

Plasticity, dislocations, self-stresses—in memory of the
theoretical physicist Ekkehart Kröner
by Friedrich W. Hehl, University of Cologne

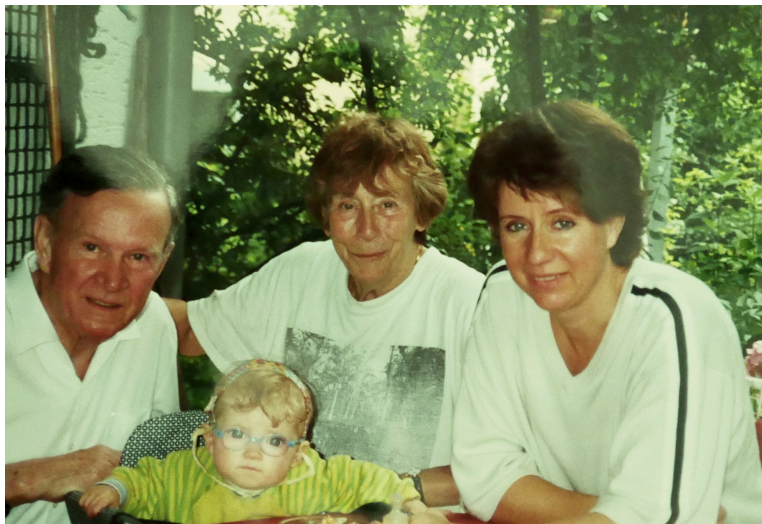




Plasticity, dislocations, self-stresses—in memory of the theoretical physicist Ekkehart Kröner (EK)

EK's life up to his habilitation

- ▶ *1919 Berlin, grew up in Potsdam,
- ▶ 1937 high school diploma (Abitur) in Potsdam, subsequently he had to serve in the German Army
- ▶ 1945 Soviet prisoner of war (caught near Königsberg = Kaliningrad)
- ▶ 1948 was released to West Germany because of tuberculosis
- ▶ 1948 inscribed at the Techn. University of Stuttgart in physics, partly hospitalized in the Black Forest
- ▶ 1951 Marriage with Gertrud (Trudel), nee Hartmann, an active school teacher: 2 daughters, Sigrid (teacher) and Ulla (physician)
- ▶ 1954/1957 Diploma/Ph.D. “The dislocation as elementary source of self-stresses” (in German)
- ▶ 1958 “Continuum theory of dislocations and self-stresses” (in German), Springer, pp.179, translated by NIST
- ▶ 1959 Habilitation degree → taught subsequently as a lecturer in theor. physics at the Techn. Univ. of Stuttgart (I was one of his students)



ger rasch abnehmenden Gauss-Funktion moduliert ist. Um aus II b ein Modell mit einem hellen Rand zu erhalten, das dem soeben betrachteten Modell II a sehr ähnlich ist, muß man noch eine Gauss-Funktion nach Kurve B' mit $T_R = T_0$ addieren (Modell II c). Außerdem ist in Abb. 9 ein Modell II d mit einem helleren Ring ($T_1 = \frac{1}{2} T_0$) eingetragen. Die Fehlerabschätzung nach Abb. 2 und 5 für die Sonnenmitte bzw. Abb. 3 und 6 a für randnahe Gebiete zeigt, daß der Fehler beim Modell II b infolge der raschen Abnahme der Fehler für die Gauss-Funktion C durch den Beitrag der Kurve D allein gegeben ist. Er wird kleiner als 10% der Mittelpunktsintensität, wenn $|\Delta T|/T_R < 0,3$ wird, d. h. nach Abb. 5 von etwa $N = 350$ an. Bei den Modellen II c und II d mit hellem Rand ist der Fehler hingegen nach Abb. 5 und 6 a durch diesen allein bestimmt. Beim Modell

II c wird er für eine Maximalentfernung $N = 850$ bzw. 950 in der Mitte der Sonne kleiner als 10% bzw. 5% der Intensität in der Mitte. Die entsprechenden Werte von N sind beim Modell II d etwa 900 bzw. 1000. Bei Modell II c stimmen sie mit den beim Modell II a erhaltenen praktisch überein. Doch hat der Aufbau der Modelle II c und II d aus Gauss-Funktionen den Vorteil, daß direkt zu übersehen ist, welche der dabei verwendeten Teilfunktionen den Wert von N bestimmen.

