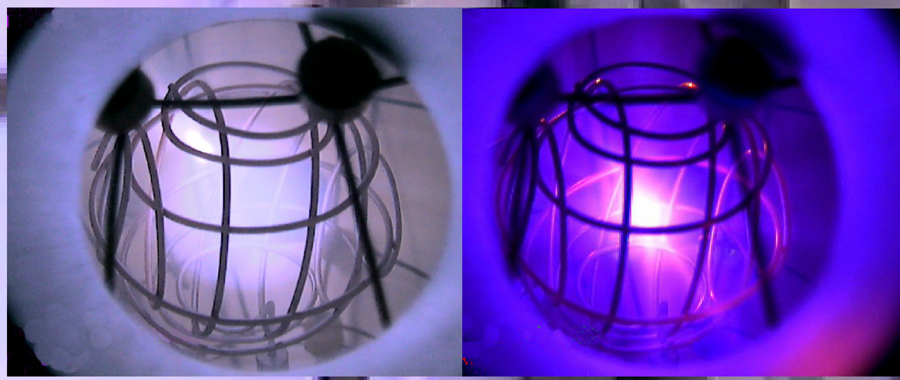
Kernfusion im Kugelreaktor

Physik

Projekt von Max Bigelmayr, Sebastian Glasl, Magnus Anselm

Seit der Entwicklung des Stellerator- und Tokamak-Prinzips in den Jahren 1951/52 konzentriert sich die moderne Kernfusionsforschung fast ausschließlich auf die Fusion im magnetischen Einschluss (Magnetic confinement fusion).Nur wenige Forschungseinrichtungen beschäftigen sich mit der weithin unbekannten Fusionsmethode des *Inertial electrostatic confinement (IEC).* Diese ursprünglich von *Philo Farnsworth* in den 1950er Jahren entwickelte Fusionstechnik bietet die Möglichkeit zur relativ einfachen, kontrollierten Deuterium-Deuterium-Fusion. Auch wenn die Effizienz nach bisherigem Forschungsstand nicht für einen funktionsfähigen Reaktor zur Energiegewinnung ausreicht, birgt die IEC-Kernfusion noch viele unbekannte theoretische und praktische Chancen.

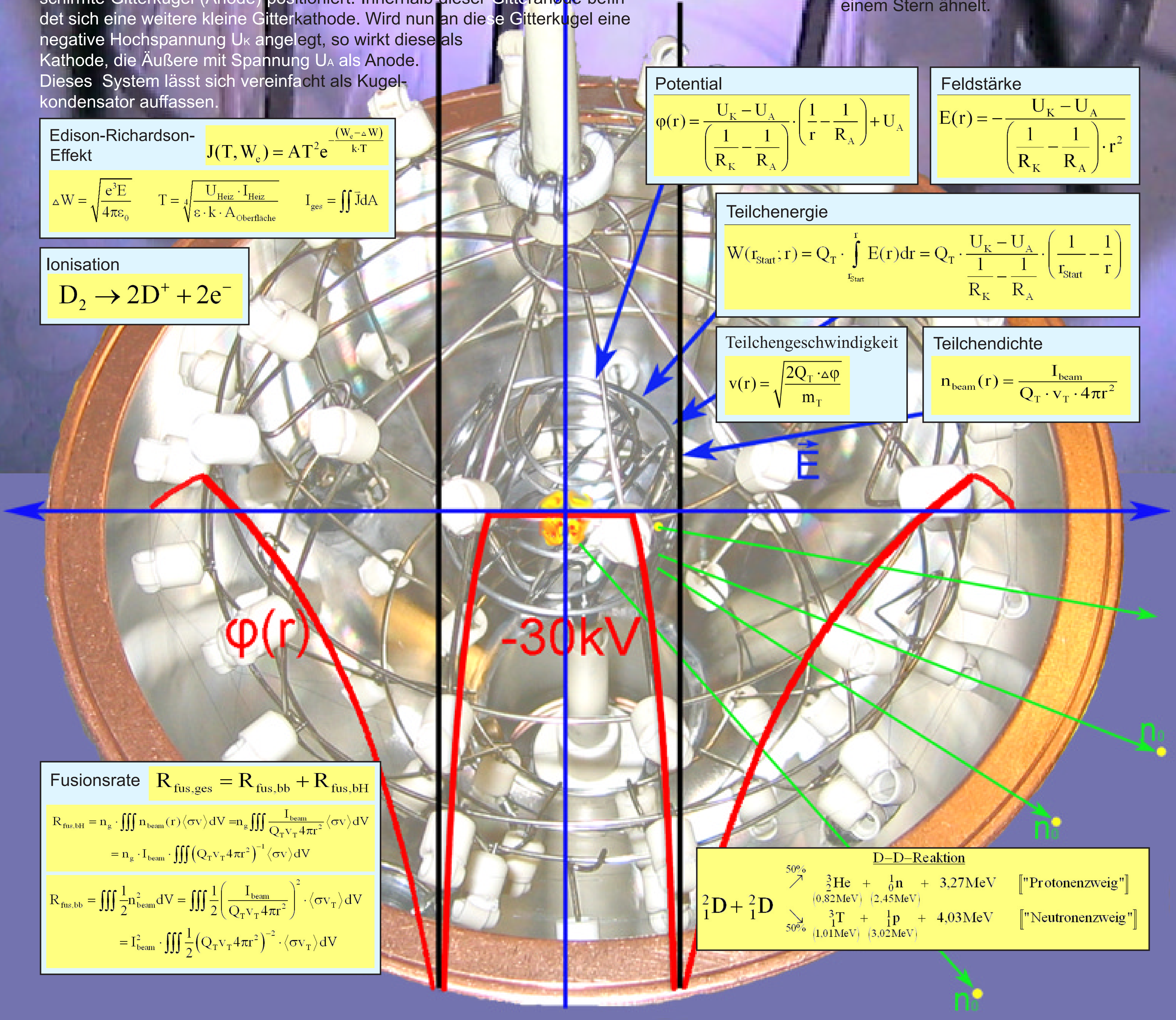
Ziel dieses Jugend forscht Projekts ist die Konstruktion eines portablen Kernfusionsreaktors, die Betrachtung der physikalischen Zusammenhänge und eine Verbesserung der Effizienz. Die Detektierung von Neutronen dient dabei nicht nur als Fusionsnachweis, sondern soll Aufschluss über die Wirksamkeit von verschiedenen Fusionsbedingungen liefern.
Durch ein **neuartiges Konzept zur Ionisierung der Deuteriummoleküle mit einer sphärischen Filamentdrahtanordnung** erhoffen wir uns eine erbliche Effizienzsteigerung im Fusionsbetrieb. Mit dieser neuen Technik eröffnen sich mit dem selbstgebauten Fusionsreaktor interessante Möglichkeiten zur Untersuchung der Fusionsplasmen im Fokus und der Deuteronen beschleunigung im elektrostatischen Feld von 10-35kV.



