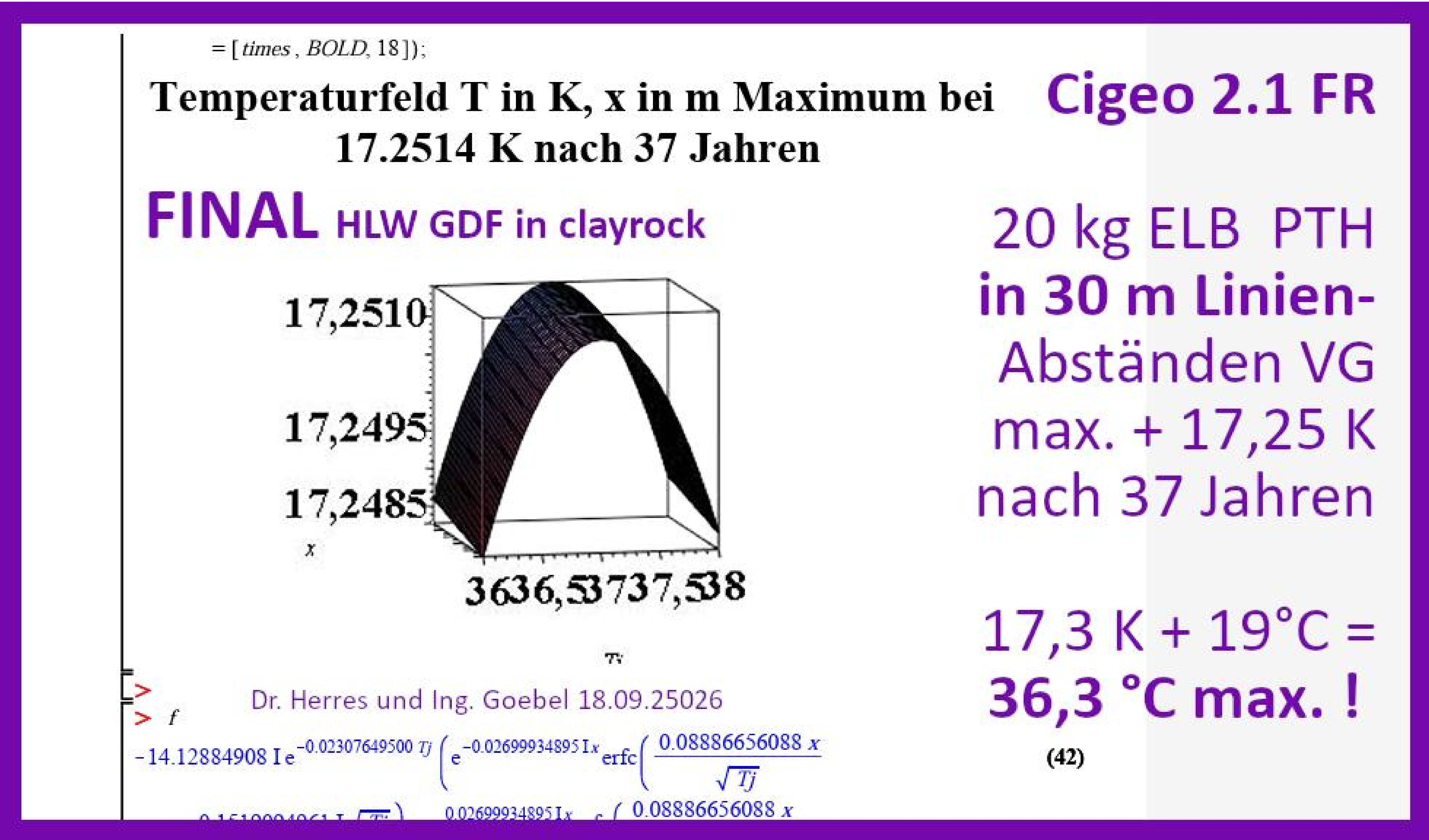
Thermodynamische Linien-Quellen Berechnung des CIGEO 2.1 mit 20 kg Inventar Behältern in Linien -Abständen 30 m - Dr. Herres - Seite 10-10



Thermodynamique CIGEO 2.1 vs CSD-V EuGH

Thermodynamische Berechnungen Dr. Herres

tied to CIGEO 2.1 building plans by Ing. Goebel



Thermodynamique CIGEO 2.1 vs CSD-V EuGH



Berechnung befülltes CIGEO Endlager- 50 MW NZW

Physiker Dr. Herres calculated : 2.0 - CSD-V - CIGEO 2.1 with 11m and 30 m

We start with CIGEO 2.1 - 11 m - Wärme-Fläche = 66 °C max. - Nachweis - Seite 2

CIGEO 2.1



Temperaturfunktion über und unter einer beheizten Ebene mit radioaktivem Müll

Gerhard Herres, 2026-04-19, 2026-09-03, 2026-09-06

Von einer horizontalen Bohrung mit D = 14 m Durchmesser gehen horizontale Bohrungen nach beiden Seiten. Ihre Länge beträgt bis zu 1000 m, wobei die ersten und letzten 20 m nicht mit Behältern befüllt werden. Die Behälter liegen in einem Abstand von 0,96 m und gehen zu Beginn jeweils 56,25 W Wärme ab. Da der radioaktive Zerfall mit einer Exponentialfunktion abnimmt, ist die Wärmelastung $Q \cdot \exp(-x/\lambda)$. Alle Bohrungen verlaufen parallel zueinander und sind in einem Abstand der noch zu bestimmen ist, aber mindestens 10 m betragen soll. Insgesamt sind 0,0 Millionen Behälter mit jeweils 20 kg verglasten radioaktivem Müll an der Widerstandsberechnung zu deponieren. Nach aktueller Planung stehen dafür 12,5 km² zur Verfügung. Die Berechnung erfolgt so, dass von einer ebenen Fläche die freigesetzte Wärme senkrecht zur Ebene in beide Richtungen abfließt. Das Vorgehensweise ist angelehnt an das Lehrbuch Wärme- und Stoffübertragung von Hans-Dieter Baehr und Karl Stephan.

$$\begin{aligned} & \text{restart;} \\ & Q_{ges} := 0.96 \cdot 56.25; \quad \# \text{ gesamtener Wärmestrom in Beginn} \\ & Q_{ges} := 5.0625 \cdot 10^7 \quad (1) \\ & q_0 := \frac{56.25}{2 \cdot (0.96 \cdot 11)}; \quad \# \text{ Wärmestrom pro Quadratmeter in einem Halbraum} \\ & \# \text{ Der Abstand in einem Bohrerloch ist 0.96 m zwischen den Bohrungen 11 m} \\ & q_0 := 2.663352273 \quad (2) \\ & EQ1 := \text{diff}(T(x,t), t) = e^{-\text{diff}(T(x,t), x)} \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} T(x,t) \right) \\ & EQ1 := \frac{\partial}{\partial x} T(x,t) = e^{-\left(\frac{\partial}{\partial x} T(x,t) \right)} \quad (3) \\ & \text{wähl (intrins);} \\ & EQ1 := \text{laplace}(EQ1, x); \\ & EQ1t := \text{laplace}(EQ1, t); \\ & EQ1t := \text{laplace}(T(x,t), t, s) - T(x,0) = a \left(\frac{\partial}{\partial x} \text{laplace}(T(x,t), t, s) \right) \quad (4) \\ & EQ1t := \text{subs}(\text{laplace}(T(x,t), t, s) - T(x,0) = U(x,s), EQ1t); \\ & EQ1t := s U(x,s) - T(x,0) = a \left(\frac{\partial}{\partial x} U(x,s) \right) \quad (5) \\ & Tool1 := \text{dsolve}(EQ1t, U(x,s)); \\ & Tool1 := U(x,s) = e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \cdot F_2(s) + e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \cdot F_1(s) \\ & \frac{1}{2} \left(\left(\int_0^{\frac{\sqrt{s}}{a}} \frac{1}{\sqrt{s}} T(x,0) dx \right) e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} - \left(\int_0^{\frac{\sqrt{s}}{a}} \frac{1}{\sqrt{s}} T(x,0) dx \right) e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \right) \quad (6) \\ & Tool2 := \text{expand}(\text{subs}(T(x,0) = 0, Tool1)); \end{aligned}$$

Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 01 von 22

$$\begin{aligned} & Tool2 := U(x,s) = e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \cdot F_2(s) + e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \cdot F_1(s) \\ & Tool3 := U(x,s) = \frac{F_1(s)}{e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}}} \quad (7) \\ & \text{Randbedingung bei } x = \infty \rightarrow F_2(s) = 0 \\ & Tool3 := U(x,s) = \frac{F_1(s)}{e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}}} \quad (8) \\ & \text{Randbedingung } q = q_0 \exp(-x/\lambda) \\ & q := q_0 \exp(-x/\lambda); \\ & EQ2 := -\text{lambda} \cdot \text{diff}(U(x,t), x) = q_0 \exp(-x/\lambda) \\ & EQ2 := -\lambda \left(\frac{\partial}{\partial x} U(x,t) \right) = 2.663352273 \cdot e^{-x/\lambda} \quad (9) \\ & EQ2t := -\lambda \left(\frac{\partial}{\partial x} \text{laplace}(U(x,t), t, s) \right) = 2.663352273 \cdot e^{-x/\lambda} \quad (10) \\ & EQ2t := -\lambda \left(\frac{\partial}{\partial x} \text{laplace}(T(x,t), t, s) \right) = 2.663352273 \cdot e^{-x/\lambda} \quad (11) \\ & EQ2t := \text{subs}(\text{laplace}(T(x,t), t, s) - U(x,s), EQ2t); \\ & EQ2t := -\lambda \left(\frac{\partial}{\partial x} U(x,s) \right) = 2.663352273 \cdot e^{-x/\lambda} \quad (12) \\ & EQ2t := \text{subs}(Tool3, EQ2t); \\ & EQ2t := -\lambda \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{F_1(s)}{e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}}} \right) \right) = 2.663352273 \cdot e^{-x/\lambda} \quad (13) \\ & \frac{1}{\lambda} \cdot \lambda \cdot \frac{F_1(s)}{e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}}} = 2.663352273 \cdot e^{-x/\lambda} \quad (14) \\ & F1 := \text{solve}(\text{subs}(x=0, EQ2t), F1(s)); \\ & F1 := 2.663352273 \cdot \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{s} \cdot \lambda + s} \quad (15) \\ & Tool4 := \text{subs}(F1(s) = F1, \text{subs}(Tool3)); \\ & Tool4 := \text{subs} \left(\frac{2.663352273 \cdot \sqrt{s}}{\sqrt{s} \cdot \lambda + s} \right) \quad (16) \\ & Tool5 := \text{factor}(Tool4); \end{aligned}$$

Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 02 von 22

$$\begin{aligned} & Tool5 := \frac{2.663352273 \cdot \sqrt{s}}{e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \cdot \sqrt{s} \cdot \lambda + s} \quad (17) \\ & G := q_0 \exp(-x/\lambda) / (\exp(\sqrt{s} \cdot \lambda) \cdot \sqrt{s} \cdot \lambda + s) \cdot \sqrt{s} \cdot \lambda; H := 1 / (s + b); \\ & G := \frac{2.663352273 \cdot \sqrt{s}}{e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \cdot \sqrt{s} \cdot \lambda} \quad (18) \\ & H := \frac{1}{s + b} \quad (19) \\ & g := \text{inplace}(G, s, t); \\ & 2.663352273 \cdot \sqrt{s} \cdot \text{inplace} \left(\frac{1}{e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \cdot \sqrt{s} \cdot \lambda}, s, t \right) \quad (20) \\ & h := e^{-b \cdot t} \quad (21) \\ & \text{Die Funktion wird in die Faktoren } G(s) \text{ und } H(s) \text{ zerlegt. Deren inverse Laplace-Transformierte sind } g(x) \text{ und } h(x). \\ & 1. \text{ Für } G(s) = \frac{e^{-b \cdot s}}{\sqrt{s}}; \\ & \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{e^{-b \cdot s}}{\sqrt{s}} \right\} = \frac{1}{\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{b^2}{4t}} \\ & \text{Nennen wir dies } g(t). \\ & 2. \text{ Für } H(s) = \frac{1}{s + b}; \\ & \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s + b} \right\} = e^{-bt} \\ & \text{Nennen wir dies } h(t). \end{aligned}$$

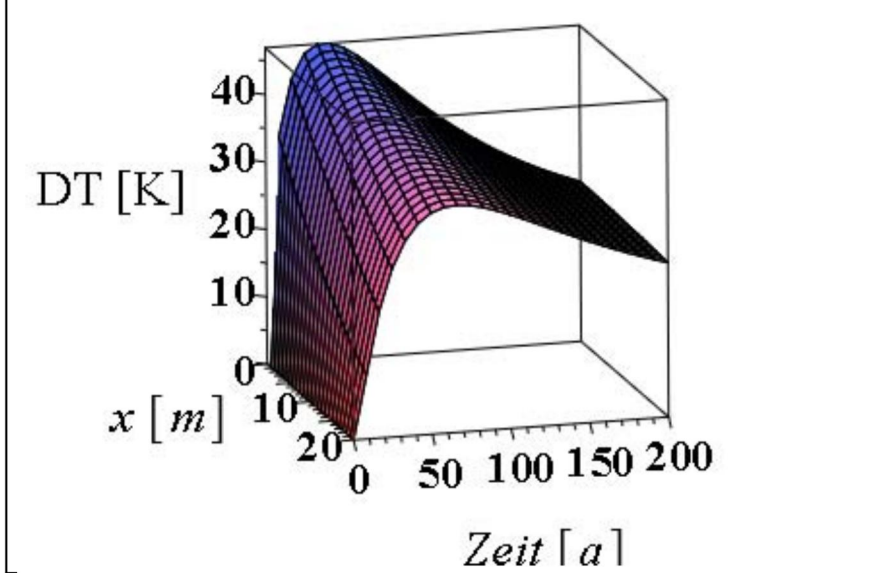
Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 03 von 22

$$\begin{aligned} & \text{Der Faltungssatz besagt: } \mathcal{L}^{-1}\{G(s)H(s)\} = (g + h)(t) = \int_0^t g(\tau)h(t-\tau) d\tau. \\ & \text{Setzen wir unsere Funktionen ein:} \\ & f(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\pi \tau}} e^{-\frac{b^2}{4\tau}} \cdot e^{-b(t-\tau)} d\tau \\ & \text{Ziehen wir die Konstante } e^{-bt} \text{ aus dem Integral:} \\ & f(t) = \frac{e^{-bt}}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-\tau} e^{-\frac{b^2}{4\tau}} d\tau \\ & \beta := \frac{\text{SP}(-b, t)}{\text{SP}(t)} \cdot \int_0^t \left(\frac{1}{\sqrt{\tau}} \cdot \exp \left(-\frac{b^2}{4\tau} + b \cdot \tau \right) \right) \cdot \tau d\tau \\ & \beta := \frac{\text{SP}(-b, t)}{\text{SP}(t)} \cdot \int_0^t \left(\frac{1}{\sqrt{\tau}} \cdot \exp \left(-\frac{b^2}{4\tau} + b \cdot \tau \right) \right) \cdot \tau d\tau \quad (21) \\ & \text{Die Funktion wird in die Faktoren } G(s) \text{ und } H(s) \text{ zerlegt. Deren inverse Laplace-Transformierte sind } g(x) \text{ und } h(x). \\ & \text{integrand} := \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp \left(-\frac{b^2}{4\tau} + b \cdot \tau \right) \quad (22) \\ & g(t) := \text{sp}(u) - y; \quad g(t) := \sqrt{\tau} - y \quad (23) \\ & g(t) := \text{solve}(g(t), u); \quad g(t) := \sqrt{\tau} \quad (24) \\ & \text{integrand2} := 2 \cdot e^{-\frac{b^2}{4\tau}} \cdot \exp \left(-\frac{b^2}{4\tau} + b \cdot \tau \right) \quad (25) \\ & \text{integrand2} := 2 \cdot e^{-\frac{b^2}{4\tau}} \cdot \exp \left(-\frac{b^2}{4\tau} + b \cdot \tau \right) \quad (26) \end{aligned}$$

Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 04 von 22

$$\begin{aligned} & \text{Die Funktionen von Tool5 dürfen ähnlich sein wie die von Tool. Aus dem Lehrbuch von Baehr/Stephan stammen die folgenden Daten.} \\ & \text{Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 05 von 22} \end{aligned}$$

Temperaturfeld T in K, x in m, t in a bis 200 Jahre

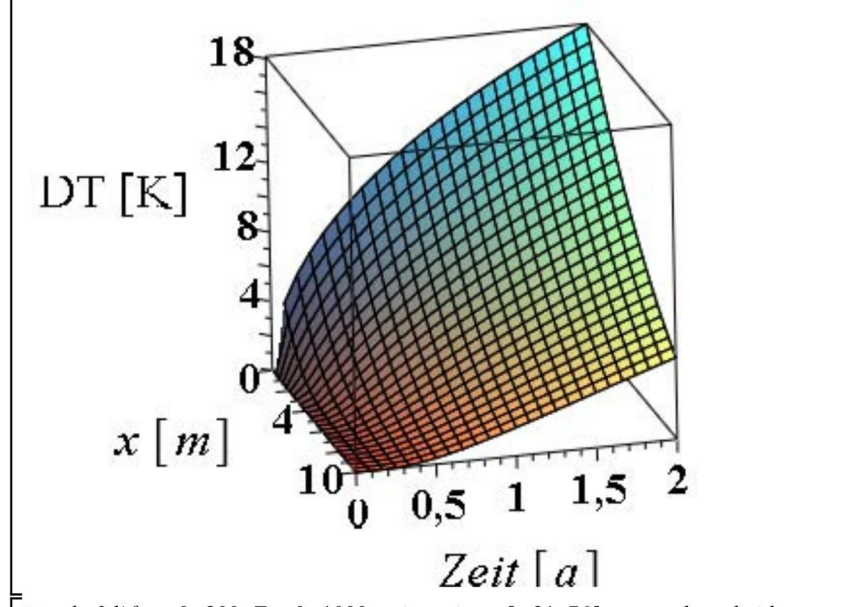


plot3d(x=0..10, Tj=0..2, orientation=[-21,76], axes=boxed, title="Temperaturfeld T in K, x in m, t in a bis 200 Jahre", font=[times, BOLD, 18]);

