Hyperworks FEKO 2018

Student Edition

Antennensimulationen mit der „LITE“ -Version

Ein Einsteiger-Tutorial, Version 1.2.

Autor:
Gunthard Kraus, DG8GB, Oberstudienrat i. R.
Gastdozent an der Dualen Hochschule Baden Württemberg, Friedrichshafen

(unter Mithilfe von Torben Voigt, Applicationsingenieur bei Altair und zuständig für den FEKO Support in Europa)

Email: mail@gunthard-kraus.de
Homepage: www.gunthard-kraus.de

12. April 2019

Inhaltsverzeichnis Seite

1. Einführung 5

2. Download und Installation 6

3. Einstieg in FEKO über einen Dipol als mitgeliefertes Beispiel 7

3.1. Erste unvermeidliche Maßnahme 7

3.2. Das Dipol-Beispiel A01 8

3.2.1. So wird das Beispiel geladen und simuliert 8

3.2.2. Darstellung der Simulationsergebnisse mit POSTFEKO 9

3.2.3. Die **kartesische Darstellung** des Strahlungsdiagrammes 10

3.2.4. **Polardarstellung** des Strahlungsdiagrammes 11

3.2.5. Wie sieht die **Keule** aus? 12

3.3. Programmierung eines Frequency Sweeps 15

3.4. Sweepen von S-Parameter – Daten 16

3.5. Wie findet man die Ergebnisse bei einer bestimmten Frequenz auf der S11-Kurve?

4. Zum Vergleich: Sweep-Untersuchung dieses Dipols vor einem PEC Würfel (PEC = perfect electric conductor) 20

4.1. Der nötige Einstieg 20

4.2. Frequency Sweep des Fernfeldes 20

4.3. Frequency Sweep der S-Parameter 22

5. Mal was Anderes: ein Hornstrahler 25

5.1. Aufruf und Simulation 25

5.2. Fernfeld-Simulation 25

5.3. Nahfeld-Simulation 26

5.4. S11 als Frequency Sweep 28

6. Eine Patchantenne auf der Werkbank 30

6.1. Das Beipiel „patch_finite“ 30

An dieser Stelle stoppen wir die Untersuchung von mitgelieferten Beispielen aus der FEKO-Homepage.
Jetzt beginnt ein neuer Abschnitt, denn wir wollen nun Modelle selbst entwerfen und anschließend mit der Simulation austesten.

7. Untersuchung einer bereits entwickelten, gebauten und ausgemessenen Patchantenne für 2,45 GHz **34**

7.1. Die erforderlichen Technischen Daten (als Variablen) für die Simulation **34**

7.2. Erstellung des FEKO-Modells **35**
Schritt 1: Maßeinheit und „Geometry Extends“ 35
Schritt 2: Das Dielektrikum 35
Schritt 3: Eingabe aller Variablen 36
Schritt 4: Der Patch 37
Schritt 5: Der Entwurf der Leiterplatte (= substrate) 39
Schritt 6: Die Erzeugung der Massefläche auf der Platinen-Unterseite 41
Schritt 7: Der Feedpin 42
Schritt 8: Verbindung aller Teile 43
Schritt 9: Der speisende Port wird angebracht 44
Schritt 10: Eine Spannungsquelle für den Feedpin 45
Schritt 11: Der gesweepte Frequenzbereich 45
Schritt 12: Ausnutzung der Symmetrie 46
Schritt 13: Mesh the model (Zerlegung der Struktur in kleine Flächenstücke) 46
Schritt 14: Simulations-Programmierung von Fernfeld und Eingangsdaten 47
Schritt 15: Die Schlusskontrolle mit „CEM Validate“ 49

7.3. Auswertung der Simulation mit POSTFEKO **50**

8. Untersuchung eines Rohrstrahlers als Erreger einer Parabolantenne für das 13cm – Band (f = 2,3 GHz) **55**

8.1. Vorbemerkung **55**

8.2. Der Rohrstrahler **55**

8.3. Modellerstellung in FEKO **57**

8.4. Die Simulation **63**

8.5. Die Auswertung der Simulation **65**
8.5.1. Eingangs-Reflektion 65
8.5.2. Eingangs-Impedanz, Realteil, Imaginärteil, Phase... 66
8.5.3. Gain 67

8.6. Messergebnisse mit dem Vektoriellen Network-Analyzer **68**
8.6.1. Feed-Länge = 27 mm 68
8.6.2. Feed-Länge = 25,5 mm 69

1. Einführung

Die Simulation von Antennen aller Art hat einen hohen Stand an Möglichkeiten und Genauigkeit erreicht. Leider ist die erforderliche Mathematik und der zugehörige Rechenaufwand enorm – die hierfür erhältliche Software ist deshalb sehr umfangreich und teuer. Und im Leistungsumfang beschränkte Versionenen für Studenten, Privatleute und Funkamateure sind selten oder ermöglichen bisweilen nur die Simulation eines einfachen Dipols.
Um so erfreulicher ist FEKO, das mit seiner Studentenversion deutlich großzügiger umgeht. Auch sie ist im Leistungsumfang eingeschränkt, aber man kann nun auch Hornstrahler, Patchantennen, Drahtantennen aller Art usw. simulieren, wobei halt die Modellierung bei zunehmenden Ansprüchen immer gröber gestaltet werden muss. Dazu gilt die Lizenz nur für ein Jahr damit kann man aber gut leben und sobald man das Programm beherrscht, wird es zur echten Freude. Allerdings ist das wegen des Umfangs an Möglichkeiten und Optionen schon eine Herausforderung...

Ein wichtiger Hinweis:
Die Mutterfirma Altair ist sehr korrekt und pingelig mit der Vergabe der freien Studentenlizenzen. Man muss wirklich Student, Professor, Gastdozent oder Angehöriger der Uni mit einem entsprechenden Uni-Internet-Account sein, sonst wird die Lizenzierung abgelehnt. (Wer diese Bedingungen nicht erfüllt, könnte vielleicht einen geeigneten Studenten adoptieren...)

FEKO selbst arbeitet nach der **MoM-Methode (MoM = method of Moments = Momentenmethode)** und liefert Ergebnisse mit ausreichender Genauigkeit, wobei auch weitere Methoden wie etwa FEM, FDTD, MLFMM, PO/GO oder UTD verwendet werden können. Hierbei können die meisten Methoden hybridisiert verwendet werden, d.h. man kann zum Beipiel FEM für eine komplexe, kleine Struktur und gleichzeitig MoM für den Rest des Modells verwenden.

Die Genauigkeit selbst hängt von der Qualität des verwendeten Modells ab und da hat man bei der Umgebung oder den Daten des Erdbodens schon so seine Probleme, die Wirklichkeit korrekt abzubilden. Muss man aber wissen und darf nichts Unmögliches verlangen....

Eine sehr motivierende Dreingabe ist die gute Dokumentation, die umfangreiche Online-Hilfe und die große Sammlung von fertig vorbereiteten Beispielantennen. Auch im Internet findet man manche interessante Veröffentlichungen, bei denen mit FEKO gearbeitet wird.

Eigens für Studenten gibt es das sehr hilfreiche FEKO Support Forum (https://forum.altairhyperworks.com/index.php?/forum/54-feko/), wo bereits viele der üblichen Einsteigerfragen, aber auch Expertenanwendungen besprochen sind.

So macht die Einarbeitung Spaß und dieses Tutorial soll nicht nur über die unvermeidlichen Hürden beim Einstieg, sondern auch über manch lauernde Falle informieren. Dann kommt Freude auf, wenn alles mal läuft. Also: Auf geht's!

Hier an dieser Stelle liste ich zusätzlich die ertappten Begrenzungen auf, ich bei dieser Studentenversion entdeckt habe. Die findet man nämlich nur beim Arbeiten mit dem Programm und wenn es dann plötzlich klemmt....und die sind sonst nirgends aufgelistet...

1) **Beim Sweep mit diskreten Frequenzen dürfen nur maximal 11 Werte vorgesehen werden.**

2. Download und Installation

Die Prozedur ist etwas aufwendig, aber nicht dramatisch.

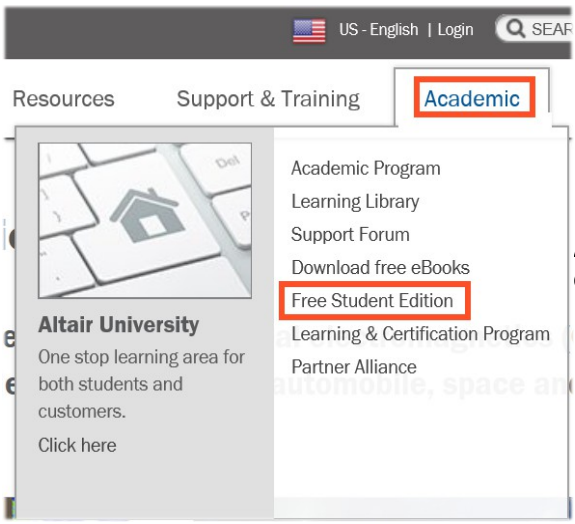
Zuerst ruft man in der Suchmaschine „**FEKO download**“ auf und wählt anschließend diesen Link:

Electromagnetic Simulation Software | Altair Feko

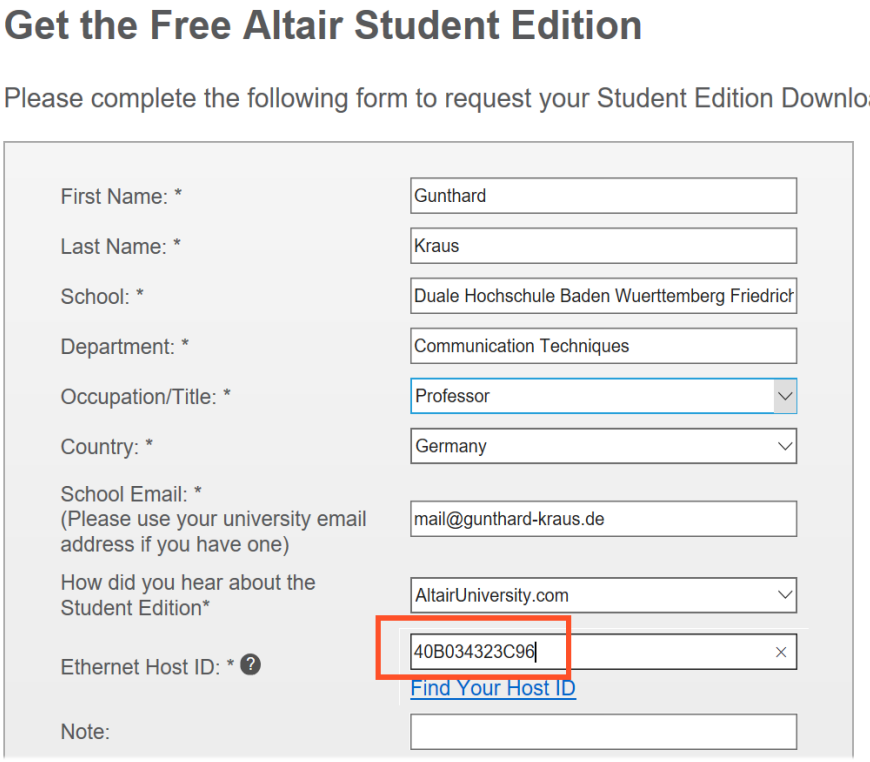
Diese Seite übersetzen

https://altairhyperworks.com/product/**FEKO**

Feko is a leading electromagnetic software used in multiple industries including aerospace, defense,



Auf der folgenden Seite sucht man unter der Karte „Academic“ die Rubrik „Free Student Edition“ und klickt darauf.



Da wartet auf uns natürlich ein Formular, das wir ausfüllen müssen. Hier als Beispiel meine Anfrage.

Rot eingerahmt ist eine verlangte Schlüsselinformation. Es ist die **Ethernet Host ID** meines benützten Rechners. Sie kann mit einem kleinen Programm über

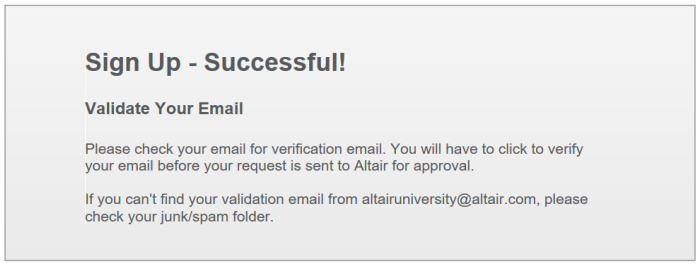
„Find Your Host ID“

ermittelt und dann eingetragen werden.

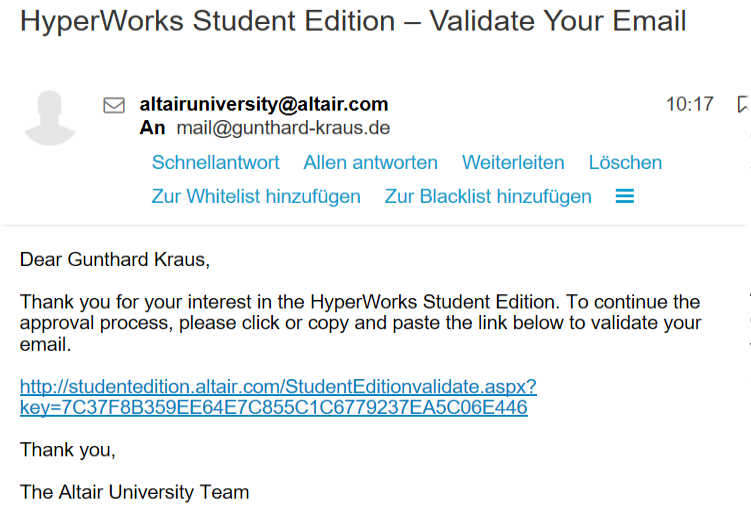
Achtung:
Diese Host ID ist zusammen mit der School Email der Prüfstein, ob Altair diese Lizenz vergeben wird...

Es folgt nach „Continue“ die übliche Lizenzvereinbarung, die man akzeptieren muss.

Get the Free Altair Student Edition



Als Geschenk bekommt man diese Mitteilung zu sehen,m , die einen Blick in den eigenen Email-Ordner erfordert.

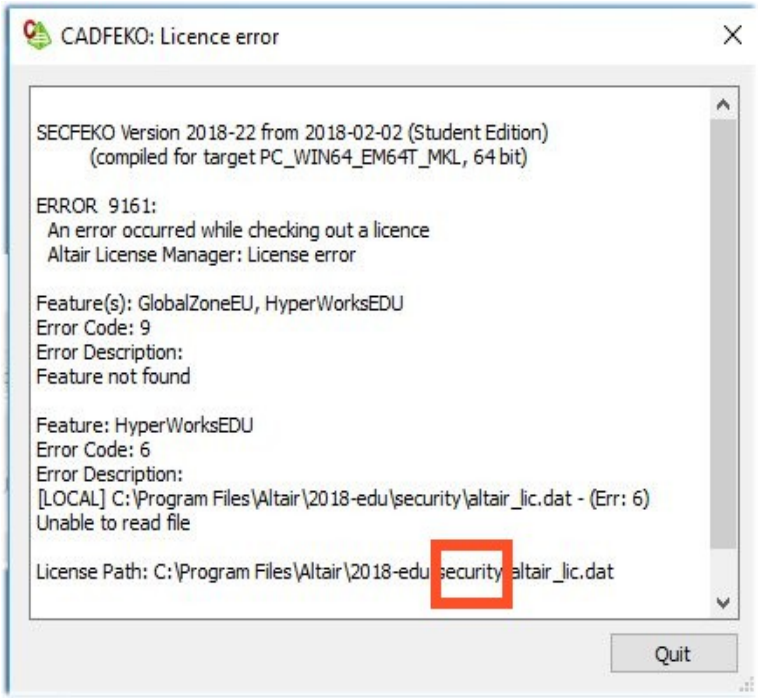


Dort findet man endlich, was man sucht:

die Möglichkeit zum Download der Software mit nachfolgender Installation (Achtung: hinterher sind es 4 Gigabyte auf der Festplatte...)

Allerdings **muss man hinterher noch auf die entscheidende Mail mit der Lizenz warten**...wenn die Anfrage durchging...viel Glück dazu

Aber da gibt es noch eine **kleine hübsche Fußangel beim Lizenzieren, die bei Nichtbeachtung den Programmstart verhindert:**



Das Lizenzfile muss nämlich genau in den Unterordner

„security“

kopiert werden, wenn alles korrekt funktionieren soll.

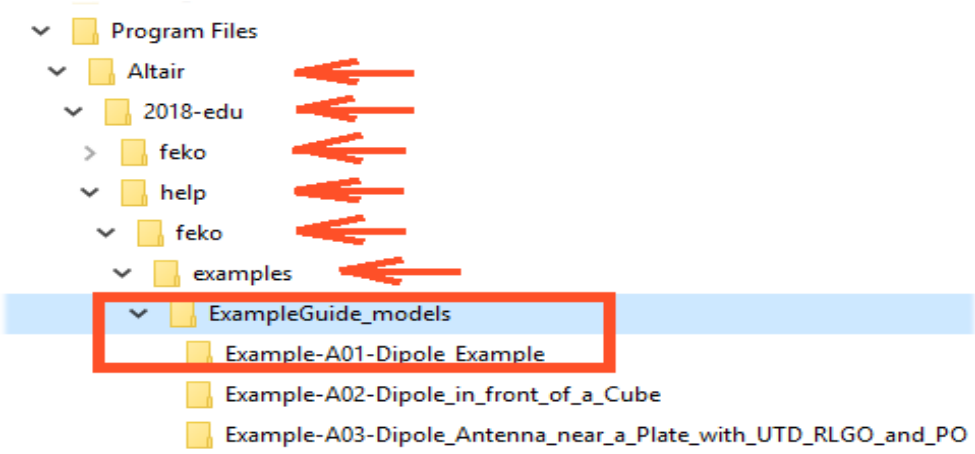
(Was hab ich gesucht, bis ich das heraus fand!...)

Nun sind wir soweit und es kann los gehen.

3. Einstieg in FEKO über einen Dipol als mitgeliefertes Beispiel

3.1. Erste unvermeidliche Maßnahme

Ganz einfach:
die Beispiele stecken im Ordner „Examples“ in dem bei der Installation angelegten Altair-Hauptordner und **da haben wir keine Schreibrechte**. Ergebnis ist, dass sich zwar das Beispiel laden läßt, aber die Simulation verweigert wird....



Da müssen wir uns entsprechend dem nebenstehenden Pfad bis zum **Ordner (Example_A01) des Dipol-Beispiels durchkämpfen, diesen Ordner in die Zwischenablage kopieren und ihn schließlich an einem sicheren Ort (..am besten weit weg in einem neuen unverfänglichen Ordner namens „FEKO-Beispiele“) abspeichern.**

Nur so läßt sich die Simulation starten und erfolgreich ausführen.

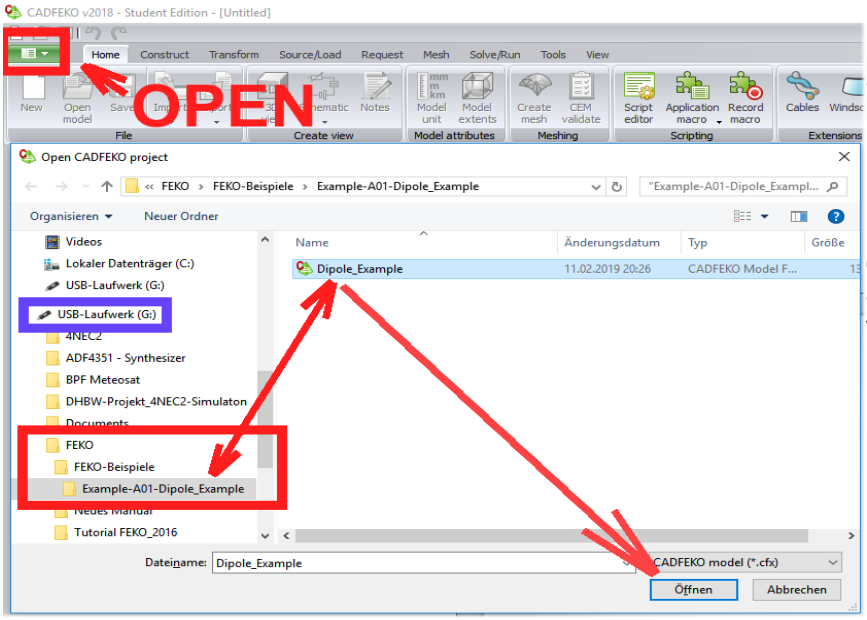
3.2. Das Dipol-Beispiel A01

3.2.1. So wird geladen und simuliert

Nun starten wir FEKO mit diesem Button auf dem Windows-Bildschirm, der (hoffentlich bei der Installation angelegt wurde. Sonst müssen wir das nachholen).

Ein Klick auf den CADFEKO-Button in dieser Menüleiste startet das Programm, aber es dauert eine Weile, bis da einige Gigabyte organisiert sind.

Aber irgendwann haben wir den Start-Bildschirm vor uns und können über „**Open model**“ die eben abgelegte Datei des Dipol – Beispiels aufsuchen und öffnen.

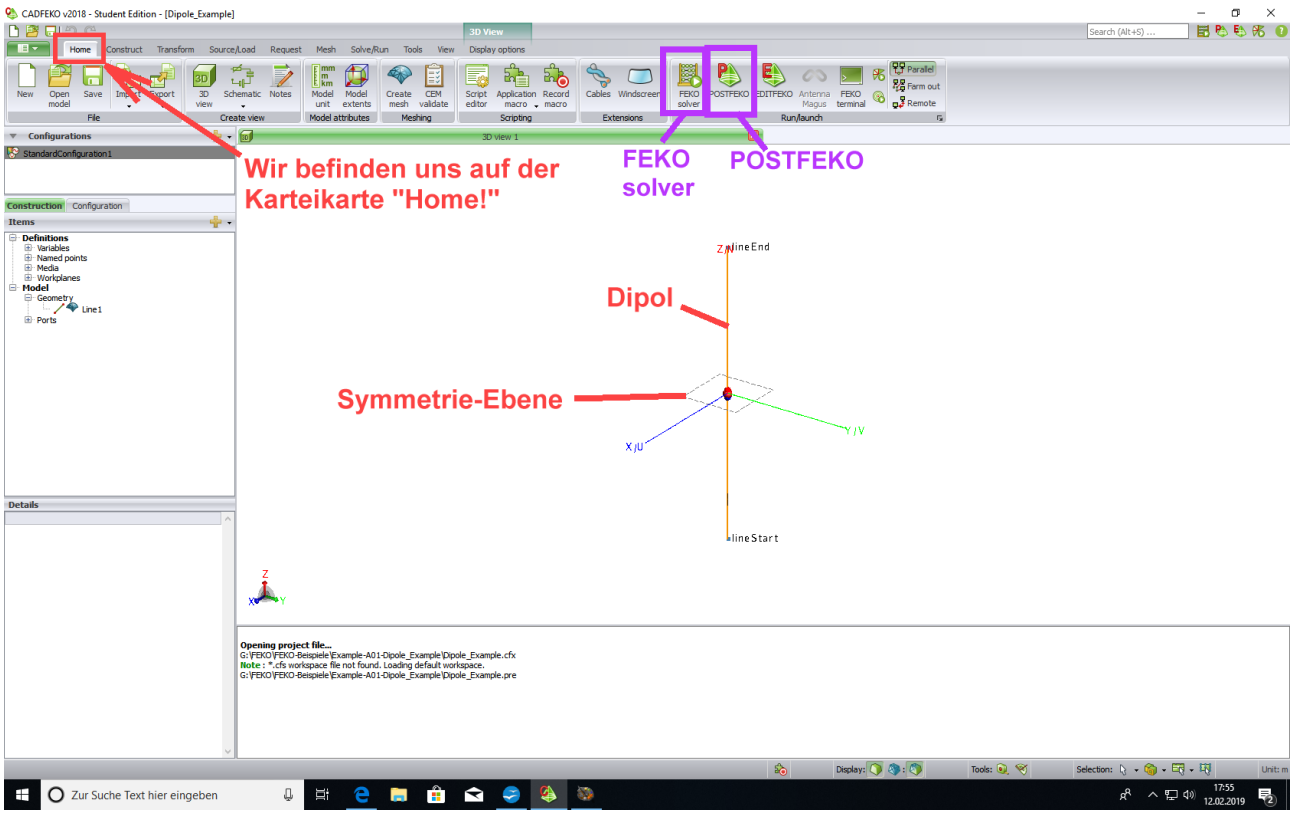


So geschieht das!

Bitte genau hinsehen (= blaues Rechteck):
Bei mir befindet sich der Example-Ordner auf einem separaten USB-Stick, extra für solche Projekte vorgesehen...

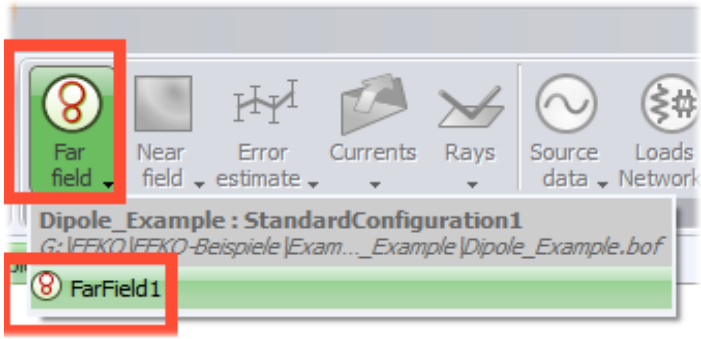
Dann haben wir dieses Bild und den **Dipol für f = 75 MHz** vor uns – und wir sollten uns auf der Karteikarte „**Home**“ befinden:
In bekannter Weise kann man nun den Cursor in die Arbeitsfläche stellen, die linke Maustaste drücken und dann die Maus hin- und herrollen: so kann man den Dipol samt Achsenkreuz in alle Richtungen schwenken! Bitte ausprobieren!
(Die markierte und eingeblendete Symmetrie-Ebene spart später Rechenzeit und Speicherplatz, da nur eine Hälfte berechnet und dann gespiegelt wird...).

Man könnte nun die ganze Reihe der zur Verfügung stehenden Buttons studieren, aber wir brauchen (da wir ein fertiges Modell verwenden) **nur rechts oben die Taste „FEKO Solver“,** um die Simulation zu starten. Nach ihrem Ende klicken wir auf den rechts angeordneten Button „**POSTFEKO**“ und kommen dadurch an die Simulationsergebnisse heran.



3.2.2. Darstellung des Farfield-Simulationsergebnisses mit POSTFEKO

Diese zweite Software „POSTFEKO“ übernimmt zwar nach ihrem Start sofort den Datensatz, den die Simulation mit CADFEKO erzeugt hat,



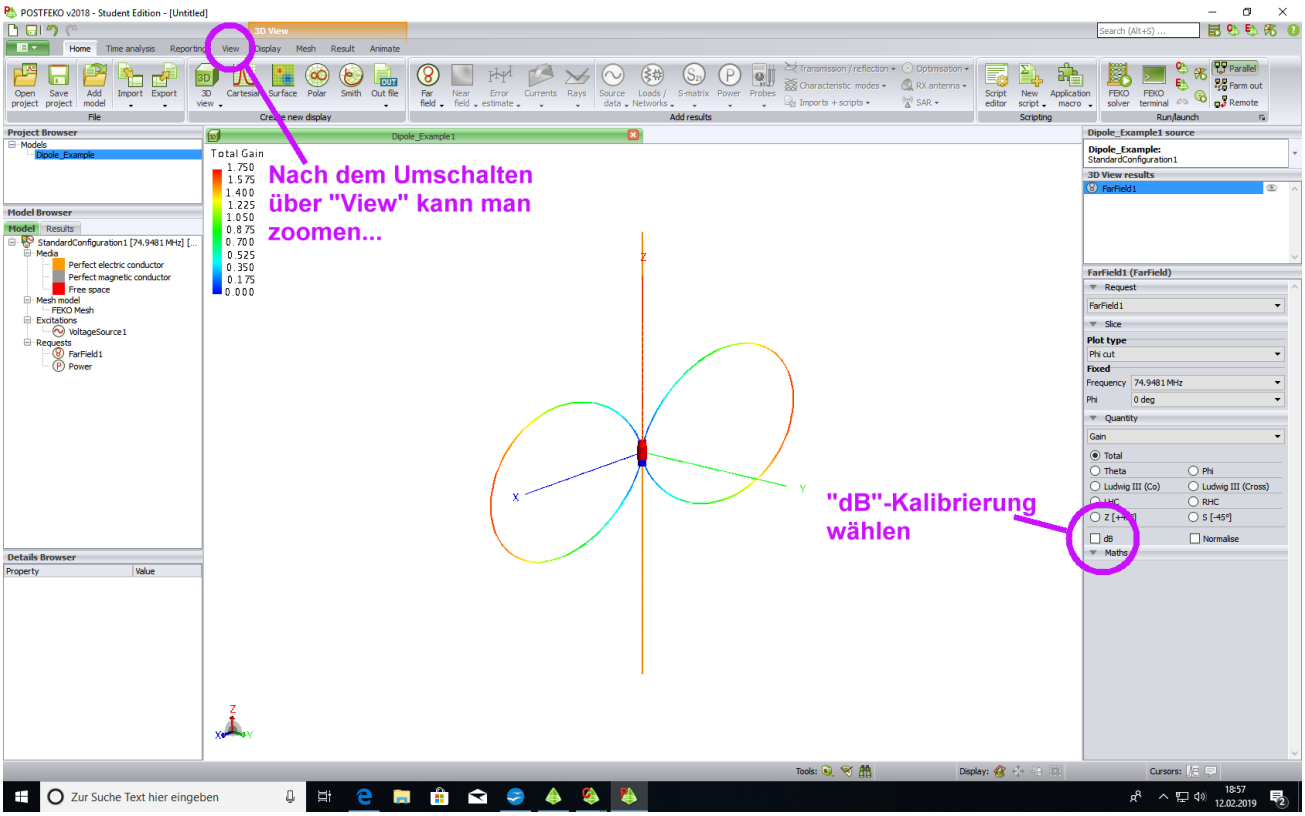
ABER:
wir müssen dem Programm sagen, was wir sehen wollen – von alleine tut sich überhaupt nichts!

Also:
Erst ein Klick auf **„Farfield“,** gefolgt vom Aufruf **„Farfield 1“**

Das ist der Bildschirm, der uns anschließend empfängt. Es handelt sich um einen „**CUT“ (= Schnitt)** durch das simulierte Fernfeld, **der in dieser Form bereits vom Entwickler fertig programmiert wurde und deshalb hier nicht mehr verändert werden kann!**

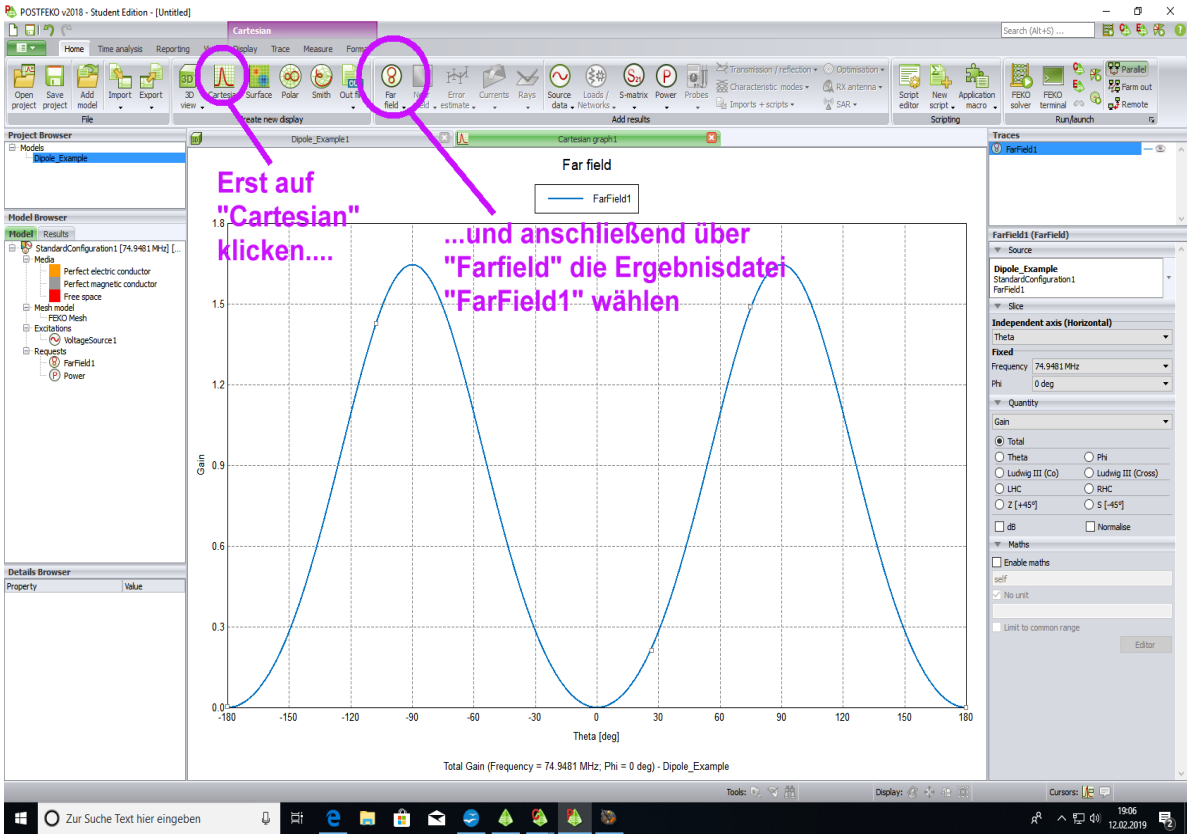
Diese Darstellung können wir natürlich wieder per Maus drehen und wenden. Im Bild ist gleich eingetragen, wie wir zoomen können – **dazu muß man aber zuerst auf das „View“-Menü umschalten**. (...Zurück geht es über die „Home“-Taste)

Und rechts unten sehen wir, wie man zu einer **„dB“-Darstellung“** des Simulationsergebnisses kommt.