Durch die hohe Feldstärke werden nun die Deuteriummoleküle ionisiert. Werden die beiden Gitterelektroden symmetrisch konstruiert und ineinander platziert, so ist es möglich im Inneren der Gitterkathode Fusionsreaktionen zu erzielen. Die Deuteronen werden hierbei von allen Seiten gleichmäßig in Richtung Kathode beschleunigt, durchdringen das Gitter und erzeugen im Mittelpunkt ein kugelförmiges Plasma, dessen Erscheinung einem Stern ähnelt.

Inertial Electrostatic Confinement Fusion

Klassische Versuchsanordnungen des IEC-Verfahrens bestehen aus einer kugelförmigen Reaktorkammer, die auf einen Druck von <10-3mbar evakuiert und mit einem konstanten Einstrom von Deuterium betrieben werden.
In der Reaktorkammer ist eine von der Kammerumgebung elektrisch abgeschirmte Gitterkugel (Anode) positioniert. Innerhalb dieser Gitteranode befindet sich eine weitere kleine Gitterkathode. Wird nun an diese Gitterkugel eine negative Hochspannung U_K angelegt, so wirkt diese als Kathode, die Äußere mit Spannung U_A als Anode.
Dieses System lässt sich vereinfacht als Kugelkondensator auffassen.



Edison-Richardson-Effekt

$$J(T,W_e) = AT^2 e^{-\frac{(W_e - \Delta W)}{k \cdot T}}$$

$$\Delta W = \sqrt{\frac{e^3 E}{4\pi\varepsilon_0}} \qquad T = \sqrt[4]{\frac{U_{Heiz} \cdot I_{Heiz}}{\varepsilon \cdot k \cdot A_{Oberfläche}}} \qquad I_{ges} = \iint \vec{J}\, dA$$

Ionisation

$$D_2 \rightarrow 2D^+ + 2e^-$$

Potential

$$\varphi(r) = \frac{U_K - U_A}{\left(\frac{1}{R_K} - \frac{1}{R_A}\right)} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_A}\right) + U_A$$

Feldstärke

$$E(r) = -\frac{U_K - U_A}{\left(\frac{1}{R_K} - \frac{1}{R_A}\right) \cdot r^2}$$

Teilchenenergie

$$W(r_{Start}; r) = Q_T \cdot \int_{r_{Start}}^{r} E(r)\,dr = Q_T \cdot \frac{U_K - U_A}{\frac{1}{R_K} - \frac{1}{R_A}} \cdot \left(\frac{1}{r_{Start}} - \frac{1}{r}\right)$$

Teilchengeschwindigkeit

$$v(r) = \sqrt{\frac{2Q_T \cdot \Delta\varphi}{m_T}}$$

Teilchendichte

$$n_{beam}(r) = \frac{I_{beam}}{Q_T \cdot v_T \cdot 4\pi r^2}$$

Fusionsrate

$$R_{fus,ges} = R_{fus,bb} + R_{fus,bH}$$

$$R_{fus,bH} = n_g \cdot \iiint n_{beam}(r) \langle \sigma v \rangle dV = n_g \iiint \frac{I_{beam}}{Q_T v_T 4\pi r^2} \langle \sigma v \rangle dV$$

$$= n_g \cdot I_{beam} \cdot \iiint \left(Q_T v_T 4\pi r^2\right)^{-1} \langle \sigma v \rangle dV$$

$$R_{fus,bb} = \iiint \frac{1}{2} n_{beam}^2 dV = \iiint \frac{1}{2} \left(\frac{I_{beam}}{Q_T v_T 4\pi r^2}\right)^2 \cdot \langle \sigma v_T \rangle dV$$

$$= I_{beam}^2 \cdot \iiint \frac{1}{2} \left(Q_T v_T 4\pi r^2\right)^{-2} \cdot \langle \sigma v_T \rangle dV$$

D–D–Reaktion

$${}_1^2D + {}_1^2D \;\overset{50\%}{\nearrow}\; \underset{(0{,}82\,MeV)}{{}_2^3He} + \underset{(2{,}45\,MeV)}{{}_0^1n} + 3{,}27\,MeV \quad [\text{"Protonenzweig"}]$$

$${}_1^2D + {}_1^2D \;\underset{50\%}{\searrow}\; \underset{(1{,}01\,MeV)}{{}_1^3T} + \underset{(3{,}02\,MeV)}{{}_1^1p} + 4{,}03\,MeV \quad [\text{"Neutronenzweig"}]$$