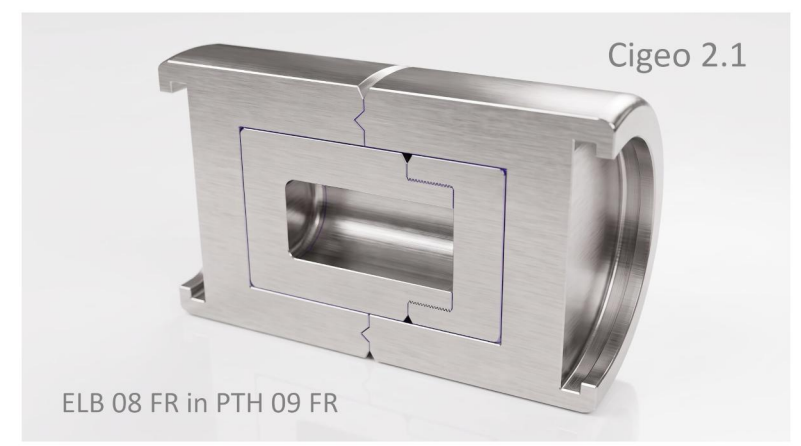


Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 07 von 22

Temperaturfeld T in K, x in m, t in a bis 2 Jahre

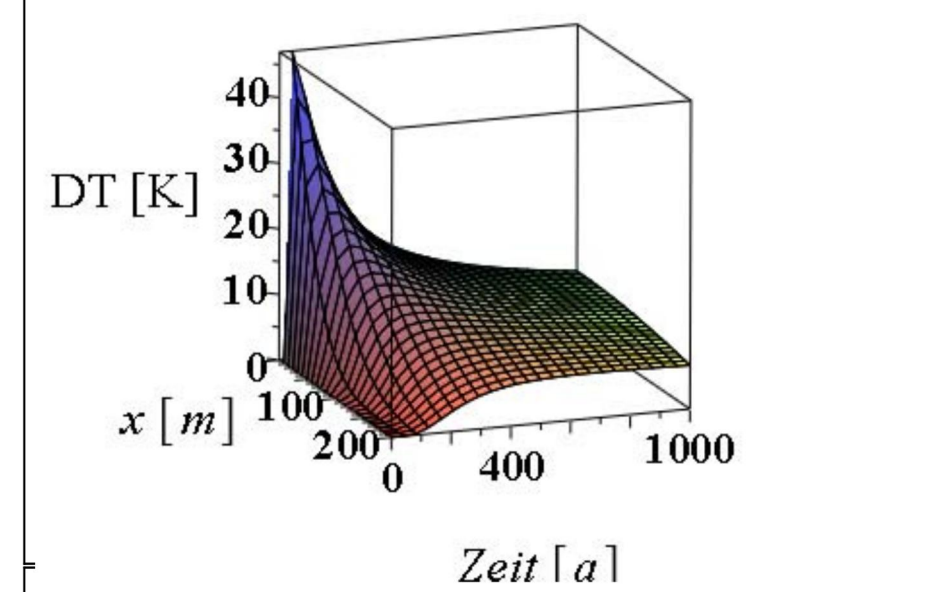


plot3d(x=0..200, Tj=0..1000, orientation=[62,75], axes=boxed, title="Temperaturfeld T in K, x in m, t in a bis 1000 Jahre", font=[times, BOLD, 18]);



Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 08 von 22

Temperaturfeld T in K, x in m, t in a bis 1000 Jahre



plot3d(x=0..500, Tj=0..2000, orientation=[62,75], axes=boxed, title="Temperaturfeld T in K, x in m, t in a bis 1000 Jahre", font=[times, BOLD, 18]);

Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 09 von 22

$$\begin{aligned} & \text{Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 10 von 22} \end{aligned}$$

