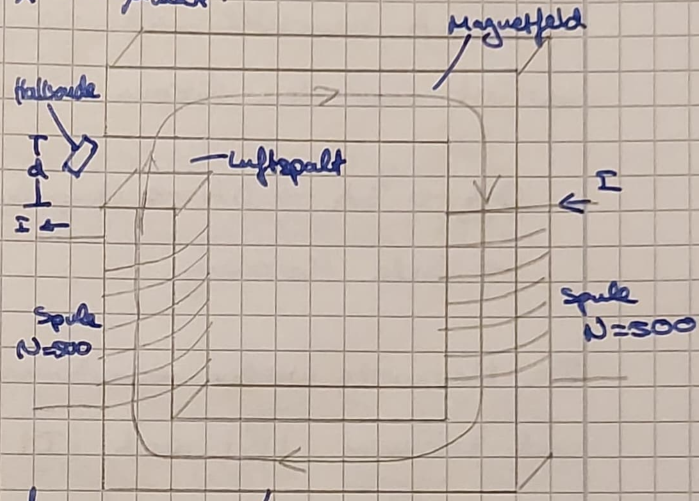
Versuch 240 – Hysterese der Magnetisierung von Eisen

23.11.22

Einleitung

In diesem Versuch messen wir die Hysteresekurve eines Eisenkerns und bestimmen daraus die Anfangs- sowie maximale Permeabilität μ_A und μ_{max}.

Theorie + Durchführung



Eisenkern
$l = (477 \pm 4)$ mm
$d = (2{,}00 \pm 0{,}05)$ mm
~~N=500~~

In einem Eisenring mit einem Luftspalt (Breite d) sind $\vec{H}_{Fe}, \vec{H}_L$ und $\vec{B}_{Fe}, \vec{B}_L$ die magnetischen Erregungen und Feldstärken im Eisen sowie im Luftspalt und l_{Fe} ist dessen mittlere Länge. Es gilt:

$$\vec{B}_{Fe} = \vec{B}_L = \mu_0 \cdot H_L \quad \text{und} \quad \oint_C \vec{H}\, d\vec{s} = H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_L \cdot d = N \cdot I$$

C durch Eisenkern

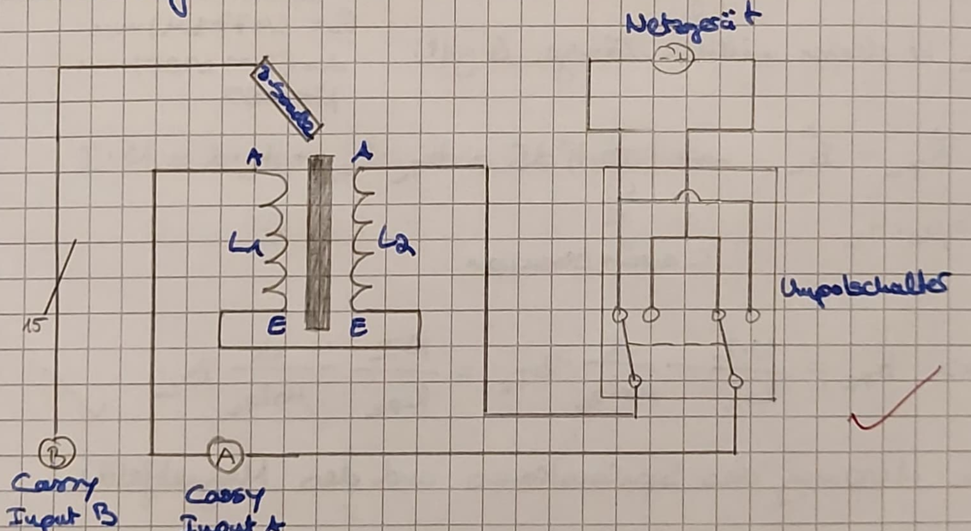
$$\Rightarrow \quad H_{Fe} = \frac{N \cdot I}{l_{Fe}} - \frac{d}{\mu_0 l_{Fe}} \cdot B_{Fe} = \frac{N I}{l_{Fe}} - \frac{d}{\mu_0 l_{Fe}} B_L$$

Die Messung des Spulenstroms und des Magnetfelds führen wir mit CASSY durch und einer Hallsonde. Um die Messung beim entmagnetisierten Eisenring zu beginnen, müssen wir mögliche Restmagnetisierung beseitigen. Dazu schließen wir die Magnetspulen an einen Regeltrafo ($U_\sim = (0-260)$ V), fahren den Ausgangstrom kurzzeitig von 0 A auf 4 A und sofort wieder zurück auf 0 A. Auf diese Weise erreichen wir, dass das Magnetfeld im Eisen auf wenige Milli-Tesla zurückgeht, da dieser erst auf der größtmöglichen Hysteresekurve zur Sättigung gebracht wird und die Schleifen sich bei Abnahme auf den Nullpunkt zusammenziehen. Dies kontrollieren wir mit der Hall-Sonde.