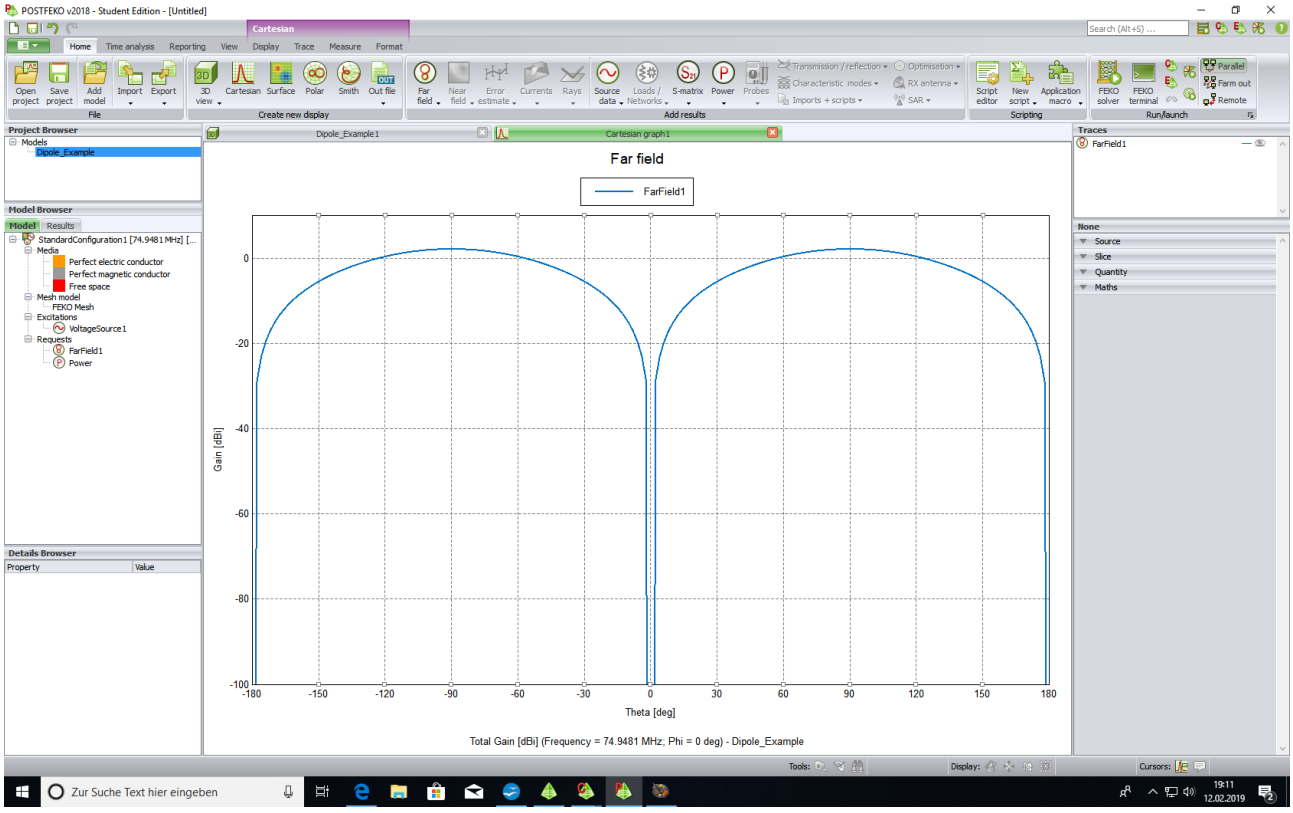


3.2.3. Die kartesische Darstellung des Strahlungsdiagrammes

Das ist keine schwierige Übung:



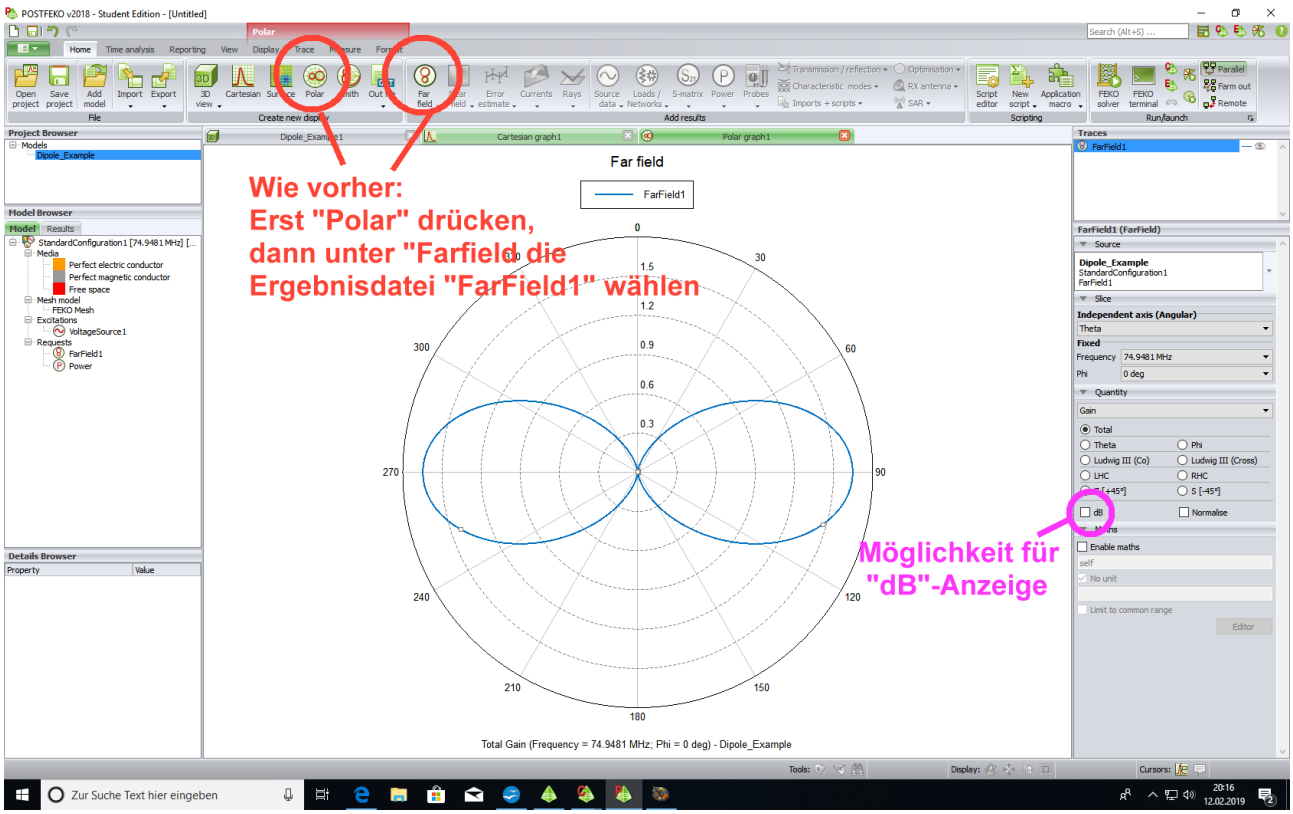
Interessant ist aber die **Darstellung in dB**:



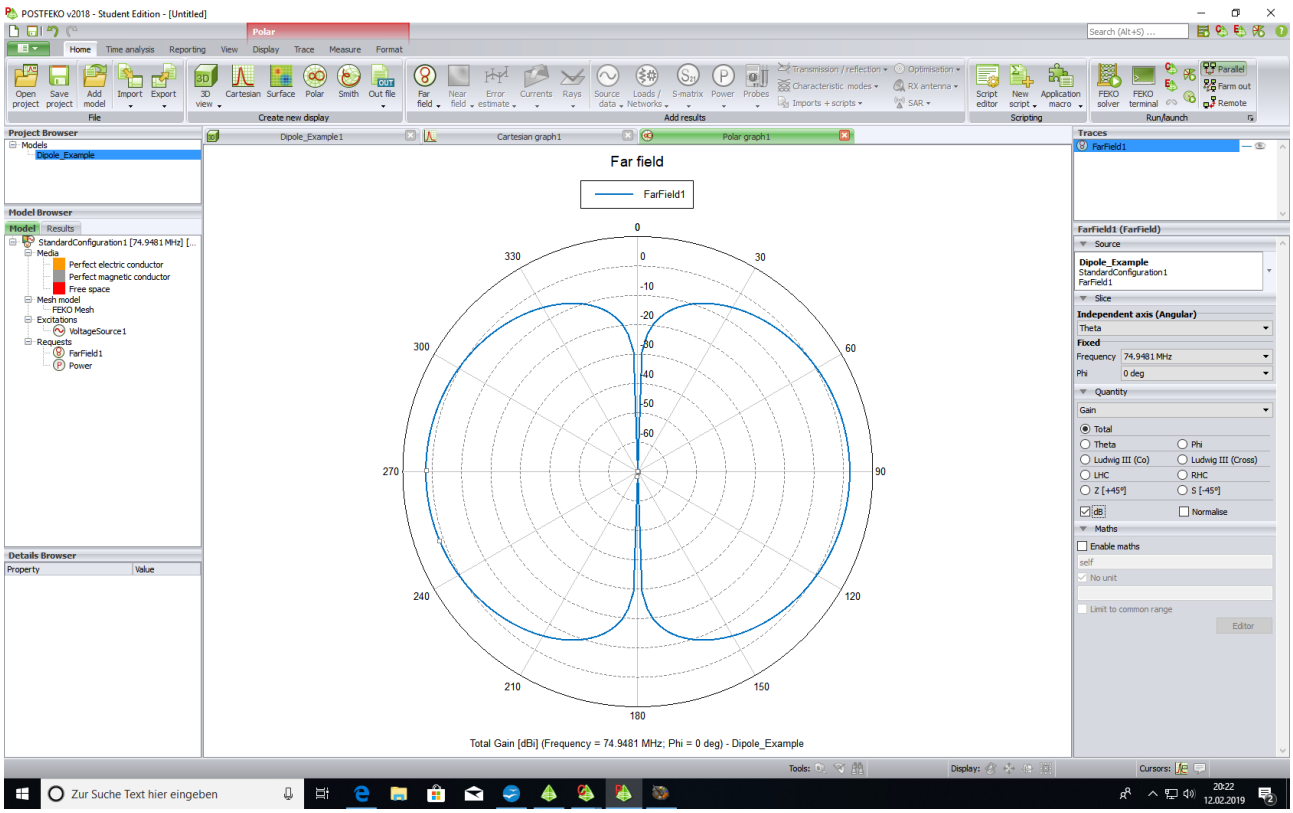
,

3.2.4. Polardarstellung des Strahlungsdiagrammes

Kein Problem:



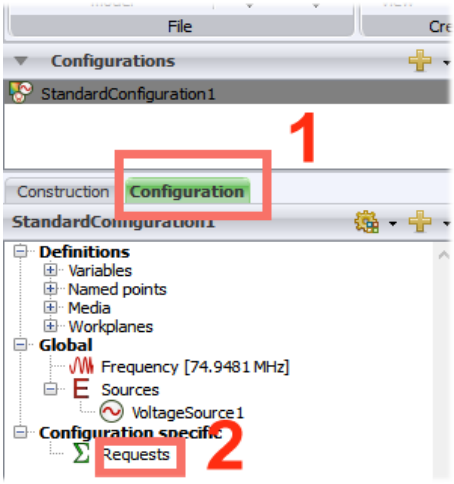
Genau so einfach ist die Sache mit der „**dB“- Darstellung**:



3.2.5. Wie sieht die Keule aus?

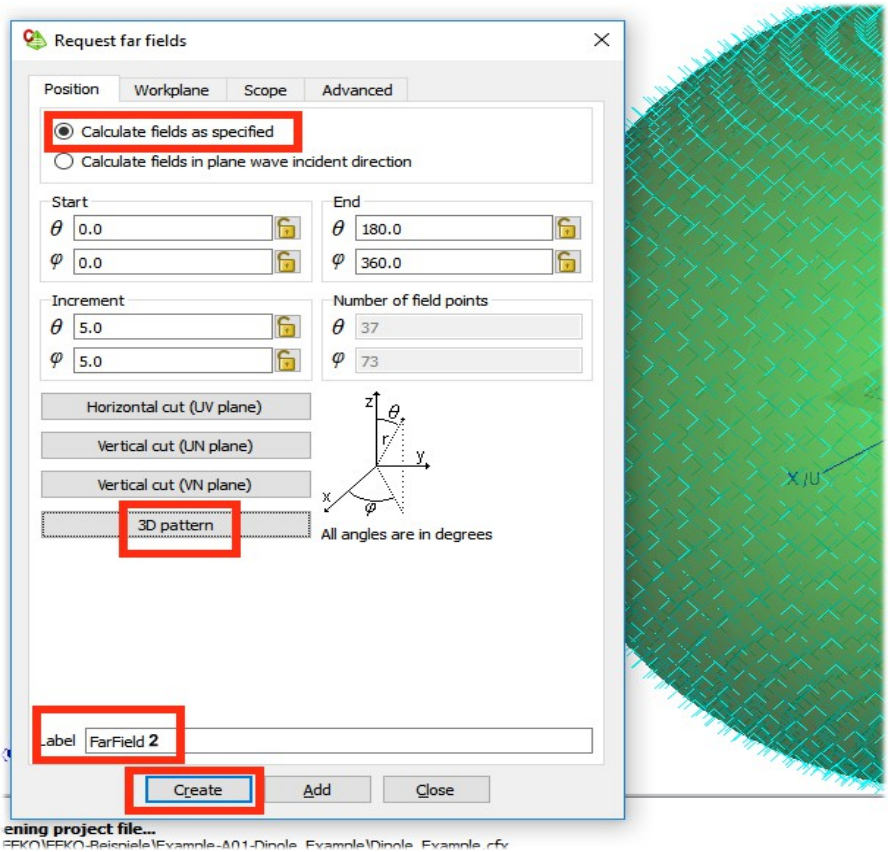
Das ist sofort die Frage unter Fachleuten bei der Diskussion über Antennen. Damit ist weder ein Sportinstrument noch eine kriegerische Waffe noch ein leckeres Mittagsessen gemeint – es geht um die **3D – Darstellung des Strahlungsdiagrammes**.....Also....los geht's.....

Wir rufen nochmals CADFEKO mit unserem geladenem Beispiel auf (= in der Taskleiste am unteren Bildrand)



Schritt 1:
Wir schalten im linken Menü auf **„Configuration"** um.

Schritt 2:
mit einem **rechten Mausklick** auf **„Request"** kommen wir an die Möglichkeiten zur Ergebnis-Ausgabe heran. Es taucht eine Auswahlliste auf, in der wir **„Far fields" anklicken**.



Jetzt geht es von Oben nach Unten:

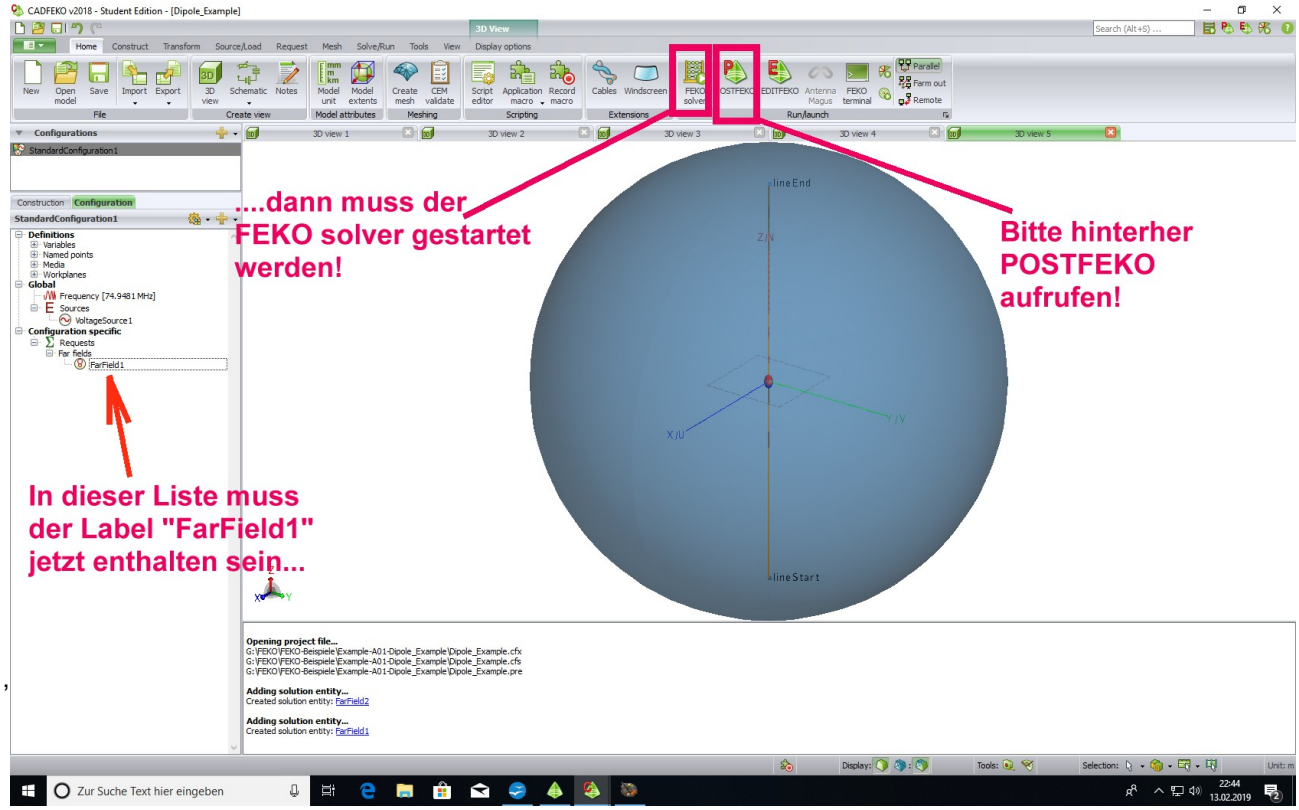
– **Ist „Calculate fields as specified" aktiviert?**

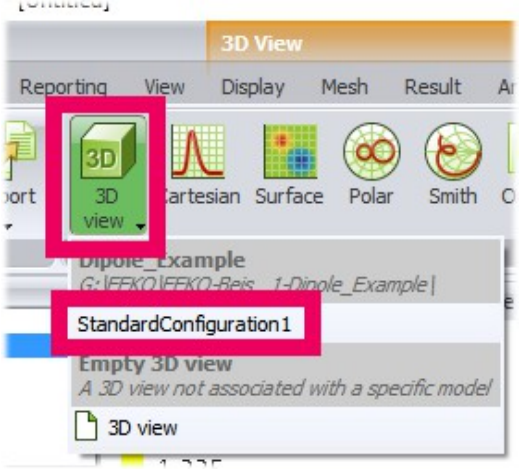
– **Bitte „3D pattern" anklicken**

– und beim **Label „Farfield2" einstellen.**

– Mit „**Create**" diesen Auftrag speichern

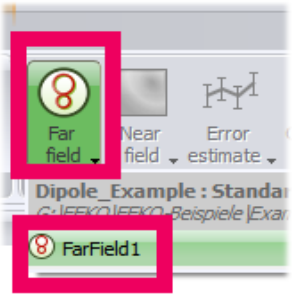
So geht es weiter:





In der POSTFEKO – Menüleiste klicken wir auf „**3D view“**.....

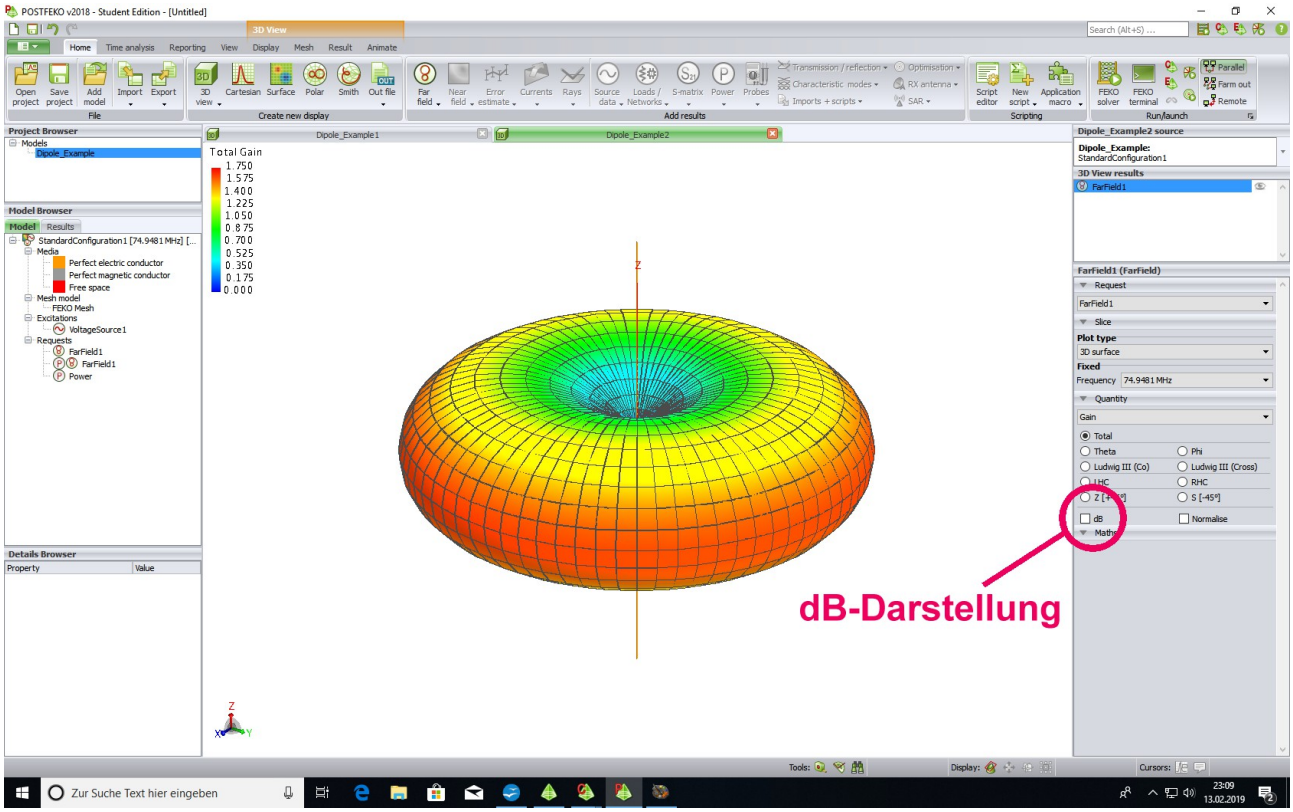
.....und **StandardConfiguration1**



Etwas weiter rechts in der Menüleiste findet sich „**Far Field**“.

Mit einem Klick darauf öffnet sich eine Liste, in der wir „**FarField2**“ wählen.

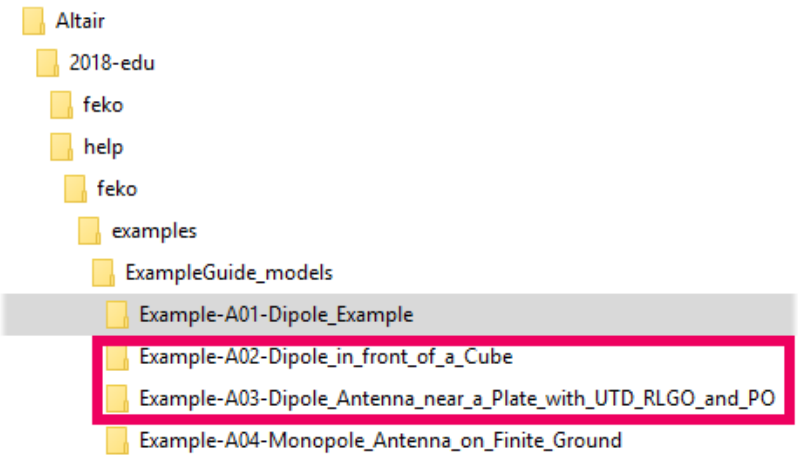
Dann sollte das der Lohn sein:



Ein Häkchen bei „dB“ hat natürlich die schon bekannte Wirkung. Aber die kennen wir ja bereits aus dem vorigen Kapitel ...

Zusatzaufgabe:

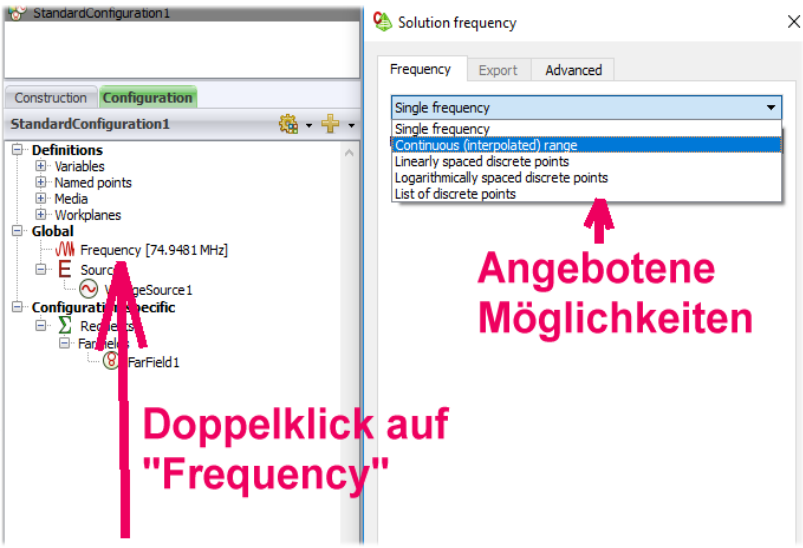
Im Unterordner „**Examples**“ finden sich zwei weitere Beispiel-Ordner (A02 und A03) für unseren Dipol (= Dipol vor einem Würfel sowie Dipol neben einer Platte).



Kopieren Sie diese beiden Ordner an den weit entfernten Ort, den Sie für unser erstes Beispiel gewählt haben.

Simulieren und vergleichen Sie anschließend die zugehörigen 3D-Stahlungsdiagramme!

3.3. Programmierung eines Frequency Sweeps



Wir kehren wieder zu CADFEKO und zu unserem ersten Beipiel (= einfacher Dipol) zurück.
Sobald im linken Menü „**Configuration**“ aufgerufen wird, kann man unter „**Global**“ die Einstellungen für die Frequenz durch einen Doppelklick öffnen. Dann gibt es fünf verschiedene Möglichkeiten:

Single frequency

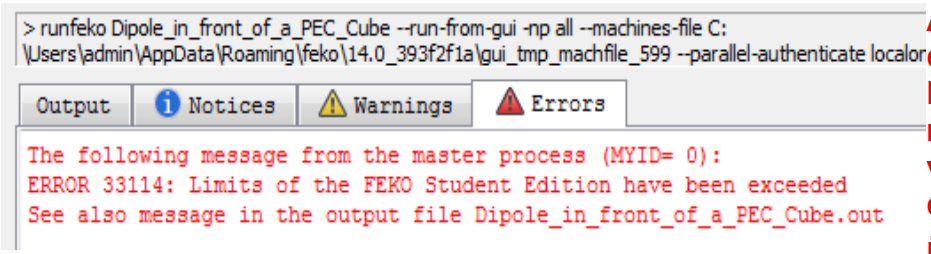
Continuous (interpolated) range

Linearly space discrete points

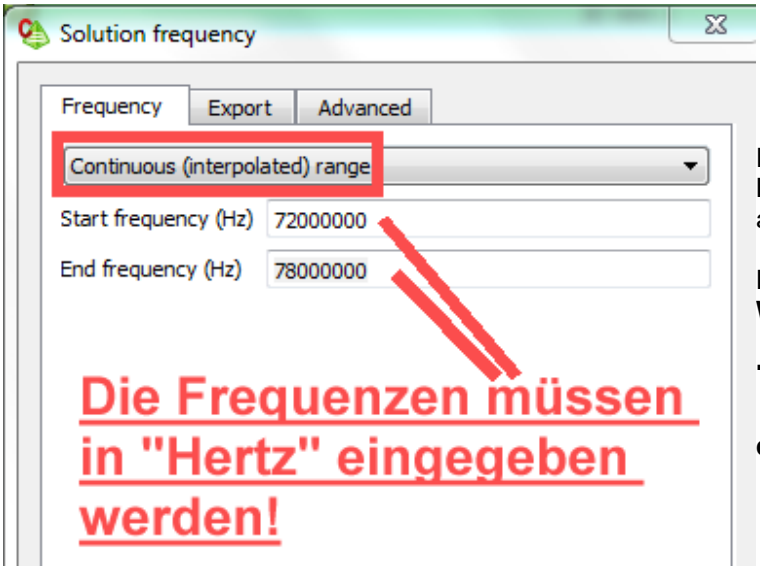
Logarithmic spaced discrete points

List of discrete points

Die „**Single frequency**“ hatten wir gerade. Wir wählen den **„Continuous (interpolated) range“.**



Auch mit den weiteren drei angebotenen Möglichkeiten kann man arbeiten. Wer aber versucht, dort die Zahl der Simulationspunkte über „11“ hinaus zu vergrößern, der bekommt nach dem Simulationsstart ganz schnell diese Meldung zusammen mit einem Simulations-Abbruch zu sehen.



Die Programmierung eines **Sweeps von 72 bis 78 MHz** ist dagegen sehr einfach, weist aber diese kleine Falle auf....

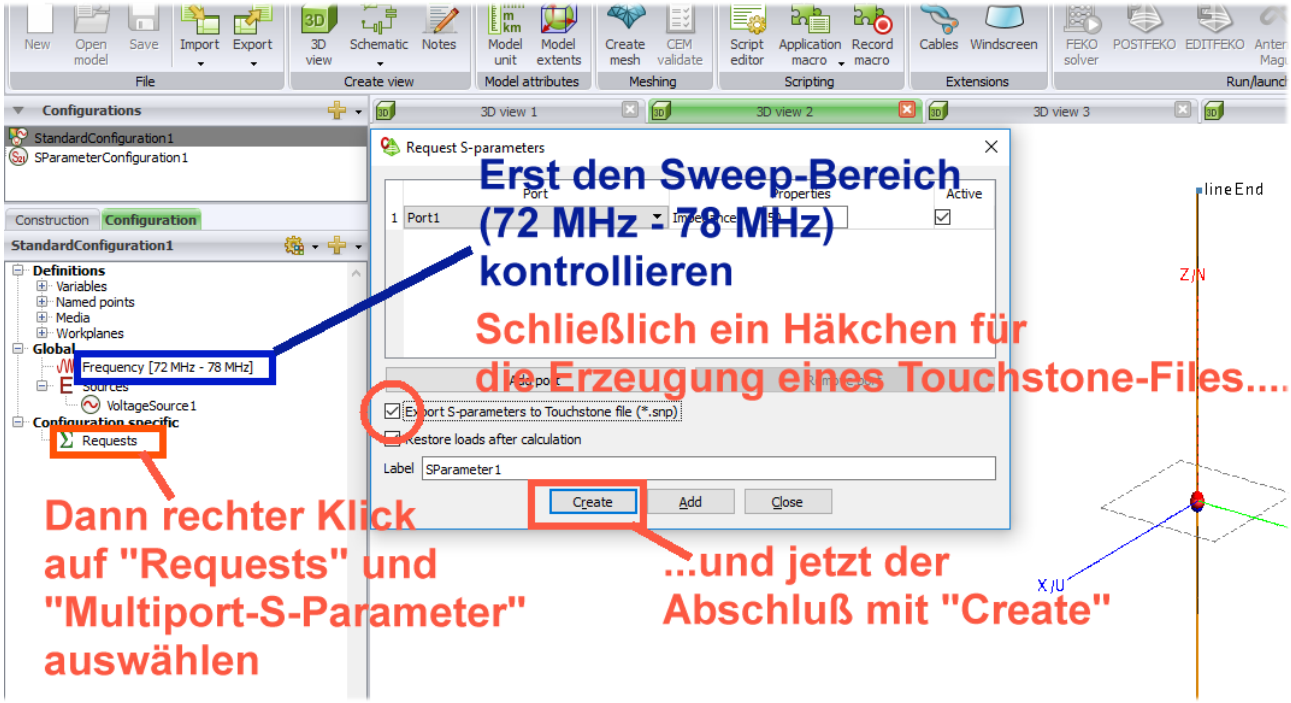
Ein kleiner Trost:
Wem das so zu mühsam ist, der kann auch

72e6 bis 76e6

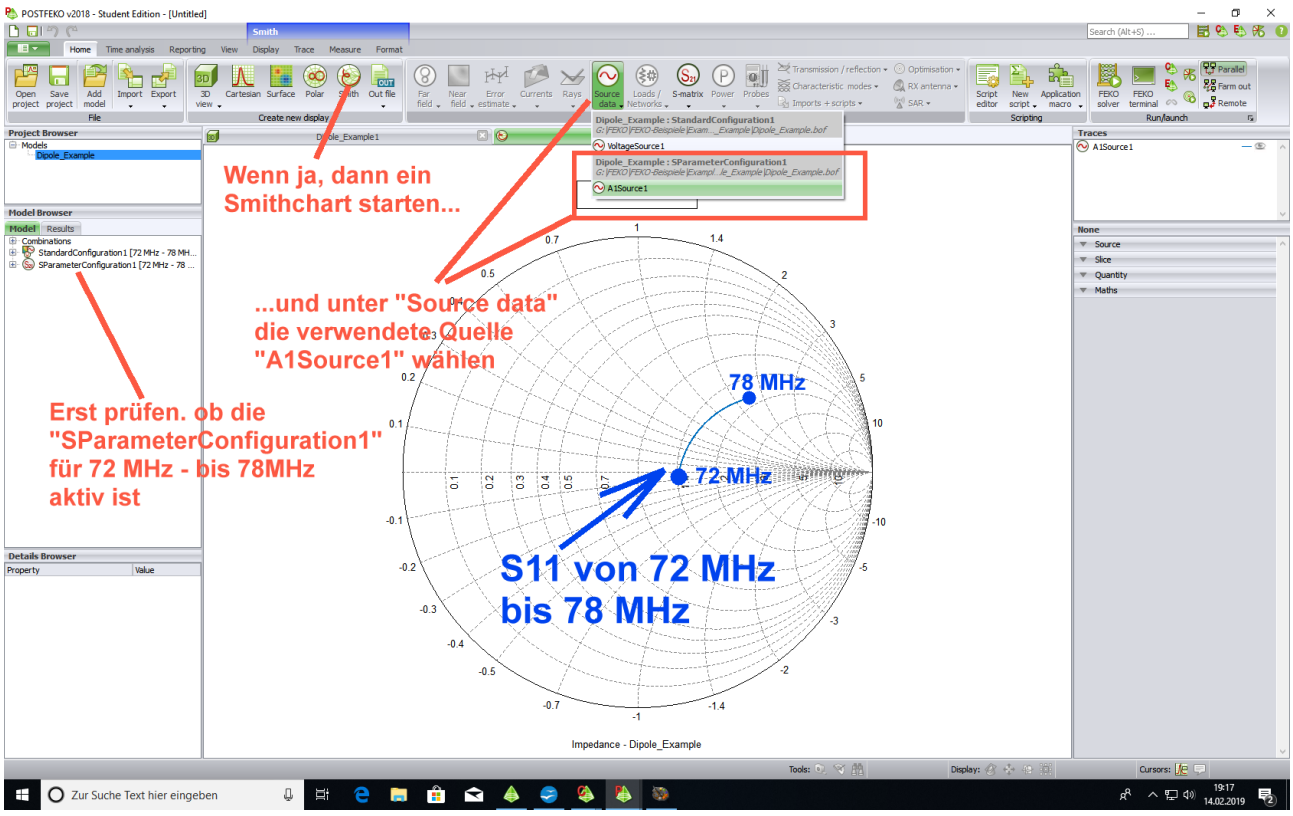
eingeben!

3.4. Sweepen von S-Parameter - Daten

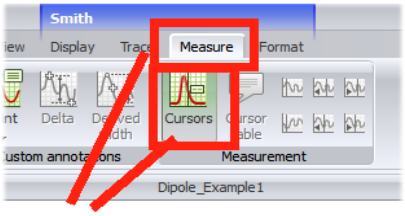
Das sind die Vorbereitungen bei CADFEKO.



Wenn alles stimmt, starten wir die Simulation (über die „Solver“ - Taste).
Anschließend brauchen wir **„POSTFEKO**“ zur Auswertung.
Und so läuft das mit der Anzeige:

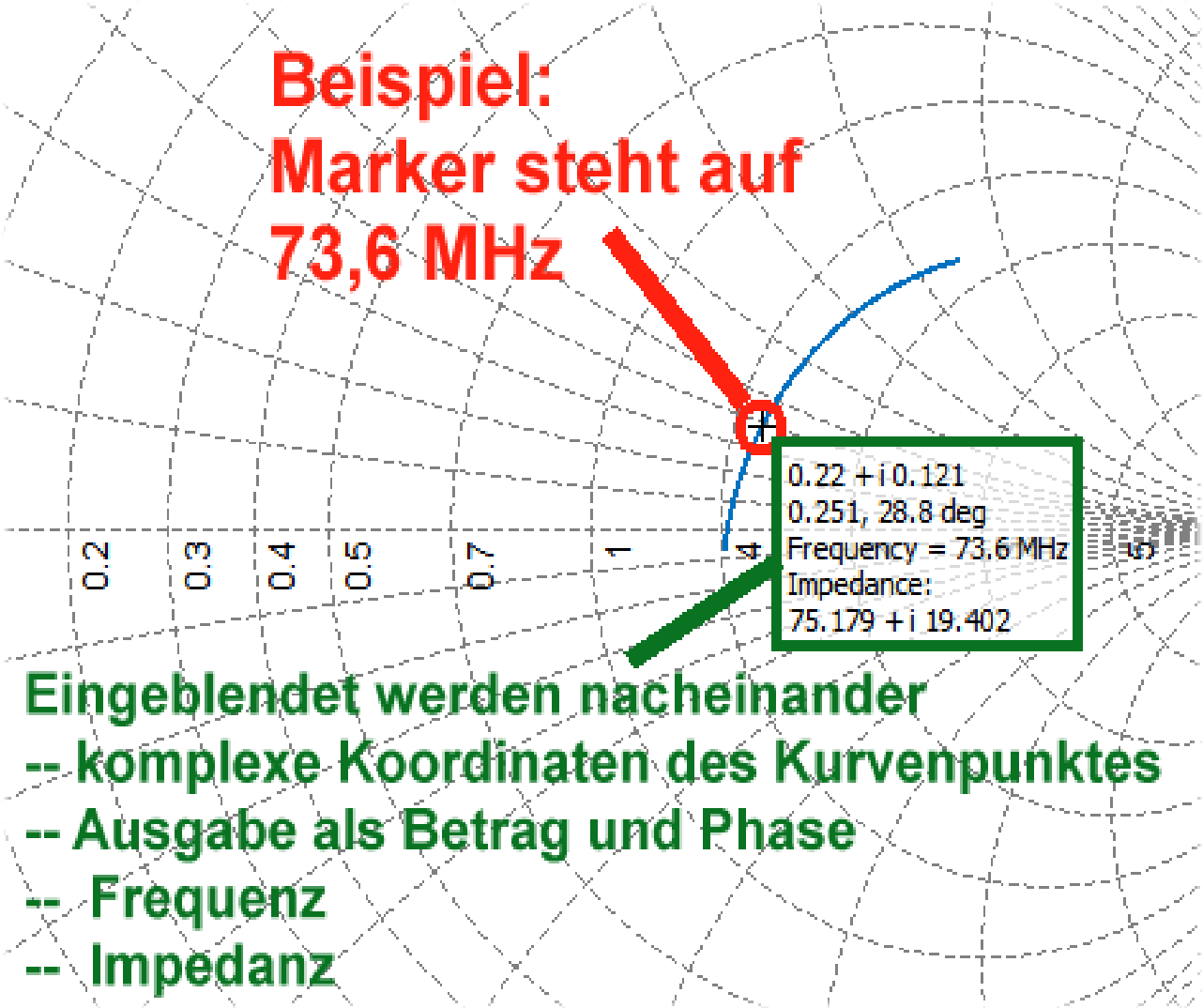


3.5. Wie findet man die Ergebnisse bei einer bestimmten Frequenz auf der S11-Kurve?



Dazu klicken wir erst auf "Measure" und anschließend auf "Cursors"

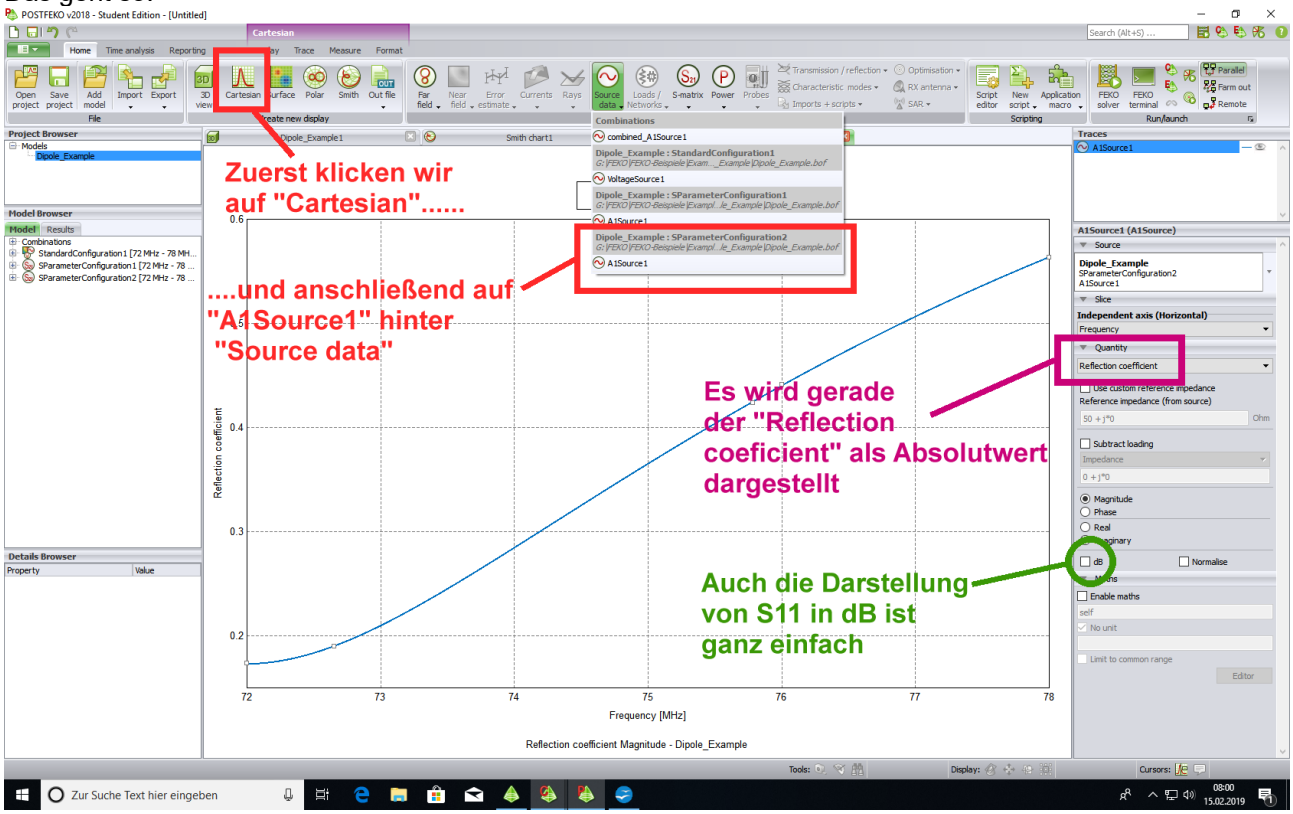
Mit dieser Prozedur wird ein Marker (= kleines Kreuz) bei der Kurve eingeblendet.
Er läßt sich durch „Ziehen mit der Maus“ entlang der S11-Kurve verschieben.

