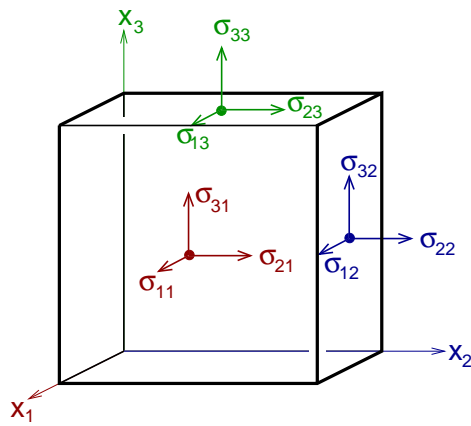


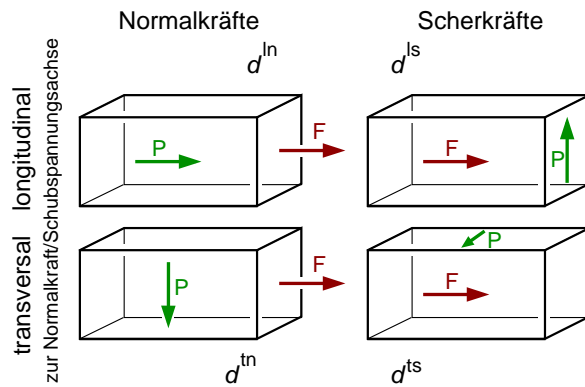
### 3.2. Piezoelektrische Eigenschaften

| X ⇒<br>↓ Y                                                     | Temperatur<br>T [K]                                                                                             | elektrisches Feld<br>E <sub>i</sub> [V/m]                                                                                       | Magnetfeld<br>H <sub>i</sub> [Vs/m <sup>2</sup> ]                                                                                    | mechanische Spannung<br>σ <sub>i,j</sub>                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entropie<br>S [J/m <sup>2</sup> s]                             | Wärmekapazität<br>χ <sup>ST</sup> = c <sub>p</sub> = $\frac{\delta S}{\delta T}$                                | elektrokalorischer Effekt<br>χ <sub>i</sub> <sup>SE</sup> = $\frac{\delta S}{\delta E}$                                         | magnetokalorischer Effekt<br>χ <sub>i</sub> <sup>SH</sup> = $\frac{\delta S}{\delta H}$                                              | χ <sub>i,j</sub> <sup>Sσ</sup> = $\frac{\delta S}{\delta \sigma}$                                                                      |
| elektrische Polarisation<br>P <sub>k</sub> [Asm <sup>2</sup> ] | pyroelektrischer Effekt<br>χ <sub>k</sub> <sup>PT</sup> = $\frac{\delta P}{\delta T}$                           | elektrische Suszeptibilität<br>χ <sub>i,k</sub> <sup>PE</sup> = $\frac{\delta P}{\delta E}$                                     | magnetoel. Effekt<br>χ <sub>i,k</sub> <sup>PH</sup> = $\frac{\delta P}{\delta H}$                                                    | piezoelektrischer Effekt<br>χ <sub>i,j,k</sub> <sup>Pσ</sup> = $\frac{\delta P}{\delta \sigma}$<br>piezoelektrische Moduln             |
| Magneti-<br>sierung<br>M <sub>k</sub> [A/m]                    | pyromagnetischer Effekt<br>χ <sub>k</sub> <sup>MT</sup> = $\frac{\delta M}{\delta T}$                           | elektromagnetischer Effekt<br>χ <sub>i,k</sub> <sup>ME</sup> = $\frac{\delta M}{\delta E}$                                      | magnetische Suszeptibilität<br>χ <sub>i,k</sub> <sup>MH</sup> = $\frac{\chi}{\mu} = \frac{\delta M}{\delta H}$                       | piezomagnetischer Effekt<br>χ <sub>i,j,k</sub> <sup>Mσ</sup> = $\frac{\delta P}{\delta \sigma}$<br>piezomagnetische Moduln             |
| mechanische<br>Deformation<br>ε <sub>k,l</sub>                 | thermische Ausdehnung<br>χ <sub>k,l</sub> <sup>εT</sup> = α <sub>k,l</sub> = $\frac{\delta \epsilon}{\delta T}$ | reziproker piezoelektr. Ef-<br>fekt (Elektrostriktion)<br>χ <sub>i,k,l</sub> <sup>εE</sup> = $\frac{\delta \epsilon}{\delta E}$ | reziproker piezo-<br>magnetischer Effekt<br>χ <sub>i,k,l</sub> <sup>εH</sup> = $\frac{\chi}{\mu} = \frac{\delta \epsilon}{\delta H}$ | Spannungstensor<br>χ <sub>i,j,k,l</sub> <sup>εσ</sup> = $\frac{\delta \epsilon}{\delta \sigma}$<br>elastische/ Elastizitäts-<br>moduln |

Übersicht: Polarisations-effekte in Festkörpern



Komponenten des Spannungstensors

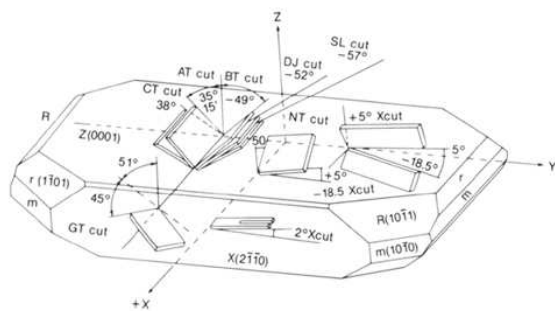


Typen des piezoelektrischen Effektes

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{11}^{ln} & d_{12}^{tn} & d_{13}^{tn} & d_{14}^{ls} & d_{15}^{ts} & d_{16}^{ts} \\ d_{21}^{tn} & d_{22}^{ln} & d_{23}^{tn} & d_{24}^{ts} & d_{25}^{ls} & d_{26}^{ts} \\ d_{31}^{tn} & d_{32}^{tn} & d_{33}^{ln} & d_{34}^{ts} & d_{35}^{ts} & d_{36}^{ls} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{11}^{ln} & -d_{11}^{tn} & 0 & d_{14}^{ls} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14}^{ls} & -2d_{11}^{ts} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Vereinfachter piezoelektrischer Tensor

Piezoelektrischer Tensor für Quarz



verschiedene Schnitte von Quarz

(Quelle: www.x-tal.com)



Foto eines Quarz-Einkristalls