Zusammenfassend ist zu folgern, daß die bisherigen Messungen mit MICHELSON-Interferometern nur ein grobes Bild der Intensitätsverteilung der Sonne geben und insbesondere im dm-Wellengebiet zu wenig Informationen über ihre genauere Struktur liefern.

Die Versetzung als elementare Eigenspannungsquelle*

VON EKKEHART KRÖNER

Aus dem Institut für theoretische und angewandte Physik der Technischen Hochschule
und dem Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart
(Z. Naturforsch. 11 a, 969–985 [1956]; eingegangen am 7. September 1956)

Es wird die Stellung der Theorie der Eigenspannungen innerhalb der Kontinuumsmechanik des Festkörpers besprochen (Einleitung und Ziff. 1). Alle Eigenspannungsquellen lassen sich auf eine elementare Eigenspannungsquelle zurückführen, die Versetzung. Dabei hat man dem Begriff der Versetzung einen allgemeineren Sinn zu geben, als dies gewöhnlich in der Kristallphysik geschieht. Die geometrische Grundgleichung der Kontinuumsmechanik des Festkörpers ($\text{Rot } \epsilon + \alpha = 0$) wird in Ziff. 2 anscheinlich abgeleitet ($\epsilon =$ Distorsionstensor, $\alpha =$ Tensor der Versetzungsdichte). Die punktförmigen Gitterfehler lassen sich als infinitesimale Versetzungsschleifen oder (äquivalent) als Kräftepole, -Quadrupole usw. mit bestimmter elastischer Polarisierbarkeit beschreiben (Ziff. 3). Für ihre Wechselwirkung mit den elastischen Feldern des Kristalls gelten einfache Formeln (Ziff. 4). In Ziff. 5 folgen einige Anwendungen.

Unter Eigenspannungen im eigentlichen Sinn versteht man solche Spannungen, denen ein Körper unterliegen kann, der von keinerlei äußeren Kräften (oder Momenten), aber auch sonst von keinen spannungserzeugenden äußeren Einflüssen, wie z. B. Temperaturfeldern, elektrischen und magnetischen Feldern usw., beansprucht wird. Vom Standpunkt der Kontinuumsmechanik empfiehlt sich eine Unterteilung der Eigenspannungen, die davon ausgeht, daß es keine in allerersten Bereichen völlig stetige Verteilung von Eigenspannungsquellen gibt, daß man vielmehr gewisse (später noch genauer zu definierende) elementare Eigenspannungsquellen anzunehmen hat, die mehr oder weniger dicht beieinander liegen können. Die Eigenspannungsquellen

können dann so angeordnet sein, daß es sinnvoll ist, über sie zu mitteln und sie als eine stetig variable räumliche Dichte α im ganzen Versuchskörper zu beschreiben. Es ergeben sich dann auch die (mittleren) Spannungen als stetige Ortsfunktion. Die beim Zerschneidenversuch, also makroskopisch feststellbaren Spannungen sind von dieser Art.

Sind andererseits die dicht beieinander liegenden elementaren Eigenspannungsquellen im Mittel von entgegengesetztem Vorzeichen, so ergibt sich keine resultierende Dichte α . Von mittleren Spannungen kann dann ebenfalls nicht gesprochen werden, vielmehr werden hier die Spannungen in Bereichen von der Größenordnung des mittleren Abstandes der Eigenspannungsquellen ihr Vorzeichen umkehren. Solche Spannungen können röntgenographisch, aber nicht mehr direkt makroskopisch nachgewiesen wer-

* Dissertation, Stuttgart 1956.

What qualifies me to talk about Ekkehart Kröner?