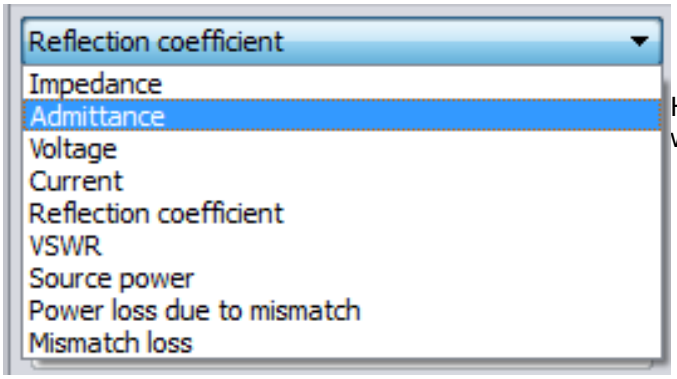


Mit einem Klick auf „**Home**“ kehren wir zur vorherigen Darstellung zurück

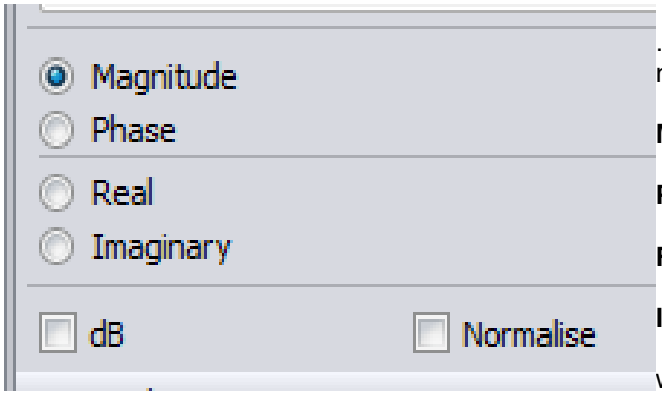
3.6. Ergebnis-Ausgaben in kartesischer Darstellung

Das geht so:





Hinter dem violetten Kästchen gibt es noch etliche weitere Möglichkeiten



...und bei jeder gewählten Möglichkeit können wir nochmals zwischen

Magnitude

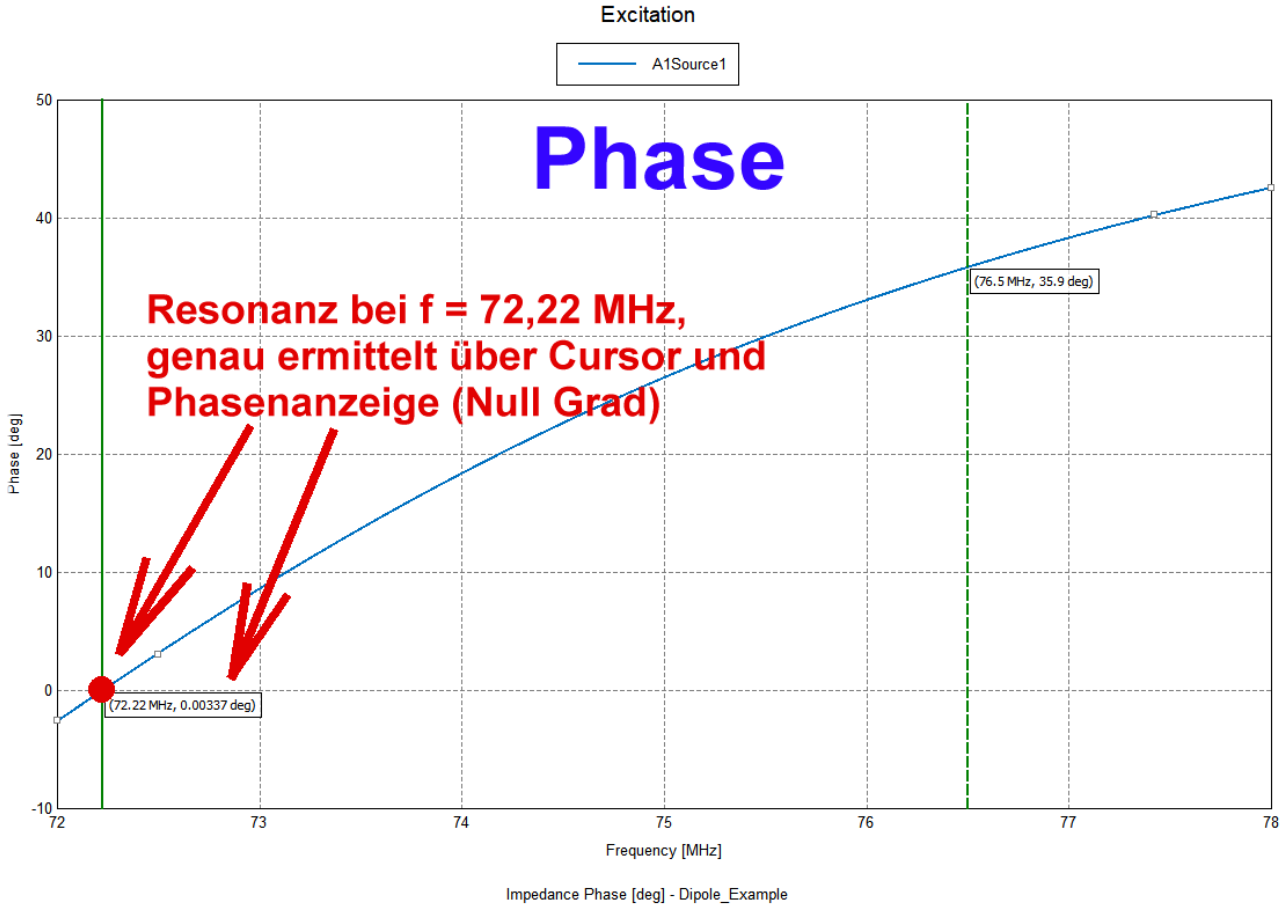
Phase

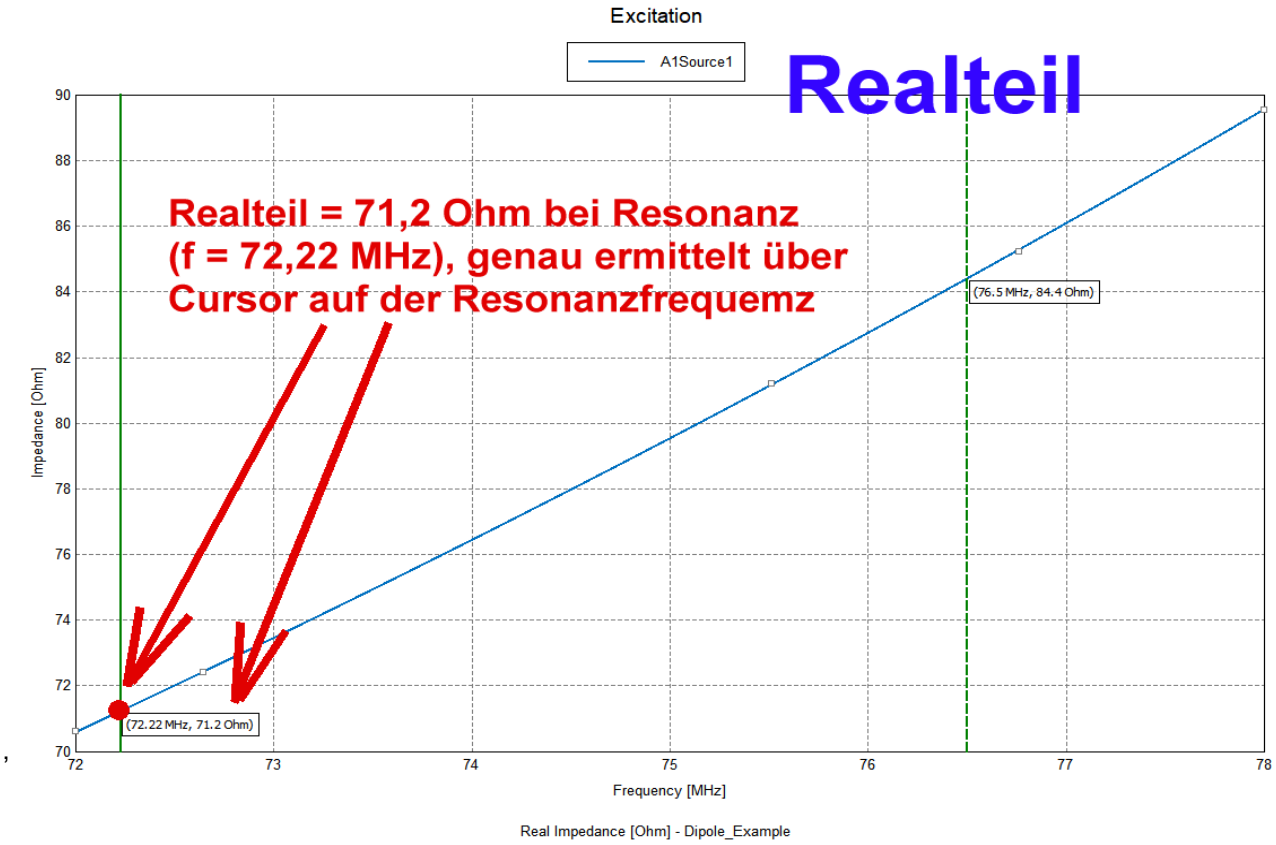
Real

Imaginary

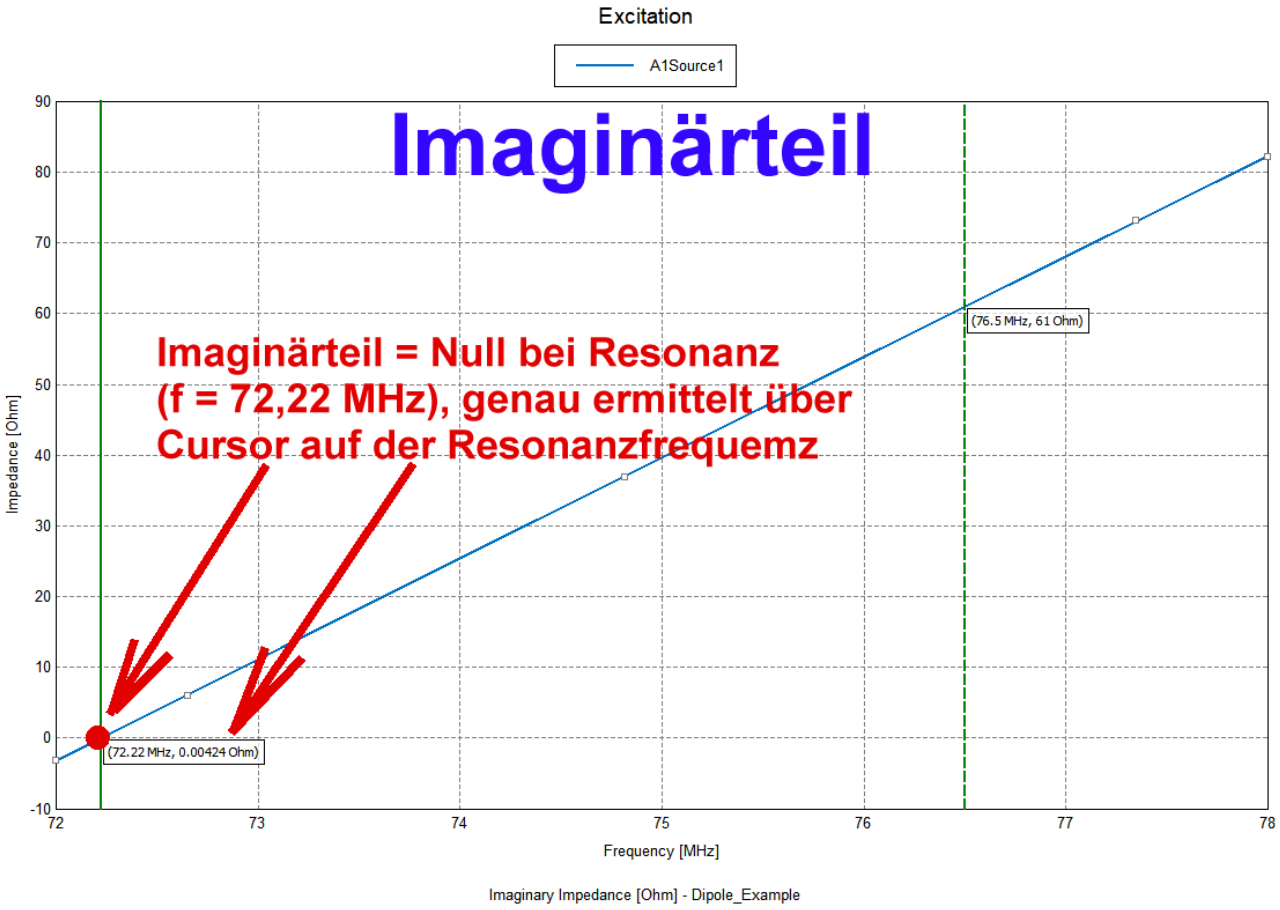
wählen.

Hier die Eingangs-Impedanz über der Frequenz





,



Aufgabe:
Untersuchen Sie in gleicher Weise die übrigen angebotenen Möglichkeiten bei den „A2Source1-Daten“.

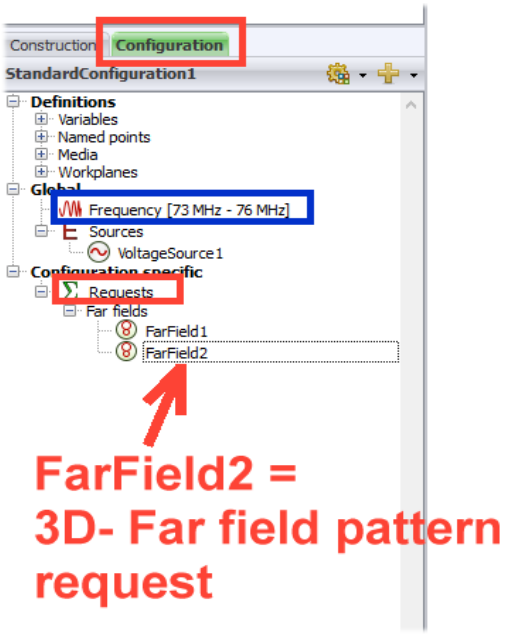
4. Zusammenfassendes Beispiel A02: Dipol vor PEC – Würfel (PEC = perfect electric conductor)

Da stellen wir uns selbst folgende Aufgabe:

Request 1:
Simulieren Sie für den Frequenzbereich 73 MHz bis 76 MHz die 3D-Strahlungs-diagramme beim Farfield.

Request 2:
Simulieren Sie für den Frequenzbereich 73 MHz bis 76 MHz den Verlauf von S11.

Vorbereitungen:
Zuerst müssen wir wieder von diesem Beispiel A02 eine Kopie anfertigen und diese Kopie weit entfernt vom „Altair / FEKO"-Ordner abspeichern.
Dann wird CADFEKO gestartet und von dort dieses Modell „**Dipole_in_front_of_a_PEC_cube"** aufgerufen.

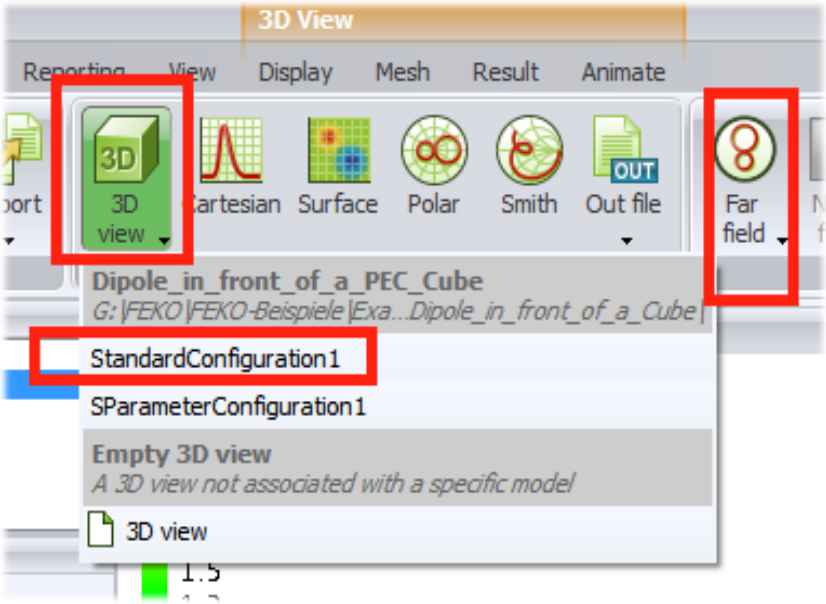


Hinter der Karteikarte „**Configurations**" klicken wir mit der rechten Maustaste auf „" und **programmieren einen „continuous frequency range" von 73000000 bis 76000000 Hz (= 73e6 bis 76e6 Hz).**

Dann folgt ein weiterer Rechtsklick auf **„Requests"**, um „**Far Fields**" auf zu rufen.

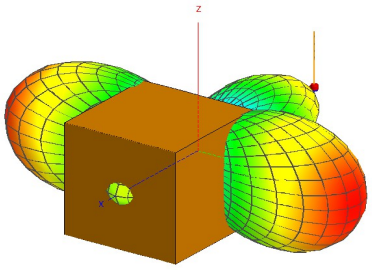
Im auftauchenden Menü müssen wir **3D pattern**" und **„Create**" wählen – das wär's

Jetzt darf (oben rechts in der Menüleiste) der **FEKO – Solver** gestartet werden. Ist der fertig mit seiner Arbeit, öffnen wir daneben **„POSTFEKO".**

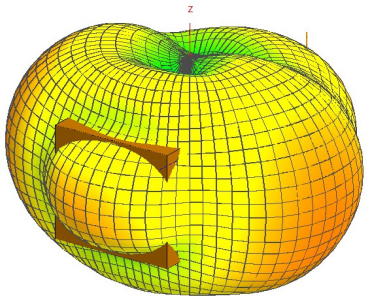


Wir öffnen den **3D view** und wählen **„StandardConfiguration1"**

Hinter „**Farfield**" erzeugt ein Klick auf **„farfield 2**" das gewünschte 3D-Diagramm.



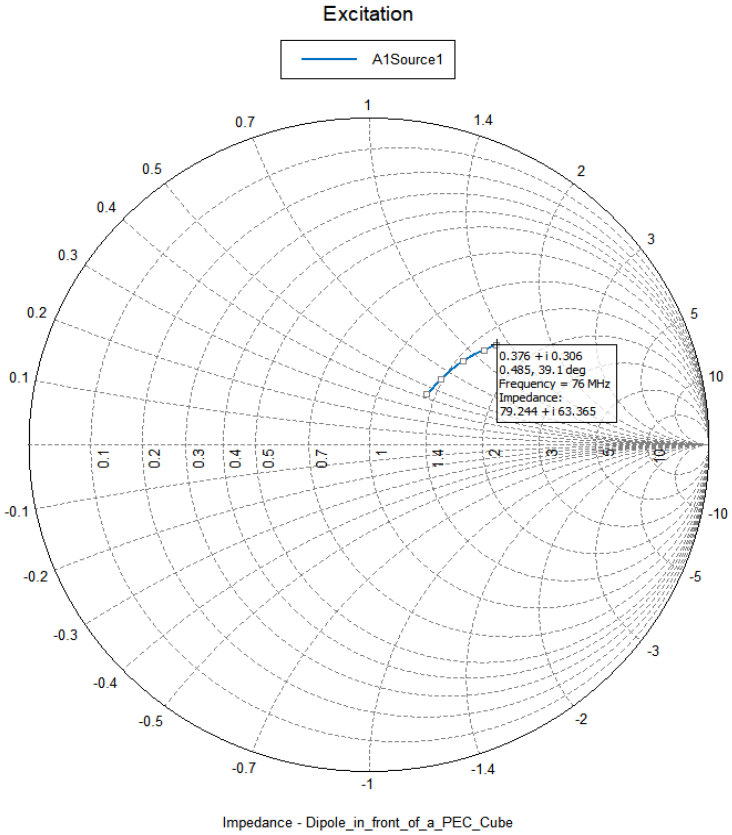
In der rechten unteren Bildhälfte finden wir die Angabe, dass dieses Bild zur Frequenz f = 73 MHz gehört:



Wer dagegen so etwas sehen will, der muss **die Frequenz auf 76 MHz umstellen und dazu „dB“ aktivieren.**

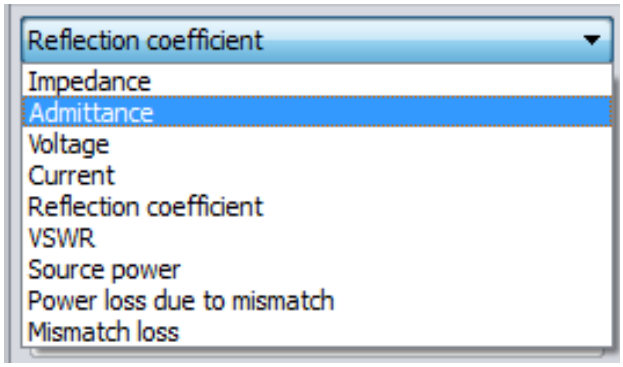
Bearbeitung von Request 2: Simulation der S-Parameter

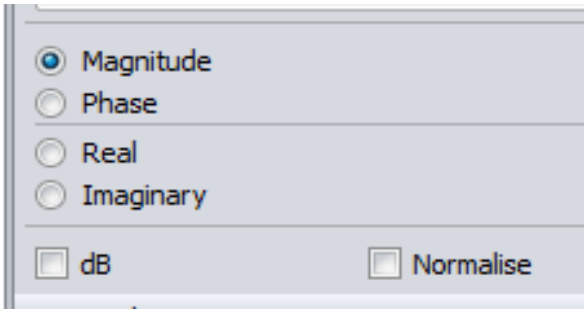
Wieder müssen wir in CADFEKO die Karte „**Configuration“** aktivieren und darin mit Rechts auf „**Requests“** klicken. Diesmal wählen wir **„Multiport S parameter“** und dürfen nicht vergessen, im Menü das Häkchen bei „**Export S parameters to Touchstone file (*.snp)**“ anzubringen. Es folgt „**Create“, FEKO Solver“ und POSTFEKO.**



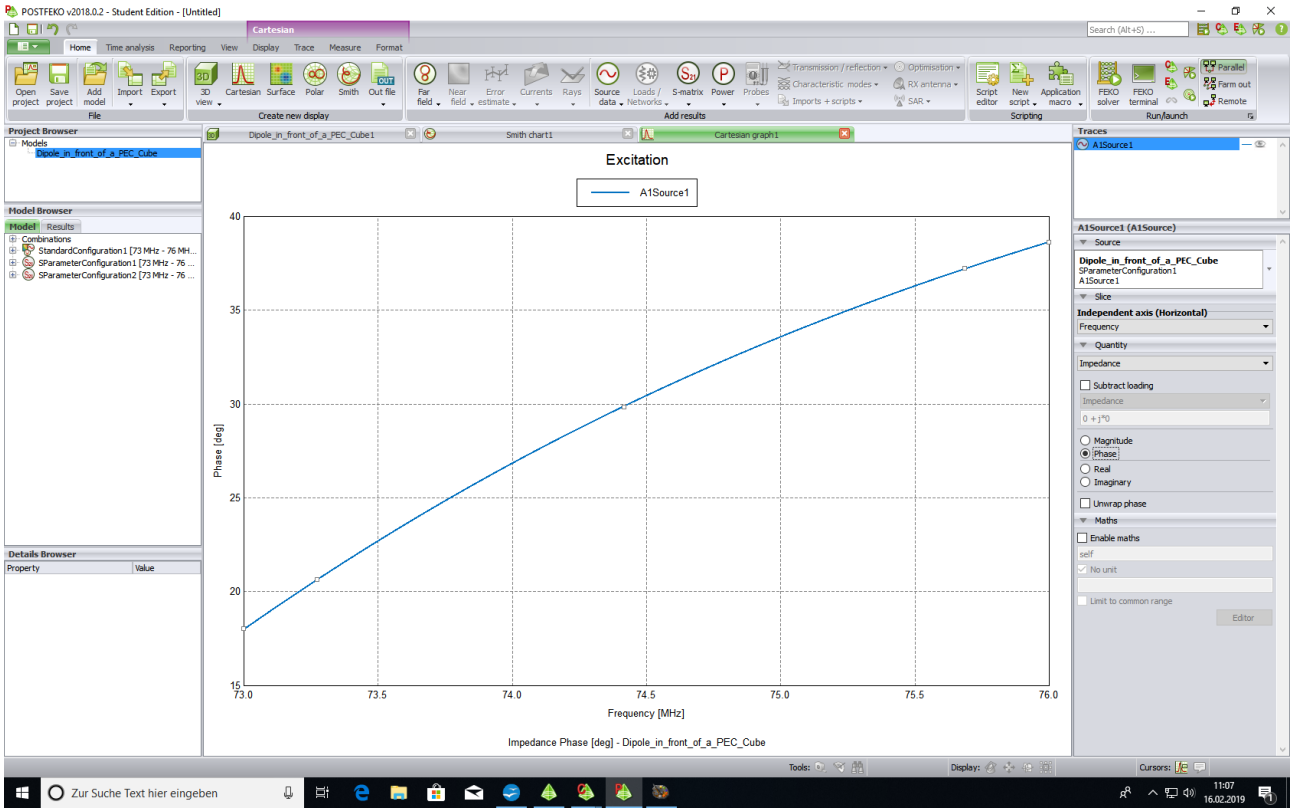
Wenn wir auf „Smith“ klicken, wird das Smithchart geöffnet und die Wahl von „**A1Source1**“ hinter „**Source Data**“ zaubert die S11-Kurve auf den Schirm. Wer dann auf „**Measure**“ und „**Cursor**“ losgeht, bekommt zusätzlich den bekannten Marker mit allen wichtigen Daten für einen Punkt eingeblendet.

Wenn man dagegen „**Cartesian**“ wählt und anschließend „A1Source1“ hinter „**Source Data**“ wählt, hat wieder die Qual der Wahl, was er sehen möchte:





Beispiel: Phasenverlauf bei der Eingangs-Impedanz im Frequenzbereich von 73 bis 76 MHz:



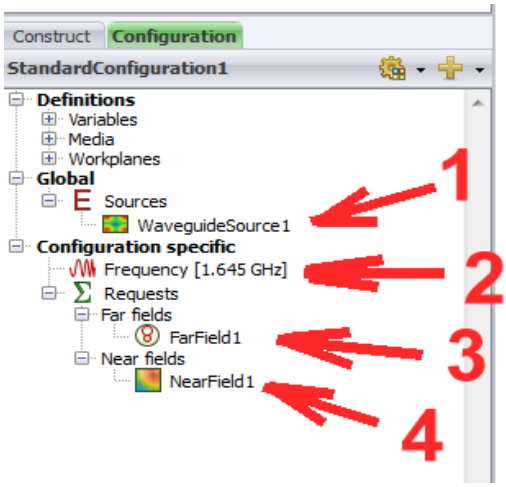
5. Mal was Anderes: ein Hornstrahler

5.1. Aufruf und Simulation

Das ist natürlich etwas Neues und FEKO kann hier zeigen, was es im Bereich der Hohlleiter-Wellen leisten kann. Allerdings müssen wir den zugehörigen Beispiel-Ordner erst finden und ihn wieder an einen entfernten Ort kopieren. Er heißt

Project1_Rectangular_Horn_Antenna

und findet sich im **feko / help Verzeichnis (im Ordner „examples / 'Getstarted_models)**



Wenn wir anschließend auf „**Configuration**“ umschalten, sehen wir sehr schön, was bereits für uns vorbereitet wurde:

1) Eine Hohlleiter-Signalquelle

2) eine Betriebsfrequenz von 1,645 GHz

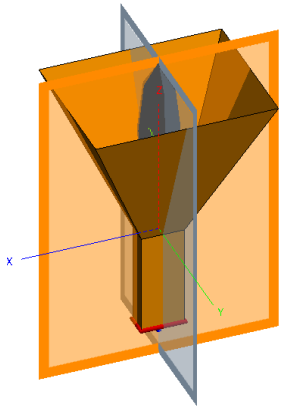
3) eine Fernfeld-Simulation

4) eine Nahfeld-Simulation

Also starten wir nun den **FEKO solver**, gefolgt von **POSTFEKO** und sehen uns die Ergebnisse an.

5.2. Fernfeld-Simulation

Das sollte nun schnell gehen mit dem 3D-Pattern:



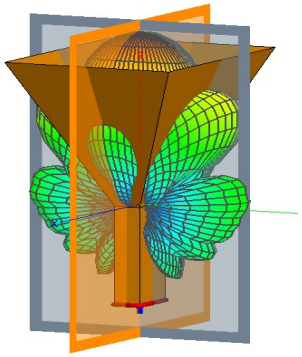
a) Unter „**3D View**“ wird „**StandardConfiguration 1**“ angeklickt.

b) Dann geht es weiter zur Taste „**Far Field**“ und darin zu „**farfield**“

Wer über das nebenstehende Ergebnis enttäuscht ist, muss etwas nachdenken und kommt schnell drauf:

So eine Hornantenne bündelt sehr stark und besitzt einen entsprechend hohen Gewinn.

Das Pattern ist hier aber linear dargestellt und deshalb gehen die Feinheiten und Nebenzipfel vollständig unter!



Also schalten wir auf „**dB“** um und sehen wir uns an, was dann herauskommt.

Na also...

Übrigens:
Wir sehen sehr schön die beiden **Symmetrie-Ebenen (= graues und orangefarbenes Rechteck**). Sie ermöglichen es, nur ein Viertel des Patterns zu berechnen und den Rest durch „Spiegelung“ zu ermitteln. Reduziert natürlich die Rechenzeit enorm...

5.3. Nahfeld-Simulation

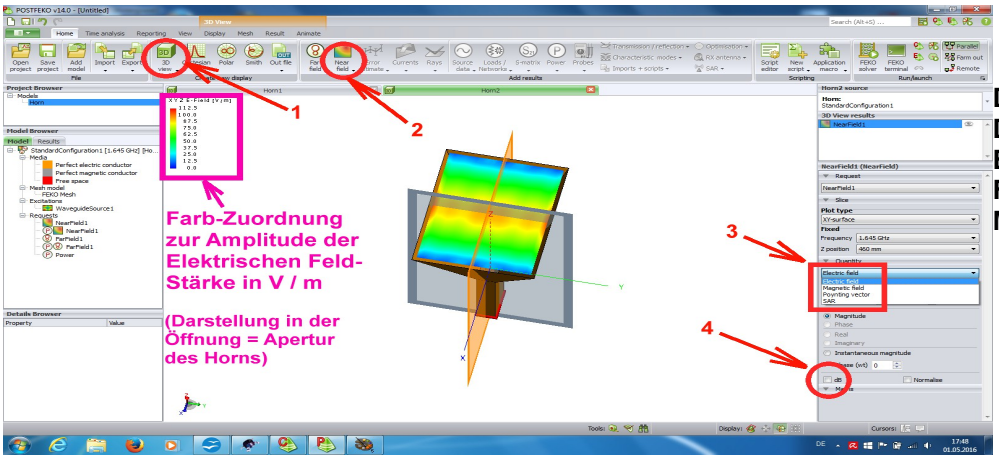
Da haben wir nun schon Routine:
1) Unter „**3D View**“ öffnen wir „**StandardConfiguration 1**“

2) Hinter „**Nearfield**“ finden wir den Aufruf **„Nearfield1“**

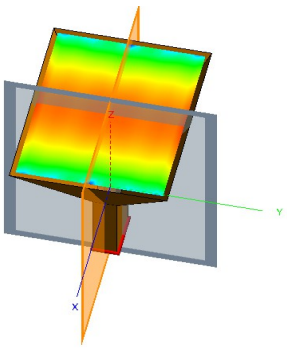
3) Zunächst ist (rechts im Bild unter „Quantity) die Ausgabe auf „**Electric Field**“ eingestellt und dabei bleiben wir, denn
hinter „Quantitity“ verstecken sich vier verschiedene Möglichkeiten:

Electric Field
Magnetic Field
Poynting Vector
SAR

4) Außerdem können wir auf Wunsch wieder auf „**dB**“ umschalten.



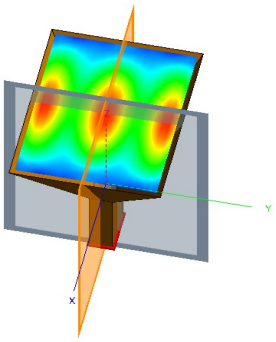
Das ist die lineare Darstellung der Elektrischen Feldstärke in Volt pro Meter:

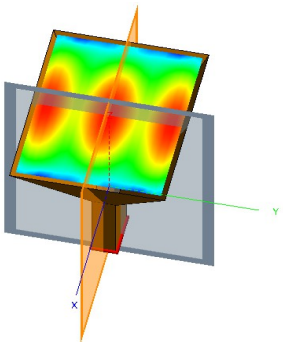


...Und das ergibt sich beim Umschalten auf „**dB**“.

Wer sich dagegen für das **Magnetische Feld** interessiert, erhält diese Ergebnisse:

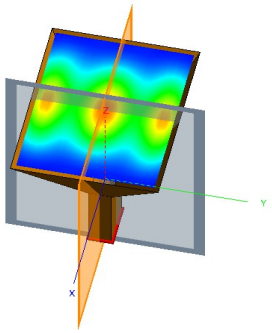
linear oder.... in **dB**

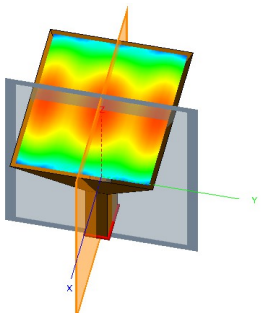




Außerdem gibt es noch die Möglichkeit, den **Poynting'schen Vektor** dar zustellen

linear oder.... **in dB**





Specific Absorption Rate (SAR)

Antenna Definitions Back: Antenna Measurements Antenna Theory (Home)

Specific Absorption Rate (or **SAR**) is a measure of how transmitted RF energy is absorbed by human tissue. SAR is a function of the electrical conductivity (σ, measured in Siemens/meter), the induced E-field from the radiated energy (measured in Volts/meter), and the mass density of the tissue (ρ, in kg/cubic-meter). The SAR is calculated by averaging (or integrating) over a specific volume (typically a 1 gram or 10 gram area):

$$\mathrm{SAR} = \int_{\mathrm{sample}} \frac{\sigma(\mathbf{r})|\mathbf{E}(\mathbf{r})|^2}{\rho(\mathbf{r})} d\mathbf{r} \quad [1]$$

Bei „**SAR**“ muss man eventuell erst mal im Internet nachsehen. In der Homepage

„www.antenna-theory.com“

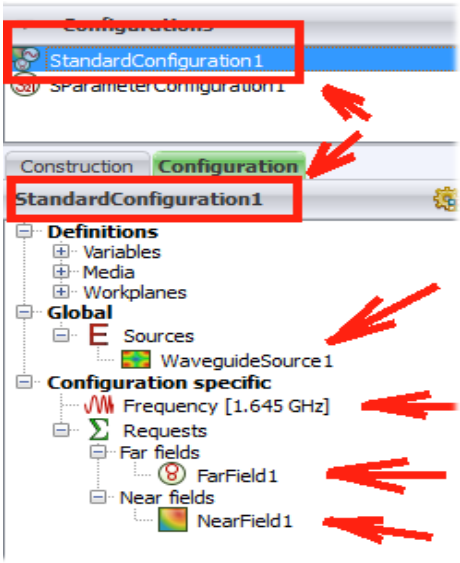
findet man diese Erklärung.

Wer Spaß daran hat, kann sich auch diese SAR-Simulation zeigen lassen.

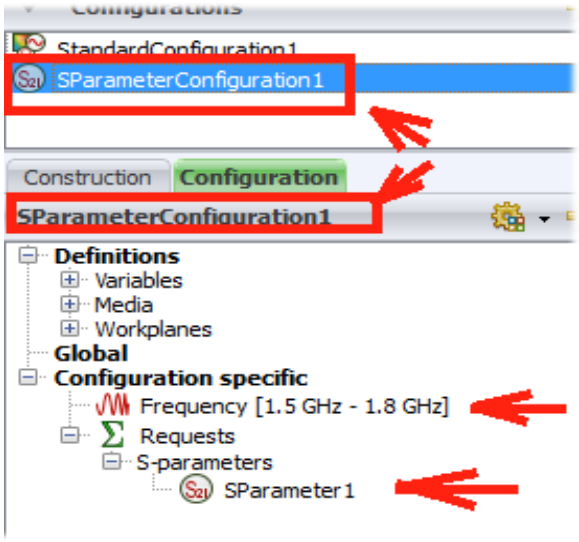
5.4. S11 als Frequency Sweep

Wir geben in CADFEKO wieder über das linke Menü „**Configurations**“ und das Untermenü „**Request**“ den Wunsch nach der Simulation der S-Parameter ein. **Außerdem wählen wir unter „Global“ einen Frequenzbereich von 1,5 bis 1,8 GHz mit einem „Continuous Sweep (….Bitte daran denken: die Frequenzwerte MÜSSEN in der Einheit „Hz“ eingetippt werden werden...also als 1500000000 und 1800000000 ODER 1.5e9 bis 1.8e9**). Damit finden wir nun links oben auf dem Bildschirm zwei vorbereitete Simulationen in der Configuration:

Einmal die **StandardConfiguration 1**, mit der wir das Strahlungsdiagramm bei 1,654 GHz simulieren können:



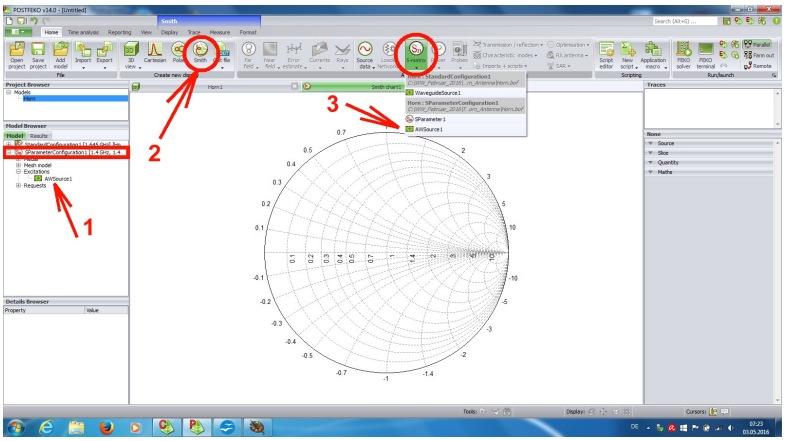
Darunter die „**Sparameter Configuration 1**“, mit der wir im Frequenzbereich von 1,5 bis 1,8 GHz die Reflektion S11 des Antenneneinganges unter „**SParameter1**“ sehen.