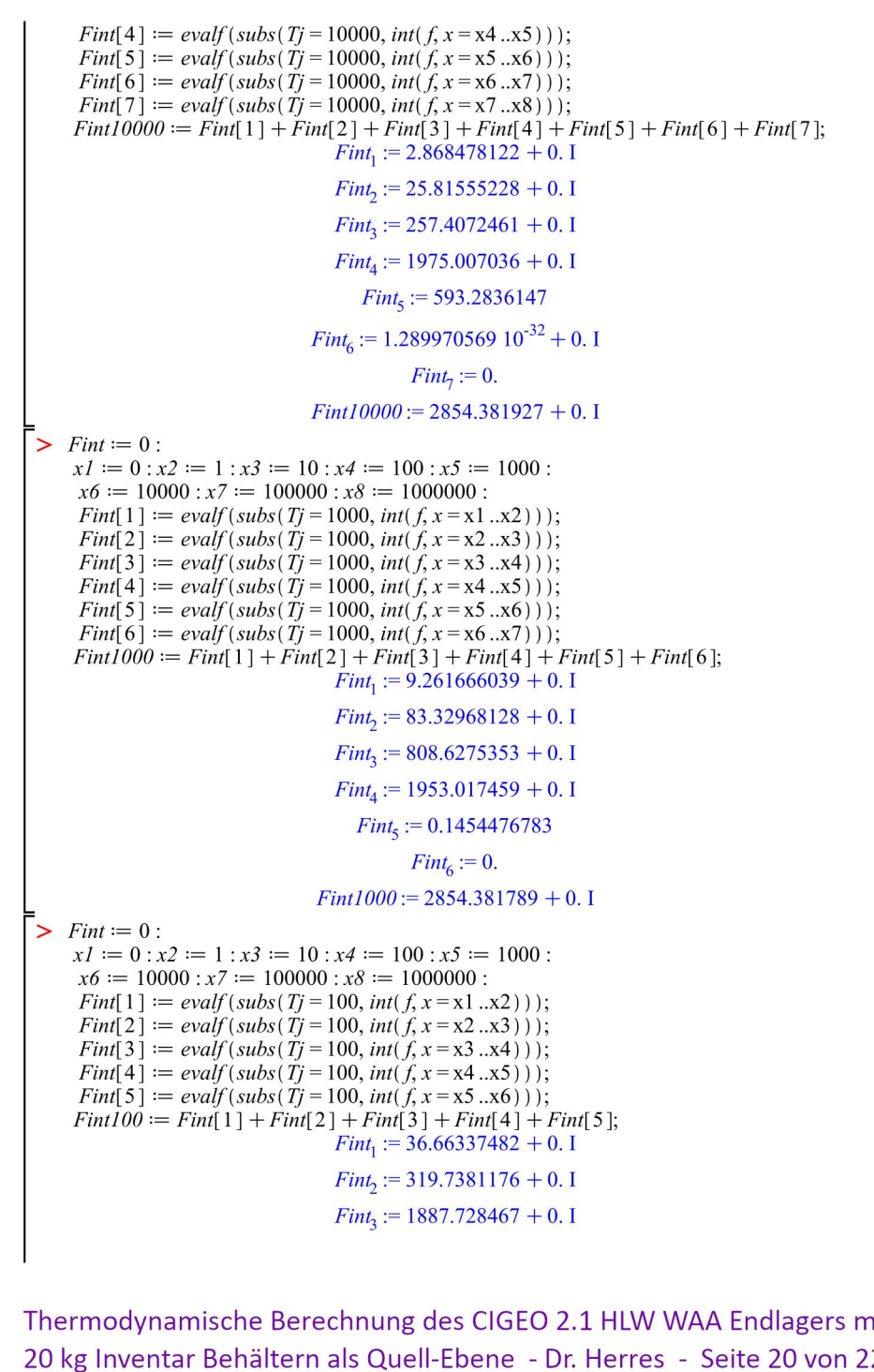
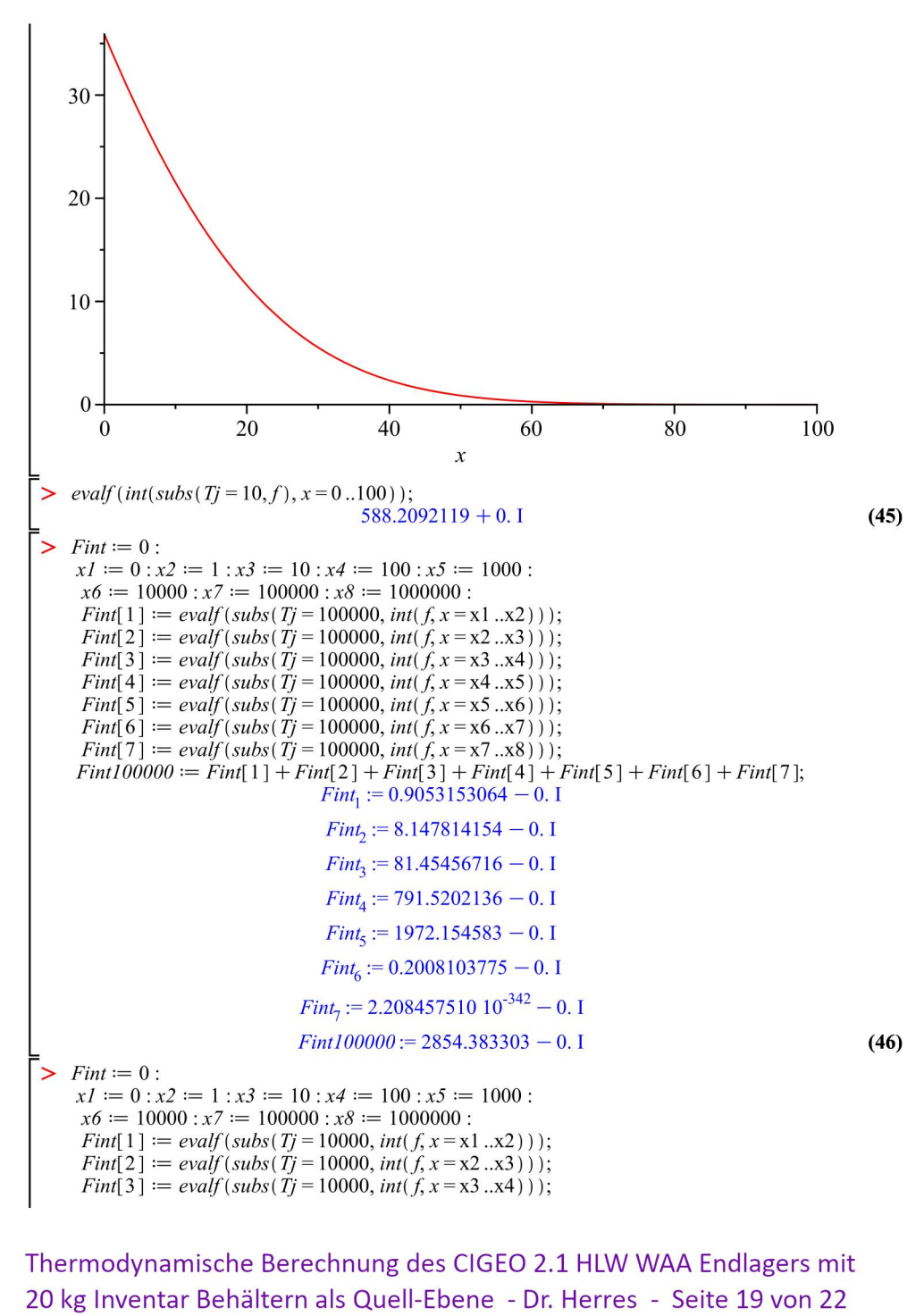
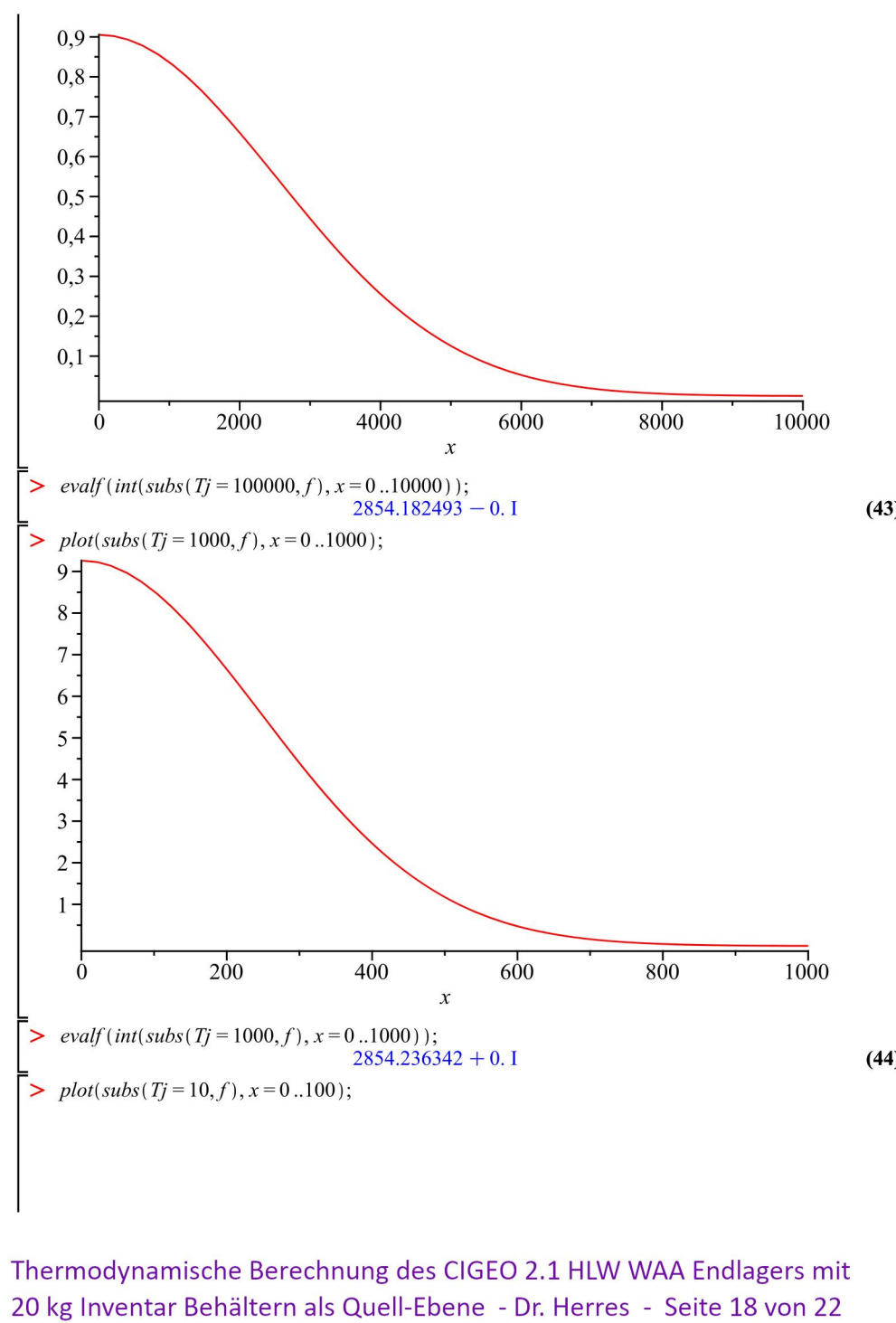
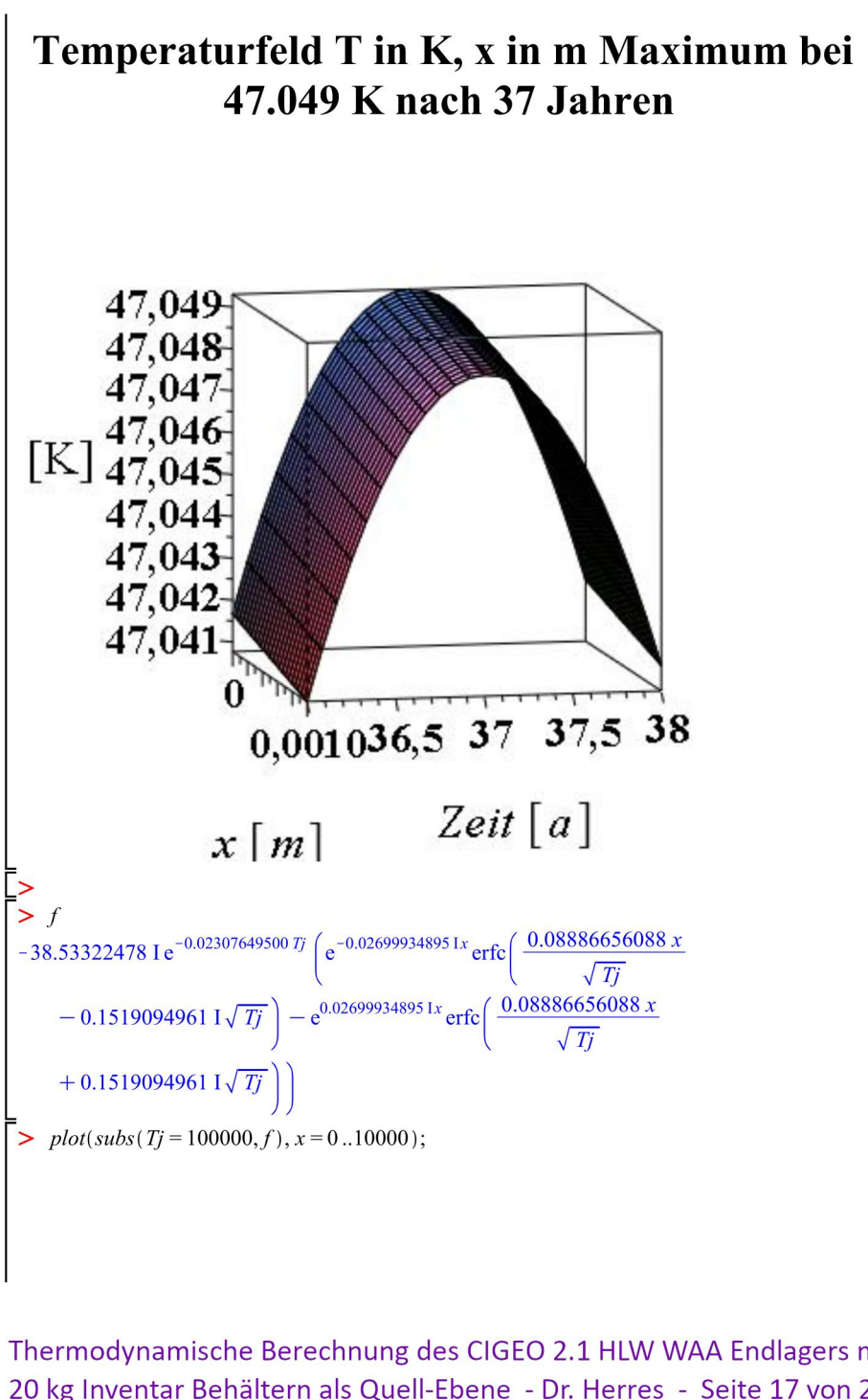