- ▶ I wrote my *diploma*, my *Ph.D.*, and my *habilitation* theses with EK in Stuttgart and Clausthal, respectively.
- ▶ Under the influence of EK, I changed my subject from solid state physics (dislocation theory) to general relativity (gauge theories of gravitation).
- ▶ During an oral examination (around 1961), a young lecturer in x-ray physics (Dr.V.Gerold) asked me ironically: *Are you the guy who was told by Mr. Kröner to put some dislocations into the Universe?...*
- ▶ The output of my studies on dislocations in the Universe you can find in: M. Blagojević and F. W. Hehl, eds., *Gauge Theories of Gravitation, A Reader with Commentaries*, Imperial College Press, London (2013), pp.635, arXiv:1210.3775. With Chapter 18 on *Dislocations and Torsion*.

Plasticity of metals \rightarrow iron age (since about 12th century BC), and our whole civilization depends on it. Dislocations as sources of plasticity (at least in iron). Edge and screw dislocations, images drawn by Trudel Kröner.

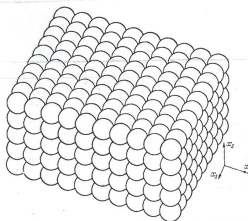


Abb. 2. Idealkristall, kubisch primitives Gitter

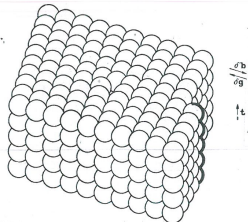


Abb. 3. Kristall von Abb. 2 nach Einwanderung einer Stufenversetzung von x_1 her

Edge dislocation

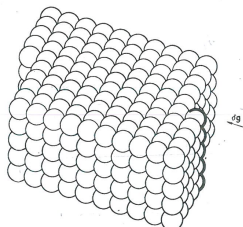


Abb. 4. Die Stufenversetzung von Abb. 3 ist in $-x_1$ -Richtung aus dem Kristall herausgewandert

Kröner (1958)

Screw dislocation

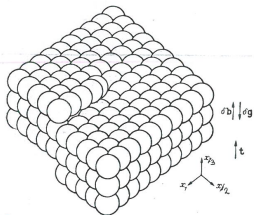


Abb. 5. Die obersten Netzebenen des Kristalls von Abb. 2 nach Einwanderung einer Schraubversetzung von x_1 her

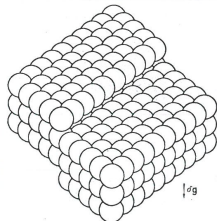


Abb. 6. Die Schraubversetzung von Abb. 5 ist in $-x_1$ -Richtung aus dem Kristall herausgewandert

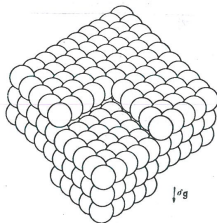


Abb. 7. Die Schraubversetzung von Abb. 5 ist in x_2 -Richtung aus dem Kristall herausgewandert

Kröner (1958)

Geometric classification of continuum mechanics

E.Kröner, IUTAM Meeting Freudenstadt-Stuttgart (1968)

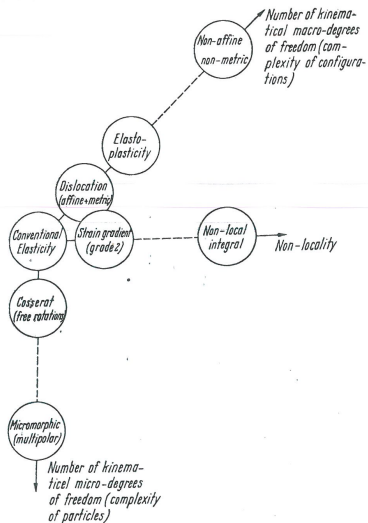


Fig. 3. Geometric classification of continuum mechanics.

Life of EK after his habilitation

“Eine Theorie der Plastizität ohne Versetzung ist nach unserer Überzeugung dasselbe wie eine Elektrodynamik ohne elektrischen Strom: eine physikalische Unmöglichkeit.”
E.Kröner (1964)

[“A theory of plasticity without dislocations is, according to our conviction, the same as electrodynamics without an electric current: a physical impossibility.”]