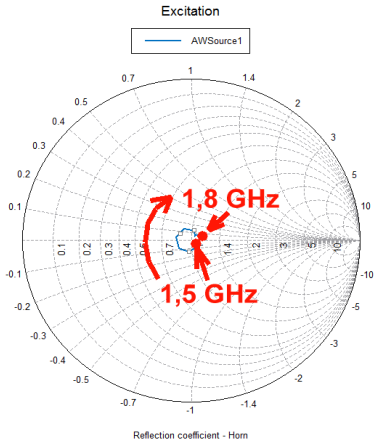


Das kennen wir aus den vorigen Kapiteln: Die „WaveguideSource1“ mit f = 1,645 GHz speist den Hohlleiter-Eingang und wir lassen uns das Fernfeld sowie das Nahfeld simulieren.

Jetzt wird die Speisefrequenz von 1,5 GHz bis 1,8 GHz gesweept und dabei die Eingangs-Reflektion ermittelt.

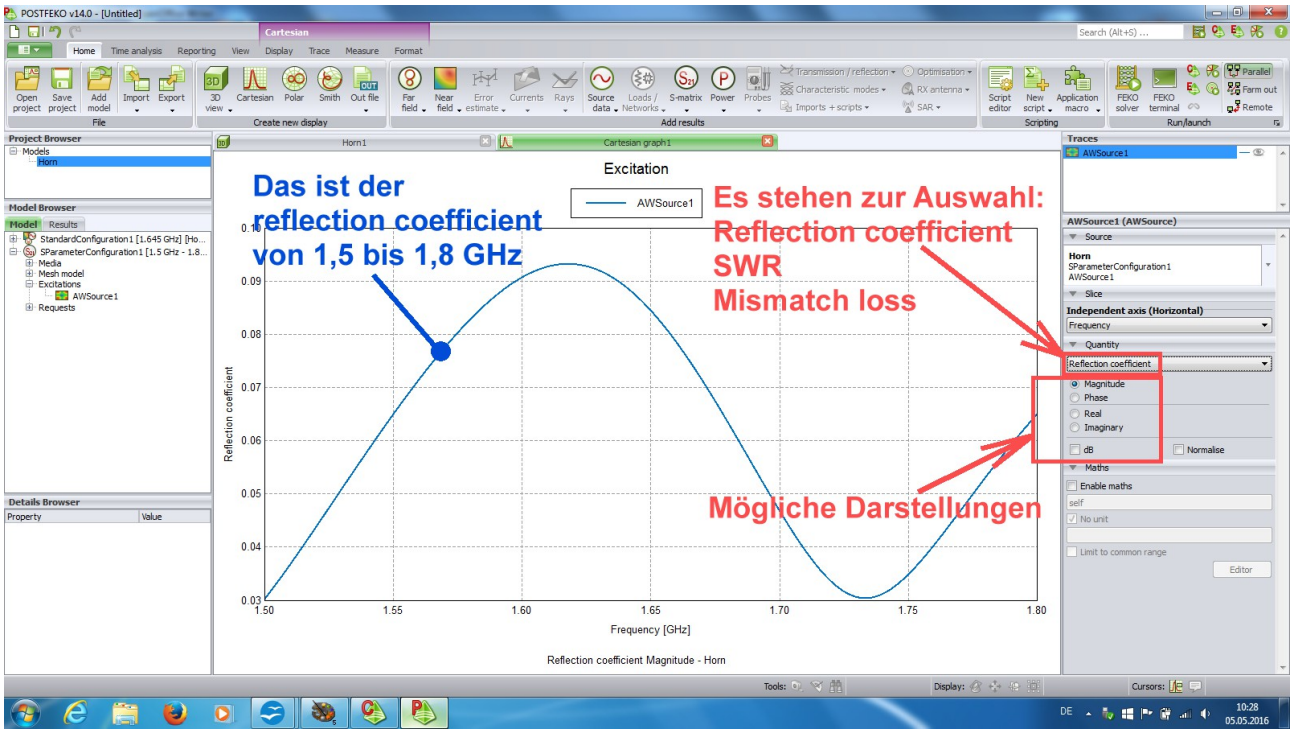
Nun wird die Simulation der rechten **„SparameterConfiguration1“** über den **FEKO solver** gestartet. Dann folgt natürlich **POSTFEKO.**
Nun versorgt die Quelle „**AWSource 1**“ die Antenne, wobei von **1,5 bis 1,8 GHz gesweept** wird (1):





Ein **Smith-Diagramm** wird geöffnet (2) und anschließend auf „**Source data**“ geklickt, um an „**AWSource 1**“ heran zu kommen (3). (**Alternativer Weg: „S-Matrix“ und „Sparameter1“**).
Ein Klick darauf liefert den gewünschten Verlauf der Eingangs-Reflektion S11 (= reflection coefficient) über der Frequenz.

Natürlich kann man sich die Ergebnisse auch in einem **kartesischen Diagramm** ansehen und das Menü am rechten Bildrand liefert die möglichen Optionen.



6. Patchantennen

Dazu sehen wir uns im ersten Teil zunächst das unter „**examples**“ im Alteir-Ordner mitgelieferte Beispiel an. **Im Kapitel 7 steigern wir uns. Wir untersuchen mit FEKO eine von mir gebaute Patchantenne und vergleichen mit den Meßergebnissen. Doch zuerst zum Beispielprojekt.**

6.1. Beispiel „patch-finite“

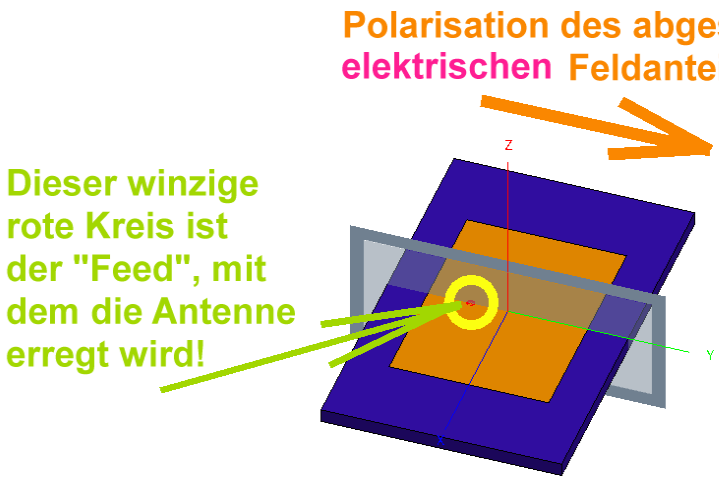
Im „example“ - Ordner suchen wir nach „**GetStarted_models / ´Project3-Patch_antennas“ / Patch2-Finite_substrate“** und kopieren ihn wieder an einen sicheren Ort. Darin finden wir das model-File **„Patch-finite.cfx“** für unsere Simulation. Also starten wir CADFEKO und rufen dieses Modell auf.

Wie gewohnt geht es dann weiter:

a) In der „**StandardConfiguration 1**“ stellen wir uns unter **Global** einen Frequenzbereich von **2,6 bis 3 GHz** ein.

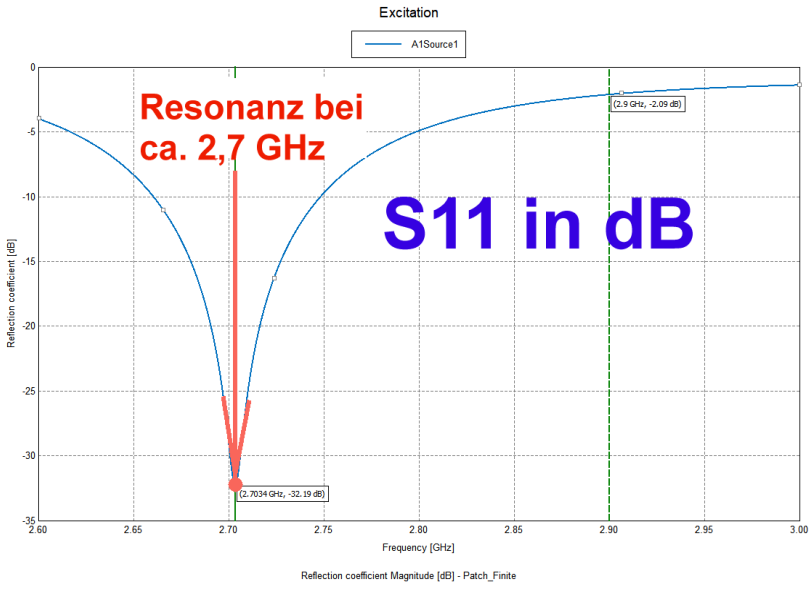
b) In dieser „**Standardconfiguration1**“ aktivieren wir (über **Request**) die **Nearfield- und die 3D-Farfield-Simulation.**

c) Ebenfalls über **Request** sorgen wir für eine **S-Parameter-Simulation mit Abspeicherung der Daten in einem Touchstone-File**. Das ergibt die „StandardConfiguration2“ und dann kann es los gehen.



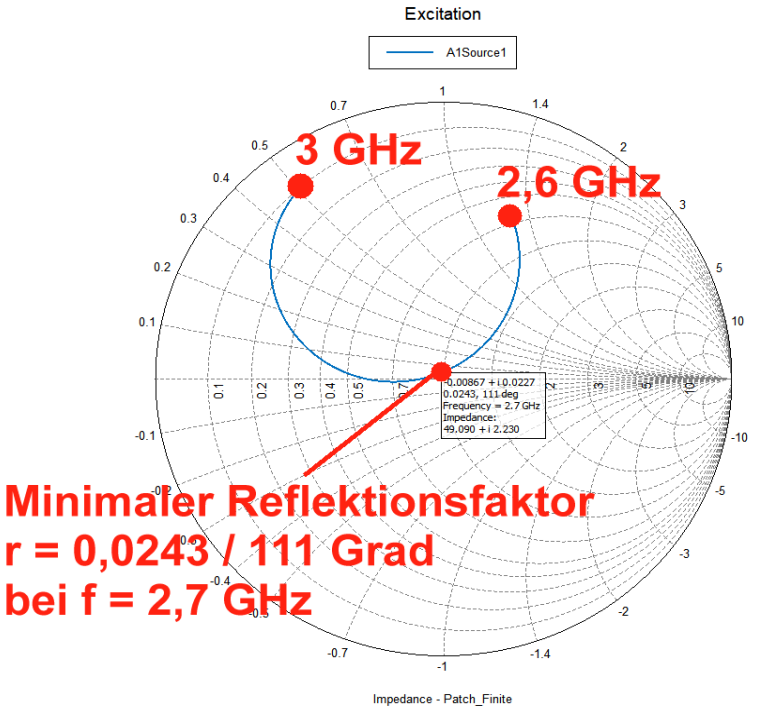
Nach der Simulation (durch den Aufruf von FEKO solver) geht es gleich mit POSTFEKO auf der Seite „Home“ weiter. Das Bild der Patchantenne zoomen (..steckt hinter „View“!) und drehen wir etwas, um auf ein wichtiges Detail hinzuweisen.
Dann schauen wir mal, wo die Resonanz-Frequenz zu finden ist. Also klicken wir auf „**Cartesian**“, öffnen darin „**SparameterConfiguration1**“ und holen uns in „**Source data**“ die Simulationsergebnisse (= **A1source1**).

Wenn man sich nun den „**reflection coefficient in dB**“ zeigen läßt, erkennt man sofort die Resonanzfrequenz von etwa 2,7GHz.



Dort ist der Reflektionsfaktor ein Minimum, die Blindanteile sollten verschwinden und (bei guter Anpassung) messen wir einen realen Eingangs-Widerstand von 50 Ohm.

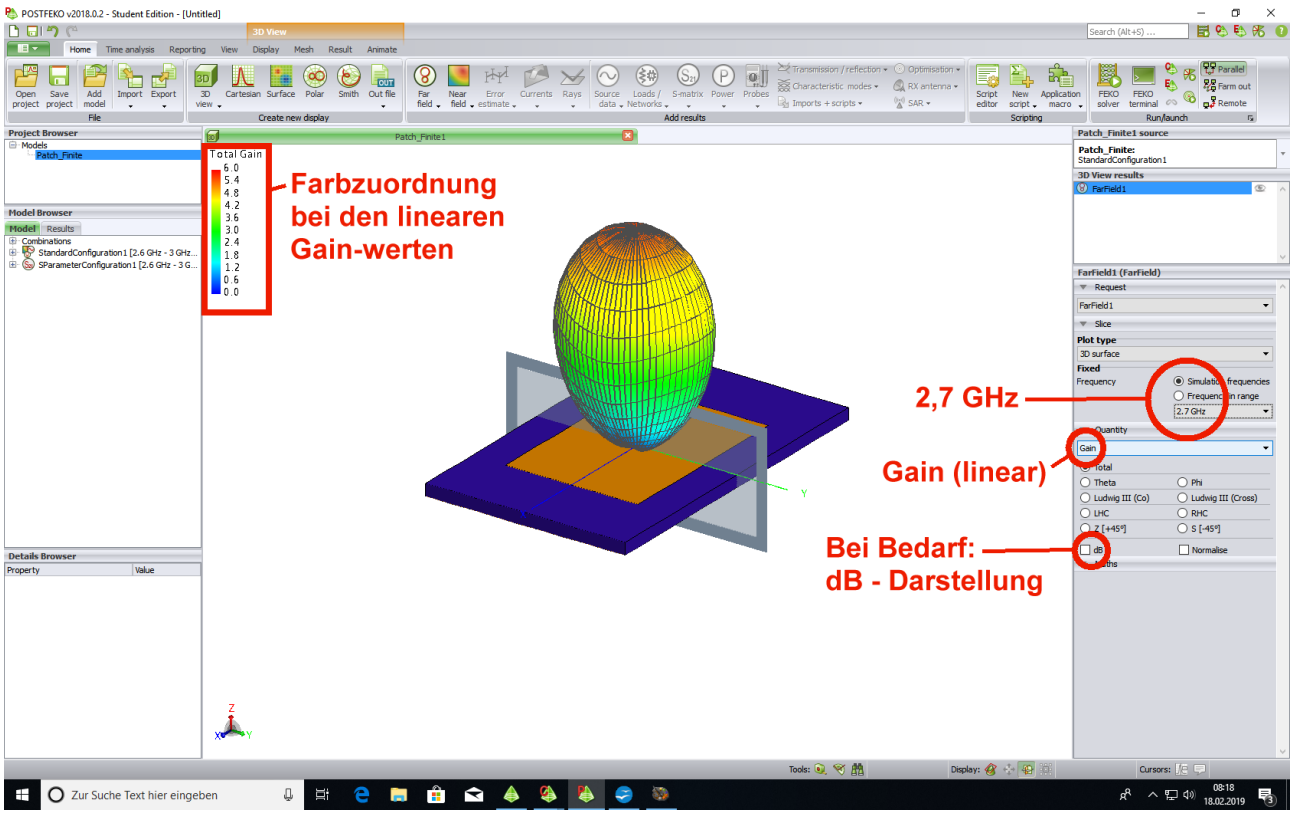
I



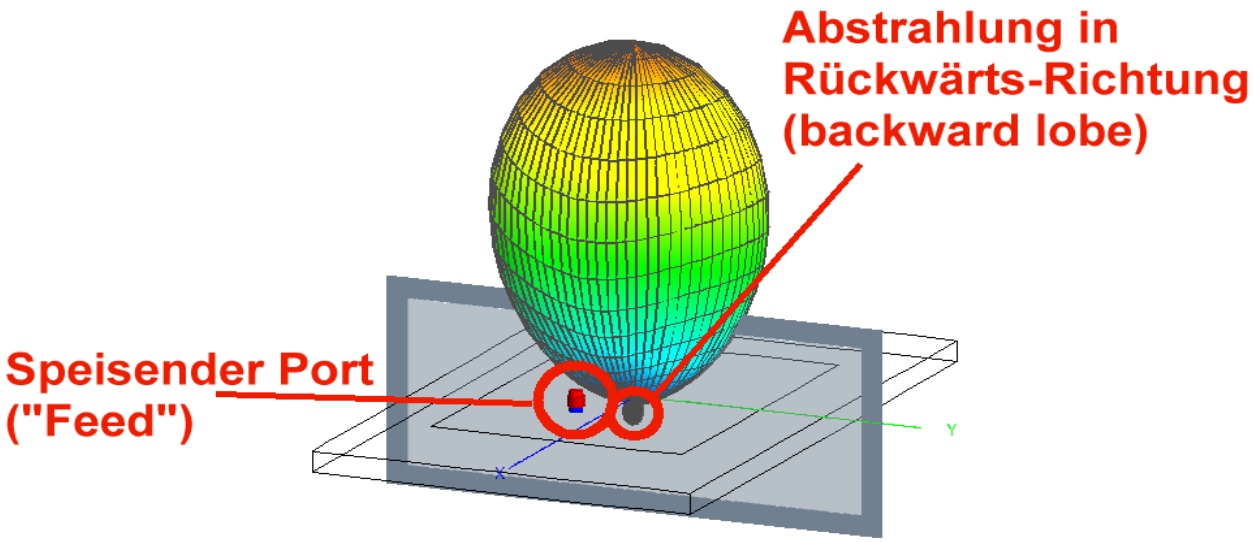
Aber auch der Verlauf der **mpedanz** im Smithchart ist interessant:

Bei dieser Resonanzfrequenz von 2,7 GHz wollen wir uns das **Strahlungsdiagramm (3D-Pattern)** ansehen:

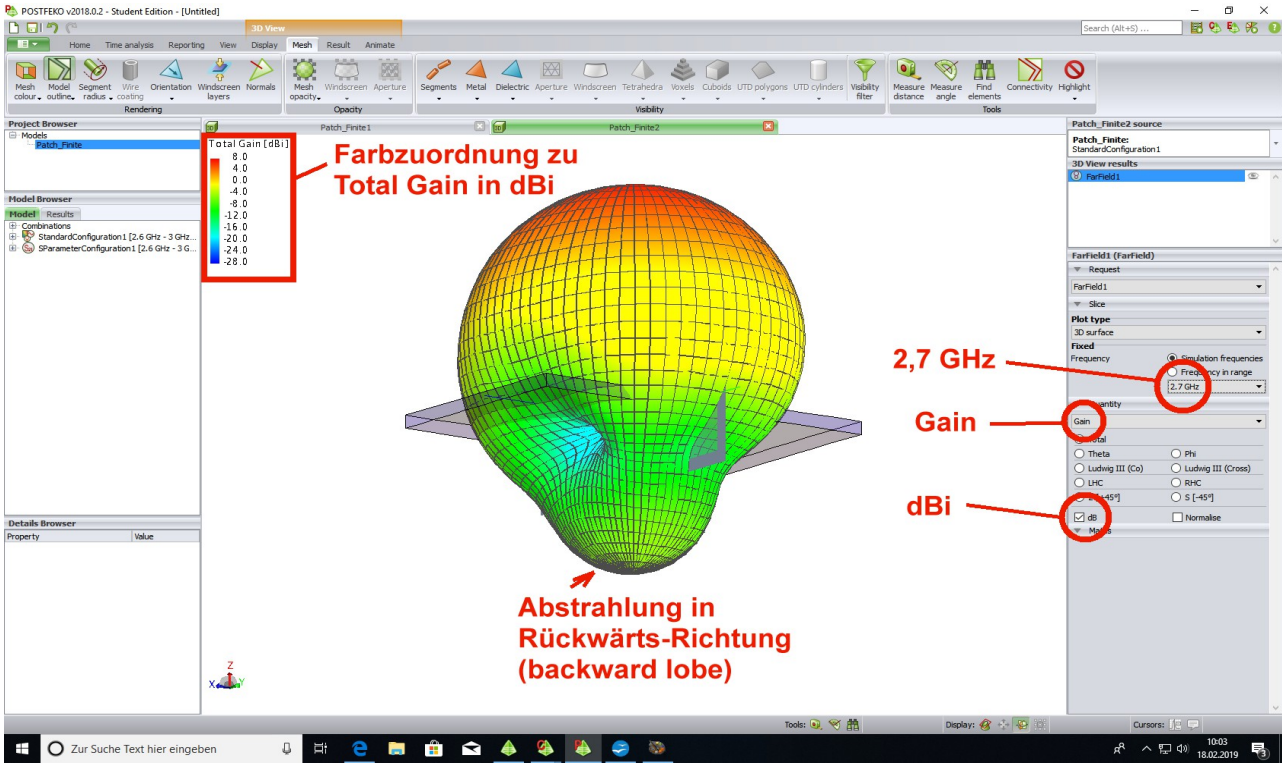
Erst die Taste „**3D View**“ drücken und „**StandardConfiguration 1**“ wählen. Dann auf „**Farfield**“ klicken und mit „**farfield1** abschließen. Zum Schluß die Frequenz auf 2,7 GHz einstellen. So erhält man diese **Gain in linearer Darstellung:**



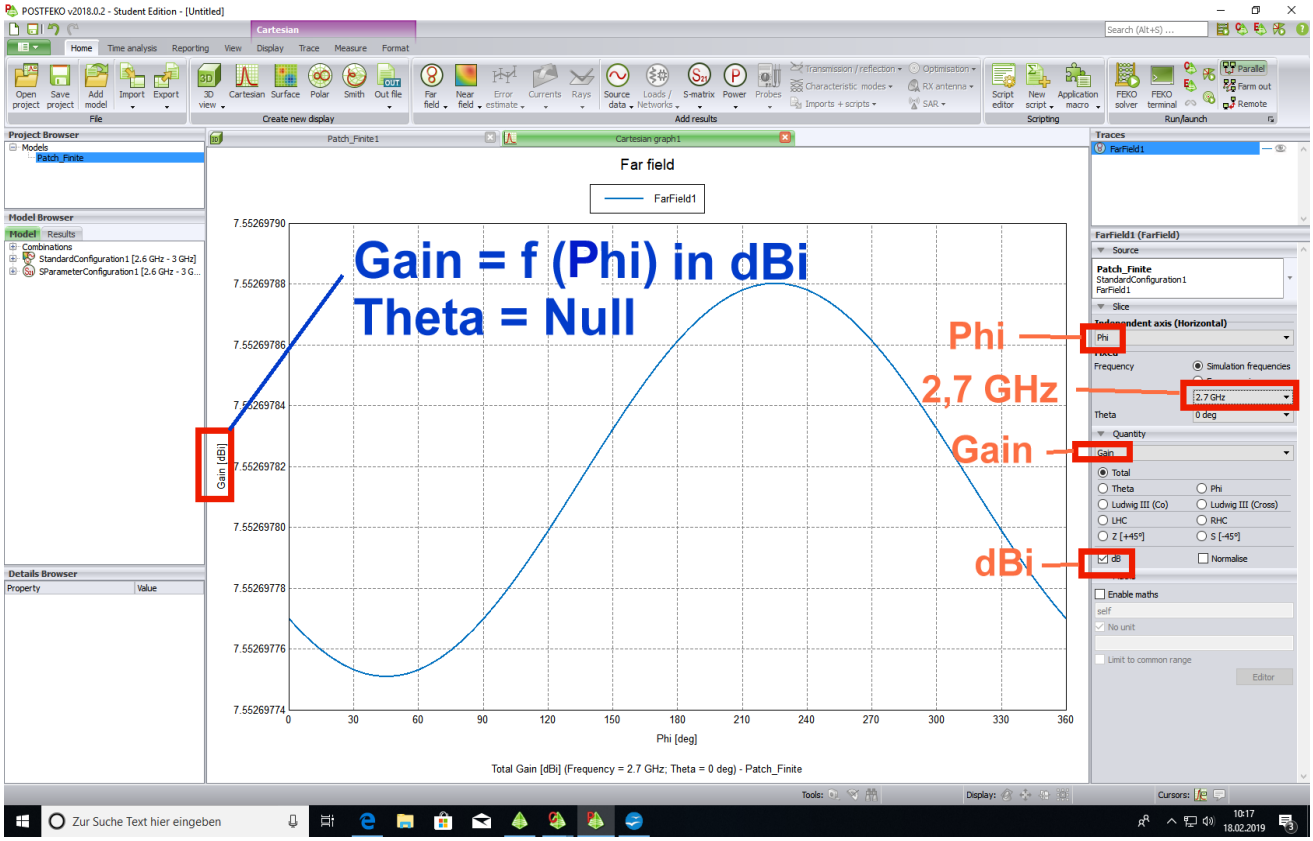
Oben in der Menüleiste gibt es einen Button „**Mesh**“. Dahinter findet man „**mesh opacity**“ (= **Undurchsichtigkeit**). Sie steht zunächst auf 100% und wir stellen sie **zurück auf Null**. Dadurch wird die Patchstruktur fast unsichtbar und man findet plötzlich interessante weitere Details:



Die **Darstellung in dBi** bei einer **opacity von 20%** ist ebenfalls interessant, wenn man die Struktur etwas schwenkt:



Auch die **kartesische Darstellung der „THETA oder PHI - Gain**“ sollte man mal üben:

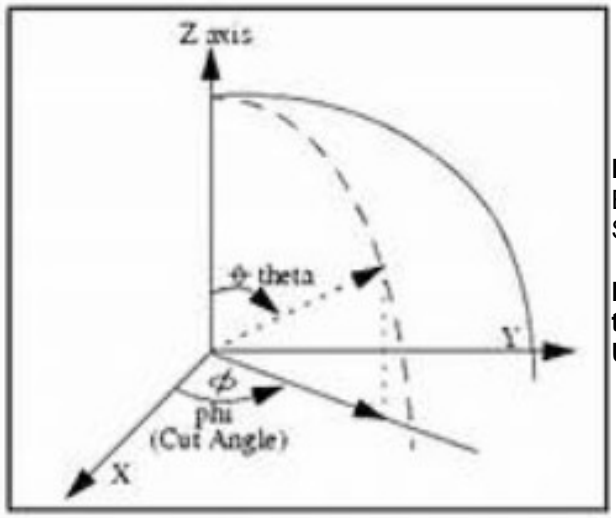


Bei der Frequenz f = 2,7 GHz ist hier der

„Vertikale Drehwinkel THETA“ gleich Null. (...Wir bleiben also in der Patchebene...)

Der horizontale Drehwinkel PHI wird von Null bis 360 Grad geändert.

Dargestellt wird die Gain = f(Phi) in dBi.

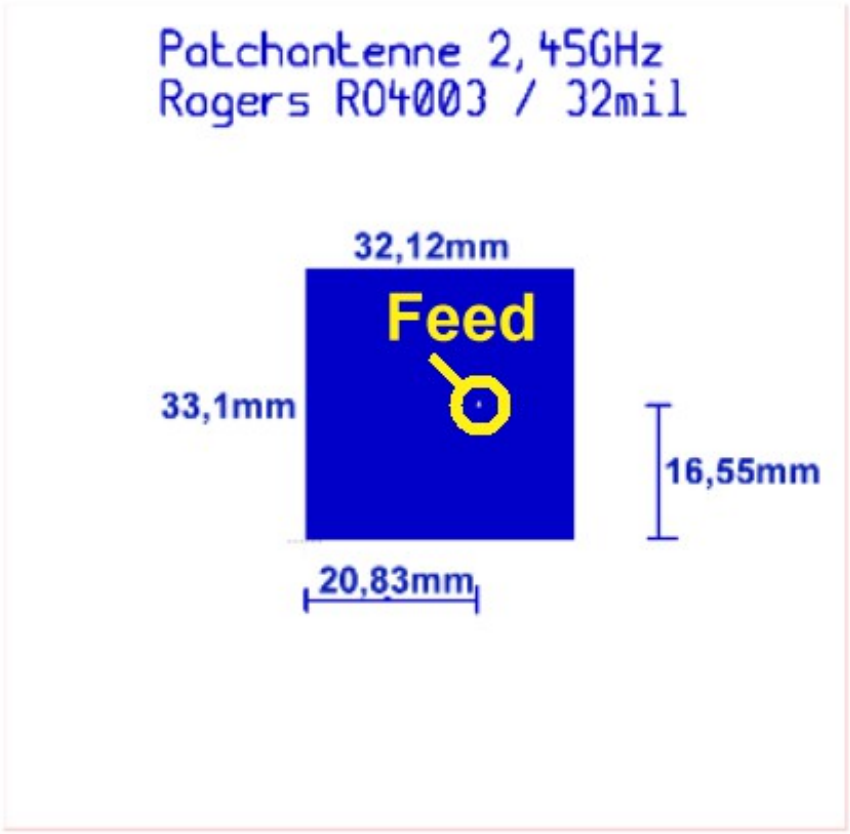


Ein Tipp (...wenn man mit den verschiedenen Antennen-Eigenschaften und -Größen, die man in den Simulationen angeboten bekommt, noch nicht so fit ist):

Eine hervorragende, ausführliche, exakte und trotzdem gut verständliche Zusammenstellung und Übersicht gibt es in

http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/ads2008/emds/ads2008/Radiation_Patterns_and_Antenna_Characteristics.html

7. Untersuchung einer bereits entwickelten, gebauten und ausgemessenen Patchantenne für 2,45 GHz



Diese 2,45 GHz-Antenne habe ich als **„Laborprojekt Nr. 6“ in der Dualen Hochschule in Friedrichshafen im Programm** (...Siehe meine Homepage unter „Vorlesungs- und Projektmanuskripte für die Duale Hochschule“).

Allerdings erfolgte ihr Entwurf als **leerlaufende Microstrip-Leitung** mit der **freien Software „qucsstudio“ in Kombination mit dem EM-Simulator „Sonnet Lite“**.

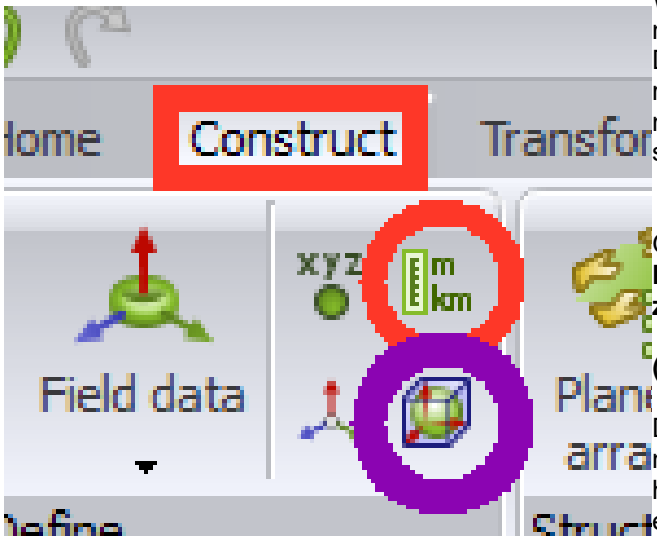
Ein gefertigtes Muster wurde anschließend mit dem Network-Analyzer untersucht und die Ergebnisse von Theorie und Praxis verglichen.
Nun wollen wir sehen, was „FEKO“ dazu meint.

7.1. Die erforderlichen Technischen Daten (als Variablen) für die Simulation

Platinengröße =	**substrate_width =**	**100mm * 100mm**
Patchbreite =	**patch_width =**	**33.1mm**
Patchlänge =	**patch_depth =**	**32.12mm**
Feedpoint-Abstand vom linken Rand = **(Feedpoint liegt auf der Mittellinie)**	**feed_distance =**	**20.83mm**
Radius des Feedpins =	**feed_rad =**	**1.3/2mm**
Platinen-Werkstoff:	**Rogers RO4003C**	
Platinendicke =	**substr_height =**	**0.813mm**
Dielektrizitätskonstante =	**er =**	**3.55**
Verlustfaktor =	**lt**	**0.0021**
Minimalfrequenz =	**fmin =**	**2.3GHz**
Maximalfrequenz =	**fmax =**	**2.6GHz**

7.2. Erstellung des FEKO-Modells

Schritt 1: Maßeinheit und „Geometry Extends“



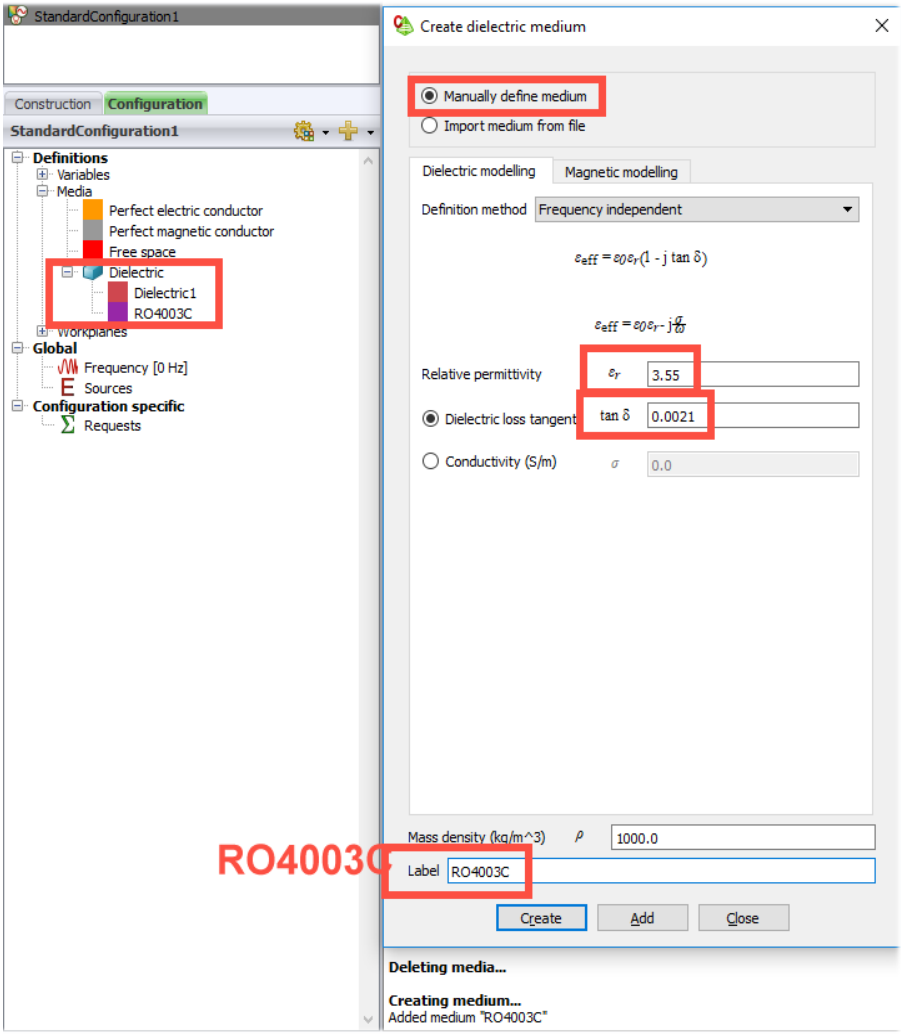
Wir starten erst CADFEKO und anschließend ein neues FEKO_Projekt.
Dann brauchen wir „**Millimeter**“ als Maßeinheit und rufen dazu das „**Construct**“-Menü auf. **Der rote Kreis** markiert den „**Model Unit Icon**“ und dahinter versteckt sich die nötige Umschaltung.

Ganz wichtig bei neuen Projekten ist **der violette Kreis**, denn dahinter verstecken sich die **maximal zulässigen Koordinatenwerte**

(U / V / W) für das Modell.

Da sollte man bei größeren Gebilden unbedingt nachschauen und großzügig nachstellen....sonst handelt man sich eine kryptische Fehlermeldung ein....
Ich habe **500 mm = 5e2mm** bei diesem Fall gewählt.

Schritt 2: Das Dielektrikum



Das geht mit einem **Rechtsklick auf „Media“ im linken „Construct“-Menü los**, denn dadurch öffnet sich „**Add Dielectricum**“.

Wir arbeiten mit **„Rogers RO4003C“** (**er = 3,55 / loss tangent = 0,0021 / Dicke = 32 MIL = 0,813 mm**) und müssen deshalb das rechte Menü korrekt ausfüllen:

a) „**Manually define medium**“ aktivieren

b) „**Frequency independent**“ wählen

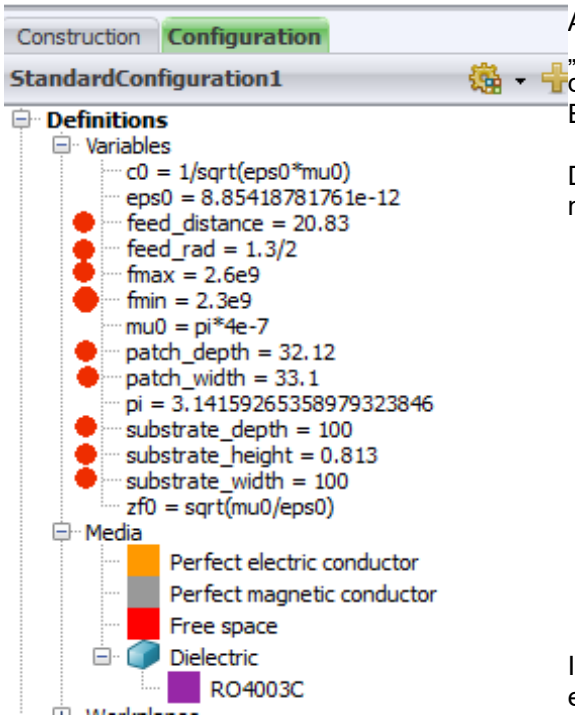
c) **Dielektrizitätskonstante = relative permittivity = 3.55**

d) **Dielectric loss tangent = 0.0021** einstellen

e) **Label = RO4003C** vorsehen

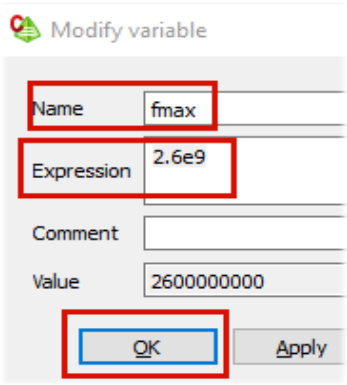
Abgeschlossen wird wieder mit „**Create**“ (...bzw. bei späteren Änderungen mit **OK**) und dann muss links im Media-Menü unser RO4003C auftauchen.