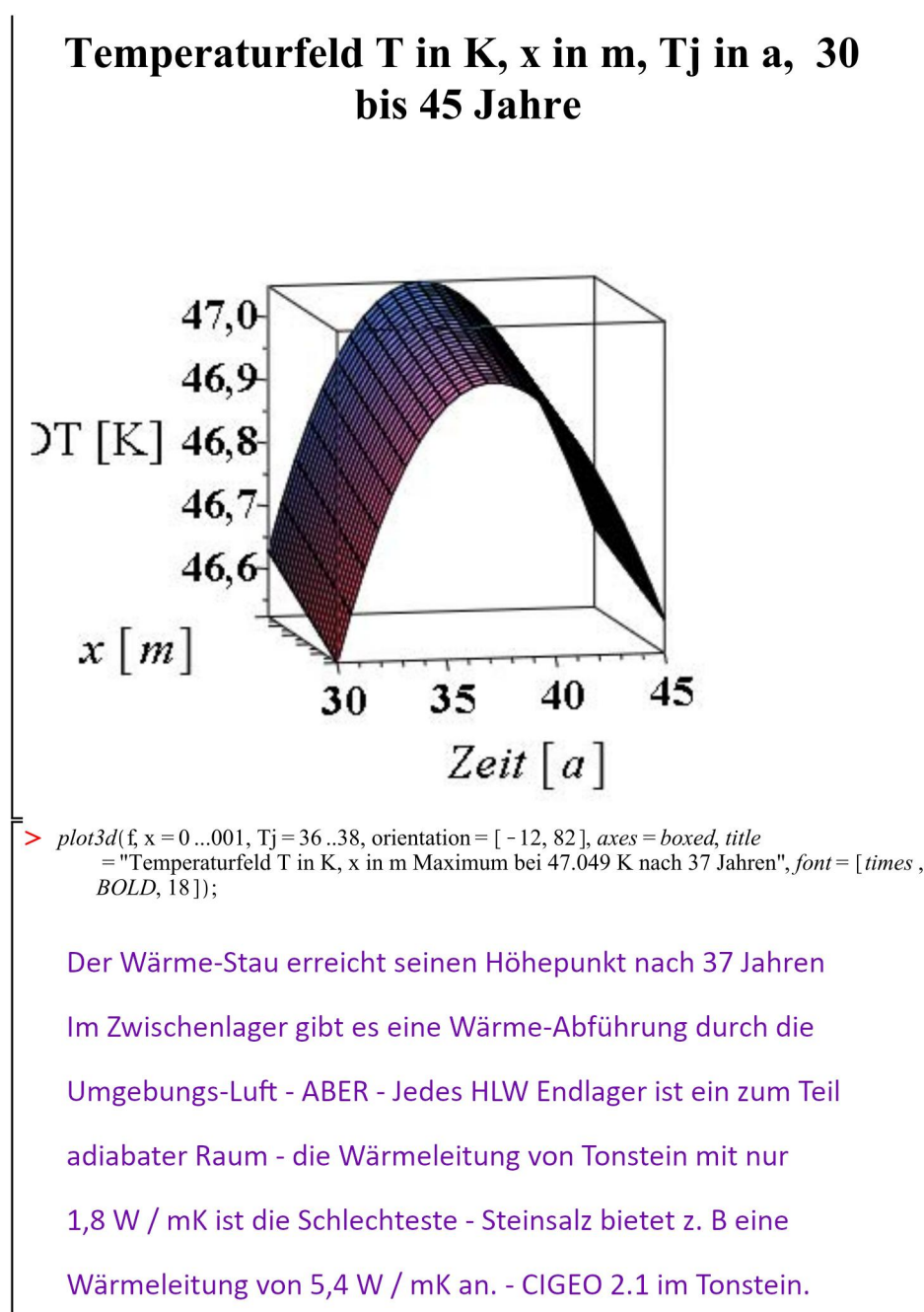
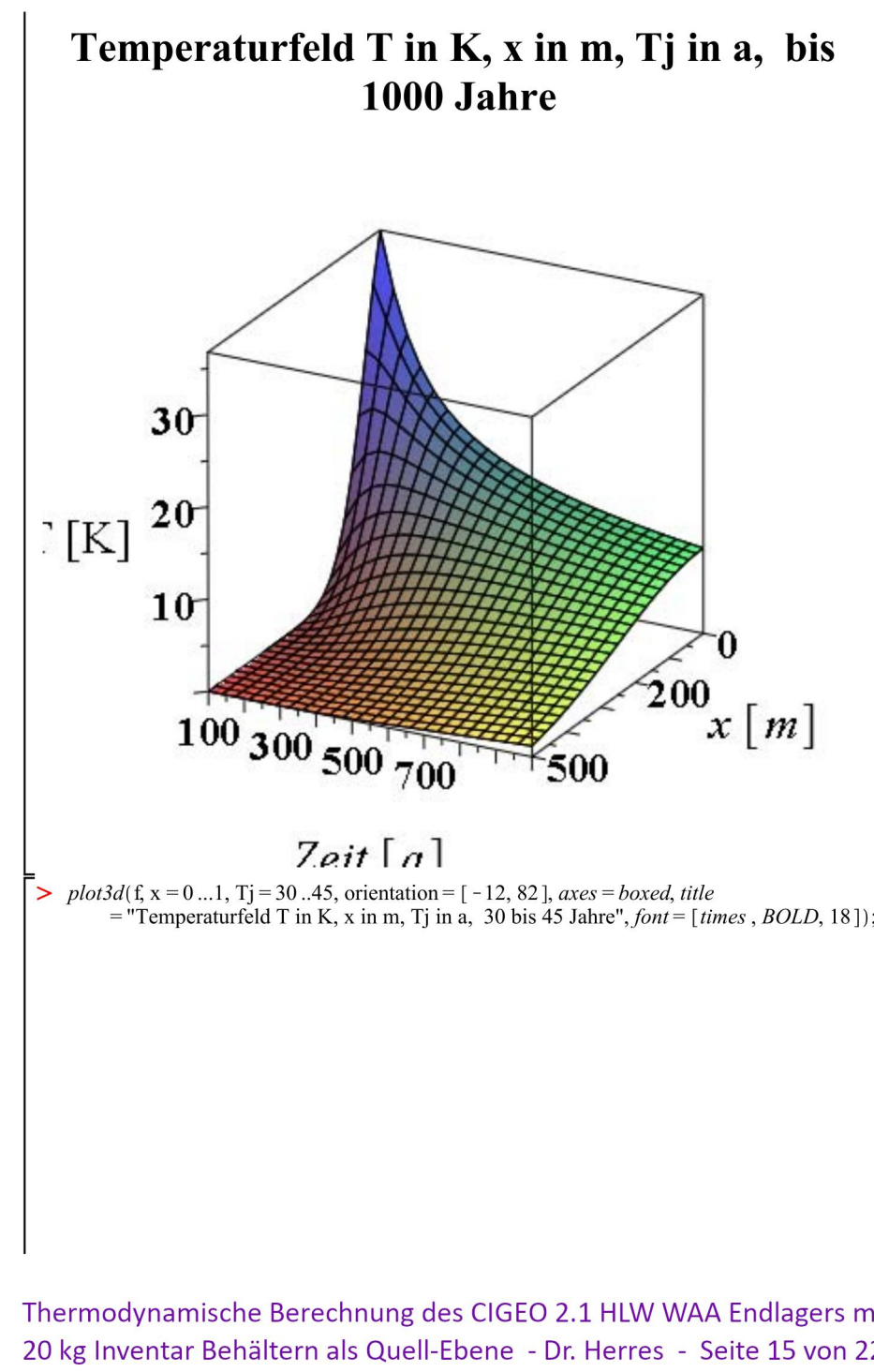
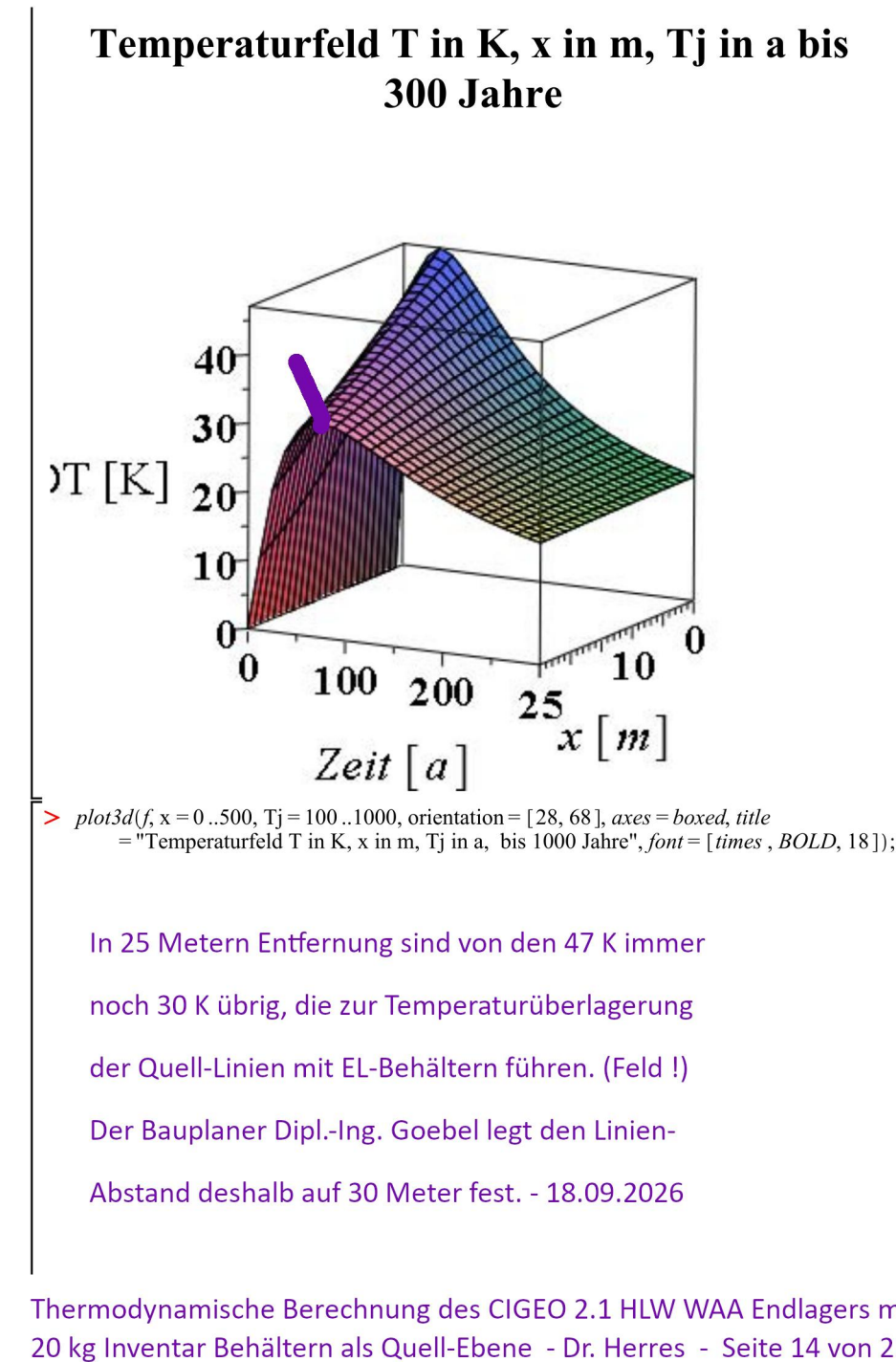