Der Umpolschalter wird hier nicht benötigt, da die Umpolung durch den Wechselstrom gegeben ist.
Nun werden $\vec{B}$ im Luftspalt ~~als~~ Funktion des erregenden Stroms gemessen, wobei man $|\vec{B}| \leq 1T$ und $|I| \leq 3A$ beachtet und nicht überschreitet. Dementsprechend variiert man den Strom wie folgt: (langsam)

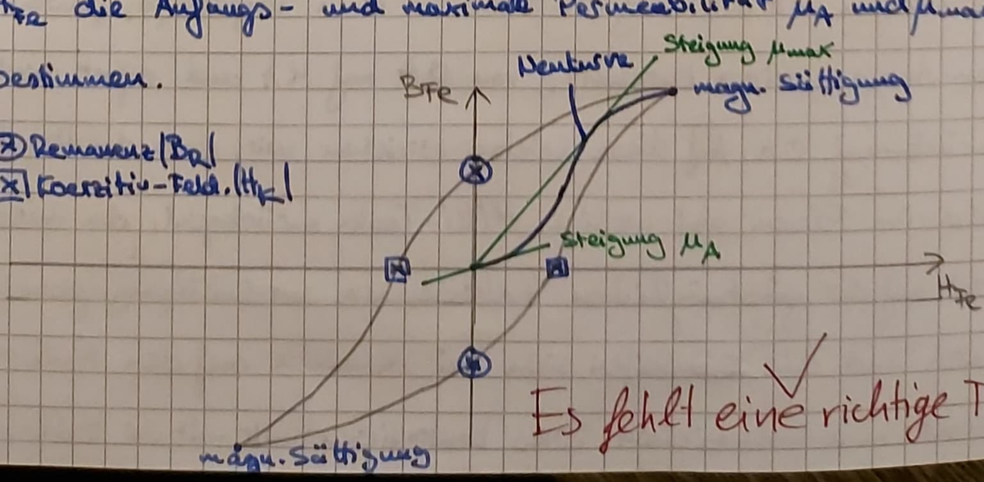
0A → 3A → 0A → Umpolen → 3A → 0A → Umpolen → 3A → Ende Messung.

Die Messwerte werden vollautomatisiert von CASSY erzeugt und zeichnen $|\vec{B}|$ und $|I|$ in Intervallen von 0,1s auf.



Durch Messen von B_{Fe} in Abhängigkeit von I können wir H_{Fe} bestimmen und aus der Hysteresekurve B_{Fe} gegen H_{Fe} die Anfangs- und maximale Permeabilität μ_A und μ_{max} bestimmen.

⊗ Remanenz $|B_R|$
$\boxed{x}$ Koerzitiv-Feld. $|H_K|$



Es fehlt eine richtige Theorie!

Messung + Beobachtungen

240.a $B_0 = (10 \pm 1)\,mT$

240.b Messintervalle $t = 100\,ms = 0{,}1\,s$

Spulen: $N = 500$ => Reihenschaltung: $N_{ges.} = 1000$
$L = 9\,mH$
$R = 2{,}5\,\Omega$
$I_{max} = 2{,}5\,A$

Eisenkern: $l_{Fe} = (477 \pm 4)\,mm = (477 \pm 4) \cdot 10^{-3}\,m$

$d = (2{,}00 \pm 0{,}05)\,mm = (2{,}00 \pm 0{,}05) \cdot 10^{-3}\,m$

240.c

Es sei direkt angemerkt, dass die Rohdaten für die folgenden Plots und benötigten Werte wegen ihrer Vielzahl (~~[illegible]~~ 1594 Werte) dem Protokoll nicht beigefügt, können aber selbstverständlich bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden.