Schritt 3: Eingabe aller Variablen



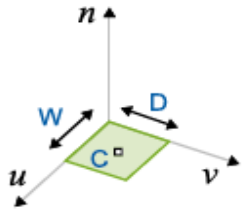
Am linken Bildrand klicken wir (in „**Definitions**“) auf „**Variables**“ und sehen darin, was bereits vom Programm her definiert ist. Ein Rechtsklick auf „**Variables**“ öffnet eine Eingabemaske für neue Variable.

Da können wir nun z. B. mit der maximalen Frequenz „**fmax“** mit 2,6 GHz beginnen und das geht so:



Im linken Bild sind alle neuen erforderlichen Variablen durch einen roten Punkt markiert

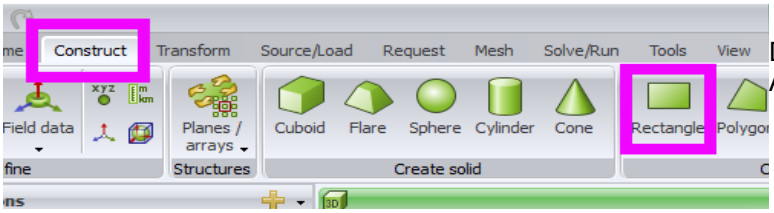
Schritt 4: Der Patch



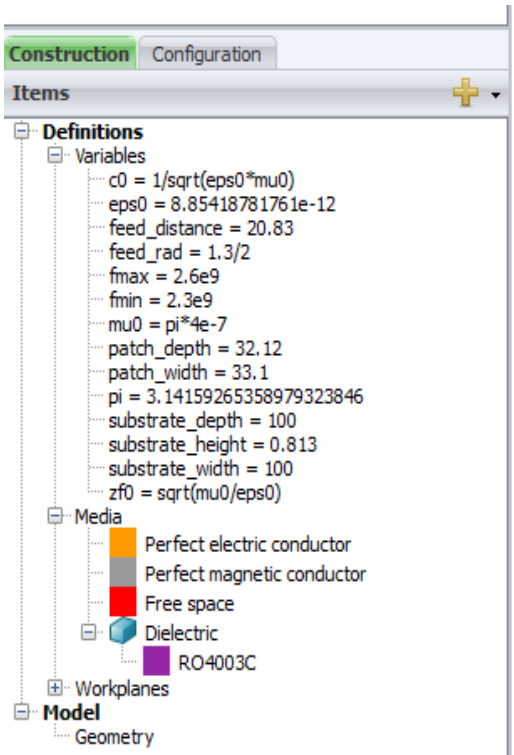
Hinweis:
Nun geht es an die Erstellung des Antennen-Modells mit dem Editor

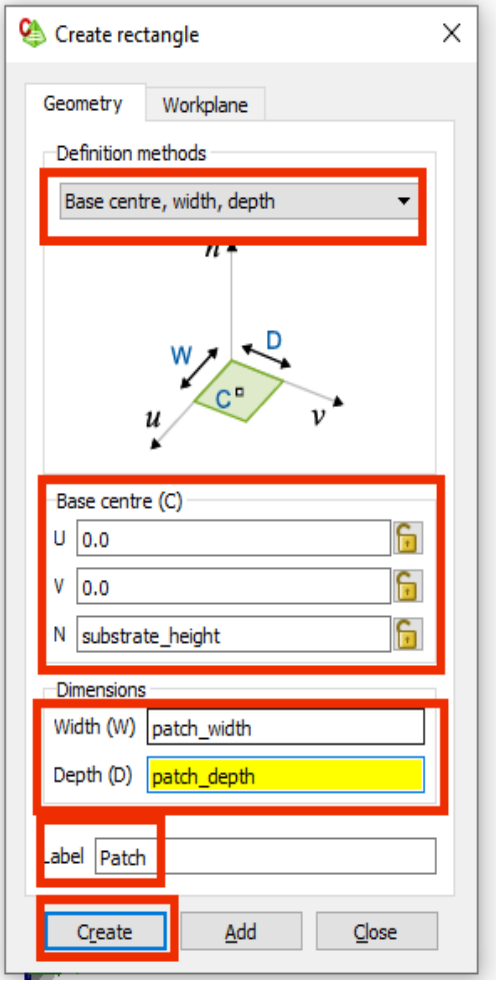
Da sollte man diese kleine Skizze stets im Kopf haben, denn sie ist wichtig. Sie liefert die Zuordnung von Länge und Breite des Patches zu den Diagrammachsen:

Die Patchbreite (W = width) wird über die U-Achse definiert
Die Patchtiefe (D = depth) wird über die V-Achse definiert
Die N-Achse dient zur Vertikal-Verschiebung



Dann gibt es im **Construct**-Menü den Aufruf „**Rectangle**“





Beim Ausfüllen des Menü's müssen wir aufpassen:

a) die „**Definition Method**“ muss auf „**Base centre, width, depth**“ eingestellt werden. **Damit sitzt die Patchmitte genau im Zentrum des Diagramms**

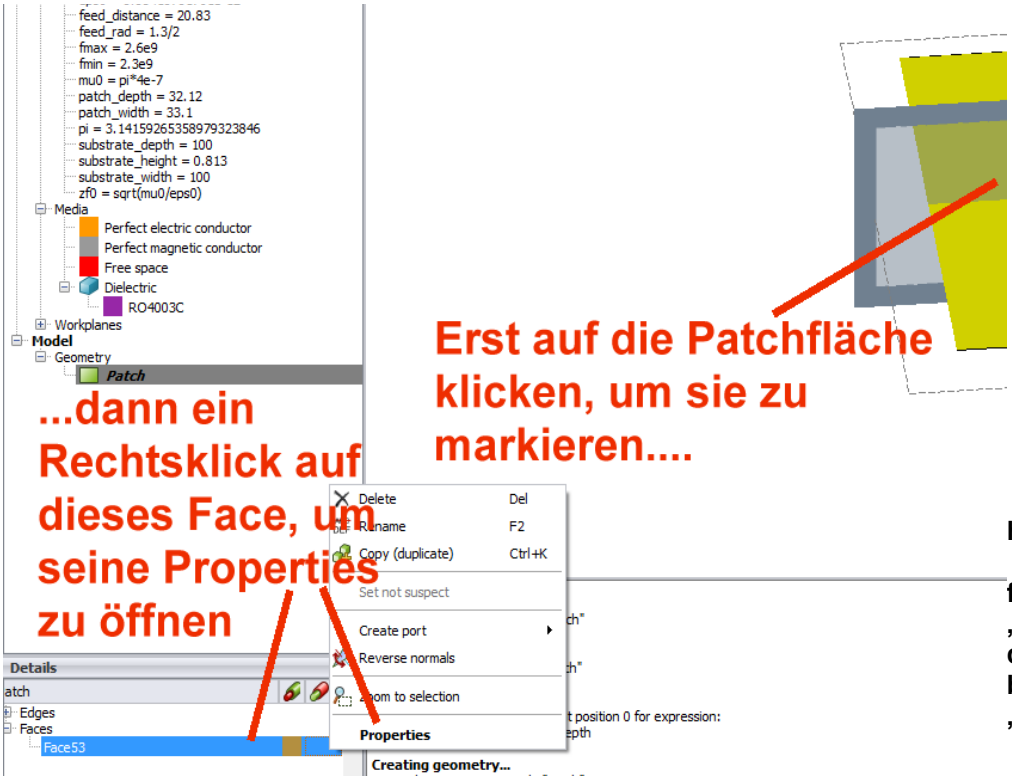
b) Koordinaten des Zentrums:
U und V = Null

N = substrate_height (Patch sitzt auf der Oberseite des Platinen-Substrats

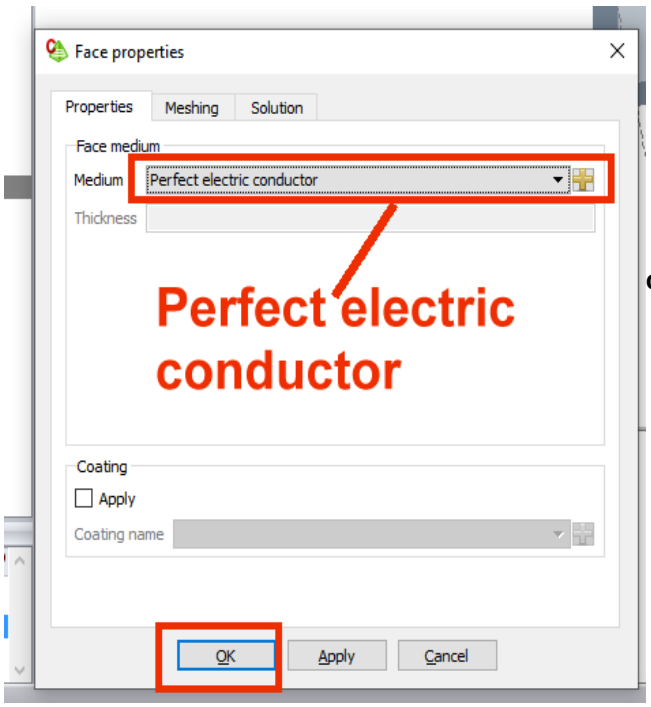
c) Die **Patchbreite wird als patch_width** und die **Patchtiefe als patch_depth** eingetragen

d) Der **Label (= Name)** ist „**Patch**“

Abgeschlossen wird mit „**Create**“.
Dann stellen wir gleich die Patchfläche auf **„perfect electric conductor**“ um und das geht so:



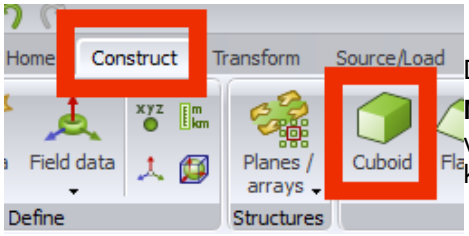
Bitte genau hinsehen:
Ganz unten links finden wir das „Detail“-Menü und darin den Patch als blau leuchtendes „Face“



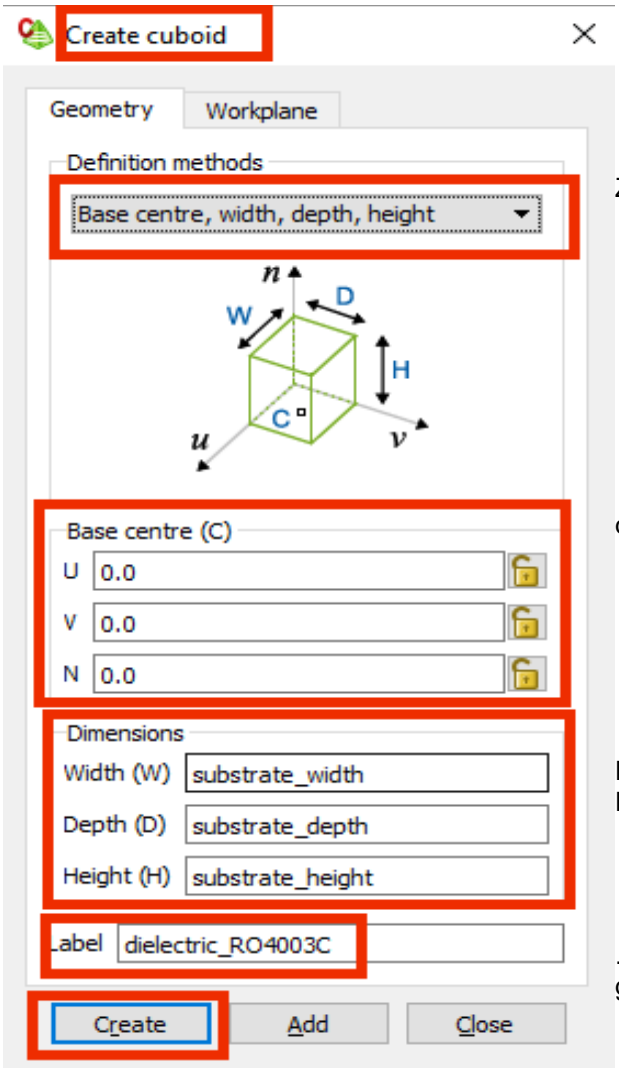
Der Rest ist einfach.
In seinen Properties wählen wir **„perfect electric conductor“**

Bitte merken:
Reine Flächen (wie unser Patch) sind unten links bei „Details“ immer als „Face mit einer laufenden Nummer“ aufgeführt! Sie können markiert werden und dann lassen sich die Properties ansehen oder ändern.

Schritt 5: Der Entwurf der Leiterplatte (= substrate)



Dazu benötigen wir (aus dem **„Construct"-Menü oben in der Menüleiste**) ein **Cuboid.** Es soll ein Quader mit Abmessungen von **100mm * 100mm * 0.813mm** entstehen, den wir jetzt konstruieren müssen



Zuerst wird das Gebilde in der **Mitte zentriert**....

dann folgen die **Koordinaten des Zentrums**

Es werden die **Abmessungen der Platine** sowie die Höhe „über Null" eingegeben...

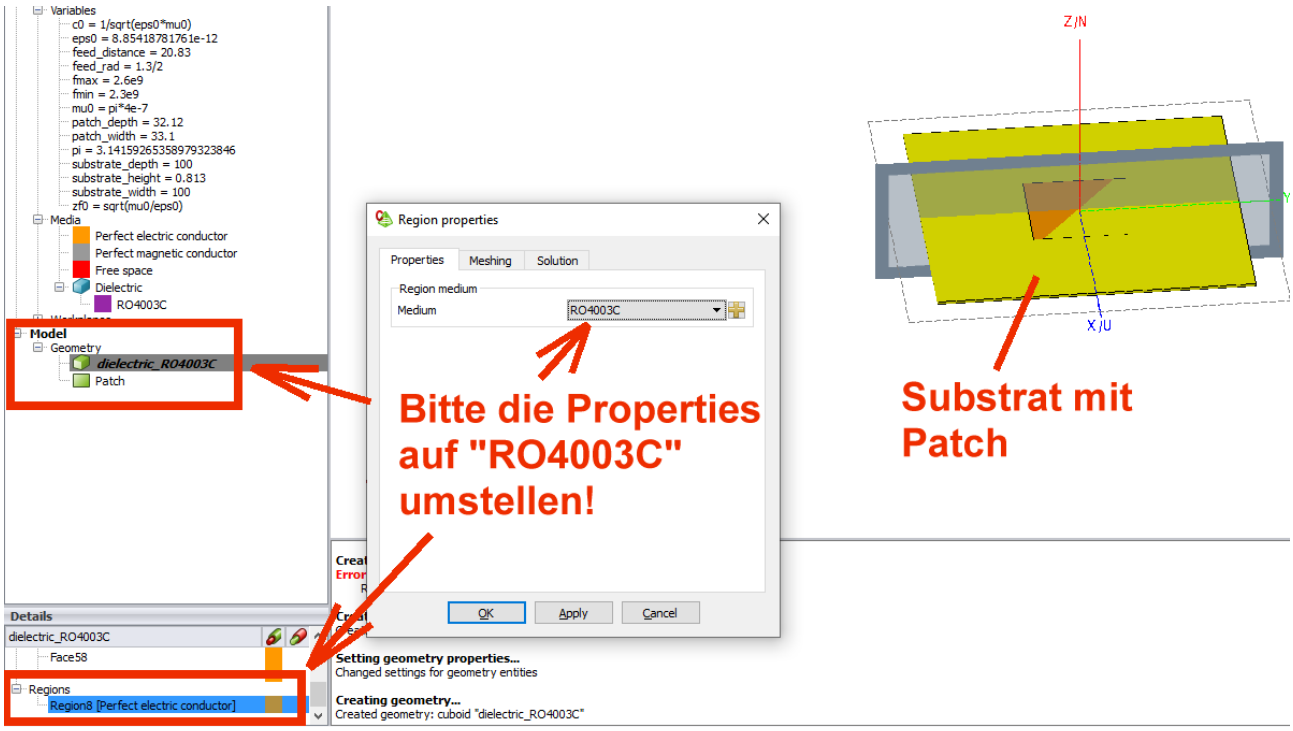
...und endlich wird die Leiterplatte „**dielectric_RO4003C**" getauft.

Nach **„create"** tut sich Einiges auf dem Bildschirm und gibt es wieder ewas zu tun:

1) Unter „Model" und „Geometry" taucht nun unser cuboid mit seinem neuen Namen „dielectric_RO4003C" auf

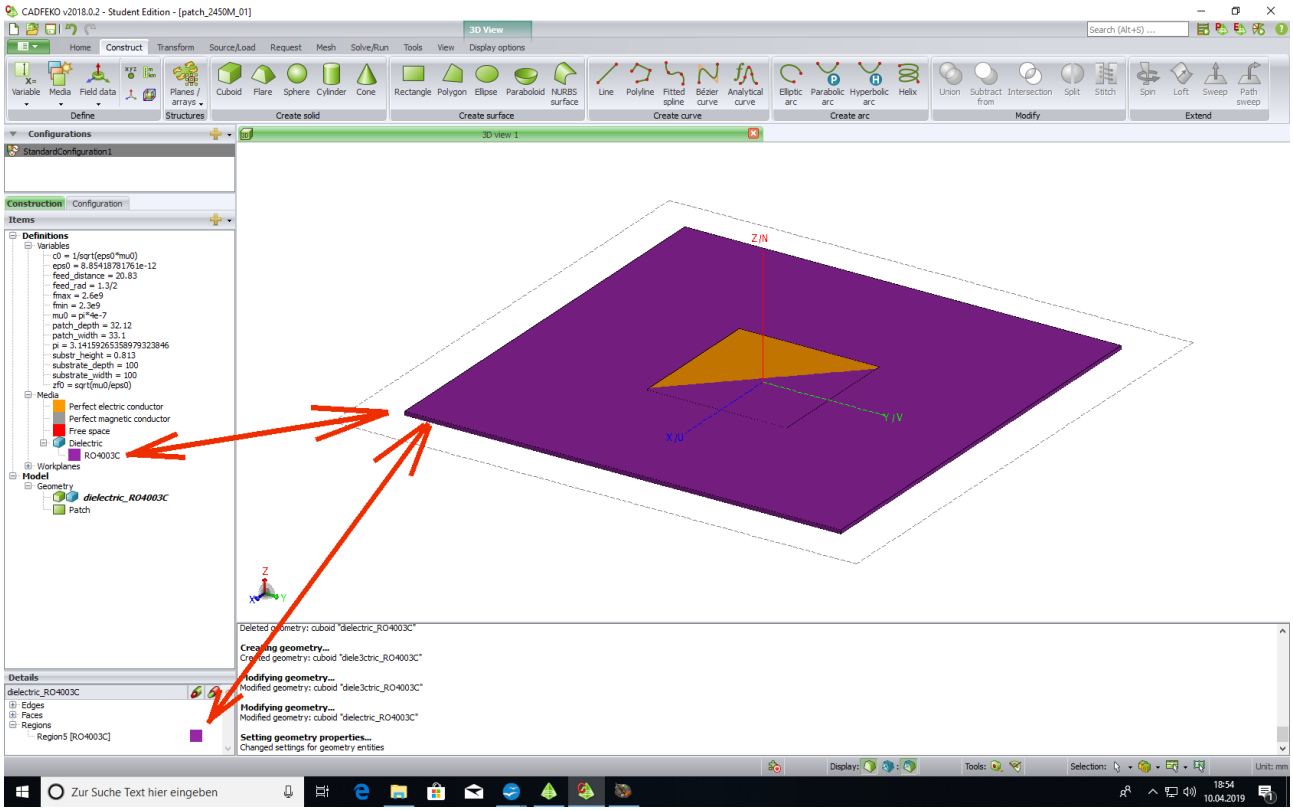
2) Auf der Editorfläche wurde dieses Dielektrikum zum Patch hinzugefügt

3) Ganz unten links beim Bildschirm finden wir wieder das Menü „Details".
Darin öffnen wir „Regions" und klicken mit Rechts auf die aufgeführte Region. Dadurch öffnet sich ihr Property Menü und wir können auf unser Substrat (RO4003C) umstellen – der Eintrag „perfect electric conductor" taugt nicht als Dielektrikum....!

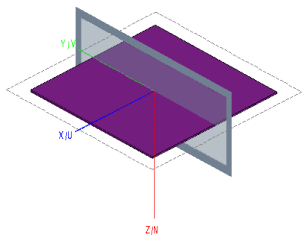


Hinweis:
Im Detail-Menü (links unten) wird die Trägerplatine nun als „Region...“ aufgeführt. Wir markieren sie, öffnen die Properties und schalten auf den Werkstoff „RO400C“ um.

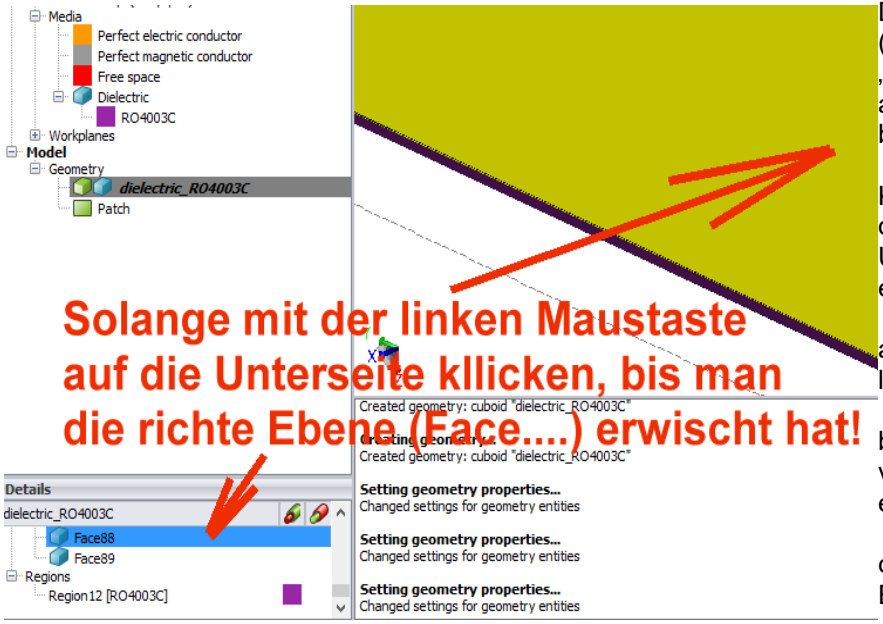
Wenn man dann auf eine freie Stelle des Editor-Bildschirms mit Links klickt, werden alle Markierungen aufgehoben und wir finden überall dieselbe Farb-Zuweisung für RO4003C:



Schritt 6: Die Erzeugung der Massefläche auf der Platinen-Unterseite



Zuerst **drehen wir** (durch Ziehen mit der Maus) die Platine so, dass wir direkt auf die **Unterseite schauen können**. Im unmarkierten Zustand muss nun alles in der Farbe des Dielektrkums (RO4003C) leuchten. Hier ist es violett.



Dann zoomt man sich das Gebilde (..die Funktionen findet man hinter „View“, dort ganz links), damit man auch die Schmalseiten der Platine beobachten kann.

Klickt man nun nacheinander mit der linken Maustaste auf die Unterseite der Platine, dann gibt es eine Einstellung, bei der

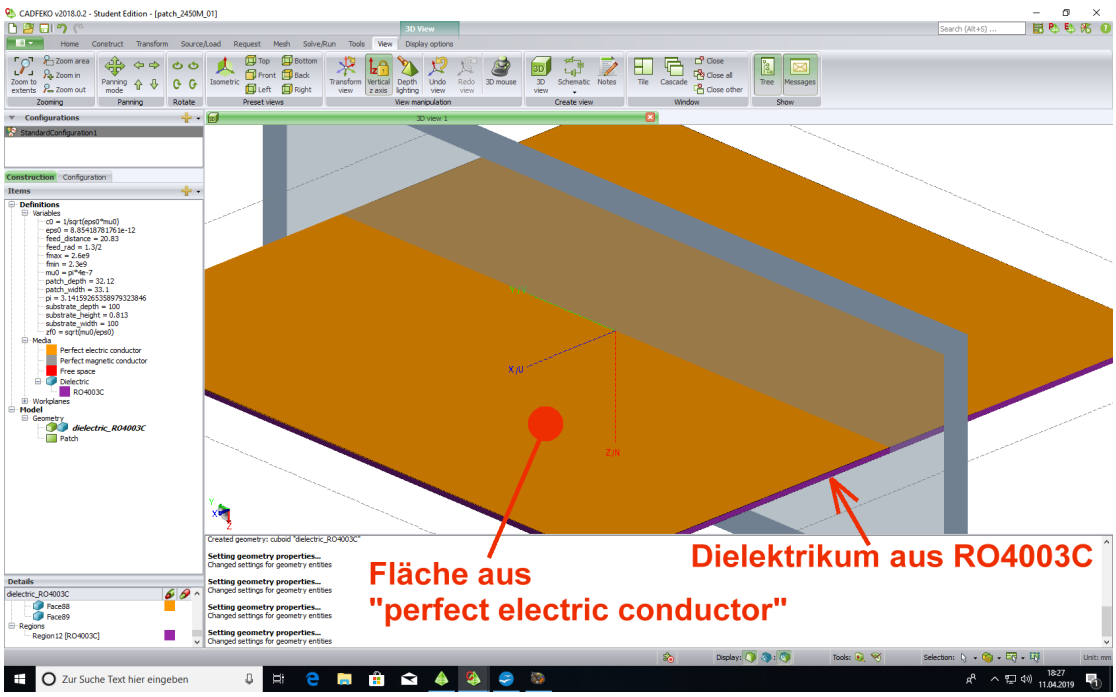
a) die Platinen-Unterseite gelb leuchtet,

b) die Schmalseiten weiterhin in violett (= Rogers RO4003C) erstrahlen und

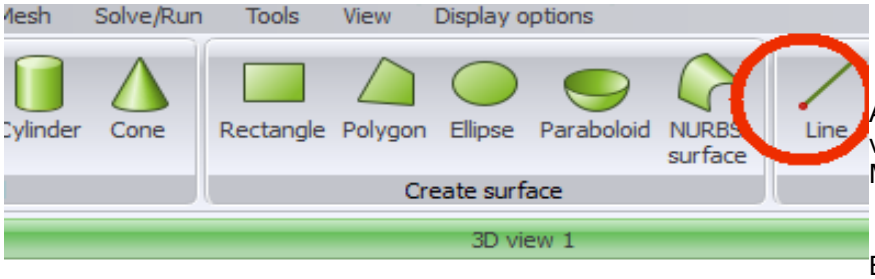
c) im Detail-Menü die richtige Ebene (= Face....) blau leuchtet.

Darauf klickt man nun „mit Rechts“ und öffnet das Property-Menü, um darin auf „perfect electric conductor“ umzustellen.

Klickt man jetzt auf eine freie Editorfläche, dann läßt sich der Erfolg kontrollieren:

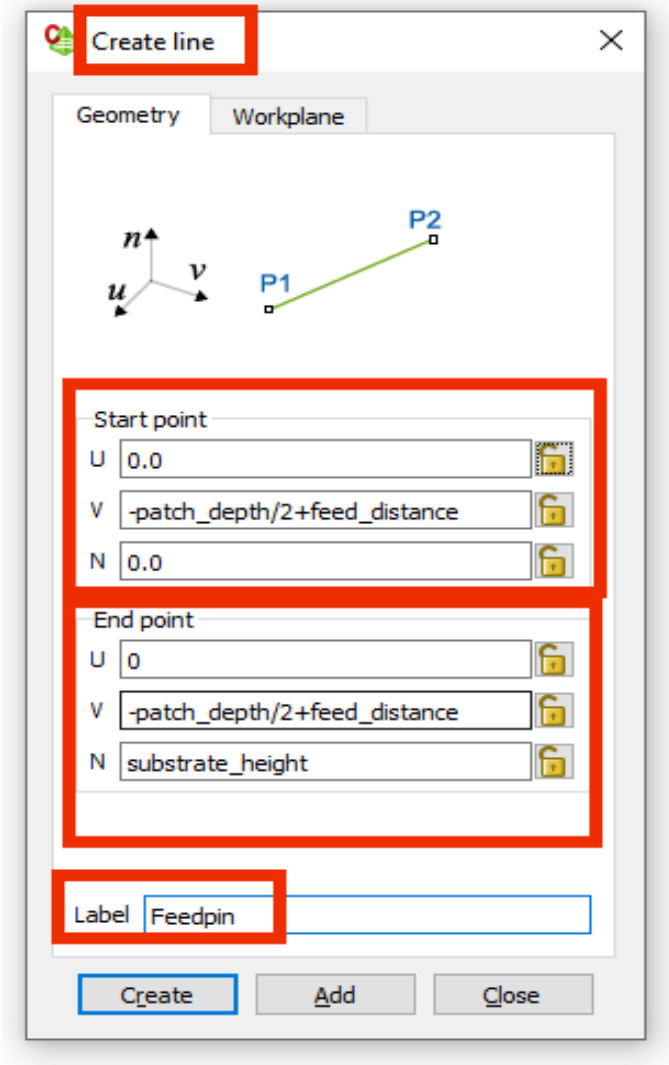


Schritt 7: Der Feedpin



Auch kein Problem: Dazu verwenden wir „**Line**“ im Construct Menü.d

Bei der Eingabe von Start- und Endpunkt geht es allerdings etwas trickreich zu:



a)
Der Feepoint muss **genau auf der Mittellinie (mit U = Null) liegen**.

b)
Zur Eingabe des V-Wertes beim Startpoint müssen wir gedanklich bis zur

hinteren Kante des Patches (also bis -patch_depth / 2) zurückgehen

und von dort aus wieder um

„feed_distance = 20.83mm“ nach vorne

c)
Der Startpunkt liegt auf der **Ebene des Ursprungs** (= origin) mit der **Höhe N = Null**

Beim **Endpunkt** haben wir dieselben U – und V – Koordinaten. Aber da er mitten im Patch liegen soll**, müssen wir die Substrathöhe (N = substrate_height) eintragen**

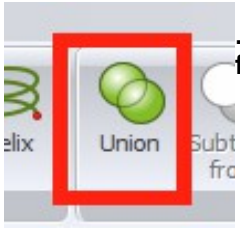
Als Label verwenden wir „**Feedpin**“

Schritt 8: Verbindung aller Teile

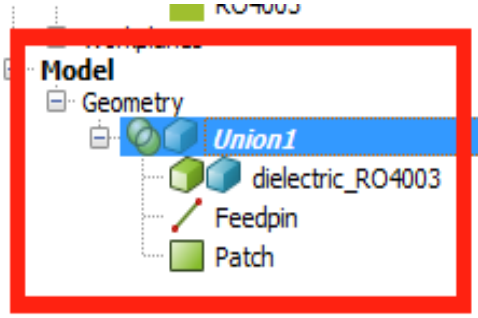
Jetzt kommt die wichtigste Sache:

Ground Plane, Dielektrikum, Patch und Feedpin müssen jetzt zu einer Einheit („union) zusammengefasst werden!

Dazu stellt man den Cursor bei „**Model / Geometry**“ erst auf „**dielectric_RO4003C**“ und tippt anschließend **<Control> + <a>** ein, um **alle drei Zeilen zu markieren**....

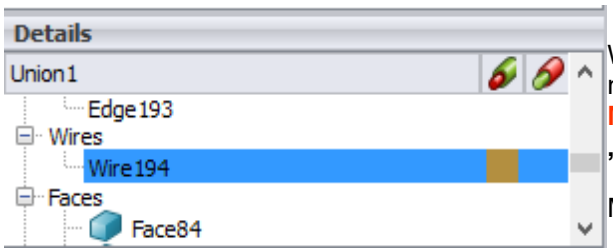


...dann reicht ein Klick auf „Union“, um beide Teile zu einer Platine zusammen zu fassen.



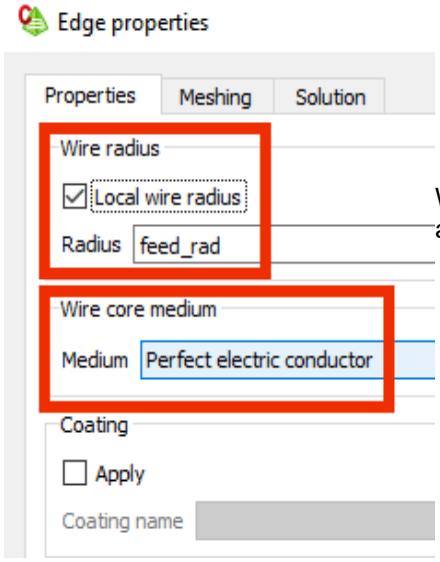
Bitte püfen:
Das Gebilde muss nun „Union1“ heißen und muss unter „**Model / Geometry**“ so aussehen:

Schritt 9: Der speisende Port wird angebracht

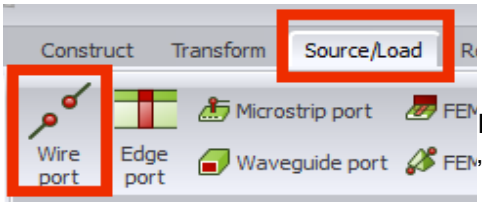


Wir klicken zunächst auf unsere Struktur, um sie zu markieren. **Dann suchen wir links unten im „Detail-Menü“ nach unserem Feedpin** – er wird dort unter **„Union1“ und „Wires“** verwaltet.

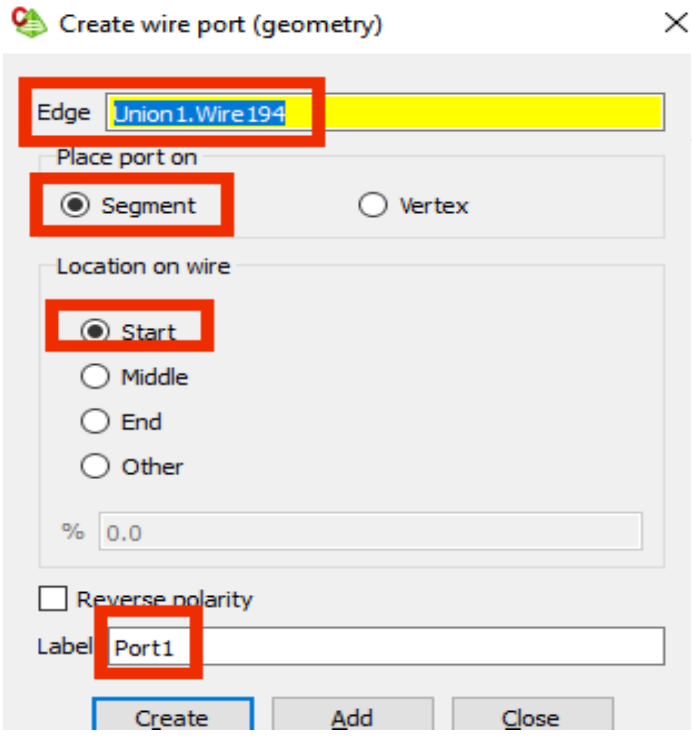
Mit einem Rechtsklick öffnen wir sein Property-Menü.



Wir müssen darin den **Wire - Radius** sowie den Wire - **Werkstoff** angeben.



Ist das erledigt, dann öffnen wir nacheinander erst **„Source / Load“** und anschließend **„Wire port“**



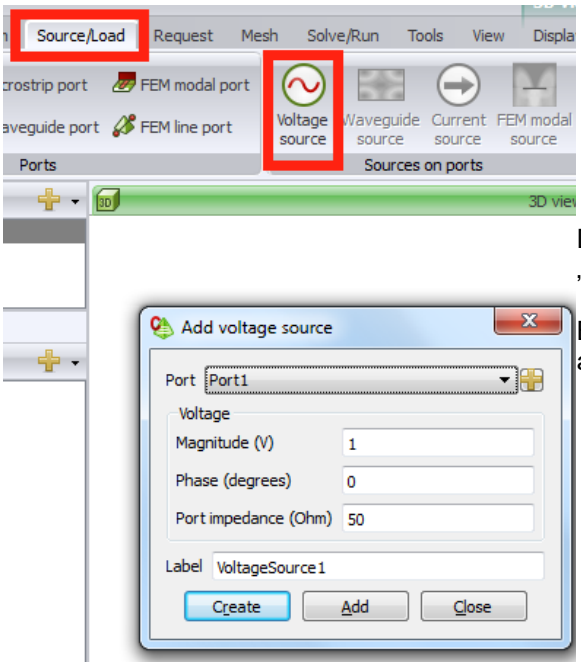
Zuerst prüfen wir, ob wir wirklich unseren Feedpin als Wire erwischt haben.

Der speisende Port wird an ein Segment angeschlossen..

..und das ist der Startpunkt des Feedpins

Der Port wird unter dem Namen „Port1“ verwaltet. Mit „Create“ wird abgeschlossen.

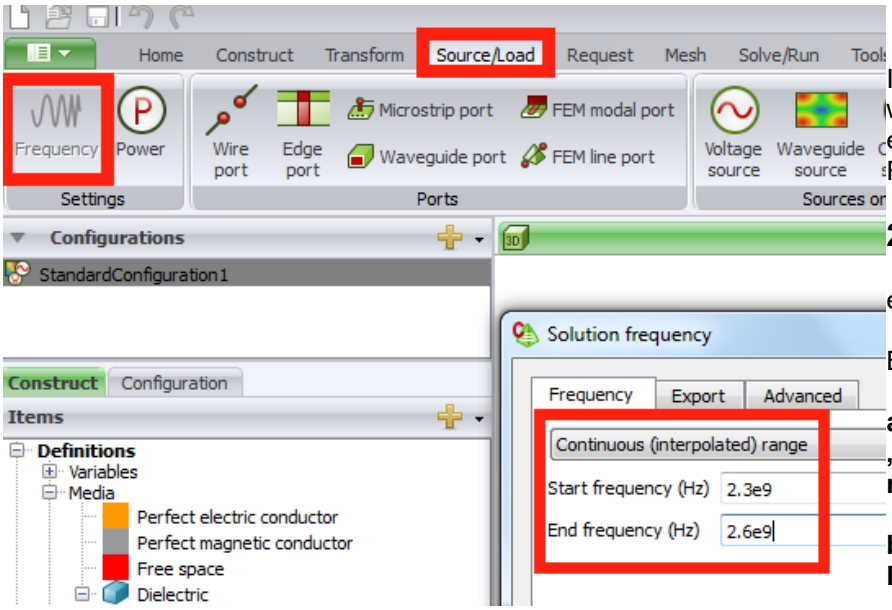
Schritt 10: Eine Spannungsquelle für den Feedpin



Dazu dient das Menü „**Voltage Source**“ unter „Source / Load“.

Bitte die nebenstehenden Eintragungen prüfen und einfach alles übernehmen.