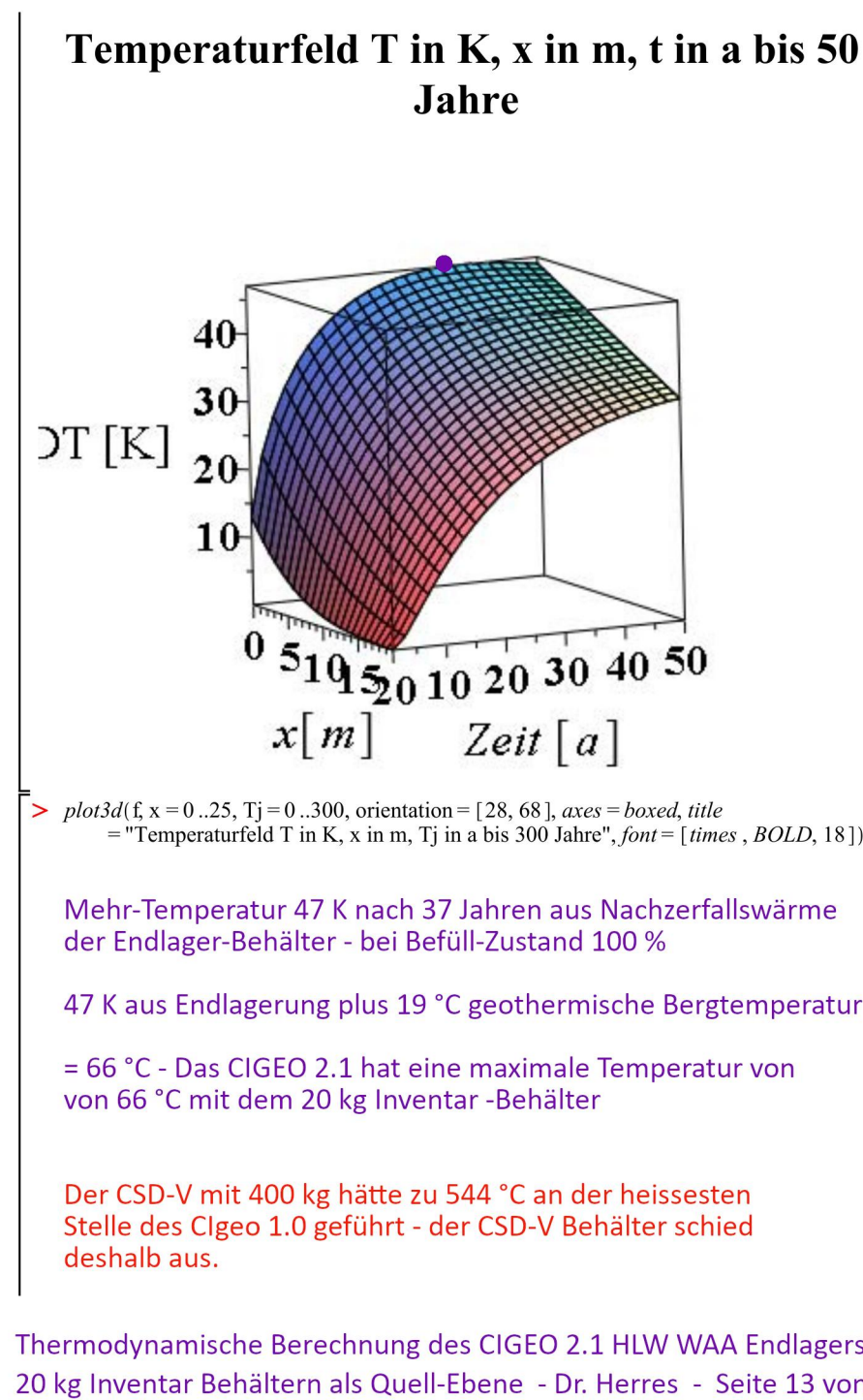
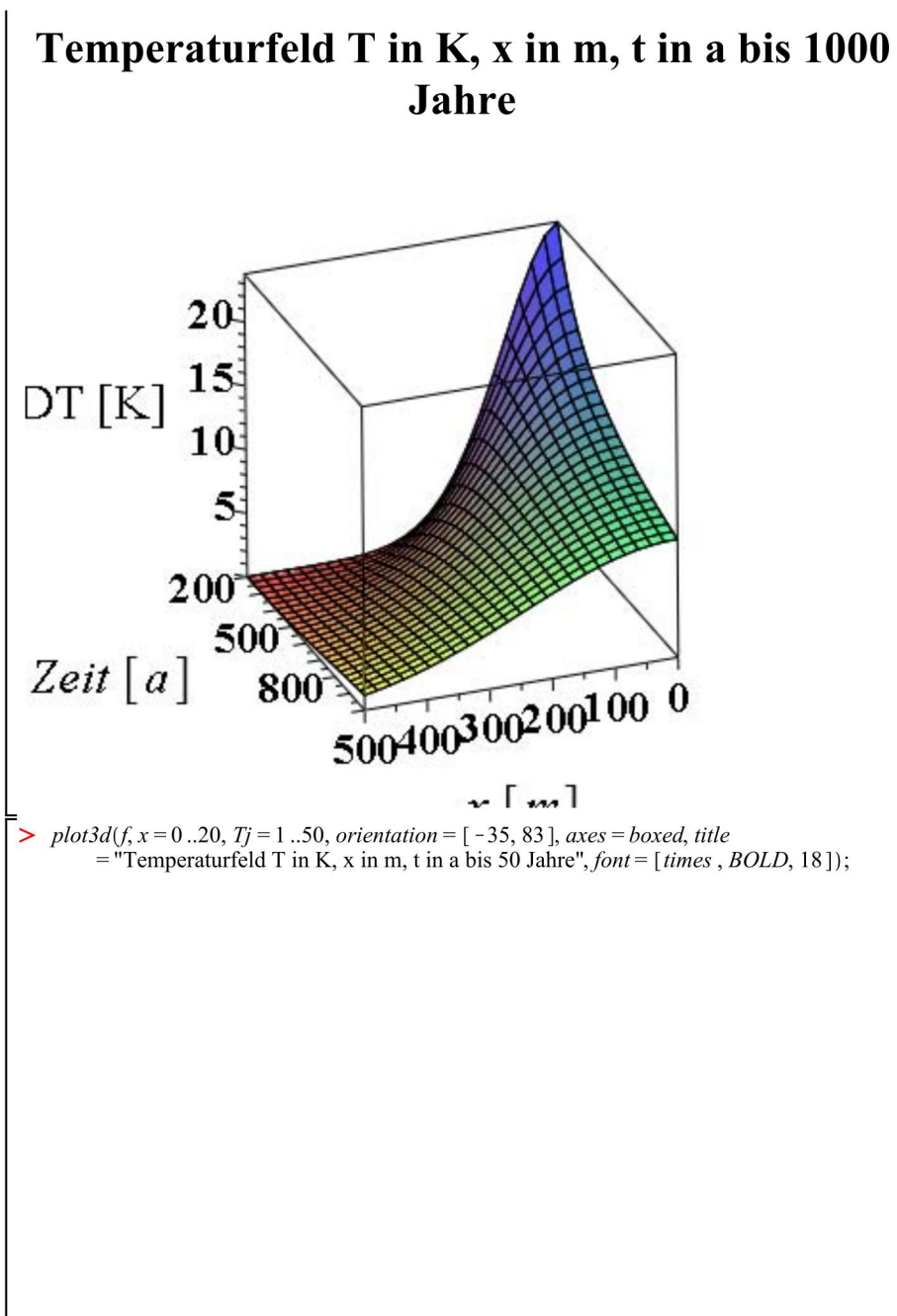
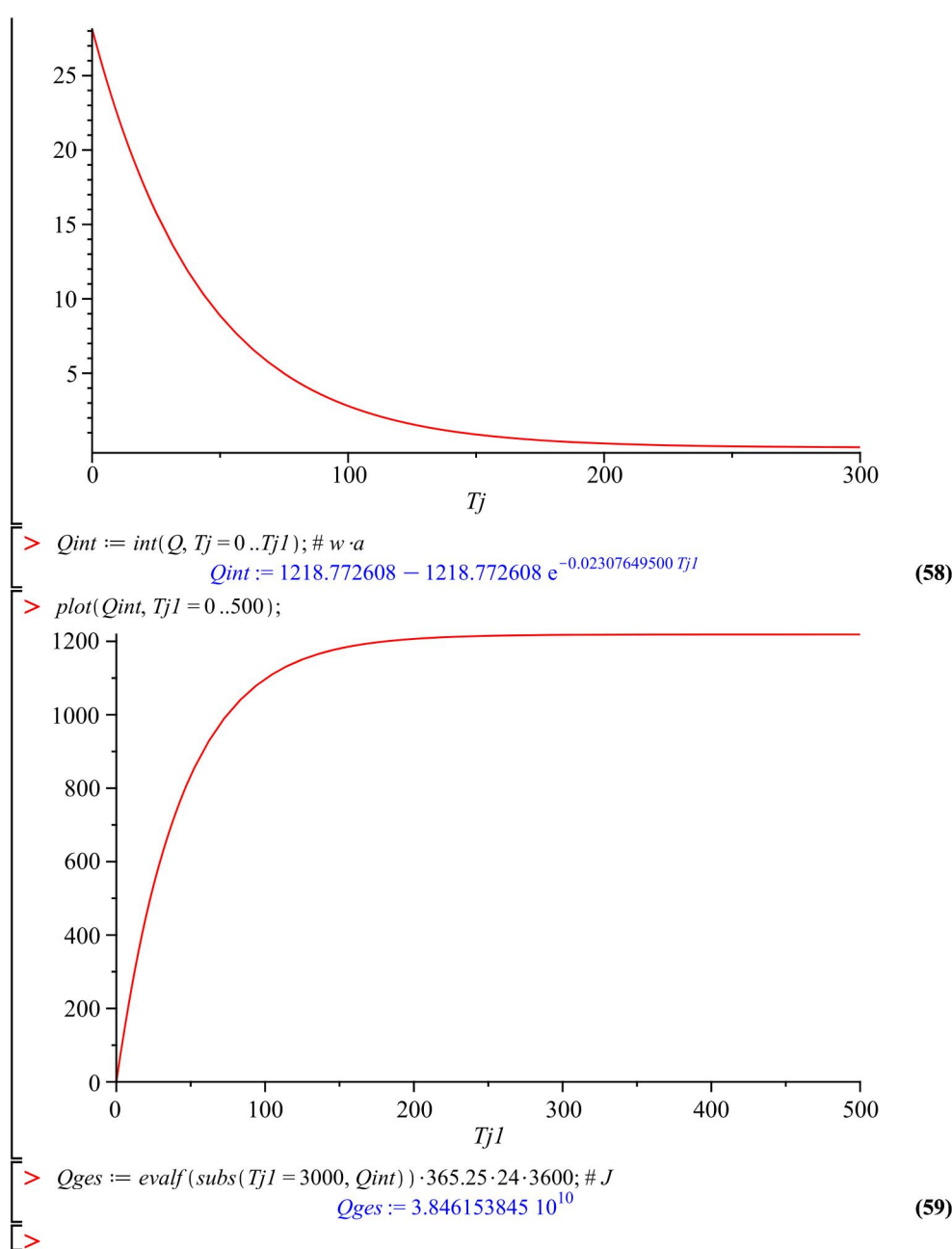
Thermodynamique CIGEO 2.1 vs CSD-V EuGH