Wir berechnen $H_{Fe} = \frac{NI}{l_{Fe}} - \frac{d}{\mu_0 \cdot l_{Fe}} B_L$

mit $N = 1000$, $l_{Fe} = (477 \pm 4) \cdot 10^{-3}\,m$, $d = (2{,}00 \pm 0{,}05) \cdot 10^{-3}\,m$,
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$ und dem gemessenen B_L.

Es folgt: $$\Delta H_{Fe} = \left[\left(\frac{\partial H_{Fe}}{\partial I}\Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial H_{Fe}}{\partial l_{Fe}}\Delta l_{Fe}\right)^2 + \left(\frac{\partial H_{Fe}}{\partial d}\Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial H_{Fe}}{\partial B_L}\Delta B_L\right)^2\right]^{1/2}$$

$$\frac{\partial H_{Fe}}{\partial I} = \frac{N}{l_{Fe}} \qquad \frac{\partial H_{Fe}}{\partial l_{Fe}} = -\frac{1}{l_{Fe}^2}\left(NI - \frac{d}{\mu_0}B_L\right) \qquad \frac{\partial H_{Fe}}{\partial d} = \frac{B_L}{\mu_0 \cdot l_{Fe}}$$

$$\frac{\partial H_{Fe}}{\partial B_L} = -\frac{d}{\mu_0 \cdot l_{Fe}}$$

$\Delta B = B \cdot 3\%$ (~~[illegible]~~ im Protokoll als Genauigkeit der Hallsonde angegeben)

$\Delta I = I \cdot 1\%$

Die Steigungen im Nullpunkt haben wir mit den ersten zwei Werten ermittelt, die der Tangente mit dem ersten und respektive einzigen Punkt, der eine Tangente durch den ersten Punkt besitzt (alles auf der Neukurve (Abb. 2), die Teil der Hysteresekurve (Abb. 1) ist). Die Hysteresekurve sowie Neukurve erhalten wir durch auftragen von B gegen H. Wir erhalten folgende Geraden:

o.k.

es wird nicht klar wie diese Geraden (insbesondere die 2.) zustande kommen

$$1)\quad B_1(H) = (1{,}89 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-4}\,\frac{m \cdot T}{A} \cdot H + \overset{87{,}4 \cdot 10^{-4}}{\cancel{8{,}74 \cdot 10^{-5}}}$$

$$2)\quad B_2(H) = (6{,}1 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-4}\,\frac{m \cdot T}{A} \cdot H - 7{,}4 \cdot 10^{-4}$$

Und erhalten folgende relative Permeabilitäten $\mu_{i,r} = \frac{\mu_i}{\mu_0}$:

$$\mu_{A,r} = \frac{\mu_A}{\mu_0} = 149 \pm 40 \Leftrightarrow \mu_A = (149 \pm 40)\mu_0$$

$$\mu_{max,r} = \frac{\mu_{max}}{\mu_0} = 482 \pm 40 \Leftrightarrow \mu_{max} = (482 \pm 40)\mu_0$$

Fazit

Die Hysteresekurve ist sehr zufriedenstellend und auch die berechneten Permeabilität~~en~~ liegt in der Größenordnung ~~Bereich~~ der Literaturwerte von (300 bis 10000) μ_0 mit ~~und~~ unserem Wert von $(482 \pm 40)\mu_0$. Demnach ist ~~kann~~ dieser Versuch den Erwartungen entsprechend verlaufen und lieferte zufriedenstellende ~~realitäten~~ realistische Werte.

Quelle?