Schritt 11: Der gesweepte Frequenzbereich



Im Menü „**Source / Load**“ öffnen wir **„Frequency“** und stellen einen gesweepten Frequenzbereich von

2,3 bis 2,6 GHz

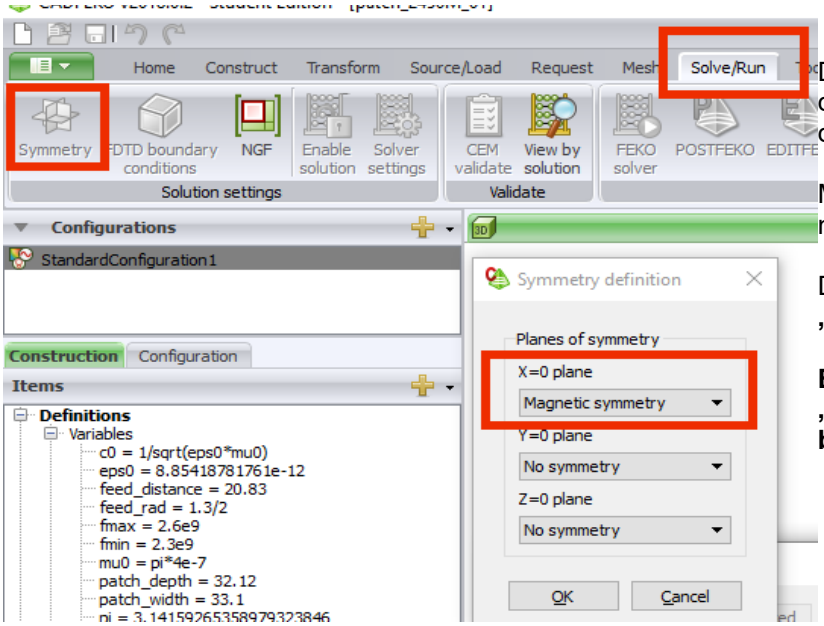
ein.

Bitte beachten:

a) wir wählen einen „Continuous (interpolated) range“ und

b) müssen die Frequenz in Hertz eingeben

Schritt 12: Ausnutzung der Symmetrie



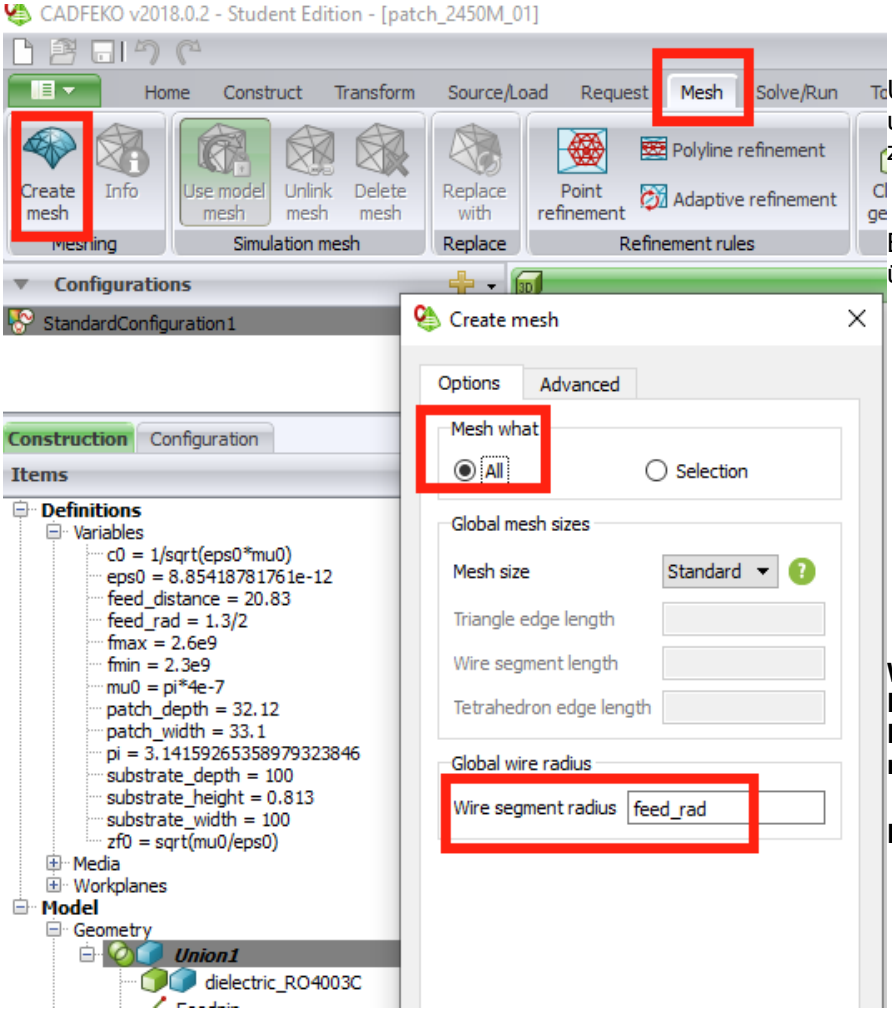
Das spart Speicheplatz und Rechenzeit, da nur eine Patchhälfte berechnet und dann gespiegelt wird.

Muss man nicht machen, ist aber nützlich.

Der Aufruf läuft über **„Solve / Run“ und „Symmetry**

Bei der X=0 -Plane schalten wir „Magnetic symmetry“ ein und bestätigen mit OK

Schritt 13: Mesh the model (= Zerlegung der Struktur in kleine Flächenstücke)



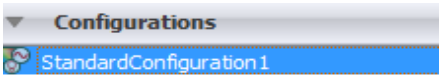
Über „**Mesh**“ in der Menüleiste und „**Create Mesh**“ kommen wir zu diesem Menü.

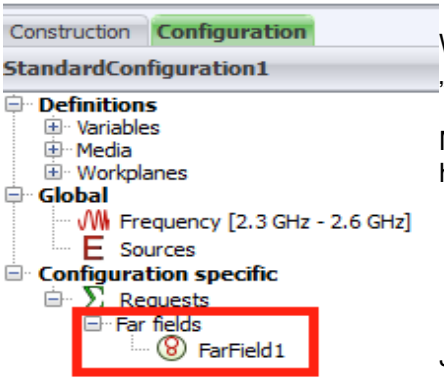
Bitte die nötigen Eintragungen übernehmen!

Wichtig:
Hier muss der Radius des Feedpins als „Wire segment radius“ angegeben werden.

Er lautet „feed_rad“

Schritt 14: Wir wollen das Fernfeld und die Eingangs-Eigenschaften sehen

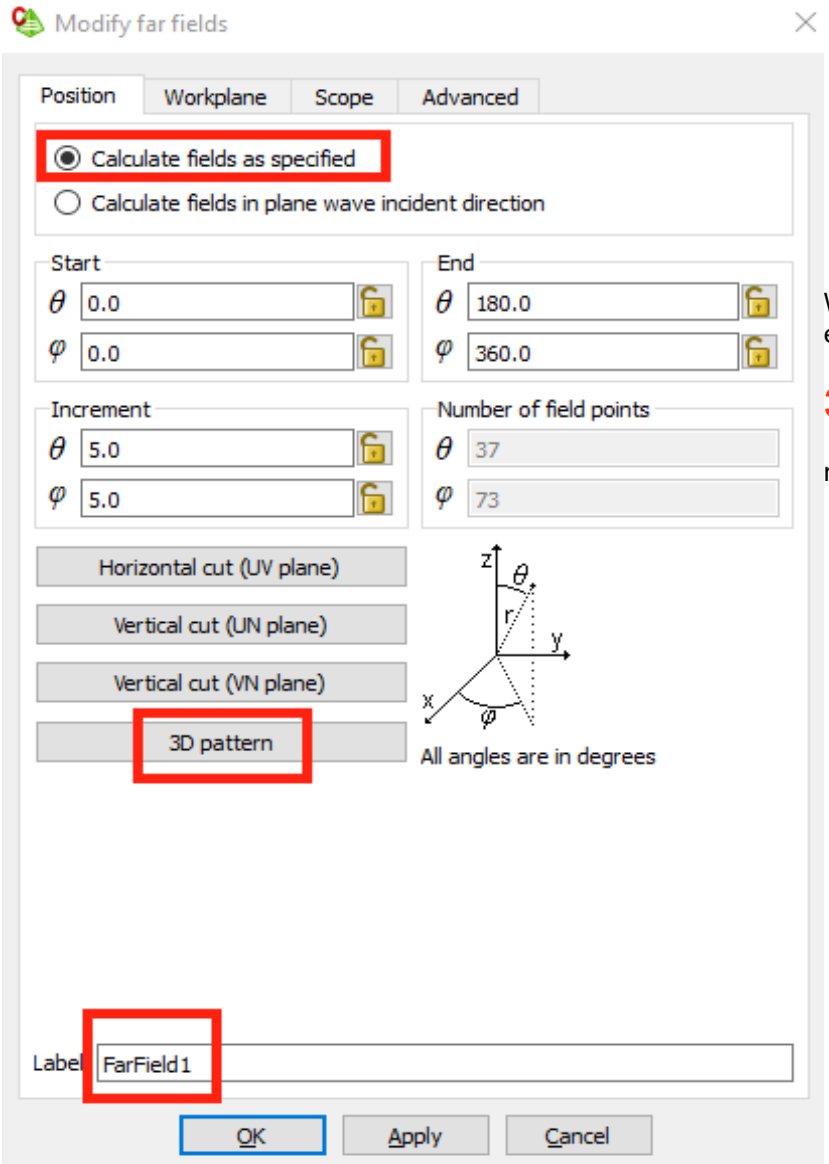




Wir klicken auf „**Solve / Run“** und dann (links im Bild) auf „**Configuration**“

Mit einem Rechtsklick auf ***Request*** kommen wir an das Auswahlmenü heran. Darin wird „**farfield**“ gewählt.

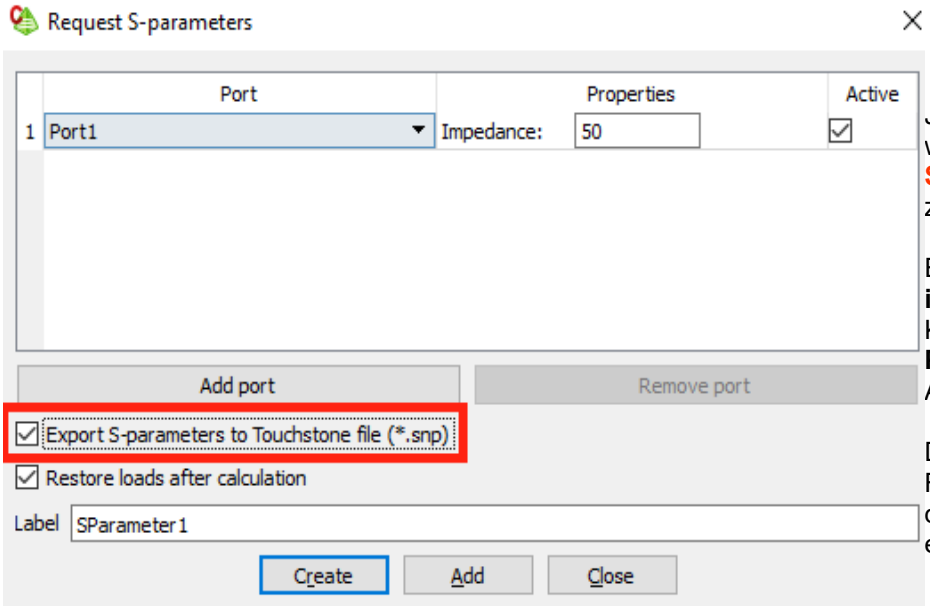
Jetzt müssen wir **„FarField1“ markieren und die Properties aufrufen**



Wir prüfen die Einstellungen und dürfen einen **Klick auf**

3D pattern

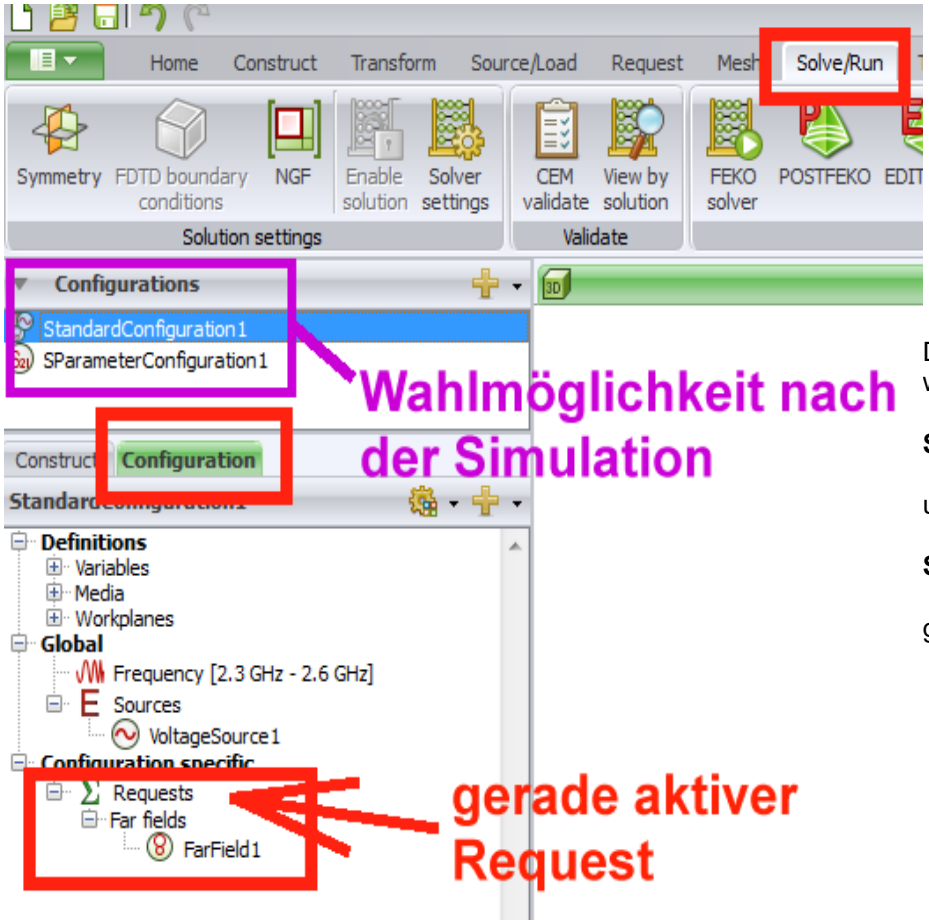
nicht vergessen.



Jetzt wird das Request-Spiel wiederholt, um die **S Parameter-Berechnung** zu aktivieren:

Ein Rechtsklick auf „**Request“ ist nötig,** gefolgt von einem Klick auf „**Multiport S-Parameter“** in der Auswahlliste.

Dann den berühmten Rechtsklick auf die blaue Zeile, der Aufruf der Properties und ein Häkchen für den Export.



Diese zwei Anforderungen werden jetzt automatisch als

StandardConfiguration1

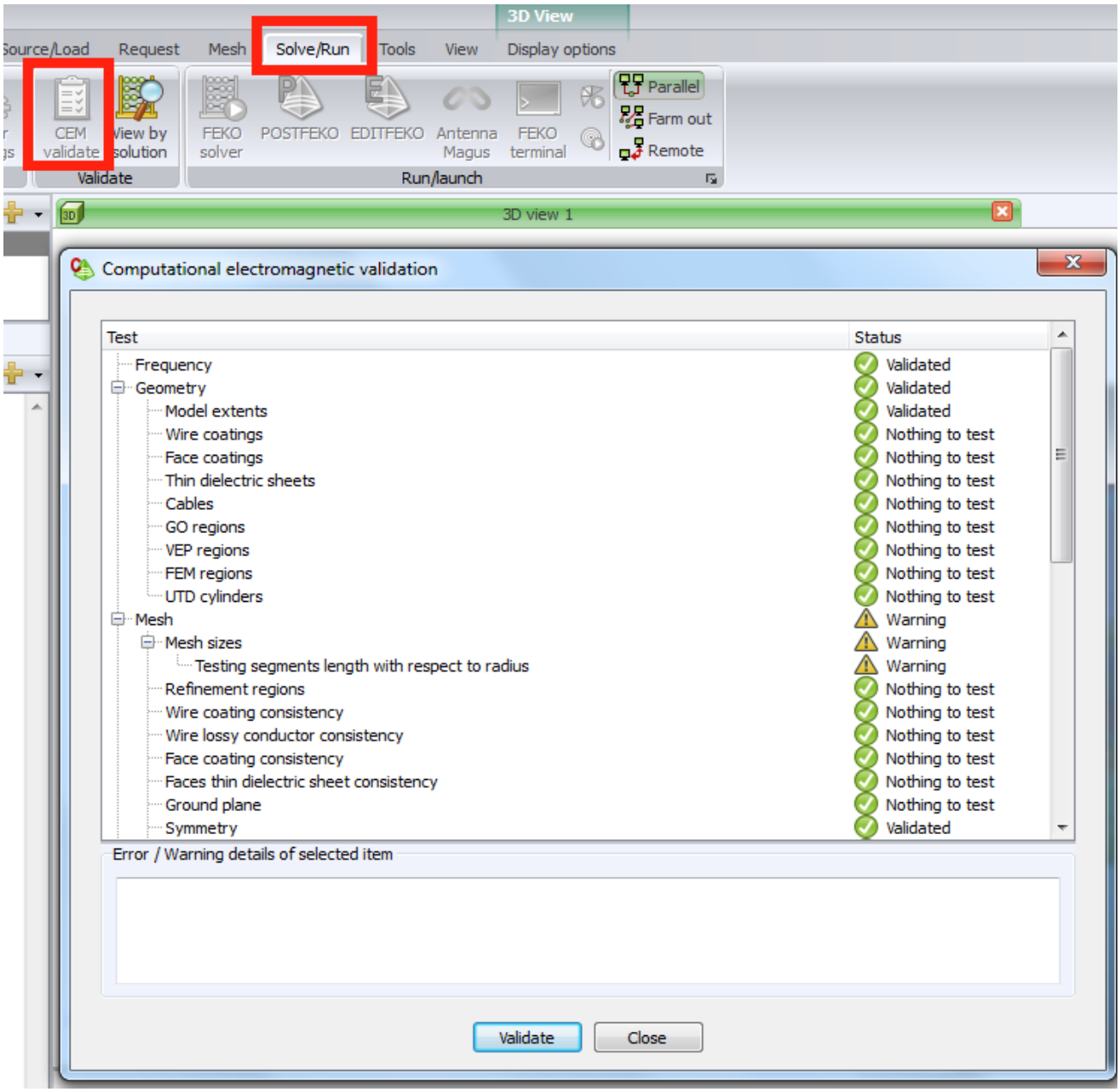
und

S-ParameterConfiguration1

gespeichert und angeboten

Schritt 15: Die Schlusskontrolle mit „CEM Validate“

Kein Problem, denn mit dem Klick auf **„CEM Validate**“ wird die Schlussprüfung gestartet.



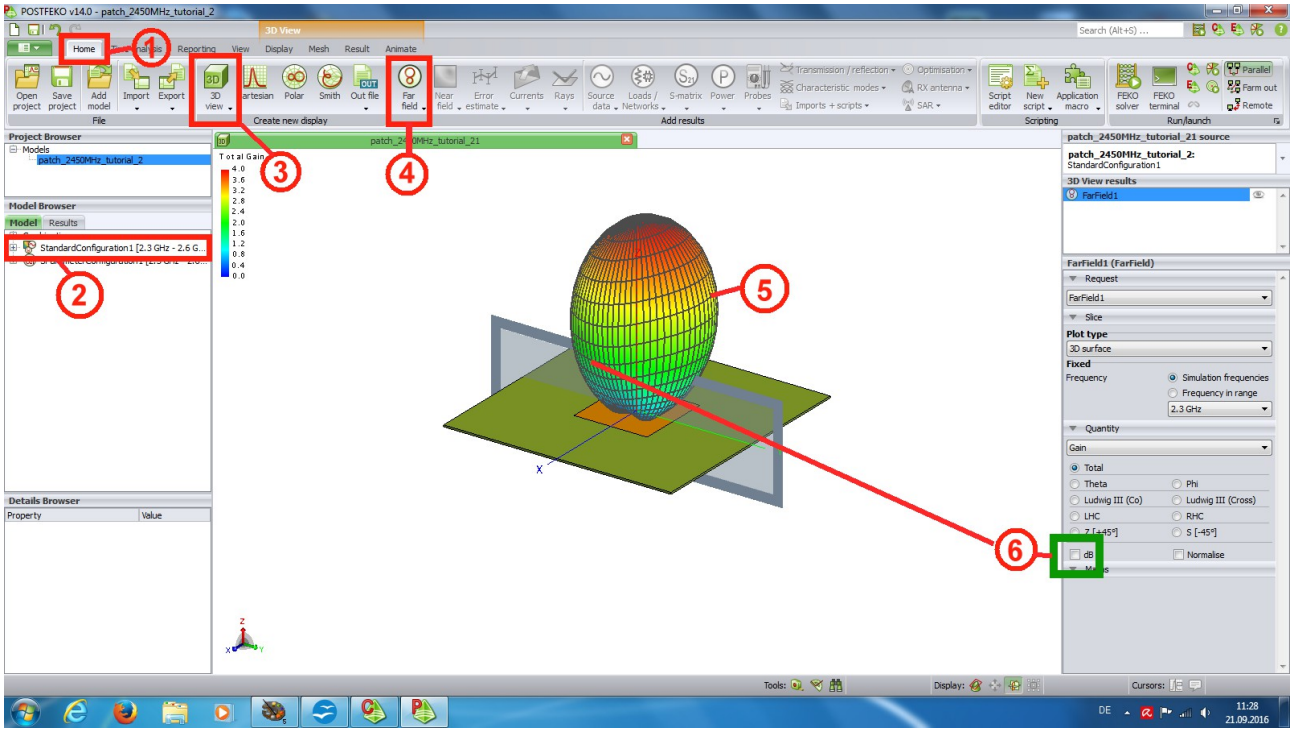
Das Ergebnis sieht gut aus, denn die angezeigten Warnungen weisen nur darauf hin, dass der „Wire“-Radius und dadurch das Verhältnis von Wire-Radius zur vorgesehenen Segmentlänge zu groß ist.

Da geht man enfach so vor:
Man macht ungestört weiter bis zum Ende und zur Anzeige der Simulationsergebnisse.
Dann wiederholt man CEM Validate solange mit einem soweit verkleinerten Wire-Radius, bis diese Warnungen verschwunden sind.
Zur Beruhigung: die Unterschiede bei der Simulation sind nicht gerade herzzerreißend...

Damit haben wir die Modell-Erstellung endgültig geschafft und können **(gleich neben CEM Validate) den FEKO-Solver starten.**
Anschließend ist genügend Zeit zum Kaffeetrinken – hinterher öffnen wir ganz gemütlich in der Menüleiste **POSTFEKO** zur Auswertung.

7.3. Auswertung der Simulation mit POSTFEKO

Das sind die zur **Fernfeld-Darstelllung** erforderlichen Maßnahmen:



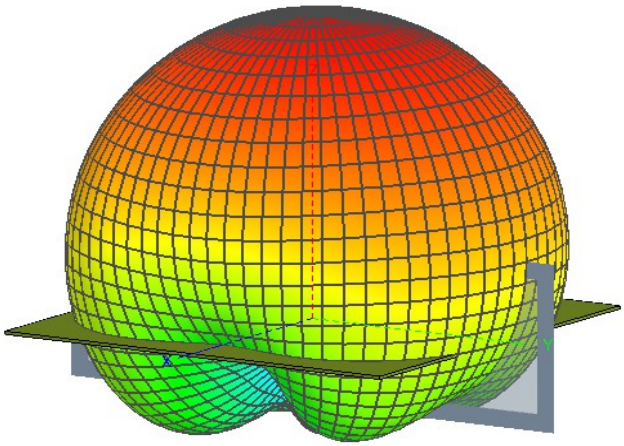
1) Es wird auf das „**Home**“-Menü umgeschaltet

2) Dann wird „**StandardConfiguration1(2.3 … 2.6GHz)**“ angeklickt

3) **Hinter „3D“ wählen wir „StandardConfiguration1“**

4) Hinter „**Farfield**“ brauchen wir **„Farfield1**“

5) Jetzt können wir die Strahlungskeule in linearer Darstellung bewundern und analysieren



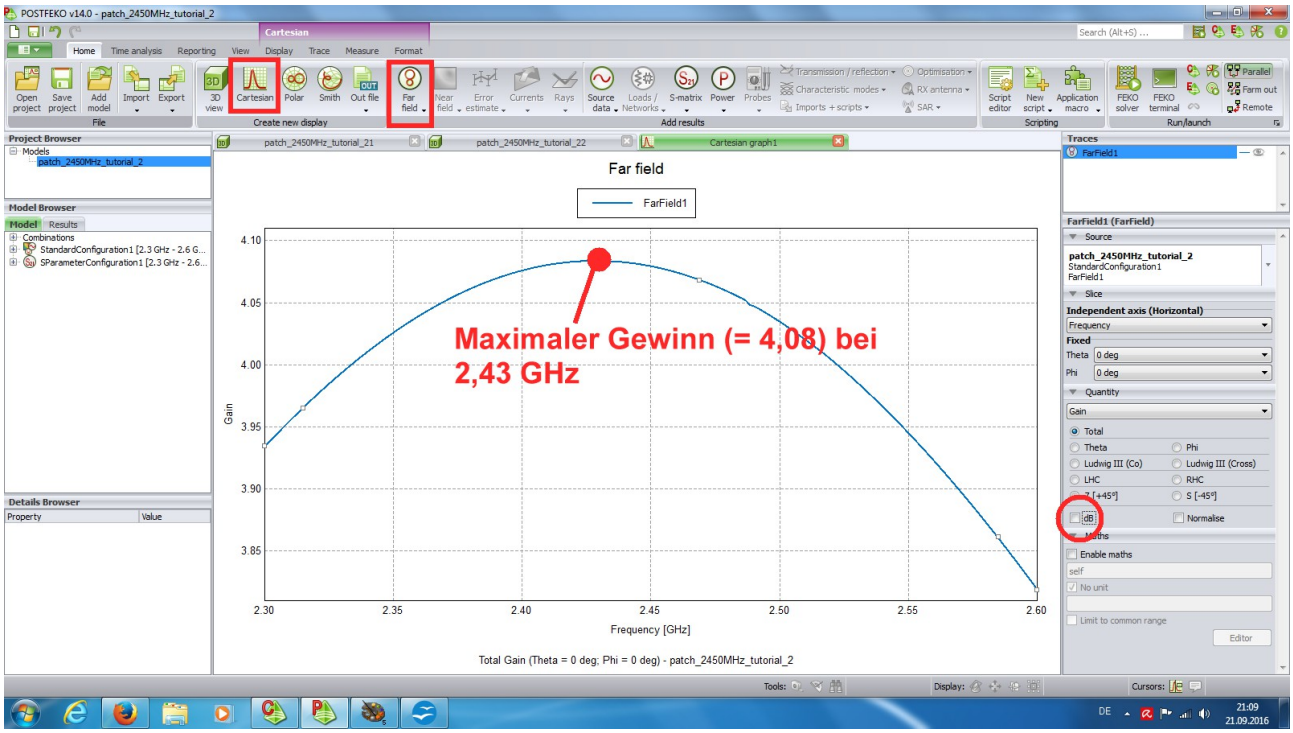
6) Und wer möchte, kann auf die **„dB“-Darstellung** umschalten.
Das bekommt er dann zu sehen.

Wer den **Gewinn-Verlauf über der Frequenz** sehen möchte, geht so vor:

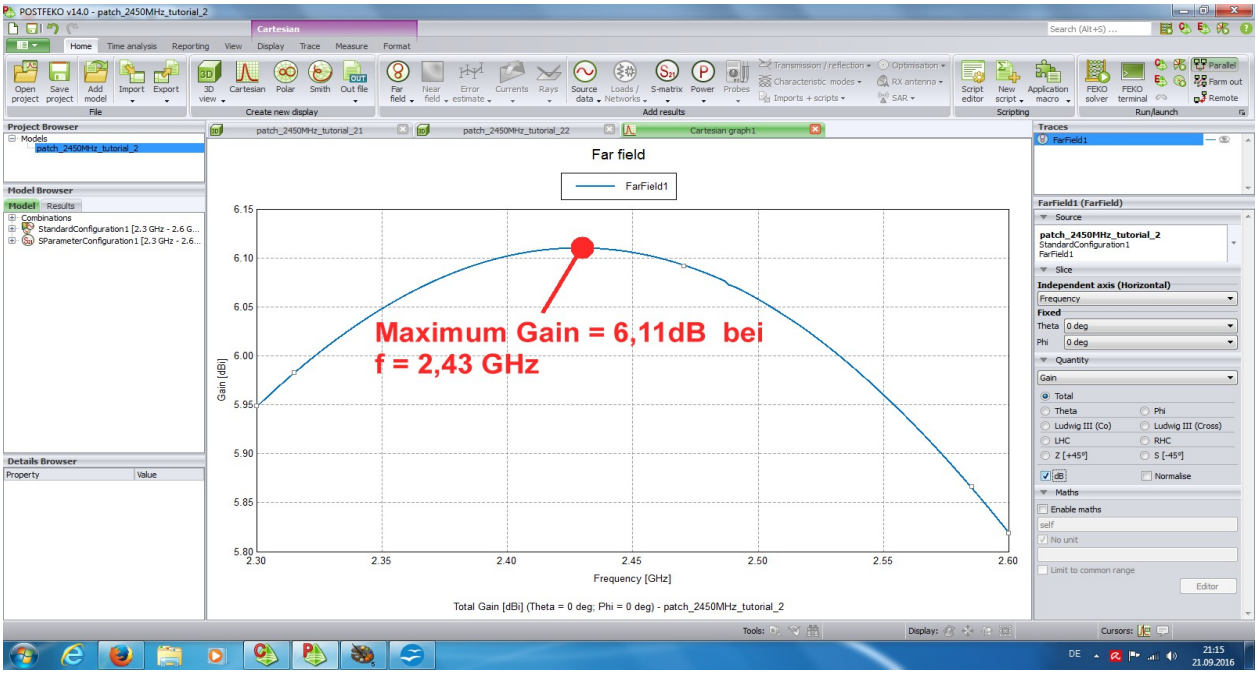
1) Ein **Kartesisches Diagramm** wählen

2) Auf „**Farfield**“ klicken, denn dahinter brauchen wir **„Farfield1**“

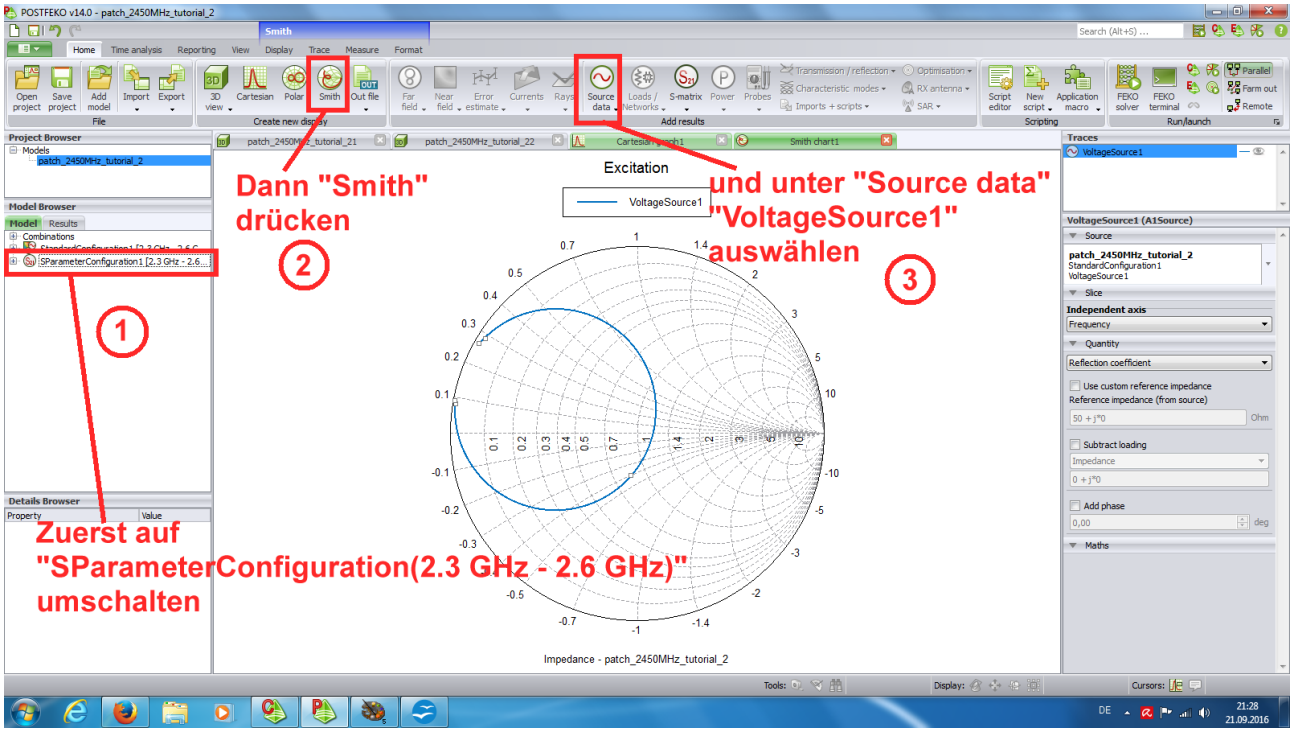
3) Und schon sehen wir, was wir möchten.....aber als lineare Darstellung!



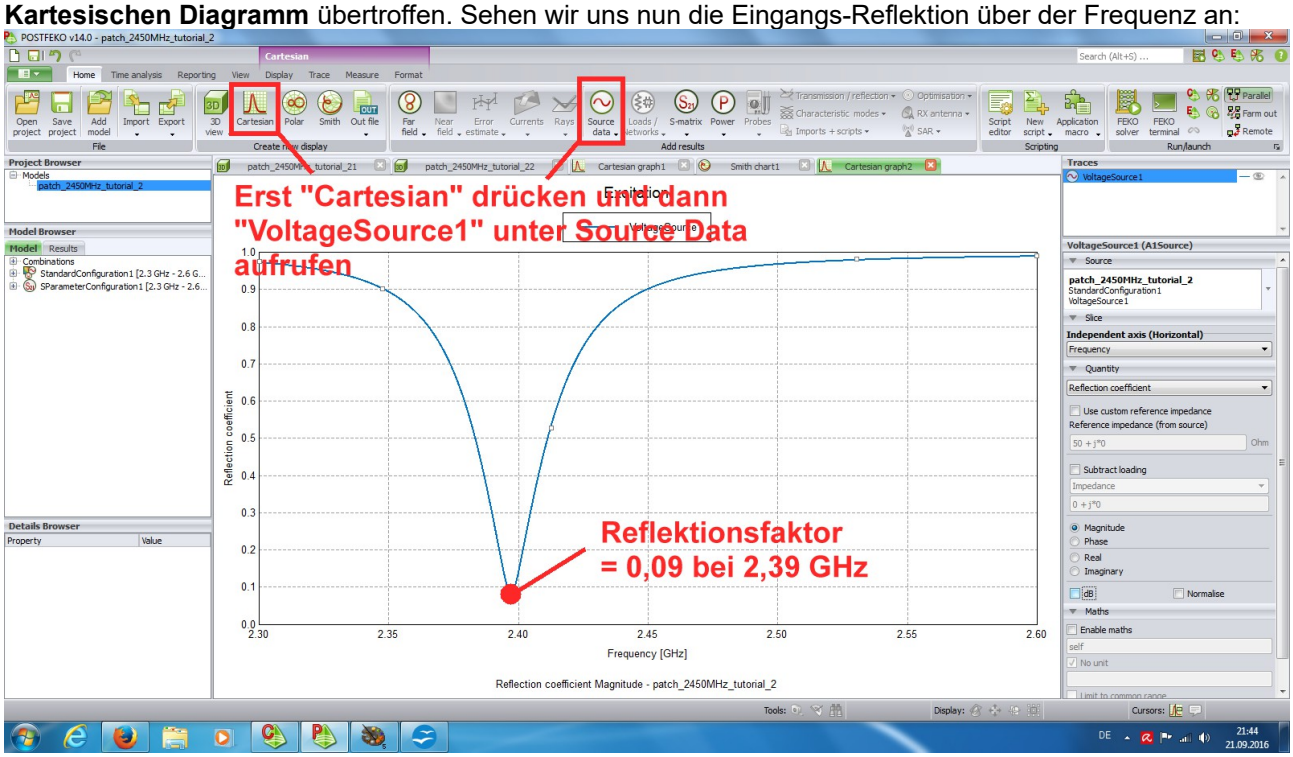
Wer dagegen die „**dB“-Darstellung des Gewinns** vorzieht, der braucht nur im markierten Kreis auf der rechten Seite ein Häkchen zu setzen:



Wer sich das rechte Menü genauer ansieht, findet noch weitere Spielmöglichkeiten....
Dann wollen wir doch mal einen Blick auf so Dinge wie die **Eingangs-Impedanz (= als Smith Chart dargestellt**) werfen.
Das geht so:

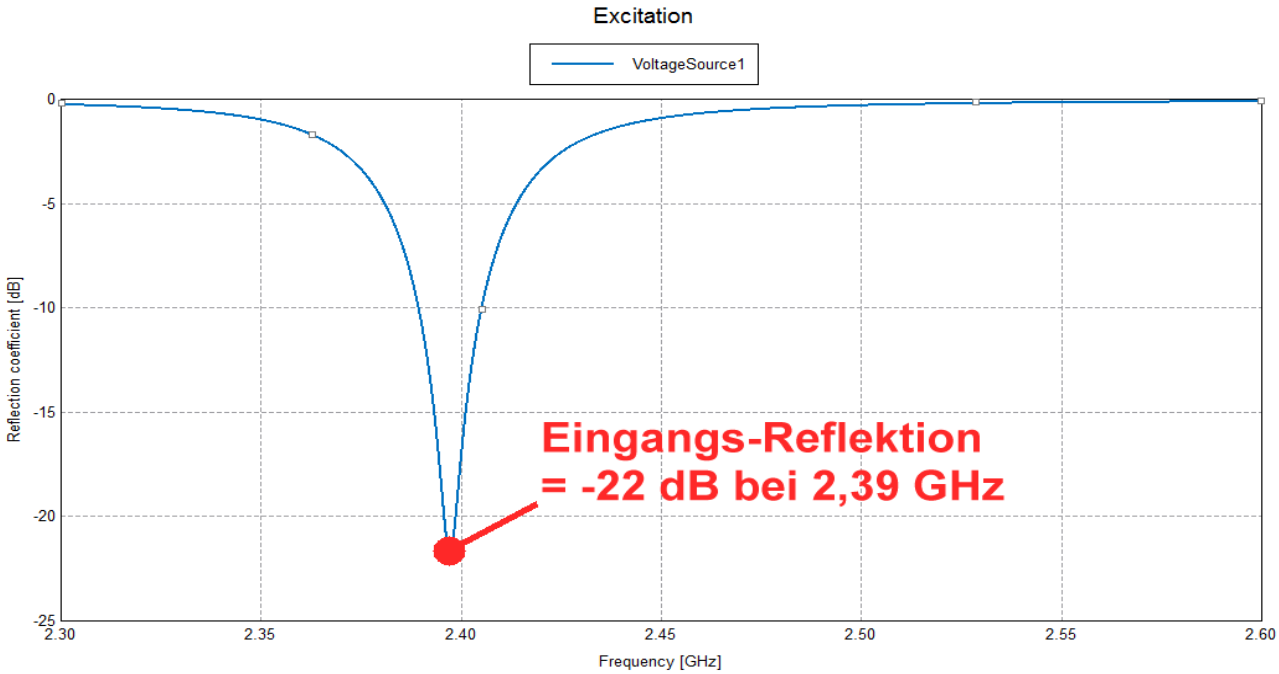


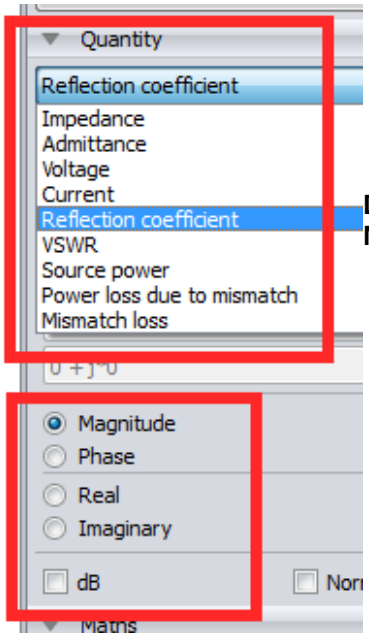
Das rechte Menü bietet hier wieder einige Auswahl an – die wird aber mühelos durch **eine Darstellung im Kartesischen Diagramm** übertroffen. Sehen wir uns nun die Eingangs-Reflektion über der Frequenz an:



Aufgabe:
Stellen Sie diesen Verlauf in „dB“ dar.
(Die Umschaltung findet sich wieder im rechten Menü)

Lösung:





Das rechte Menü bietet unter „Quantity“aber geradzu unglaublich viele Möglichkeiten

Deshalb folgen nun Vorschläge für einige eigene Zusatz-Aufgaben:

Zeigen Sie bei der Impedanz den Verlauf von
Magnitude
Phase
Realteil
Imaginaärteil

und / oder spielen Sie weitere Vorschläge durch....