Berechnung befülltes CIGEO Endlager- 50 MW NZW

Physiker Dr. Herres calculated : 2.0 - CSD-V - CIGEO 2.1 with 11m -and 30 m

We start with CIGEO 2.1 - 11 m - Wärme-Fläche = 66 °C max. - Nachweis - Seite 2



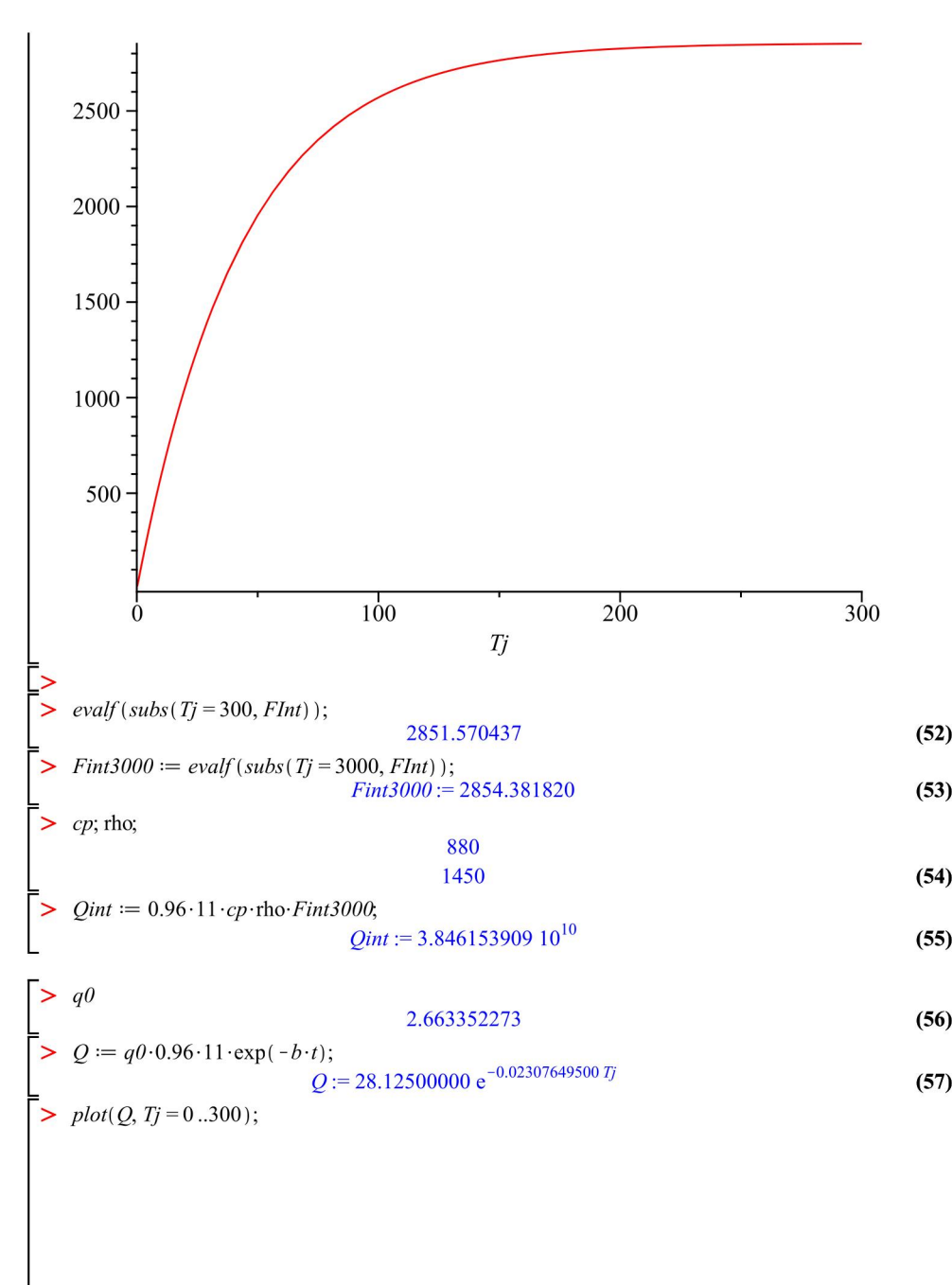
Thermodynamique CIGEO 2.1 vs CSD-V EuGH



Berechnung befülltes CIGEO Endlager- 50 MW NZW

Physiker Dr. Herres calculated : 2.0 - CSD-V - CIGEO 2.1 with 11m -and 30 m

We start with **CIGEO 2.1 - 11 m - Wärme-Fläche = 66 °C max. - Nachweis Seite 3**



Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behälter als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 21 von 22

>>> Fazit der Thermodynamischen Berechnung des Wärmefeldes des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers FR :

"Die Endlager-Ebene erreicht mit den 20 kg Inventar Behältern eine max. Mehr-Temperatur von 47 °C nach 37 Jahren. wenn alle 900.000 Behälter von Anfang an drin wären". - >>> Das ist das Berechnungs-Ergebnis.

Hinweis : Da die Befüllung des CIGEO 2.1 HLW Endlagers über ca. 100 Jahre stattfindet, wird die Temperatur im Bergwerk deutlichst niedriger sein, solange die ersten 20 m ab D 14 m Korridor ganz ohne Behälter bleiben !

Maximale Gesamt-Temperatur aus 47 K + 19 °C Berg ist somit 66 °C - und damit unter den max. 70 Grad, die für Tonstein empfohlen sind, - weil der sonst entwässert - (Anmerkung zur Geologie von Ing. Goebel)



Thermodynamische Berechnung des CIGEO 2.1 HLW WAA Endlagers mit 20 kg Inventar Behältern als Quell-Ebene - Dr. Herres - Seite 22 von 22

50 MW decay heat building
45.000 CSD-V 400 kg
2.250 W when filled
half time decay 30 yrs
18.000.000 kg HLW
or
ELB 08 FR in PTH 09 FR
20 kg = 900.000 x
18.000.000 kg HLW
for 30 year HLW
Max 66 °C year 37
CIGEO 2.1 - 11 m
it won :
CIGEO 2.1 - 30 m

Temp. 66 °C max.
nach 37 Jahren

47 K + 19 °C Berg =
66 °C max - when
fully packed

Physicist Dr. Herres - Building planner Dipl.-Ing. Architektur Goebel

First thermodynamic approval for CIGEO 2.1 - but still calculated with 11 m distance from storage-Line to storage Line > 66 °C max.

SOON : 36,3 °C max
with 30 m distances

But GDF is not fully packed from first day on - it takes 100 yrs to fil it
NPP France has a certain speed - 16 °C worker wants > massive cooling