Anhang

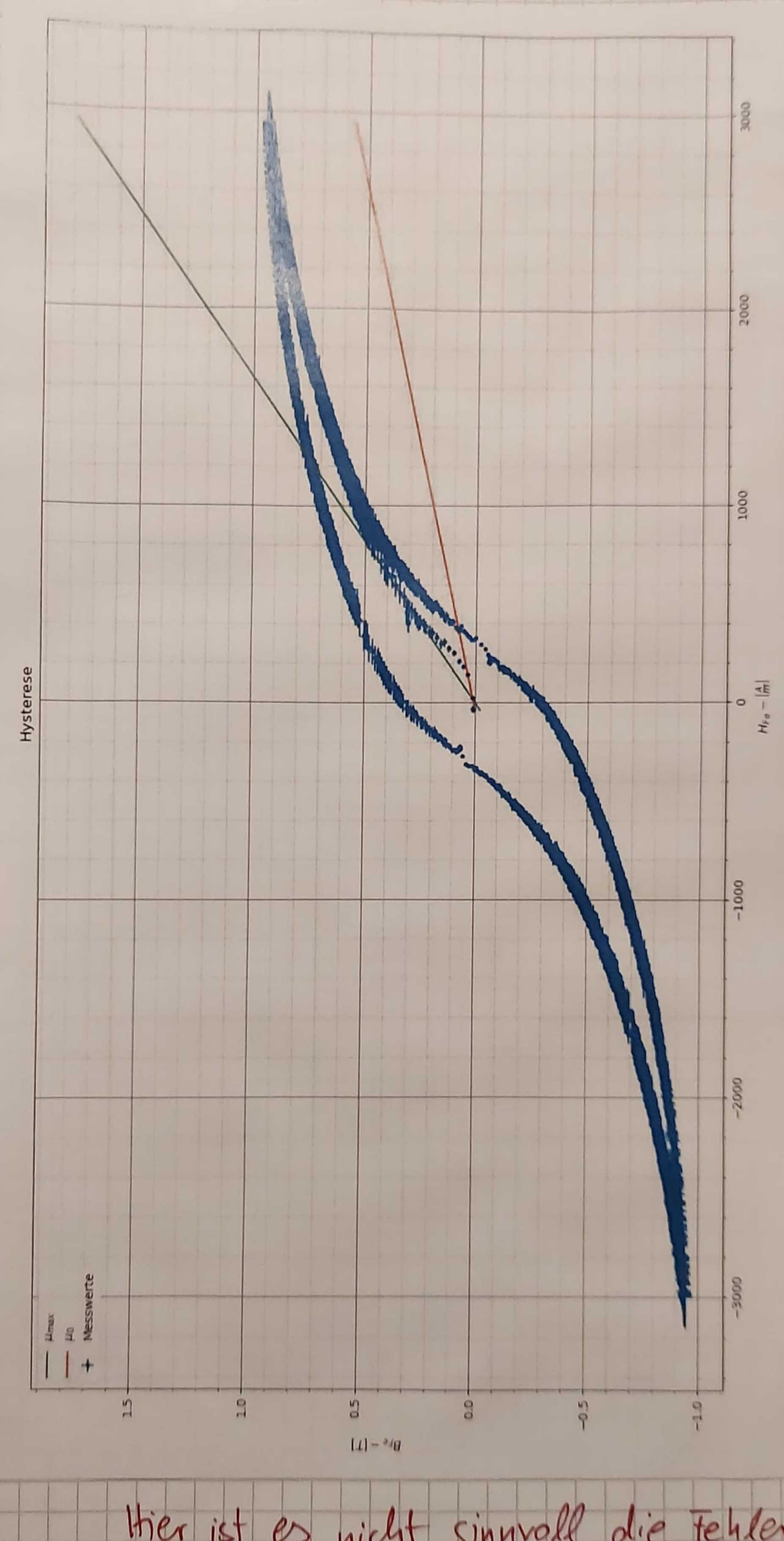


Abb. 1 Hysteresekurve

Hier ist es nicht sinnvoll die Fehler mit darzustellen! (Warum?)