Spannend ist nun ein Vergleich mit den Werten, die sich bei dem mit ganz anderen Programmen und Prinzipien (qucsstudio = circuit simulator, Sonnet Lite = EM-Simulator) entworfenen und der ausgemessenen Musterantenne ergeben haben. Bitte vergleichen!
Gemessen wurde

S11min = -25 dB bei 2,44 GHz

Der Gewinn unserer Patchantenne wurde mit Hilfe der so genannten **„Friis"-Beziehung** über einen recht einfachen Versuchsaufbau bestimmt:
Man arbeitet mit **zwei identischen Antennen**, wobei die **eine sendet und die andere empfängt**. Diese beiden Antennen werden in einem **genau ermittelten Abstand „d"** voneinander aufgestellt und sorgfältig aufeinander ausgerichtet.
Der Abstand entspricht bereits dem **Betrieb im Fernfeld (also mehr als 10 Wellenlängen = 10 x λ)**.
Sendet man nun mit einem exakt bekannten Pegel, dann gilt für den an der **Empfangsantenne messbaren Pegel** folgende Friis-Beziehung:

$$P_{Empfang} = P_{Sender} \bullet G_{Sendeantenne} \bullet G_{Empfangsantenne} \bullet \left(\frac{\lambda}{4\pi \bullet d} \right)^2$$

Wenn nun die **Gewinne von Sende- und Empfangsantenne gleich sind (…weil man identische Antennen verwendet..**) und man auf die logarithmische Darstellung in dB (mit den Leistungsangaben in dBm) umsteigt, wird das Ganze recht einfach:

$$G_{Antenne} = \frac{Emfangspegel - Senderpegel - 20 \bullet \log\left(\frac{\lambda}{4\pi \bullet d}\right)}{2}$$ **in dB**

Das war die Messanordnung:

Gesendet wurde mit einem Pegel von Null dBm.

Der Abstand der Antennen betrug 1,2 m = 1200 mm.

Bei f = 2,44 GHz haben wir eine Wellenlänge von 122,95 mm

Am Empfängereingang wurde ein Pegel von -34 dBm angezeigt.

Setzt man die Werte in die obige Formel ein, dann erhält man einen Gewinn von 3.9 dBi

Na ja...das ist dann die Praxis und in der ist halt nicht mehr alles ideal...

Hinweis:
Man könnte natürlich auch mit einem Aufbau aus 2 Dipolen arbeiten, den Empfangspegel messen und dann den Empfangsdipol durch unsere simulierte und gebaute Antenne ersetzen.
Der Pegelunterschied zum Dipol (= Pegel-Anstieg) entspricht dann dem „Gewinn in dBd"

8. Untersuchung eines Rohrstrahlers als Erreger einer Parabolantenne für das 13cm – Band (f = 2,3 GHz)

8.1. Vorbemerkung

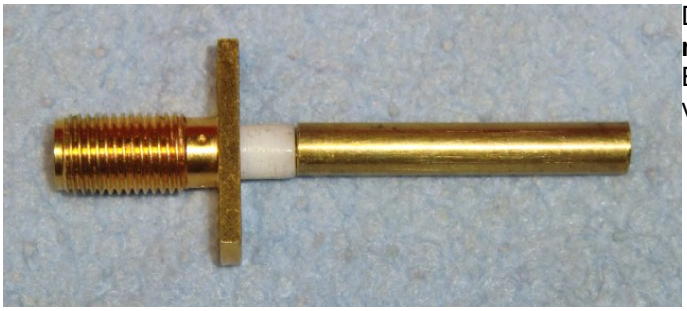
Anlass für dieses Projekt war das Zusammentreffen mehrerer Ereignisse. Zuerst wurde für eine geplante neue Veröffentlichung der in Heft 1/1976 der UKW-Berichte erschienene gleichnamige Artikel von Hans Jürgen Griem herausgesucht. Mitten in der Informationsphase wurde in der englischen Schwesterzeitschrift „VHF Communications“ in Heft 2/2012 exakt nochmals dieser Artikel als „heute noch interessanter Reprint“ aufgelegt. Das ist der Anlass, dieses Objekt mit moderner Antennensimulation zu untersuchen und die damaligen Messergebnisse nachzuprüfen.

Der UKW-Berichte-Artikel von 1976 kann bei Bedarf aus meiner Homepage (www.gunthard-kraus.de) heruntergeladen werden. Es lohnt sich , ihn zu studieren, denn er enthält alle nötigen Informationen und Erläuterungen zur Ausleuchtung eines Parabolspiegels und zum Rohrstrahler als Rundhohlleiter.

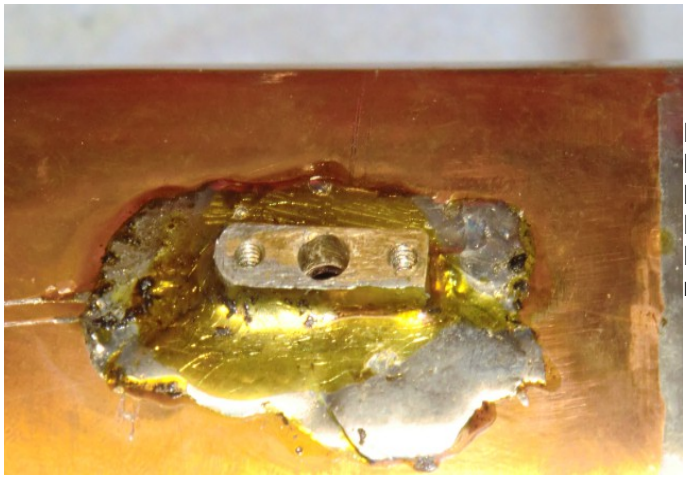
8.2. Der Rohrstrahler

Im Prinzip handelt es sich dabei um einen Rundhohlleiter, der wie eine Konservendose ohne Deckel aussieht. Oberhalb des geschlossenen (unteren) Bodens ist seitlich eine Öffnung angebracht, in die ein isolierter Metallstift ragt. Er dient als Erreger (= Feed) für die Hohlleiterwelle und trägt an seinem Ende (= außerhalb der Dose) eine SMA-Buchse zur Speisung.
Dieser Rohrstrahler wurde nachgebaut und die für unsere Simulation wichtigen mechanischen Daten lauten:

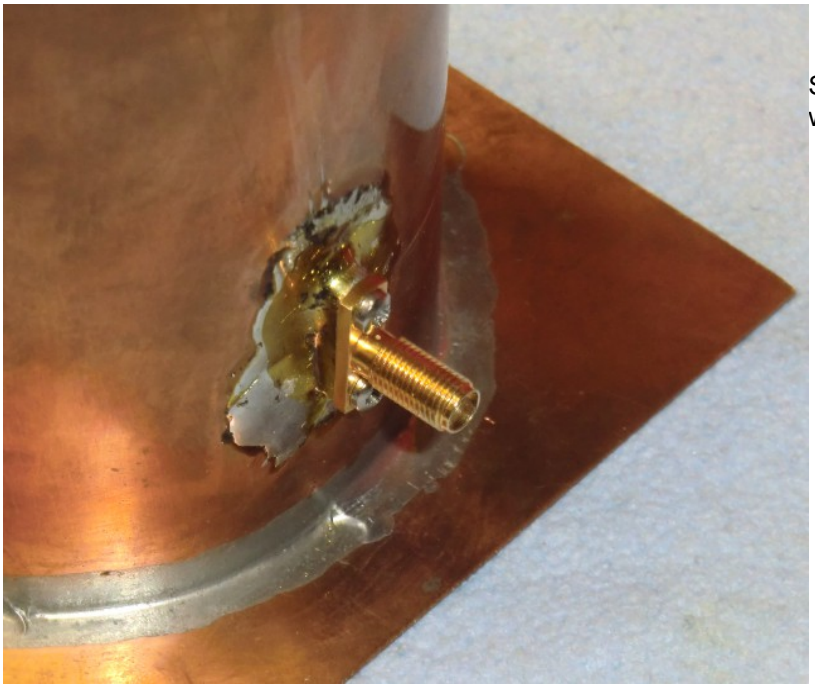
Abmessung	**Eigener Wert**	**Wert aus Griem-Artikel**
Rohrdurchmesser	88 mm	88 mm
Rohrlänge	129 mm	129 mm
Koppelstift-Länge	27 mm	ca. 27 mm
Abstand zwischen Dosenboden und Stift	32 mm	29….35 mm



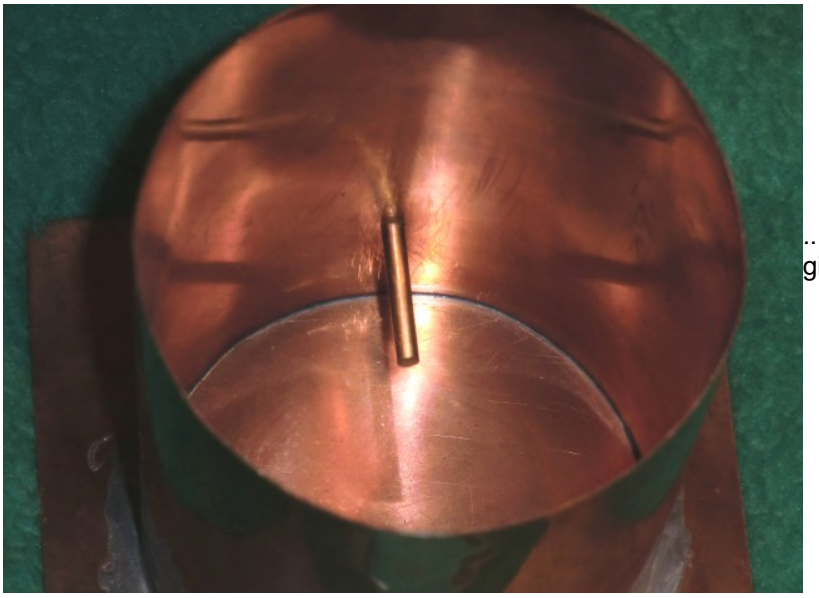
Die Dicke des Koppelstiftes (= Feed) beträgt **d = 4 mm, seine Länge 27 mm**.
Er ist mit dem Innenleiter einer SMA-Buchse verlötet.



Ein von Hand anfertigtes Zwischenstück aus Messing bildet den „Halteblock“ für die SMA-Buchse. Es wurde weich auf die Wand des Rohstrahlers aufgelötet, die natürlich eine Durchgangsbohrung für den „Feed“ aufweisen muss.

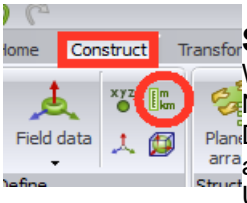


So sieht die Sache dann von außen aus, wenn der Feed angebracht ist....

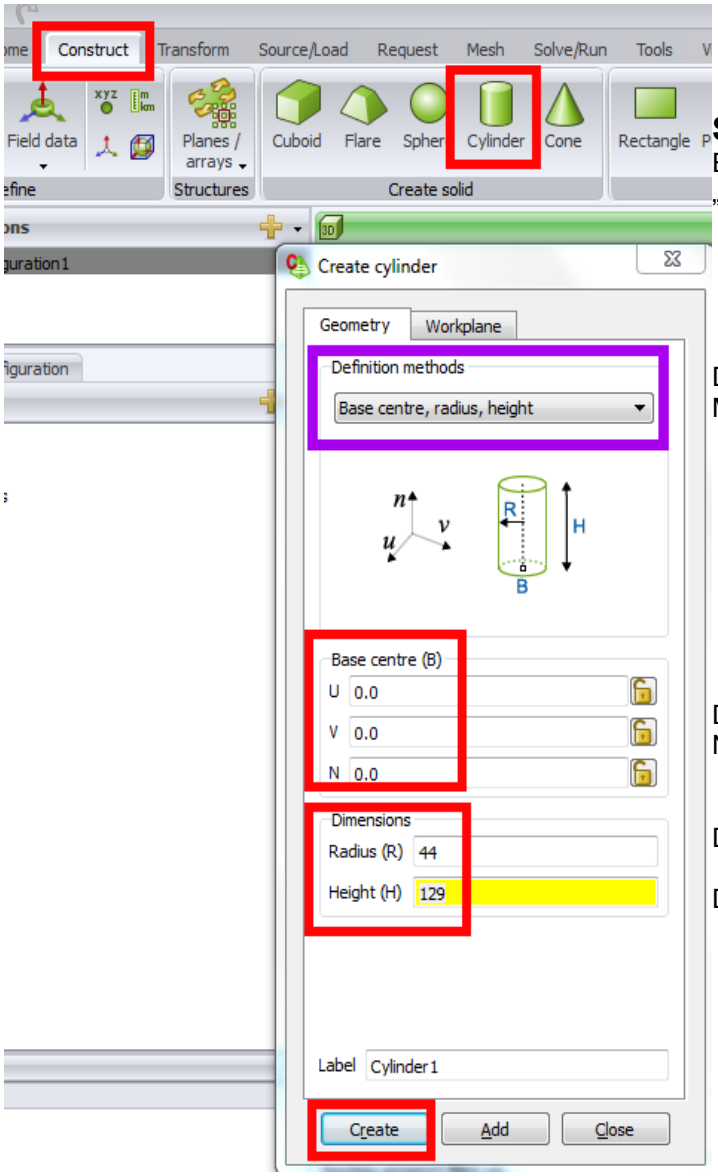


...und auch im Inneren des Rohrstrahlers gibt es keinen Grund zum Meckern.

8.3. Modellerstellung in FEKO



Schritt 1:
Wir starten erst ein neues FEKO_Projekt und speichern es unter einem passenden Namen an einem für uns angenehmen Ort.
Dann brauchen wir „**Millimeter**“ als Maßeinheit und rufen dazu das „**Construct**“-Menü auf. Der rote Kreis markiert den „**Model Unit Icon**“ und dahinter versteckt sich die nötige Umschaltung.



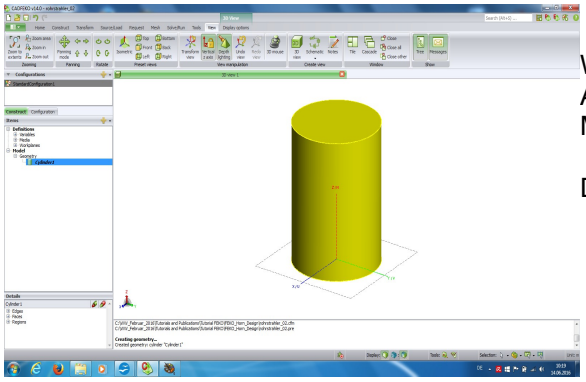
Schritt 2:
Ebenfalls im Construct-Menü finden wir den „**Cylinder**“. Nach dem Anklicken stellen wir ein:

Das Objekt wird über das „base centre“ (= Mittelpunkt, den Radius und die Höhe definiert.

Der Mittelpunkt liegt bei den Koordinaten Null / Null / Null

Der Radius beträgt 44 mm

Der Zylinder weist eine Höhe von 129 mm auf.

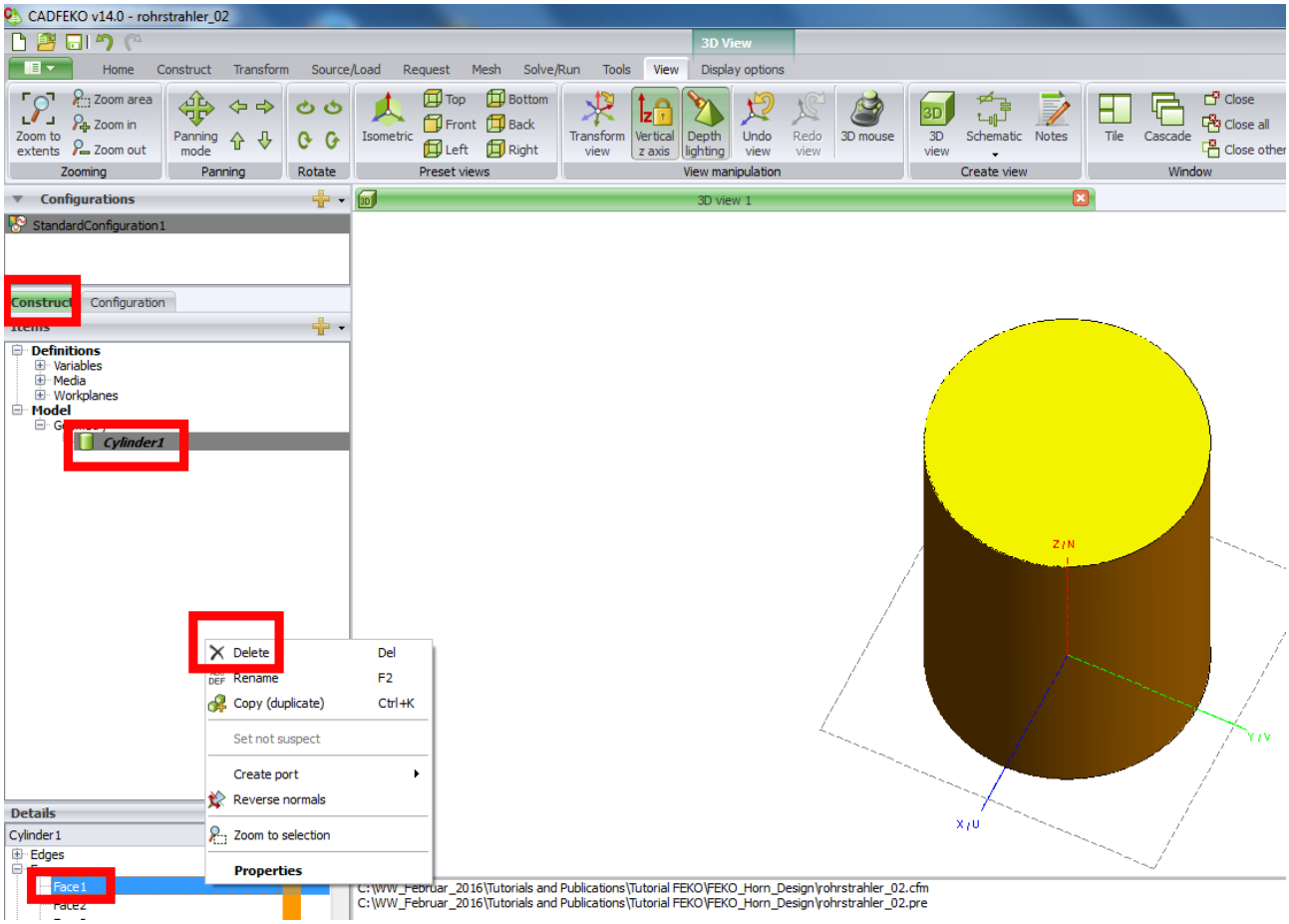


Wenn sich nach dem Drücken von „Create“ die komplette Arbeitsfläche gelb färbt, geht man einfach in das „View“ Menü und klickt auf „**Zoom to extents**“.

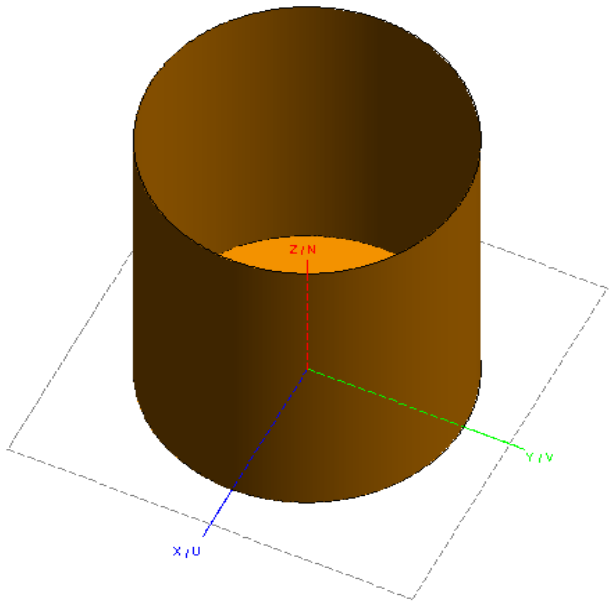
Dann weiß man gleich, woher das kam.

Schritt 3:

Jetzt muß der Deckel der Dose entfernt werden, damit nur unser Rundhohlleiter mit Boden übrig bleibt
Also sucht man unter „**Construct**“ und „**Cylinder1**“ nach den „**Faces**“.
Face1 ist der gesuchte Deckel und wenn man ihn in der Liste (ganz unten links) anklickt, **leuchtet er im Modell gelb auf.**



Jetzt wird auf „**Face1**“ in der Liste **mit rechts geklickt** und „**Delete**“ gewählt.



Der Erfolg ist eindeutig: der Deckel ist weg und wir können in den Topf gucken!

Schritt 4:

Nun geht es an den **Erreger (= Feed)** und den realisieren wir als „**Line**“.

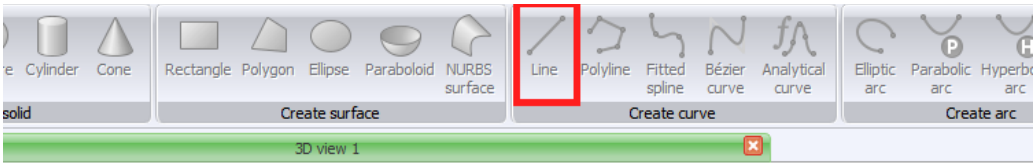
Den Startpunkt legen wir genau auf die V-Achse und wählen deshalb U = Null
Die „Höhe über Grund“ wird an der N-Achse mit 32 mm eingetragen.
Und der Startpunkt soll genau auf dem Zylinderumfang liegen. Deshalb ist V = 44 mm

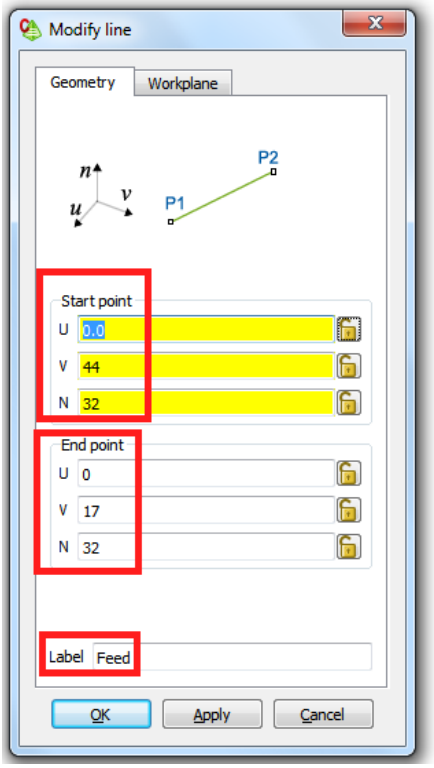
Der Feed-Stift soll **27 mm lang** sein.
Also müssen wir beim Endpunkt dieselben „U“ und „N“-Werte eintragen, aber bei „V“ einen Wert von

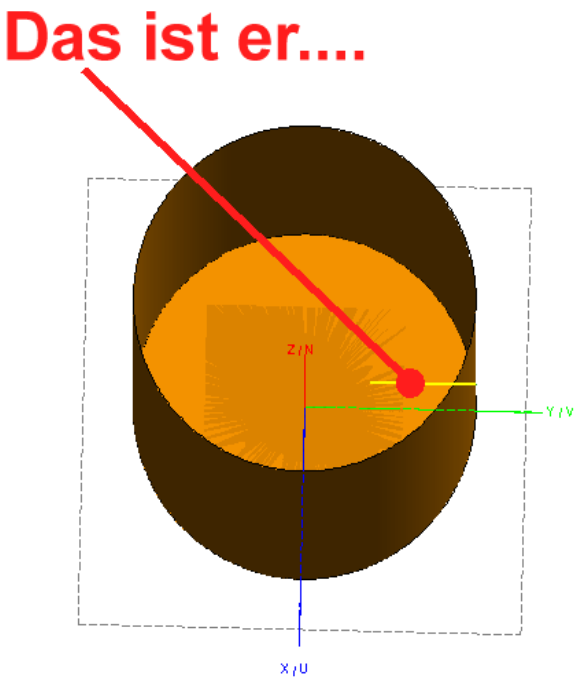
44mm - 27mm = 17mm

vorgeben.

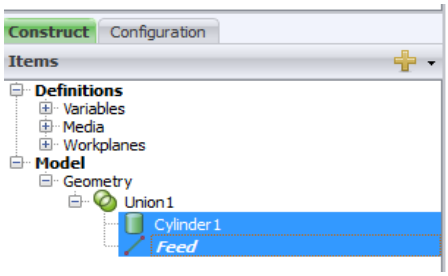
Als Name für diese Linie wählen wir „**Feed**“





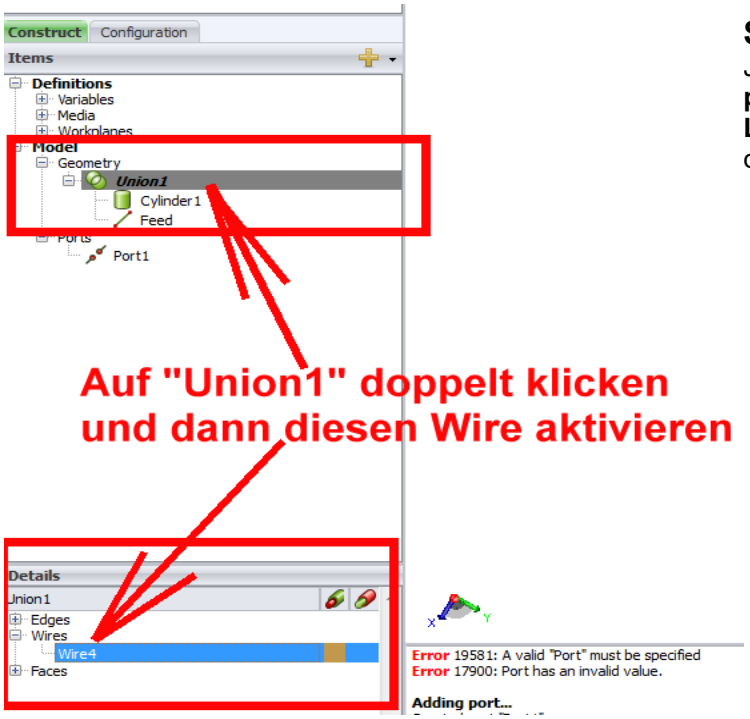


Mit OK wird abgeschlossen und dann in den Topf geguckt, ob der Feed nun wirklich vorhanden ist.



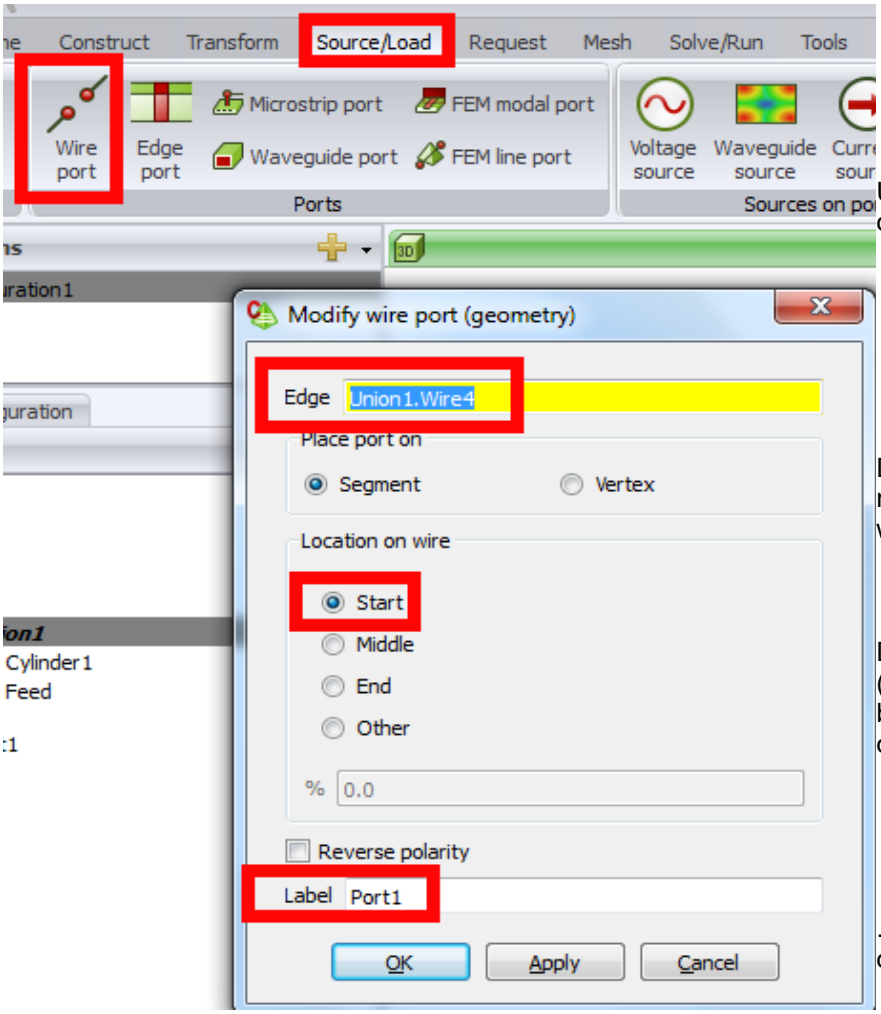
Schritt 5:

Der Rohrstrahler und der Feed werden zusammen am linken Bildrand in der **„Construct“-Liste unter „Model“** **gemeinsam markiert** und anschließend durch einen Klick auf die „**Union**“-Taste (rechts oben in der Menüleiste) zu einer **Einheit („Union1“)** zusammengespannt. Dern Erfolg erkennt man hinterher an der **plötzlich in kursiver Schrift dargestellten Bezeichnung von „Union1“.**



Schritt 6:

Jetzt wollen wir bei unserem Feed einen **„Wire port“** einfügen, nachdem wir auf „**Source / Load**“ umgeschaltet haben. Aber zuerst ist diese linke Aktion erforderlich.



Unter **„Source / Load“** findet man den „**Wire port**“ und klickt darauf.

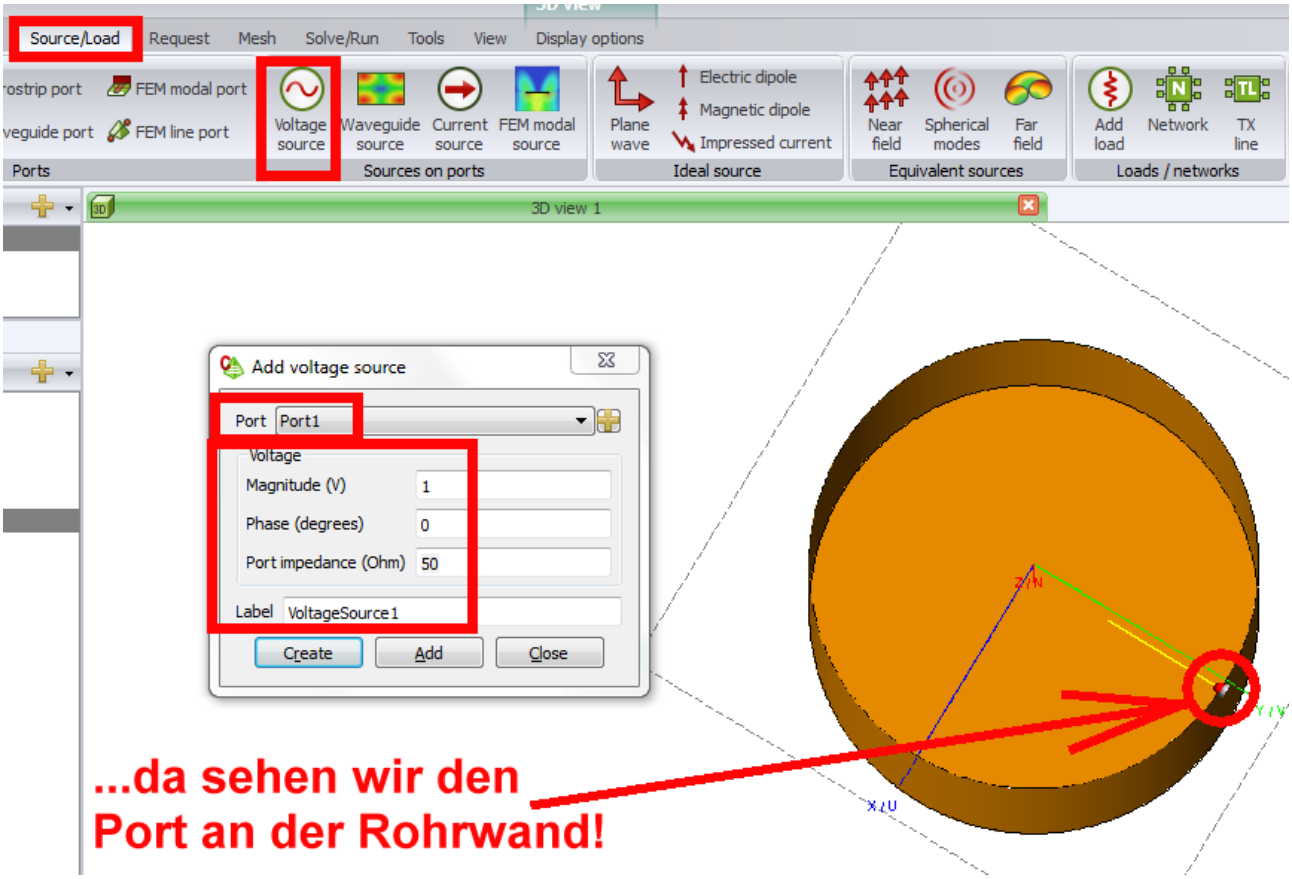
Dann sollte unter „**Edge**“ der vorher markierte Wire korrekt übernommen worden sein.

Den Port setzen wir an den Anfang (= **Start**) des Feed-Pins. Dann befindet er sich direkt an der Wand des Rohrstrahlers....

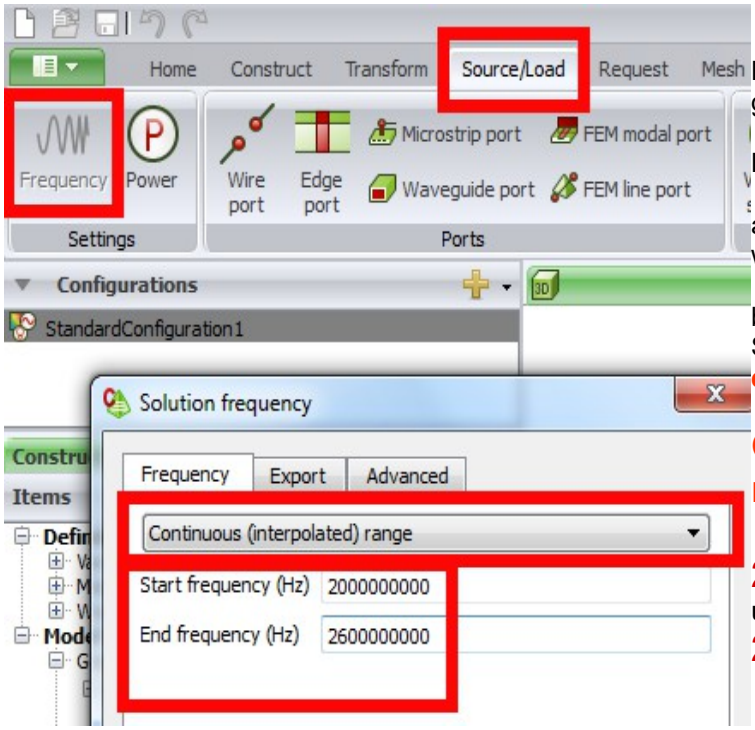
...und der Label „**Port1**“ wird noch an dieser Stelle eingetragen.

Schritt 7:

Jetzt werden die Daten der Spannungsquelle programmiert. Das geschieht unter „**Source / Load**“ und „**Voltage Source**“. Bei den Einträgen brauchen wir nichts zu ändern.