Kröner's fundamental laws of the field theory of dislocations:

$$\nabla \times \beta = -\alpha, \quad \nabla \times \varepsilon \times \nabla = (\alpha \times \nabla)_{\text{sym}}$$

Distorsion β , strain ε , incompatibility (**inc**-operator introd. by Kröner, cf. de St.Venant), dislocation density α , Nye's 'contortion' κ , displacement gradient...

- ▶ 1961/62 MIT as Visiting Assistant Professor
- ▶ 1963 calls to Aachen, Clausthal, Hannover, Saarbrücken
- ▶ 1963 Full Professor at the Technical University of Clausthal
- ▶ 1966/67 Harvard University as Guest Professor (sabbatical)
- ▶ 1969 Full Professor at the University of Stuttgart, successor of his teacher Ulrich Dehlinger

- ▶ 1985 Emeritus, cont. to publish till 2001, successor is Hans-Rainer Trebin
- ▶ †2000, survived by his wife Trudel (†2018), Sigrid & Ulla & grand children

Name dropping of a few collaborators of EK (according to my memory [very incomplete])

- ▶ Stuttgart (< 1962):
Hanich, Hofelich (reduce n-body problem in quantum mechanics to n-1 problem à la Bopp), Datta-Gairola, Stojanović, Eshelby & Bilby as guests, Wesołowski, Elisabetta Abate (→ Hofelich)
- ▶ Clausthal (1962/69):
Kneer, Reichstein (polycrystals), Hehl, Grafarend (Emeritus Geodesy Stuttgart), Gairola, Kessel; Kunin (from Siberia to Texas)
- ▶ Stuttgart (> 1969):
Anthony (Emeritus Theor. Physics Paderborn) ... Egon Felix Holländer (→ Shelomo Ben-Abraham [Beer-Sheva])... Lazar (from Leipzig) after 1989, now in Darmstadt...

You can get access to EK's physics via the following sources, e.g.:

- ▶ E.Kröner, in *Continuum theory of defects, Les Houches, Session XXXV, 1980–Physics of Defects*, R.Balian et al., eds, Amsterdam (1981)
- ▶ J.Weertman, *Dislocation Based Fracture Mechanics*, Singapore (1996)
- ▶ E.Kröner, *Benefits and shortcomings of the continuous theory of dislocations*, Int. J. Solids & Struct. **38**, 1115–1134 (2001)
- ▶ B.T.Maruszewski, ed., *Structured Media, In memory of Professor Ekkehart Kröner*, Publishing House of Poznan University of Technology, Poznan (2001) (contains a somewhat incomplete list of EK's publications)

At the beginnings of the 1970s in Stuttgart (I own copies of the mss. of EK)

- ▶ Lectures on Mechanics (2 terms)
 - Part I: Classical mechanics (d'Alembert, Lagrange, Hamilton, Jacobi)
 - Part IIa: Continuum mechanics (elastostatics)
 - Part IIb: Continuum mechanics (elastodynamics, hydrodynamics)
- ▶ Tensor calculus for physicists (1 term)
 - Part I: Tensor algebra, Part II: Tensor analysis
- ▶ Statistical continuum physics (1 term)

Some of EK's ideas are followed up in the following research group

DFG Research Group 1650: Dislocation based plasticity as of 2019 (by courtesy of M.Zaiser)

P1 - Dislocation based Gradient Plasticity Theory

P2 - Mesoscopic Aspects of the Continuum Theory of Dislocations

P3 - Continuum Dislocation Dynamics

P4 - Efficient Numerical Solution Methods for Dislocation based Plasticity

P5 - 3D Discrete Dislocation Dynamics

P6 - Statistical Analysis and Stochastic Modelling of Crystal Microplasticity

P7 - Exp. Characterization of Micro Plasticity and Dislocation Microstructure

P8 - Constitutive laws for continuum dislocation dynamics