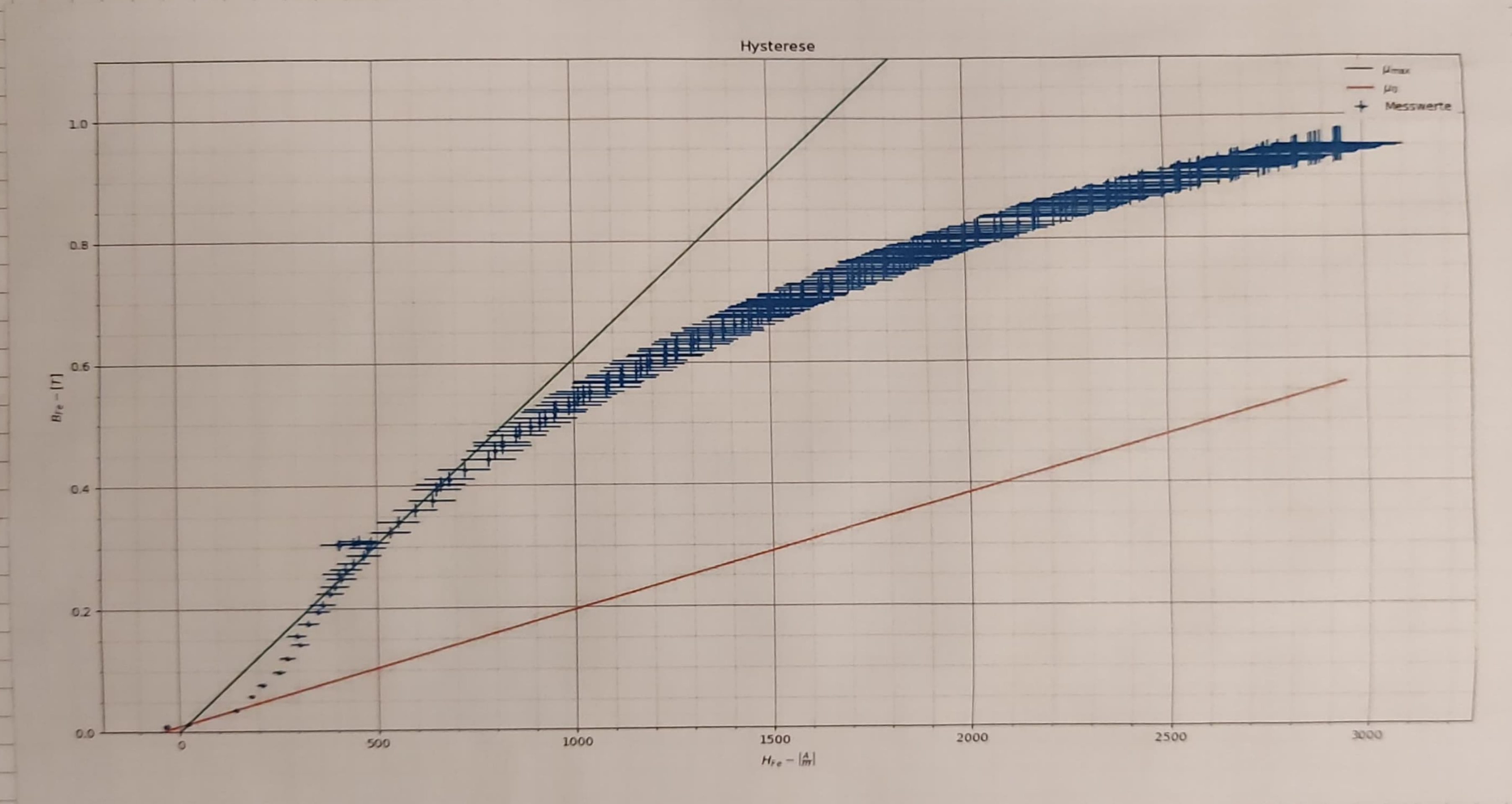


Abb 2 Neukurve

Leider fehlt deinem Protokoll eine richtige Theorie und auch etwas an Erklärung. Ansonsten ein schönes Protokoll

nachreichen

- Erklärung woher die 2. Gerade kommt
- Quelle Literaturwert

Nachreichen:

Für die Erstellung beider Geraden schaut man sich zwei Punkte an, durch die man dann eine Gerade der Form $y = mx + b$ legt.

Für die erste Gerade nutzten wir $A(22{,}6\cancel{7}\,62 \mid \cancel{142{,}56}\; 0{,}013)$

(auf 3 Dezimalen gerundet) $B(142{,}5\cancel{6}\,58 \mid 0{,}036)$

Für die zweite Gerade nutzten wir $A(22{,}62 \mid 0{,}013)$

(auf 3 Dezimalen gerundet) $C(663{,}507 \mid 0{,}402)$

Wir berechnen dann $m_1 = \frac{x_B - y_A}{x_B - x_A}$ sowie $m_2 = \frac{y_C - y_A}{x_C - x_A}$

und $b_1 = y_A - m_1 x_A$ sowie $b_2 = y_A - m_2 x_A$

Mit $\Delta m = 0{,}5$ erhielten wir dann die Geradengleichungen

1) $B_1(H) = (1{,}9 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-4} \frac{m \cdot T}{A} + 87{,}4 \cdot 10^{-4}$

2) $B_2(H) = (6{,}1 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-4} \frac{m \cdot T}{A} - 7{,}4 \cdot 10^{-4}$

Quelle Literaturwert für die Permeabilität von Eisen (300-10000)μ_0:
chemie.de/lexikon/Permeabilitätszahl.html (Zugriff: 7.12.22)

Bestanden