Schritt 8:



Nun geht es an die Einstellung des gesweepten **Frequenzbereichs.**

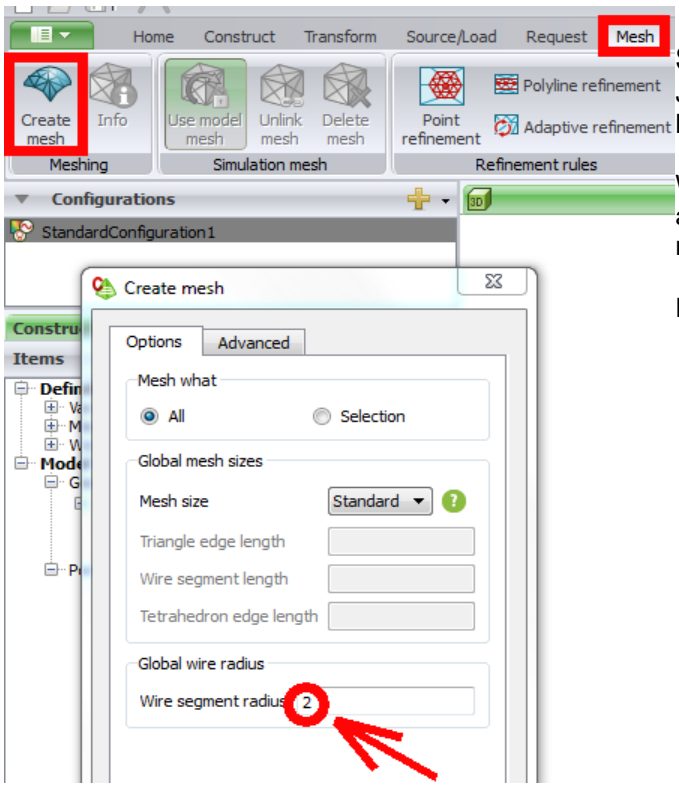
Bitte genau aufpassen:

a) „**Continuous (interpolated) range**“ wählen

b) Die Startfrequenz (2 GHz) und Stoppfrequenz (2,6 GHz) **MÜSSEN** **in „Hz“ eingegeben werden!**

Genau so zulässig ist natürlich die Eingabeform

2e6
und
2.6e6

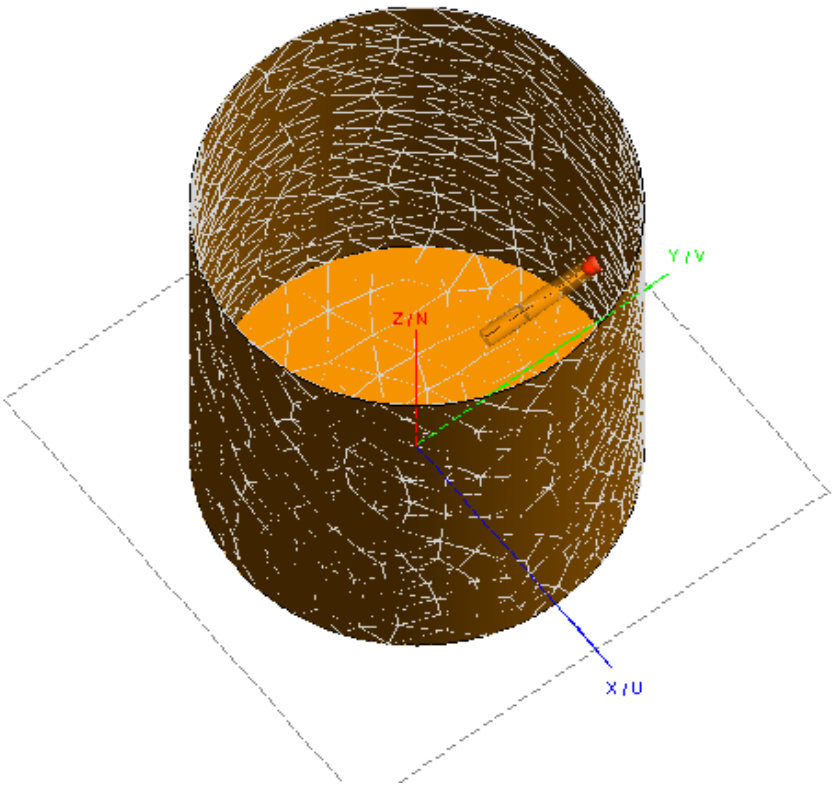


Schritt 9:
Jetzt wird die Struktur durch „**Create Mesh**“ in kleine Elemente aufgelöst.

Wir übernehmen die Standardeinstellungen, dürfen aber die Angabe des Radius unseres Feedpins nicht vergessen.

Er beträgt

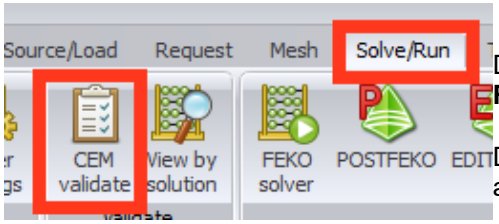
R = 2 mm



Nach einem Klick auf OK läuft der Mesh-Vorgang ab und die Veränderung sieht man gleich:

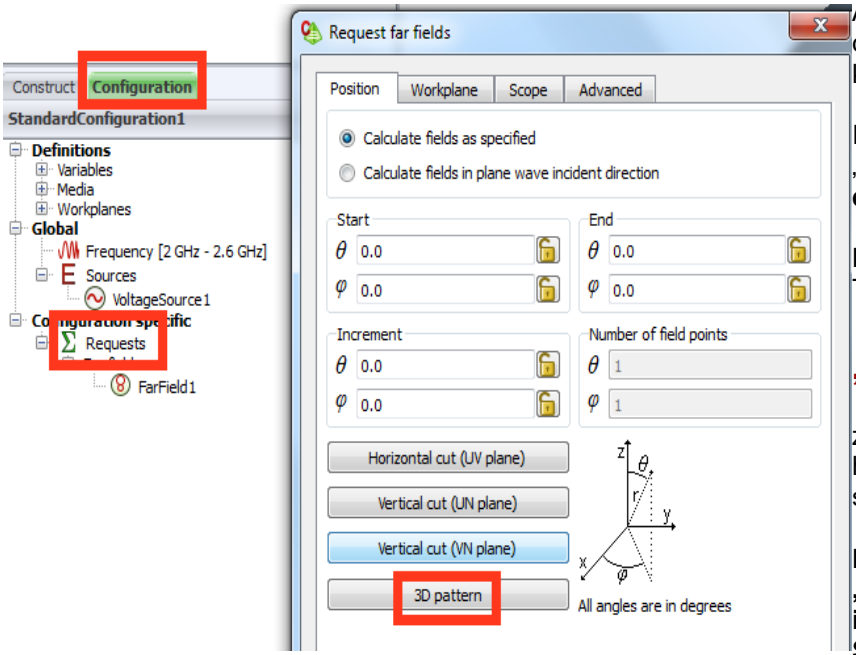
Die komplette Struktur ist nun in kleine Dreiecke zerlegt worden.

8.4. Die Simulation



Das geht ganz schnell. Zuerst schaltet man auf das Menü „**Solve / Run**“ um und startet „**CEM validate**“.

Die Ergebnisliste sollte keine Fehler zeigen und wir können anschließend die Simulationswünsche programmieren.



Am linken Bildrand schalten wir auf das „**Configuration**“ - Menü um und klicken „mit rechts“ auf „**Requests**“.

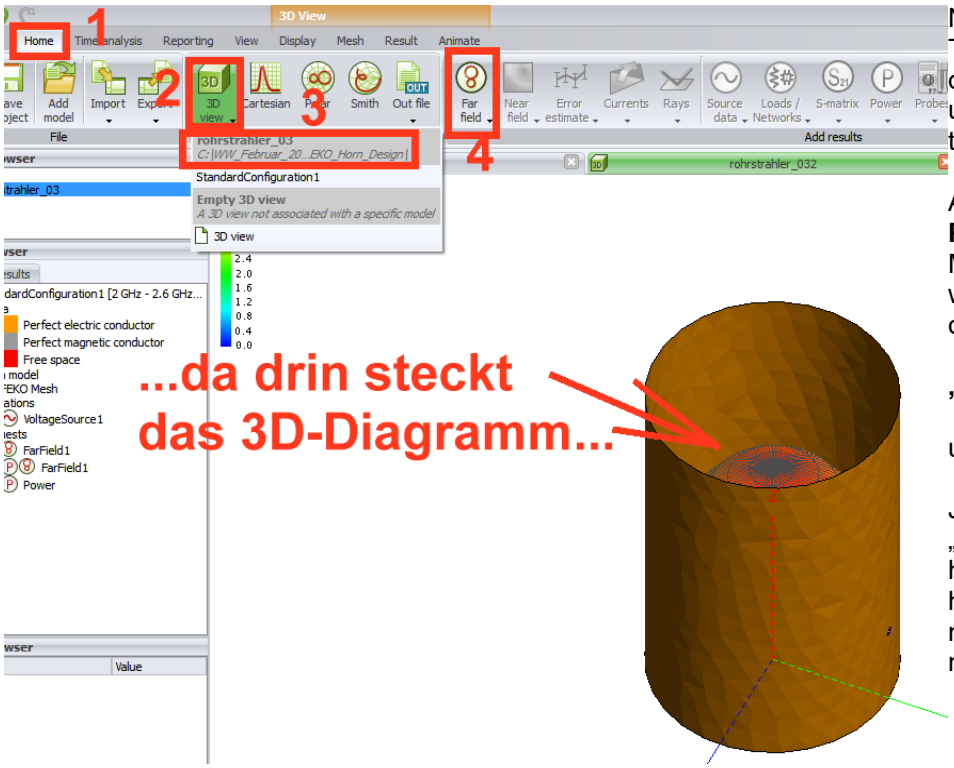
In der auftauchenden Liste wählen wir „**Far fields**“ aus und dann **kommt etwas ganz Wichtiges:**

Man darf nicht vergessen, auf die Taste

„3D Pattern“

zu drücken, sonst gibt es später die hübsche Strahlungskeule nicht zu sehen...

Nach einem nochmaligen Klick auf „Requests“ fordern wir schließlich im auftauchenden Menü auch die S-Parameter-Simulation an.



Nun reicht ein Klick auf die Taste **„FEKO-Solver“**, um die Simulation zu starten und dann einen Kaffee zu trinken.

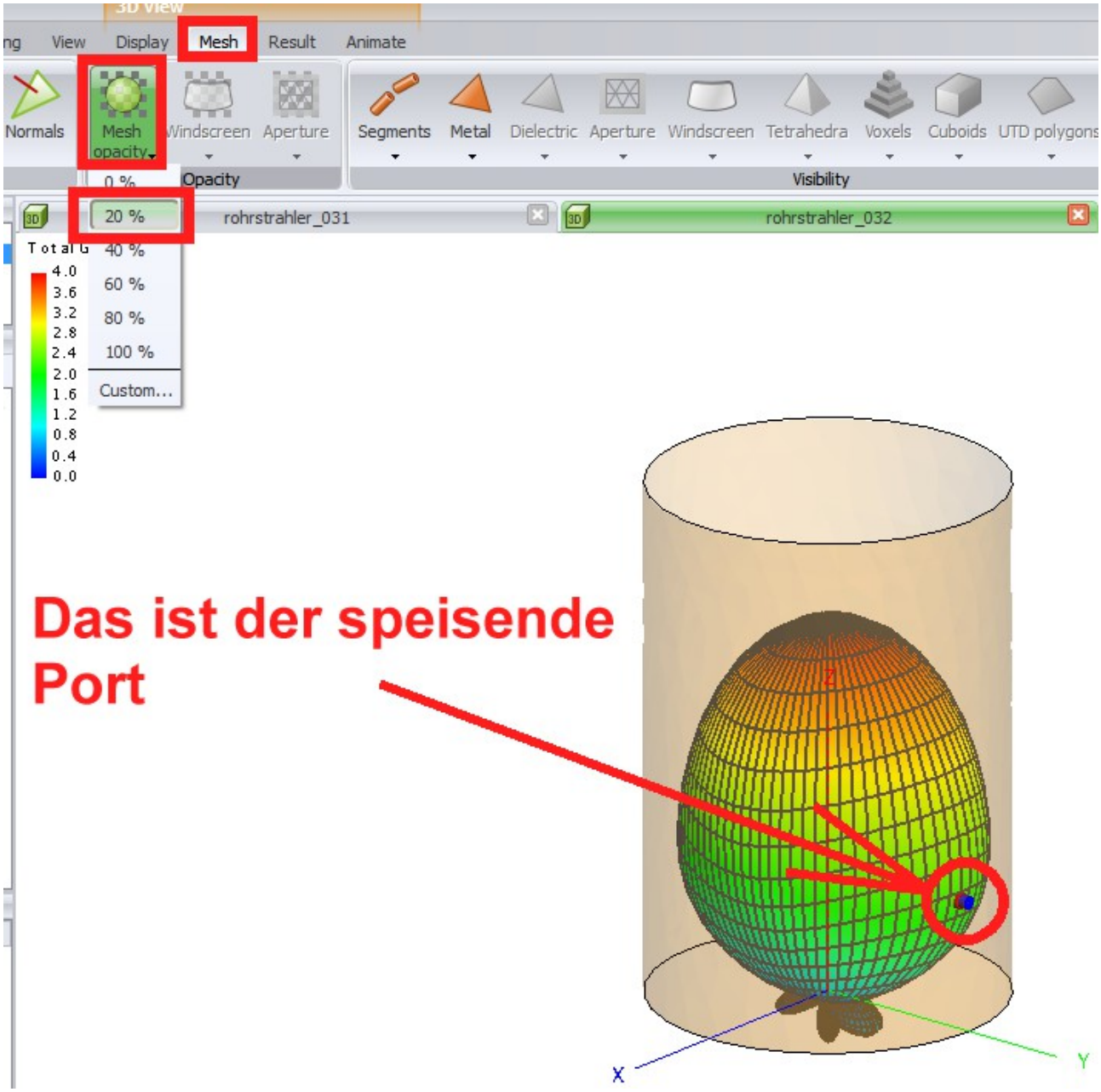
Anschließend dürfen wir **POSTFEKO** aufrufen. Im Menü „**Home**“ (1) brauchen wir nun „**3D Viewer**“ (2) und darin die

„StandardConfiguration1“

unseres Projektes (3).

Jetzt können wir unter „**Farfield**“ (4) die 3D-Keule holen. Aber wenn wir Pech haben, steckt sie (wie hier!) mitten in der Dose und ist nicht recht zu sehen.

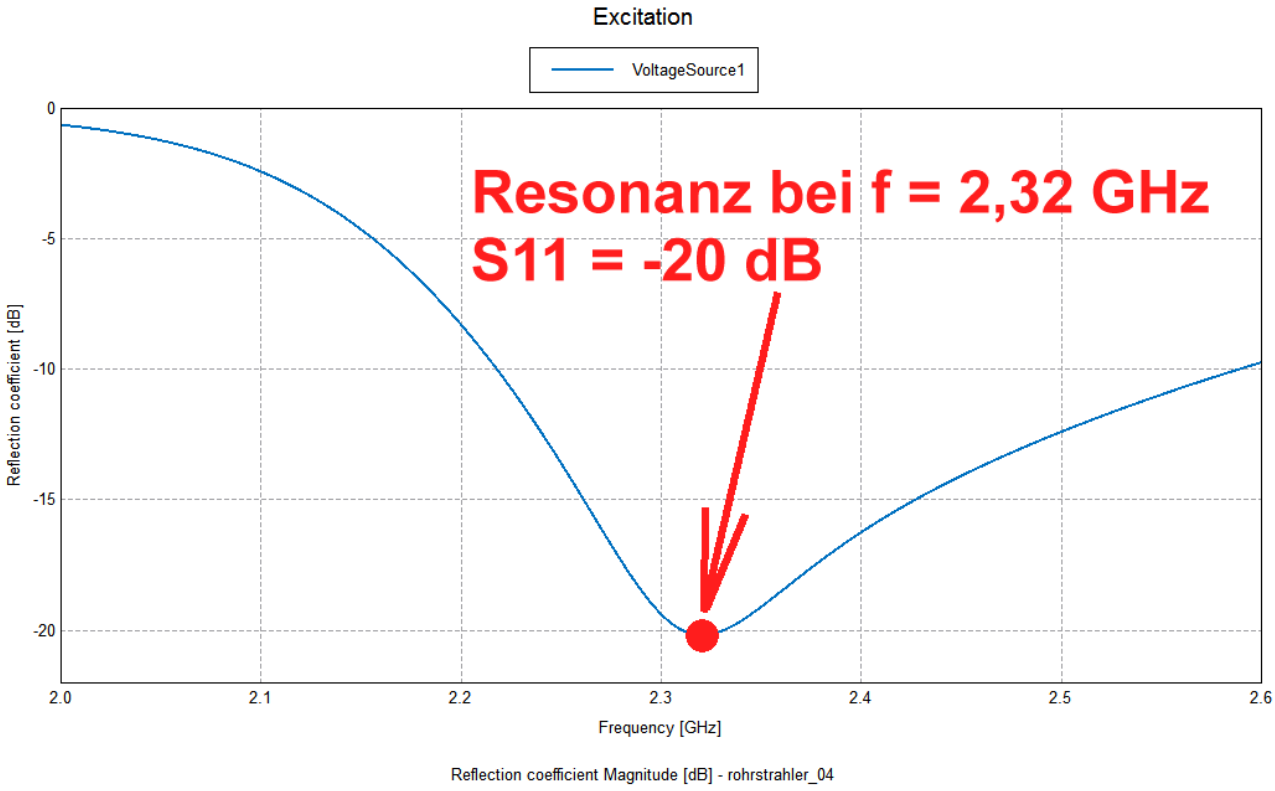
Die Abhilfe ist einfach:
Wir wechseln auf „**Mesh**“ und rufen „**Mesh opacity**“ (= **„Durchsichtigkeit“**) auf. Sobald wir da zurückregeln, wird der Rohrstahler immer durchsichtiger und bei „**20 %**“ haben wir einen prima Durchblick:



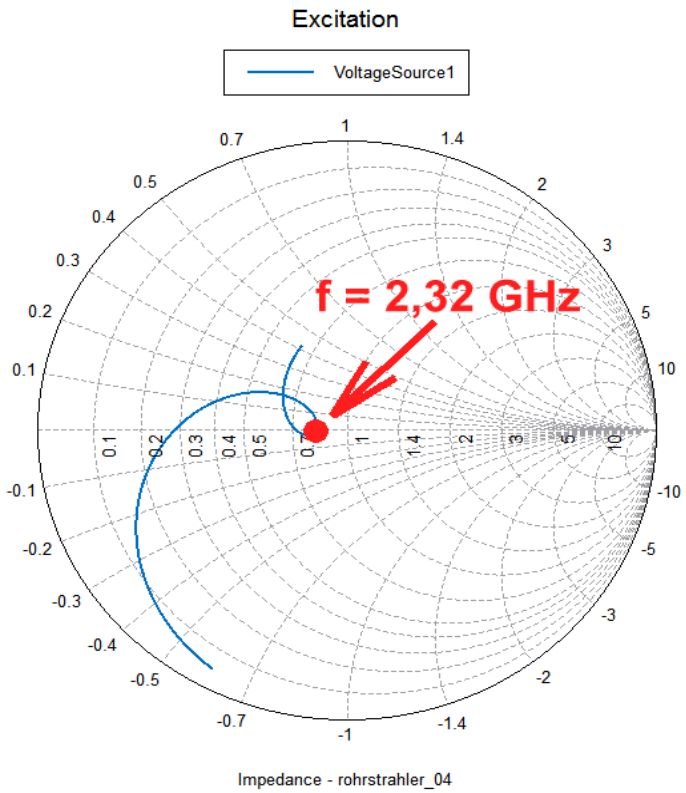
8.5. Die Auswertung der Simulation

8.5.1. Eingangs-Reflektion S11

Dazu verwenden wir ein kartesisches Diagramm, verwenden das „**Home**“-Menü und klicken auf „**Source Data**“, gefolgt von „**Voltage Source 1**“.
Da fangen wir mit der **Eingangs-Reflektion (= input reflection coefficient) in dB** an und sie entspricht dem Betrag von S11:



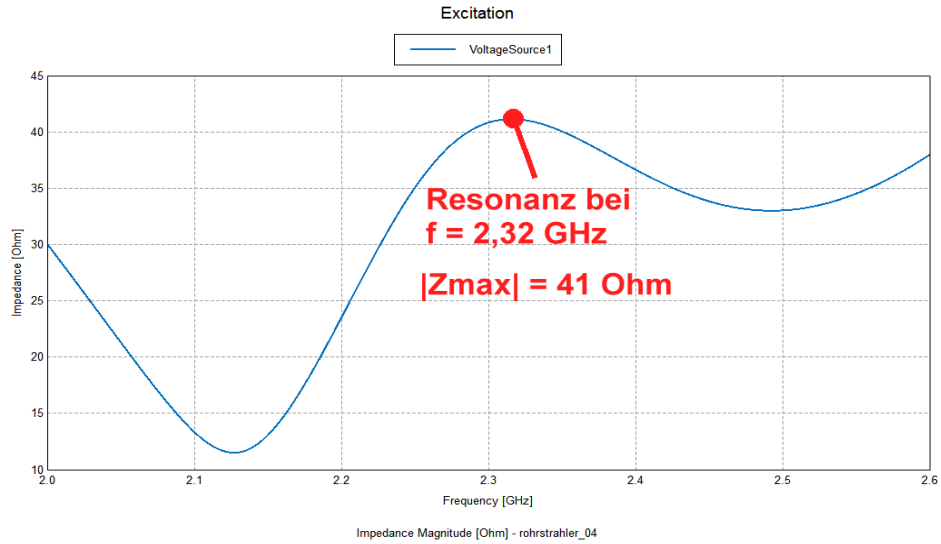
Reflection coefficient Magnitude [dB] - rohrstrahler_04



Impedance - rohrstrahler_04

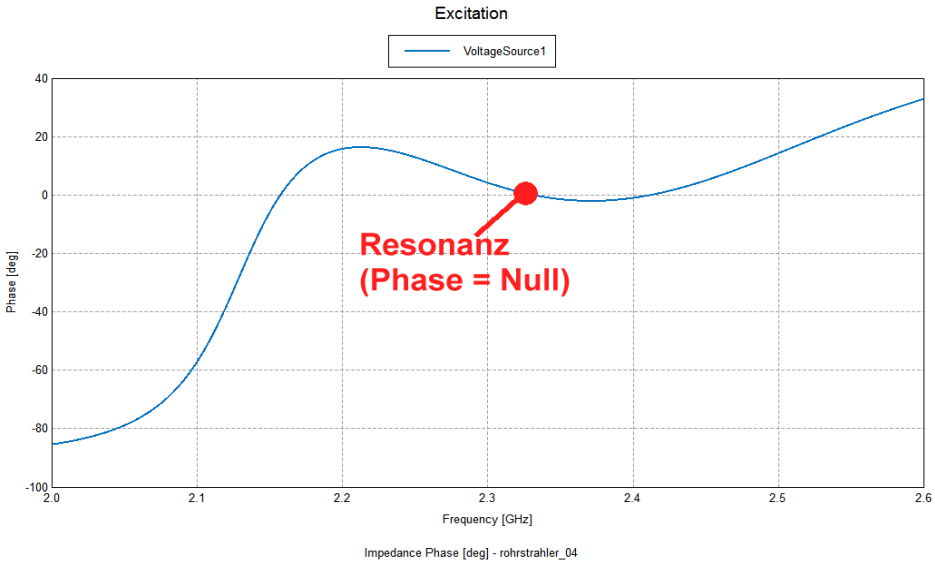
Das sieht nicht schlecht aus und deshalb sehen wir uns die zugehörige Impedanz im **Smith-Diagramm** an:

8.5.2. Eingangs-Impedanz, Realteil, Imaginärteil, Phase...

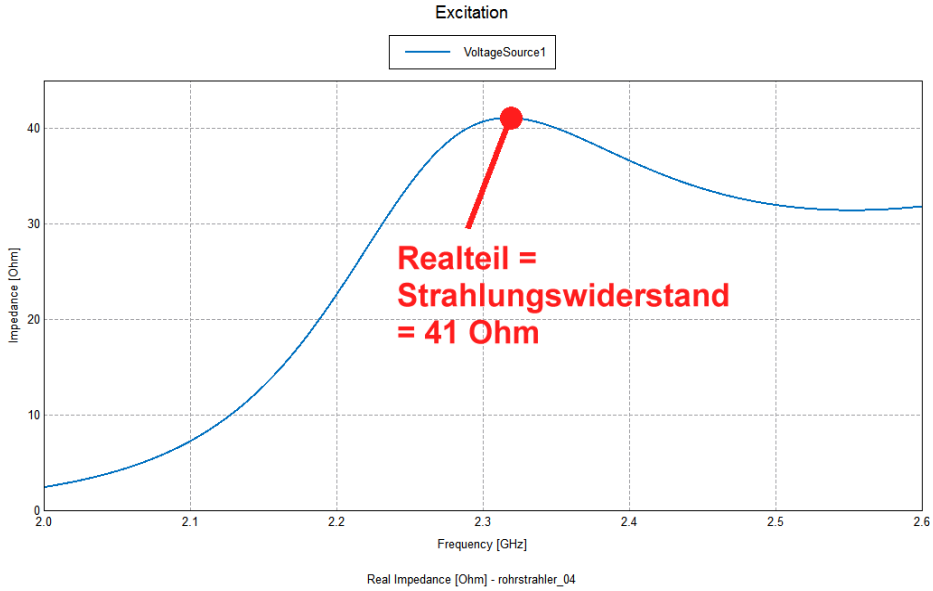


Wir bleiben im „**Home**“-Menü und benützen weiterhin „**Source Data**“ und „**Voltage Source 1**“

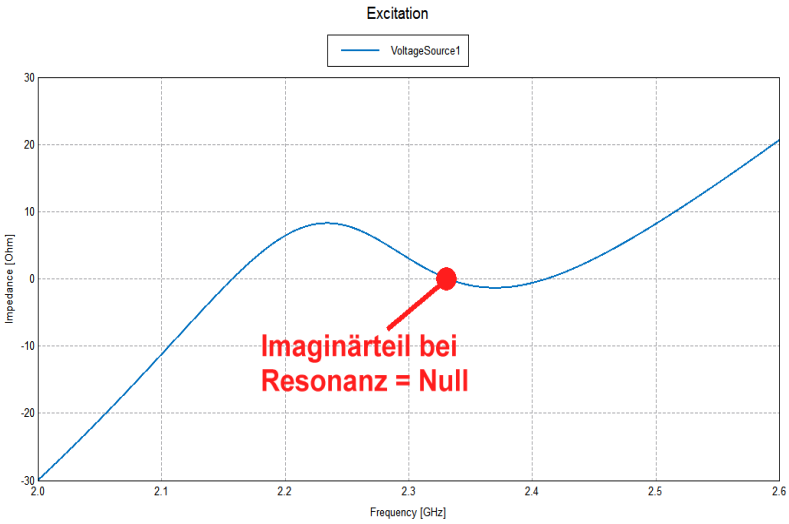
Da schalten wir auf „**Impedanz**“ um und fangen mit der „**Magnitude**“ an...



Wir machen gleich mit der **Phase** weiter.



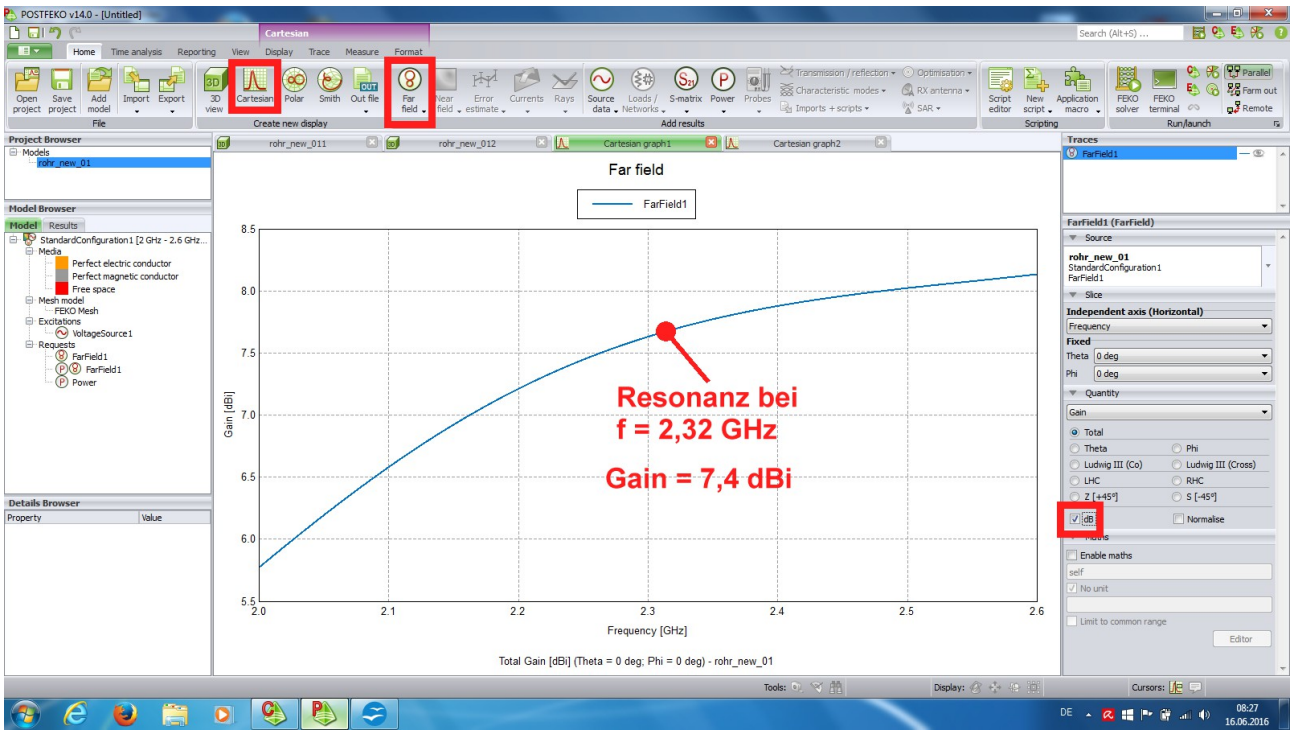
Beim **Realteil** sehen wir sehr schön den **Strahlungswiderstand**



Logisch:
Bei Resonanz muß der **Blindanteil = Null** sein

5.2. Gain

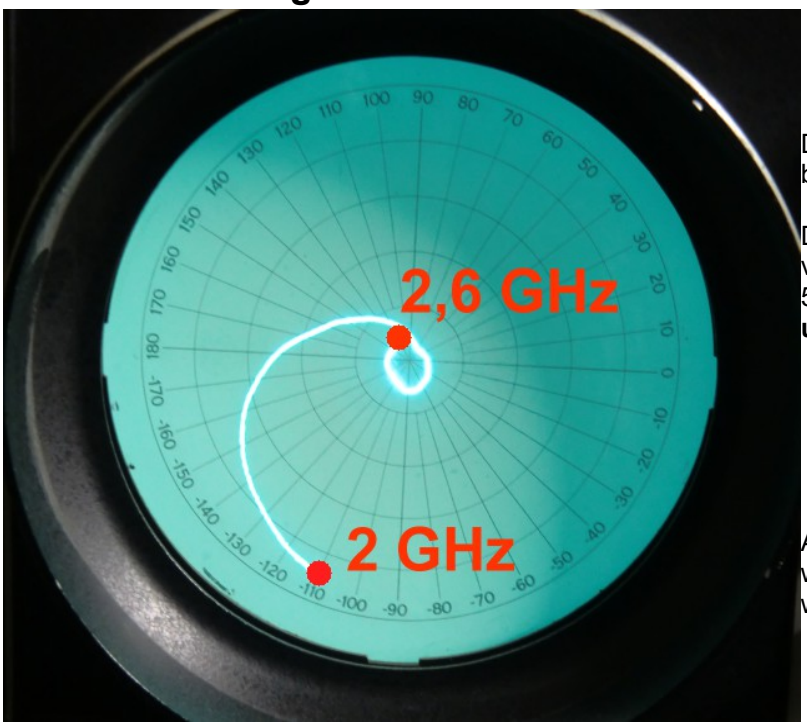
Dazu nehmen wir wieder ein kartesisches Diagramm und klicken anschließend auf „**Farfield**“ in der Menüleiste. Dort finden wir „**FarField1**“ und jetzt reicht ein Klick auf „**dB**“ (im Menü am rechten Bildrand) für diesen hübschen Anblick:



Wer Spass daran hat, findet im Menü am rechten Bildrand noch weitere Spielzeuge....

8.6. Messergebnisse mit dem Vektoriellen Network-Analyzer

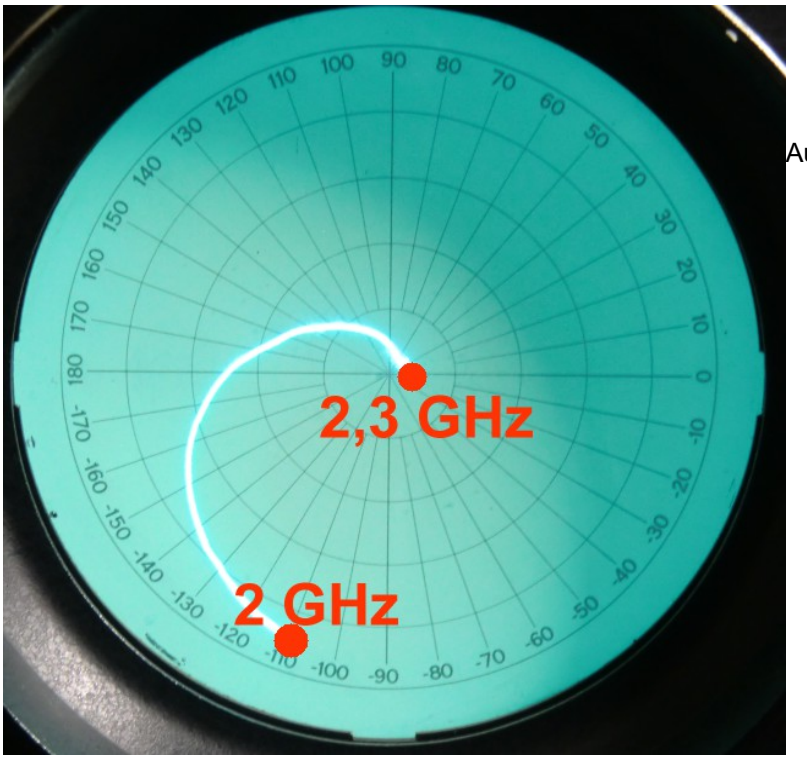
8.6.1. Feed-Länge = 27 mm



Das sieht ja geradezu vorbildlich aus – besser als die Simulation!

Die Reflektionskurve umrundet vorschriftsmäßig den Mittelpunkt, der zu 50 Ohm gehört und S11 liegt zwischen **-15 und -20 dB.**

Aber schauen wir doch mal genauer hin, wie es bei **2,3 GHz** aussieht (...denn dafür wurde die Kiste ja gebaut..)



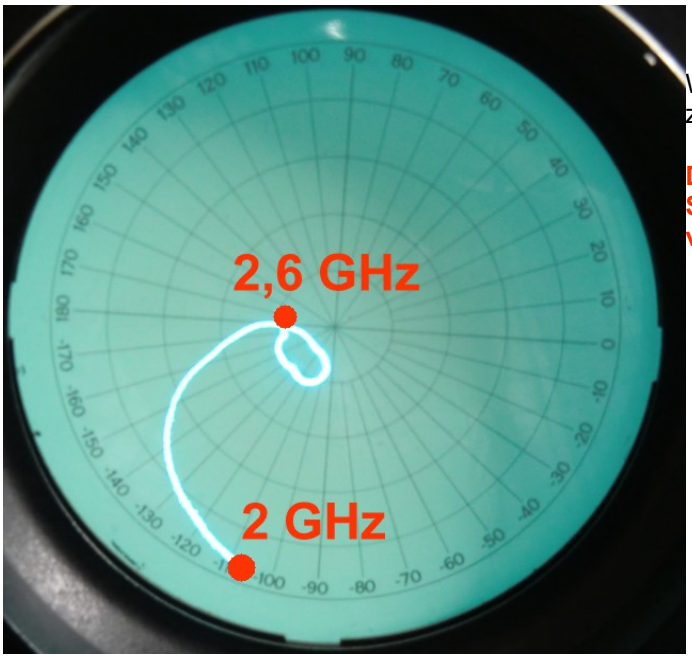
Auch hier: bestens...

8.6.2. Feed-Länge = 25,5 mm

Dieser Versuch mußte sein, denn er liefert die Antwort auf die Frage:

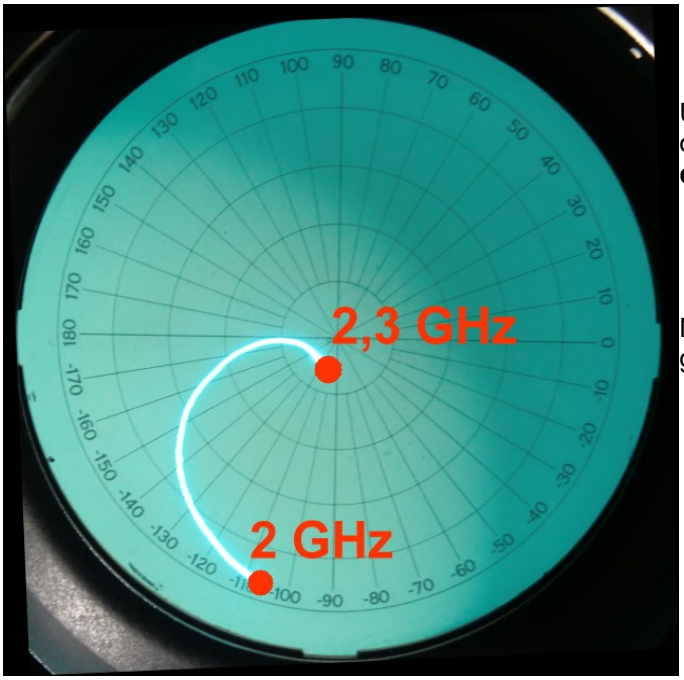
Wie sensibel reagiert die Anordnung bei mechanischen Veränderungen im Millimeter-Bereich?

Dazu wurde nochmals ein Feed anfertigt, diesmal aber mit einer Länge von 25,5 mm:



Wer genau hinschaut und einige Seiten zurückblättert, der erkennt:

Das ist ziemlich genau die Kurve, die uns die Simulation für eine Strahlerlänge von 27 mm vorausgesagt hat!



Und auch der Sweep von 2 bis 2,3 GHz ist wegen dieser „**Verschiebung der Kurve nach links durch die Verkürzung des Strahlers**“ logisch.

Nun weiß man in Zukunft, welche Korrekturen gegenüber der Simulation nötig sein dürften.

Das war's. Uff...