Thermodynamique CIGEO 2.1 vs CSD-V EuGH



Berechnung befülltes CIGEO Endlager- 50 MW NZW

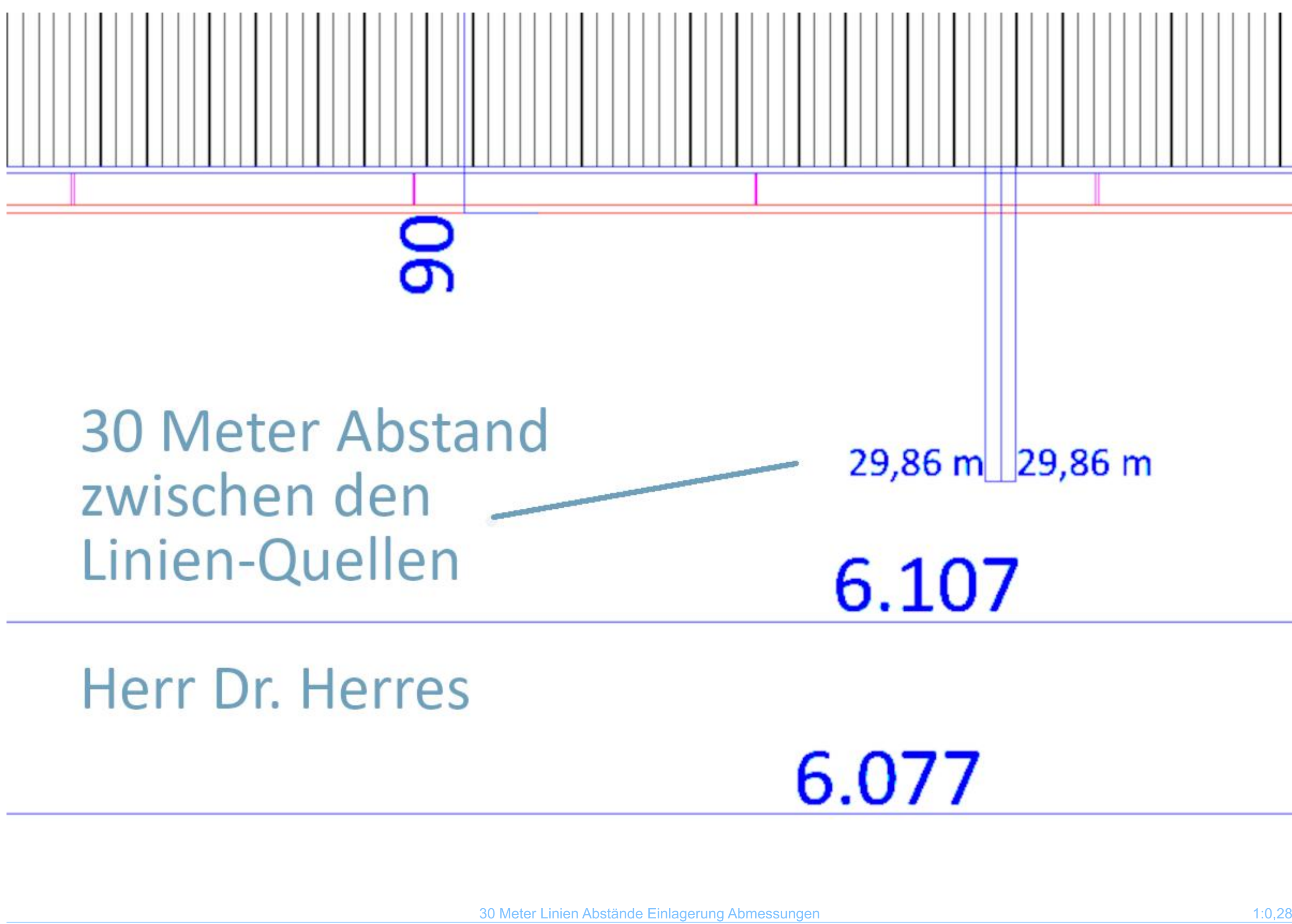
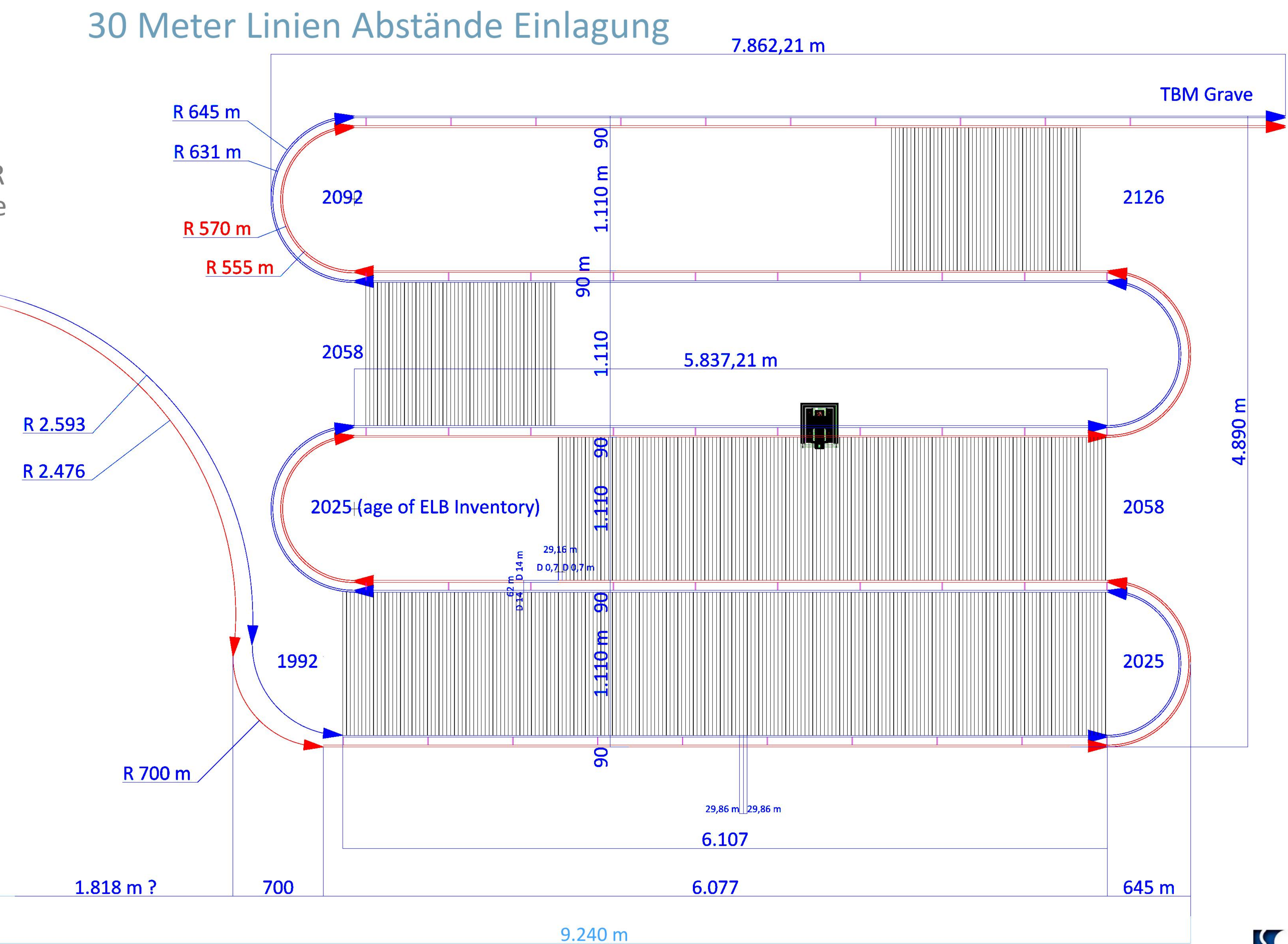
Physiker Dr. Herres calculated : 2.0 - CSD-V - CIGEO 2.1 with 11m -and 30 m

Here now **CIGEO 2.1 - 30 m** - Wärme-Fläche = **36,3 °C max.** - Nachweis Seite 1

CIGEO 2.1 - Parallel TBM Drill - Plan 5 - Final - 14.09.2026 - Dr. Herres, Ing. Goebel, Gorunenko

2x TBM D 14 m
COX claystone,
sediments and
Muschelkalk

- 501 m Bure FR
drill sub-surface
HLW GDF field



Temp 36,3 °C max
with 30 m distances

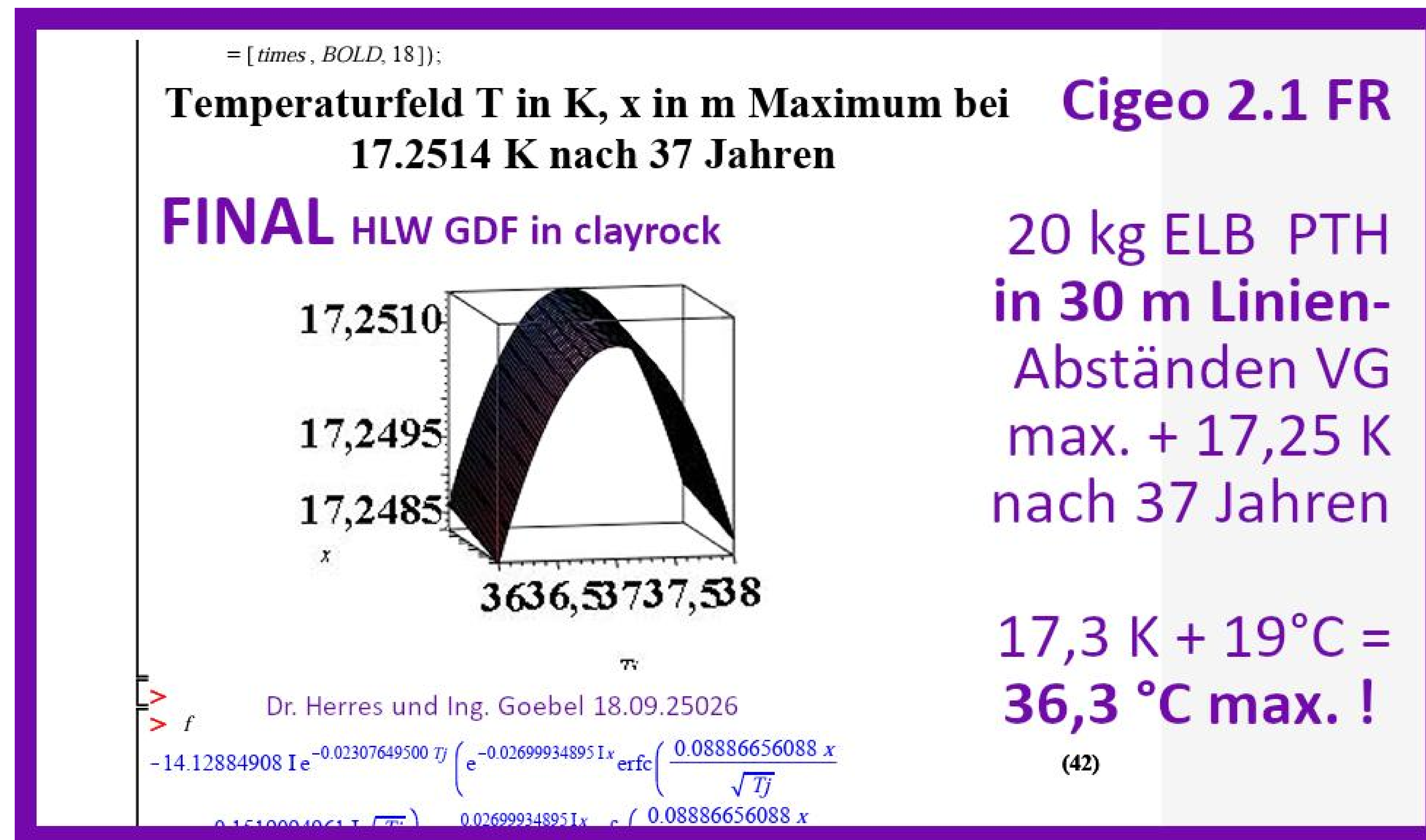
Thermodynamique CIGEO 2.1 vs CSD-V EuGH



Berechnung befülltes CIGEO Endlager- 50 MW NZW

Physiker Dr. Herres calculated : 2.0 - CSD-V - CIGEO 2.1 with 11m and 30 m

Here now **CIGEO 2.1 - 30 m** - Wärme-Fläche = **36,3 °C max.** - Nachweis Seite 1



Berechnungen :
Dr. Gerhard Herres
Hochschul-Dozent
Dipl.- Physiker
Uni Paderborn
FB. Maschinenbau
Beamter i. R.
Deutschland

Aufgabe - Baupläne von
Dipl.-Ing. Architektur
Industriemeister Metall
Endlager Planer
Volker Goebel
Verantwortlicher

