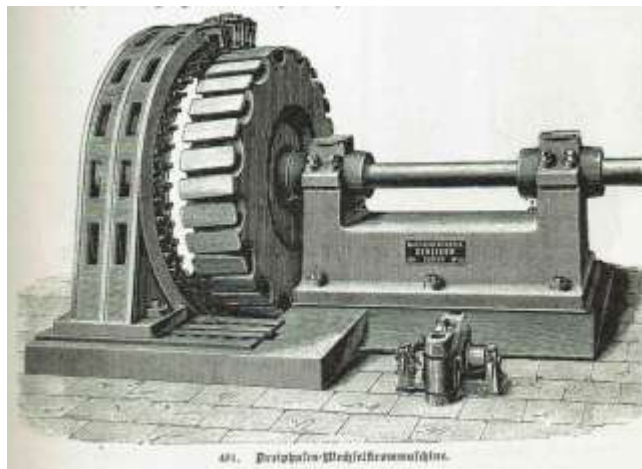


# Magnetische Kreise in rotierenden Maschinen mit Klauenpolanordnungen (Beispiele aus den Fahrraddynamos)



## Inhalt

1	Definition und Anwendungsgesichtspunkte von Klauenpolanordnungen .....	3
2	Charakteristische Merkmale der Klauenpolanordnungen .....	5
2.1	Anordnung der Klauenpole um eine Ringspule .....	5
2.2	Polräder .....	7
2.3	Flussrichtung im Polschuh .....	9
3	Von der Ringspule abweichende einsträngige Wicklungen .....	10
3.1	Bewicklung ausgeprägter Pole .....	10
3.2	Bewicklung der Joche .....	13
3.3	Mäanderförmige Spulenform .....	15
4	Ableitung der Klauenpolanordnung aus der mäanderförmigen Wicklung .....	19
5	Prinzipieller Feldverlauf in Klauenpolanordnung .....	23
6	Ausgeführte Klauenpolanordnungen .....	25
6.1	Klauenpolpolräder .....	25
6.2	Rotierende Klauenpolanker .....	27
6.3	Ruhende Klauenpolanker mit Außenläufer .....	29
6.4	Separate magnetische Kreise .....	32
6.4.1	Radial geblechte Klauenpole .....	32
6.4.2	Aus Blechstreifen gebogene Polpaare .....	34
6.5	Klauenpole in axialer Richtung neben der Ankerspule .....	35
6.5.1	Einteilige Klauenpolanordnung, 8-polig .....	35
6.5.2	Zweiteilige Klauenpolanordnung mit vier Polen .....	36
6.6	Modifizierungen des Ankereisens für Innenpolräder .....	37
6.6.1	Gegossene Klauenpolkränze .....	37
6.6.2	Einteilige Klauenpolausführung .....	38
6.6.3	Dreiteilige Klauenpolausführung .....	38
6.6.4	Zweiteilige Klauenpolausführung .....	42
6.7	Einzelpole .....	48
6.7.1	Radialgeblechte Polschuhe .....	48
6.7.2	Polschuhe aus übereinanderliegenden Blechen .....	50
7	Konstruktion eines 12-poligen Klauenpolankers mit separaten magnetischen Kreisen .....	51
8	Klauenpolähnliche Ausführungen mit Axialfeld .....	59
8.1	Magnetische Kreise und Luftspalte .....	59
8.2	Luftspalt an der Peripherie der Ankerspule .....	59
8.3	Luftspalt im Spulenkern .....	62
9	Quellen .....	65

# 1 Definition und Anwendungsgesichtspunkte von Klauenpolanordnungen

Der Trend in der Industrie, in öffentlichen Einrichtungen und im privaten Umfeld immer mehr Bewegungsaufgaben, für die nur kleine Leistungen benötigt werden, mit rotierende elektromagnetischen Antrieben auszuführen, ist begleitet von den bekannten Forderungen nach geringen Fertigungskosten, langer Lebensdauer, hohem Wirkungsgrad und geringen Geräuschen. Als mögliche Antriebe kommen oft nur Gleichstromkommutatormotoren und Elektronikmotoren in Frage, deren Vor- und Nachteile es abzuwägen gilt. Die Lebensdauer und die Geräusche sprechen für den Elektronikmotor, reichen aber aufgrund der Kosten nicht aus, den Kommutatormotor sicher zu verdrängen.

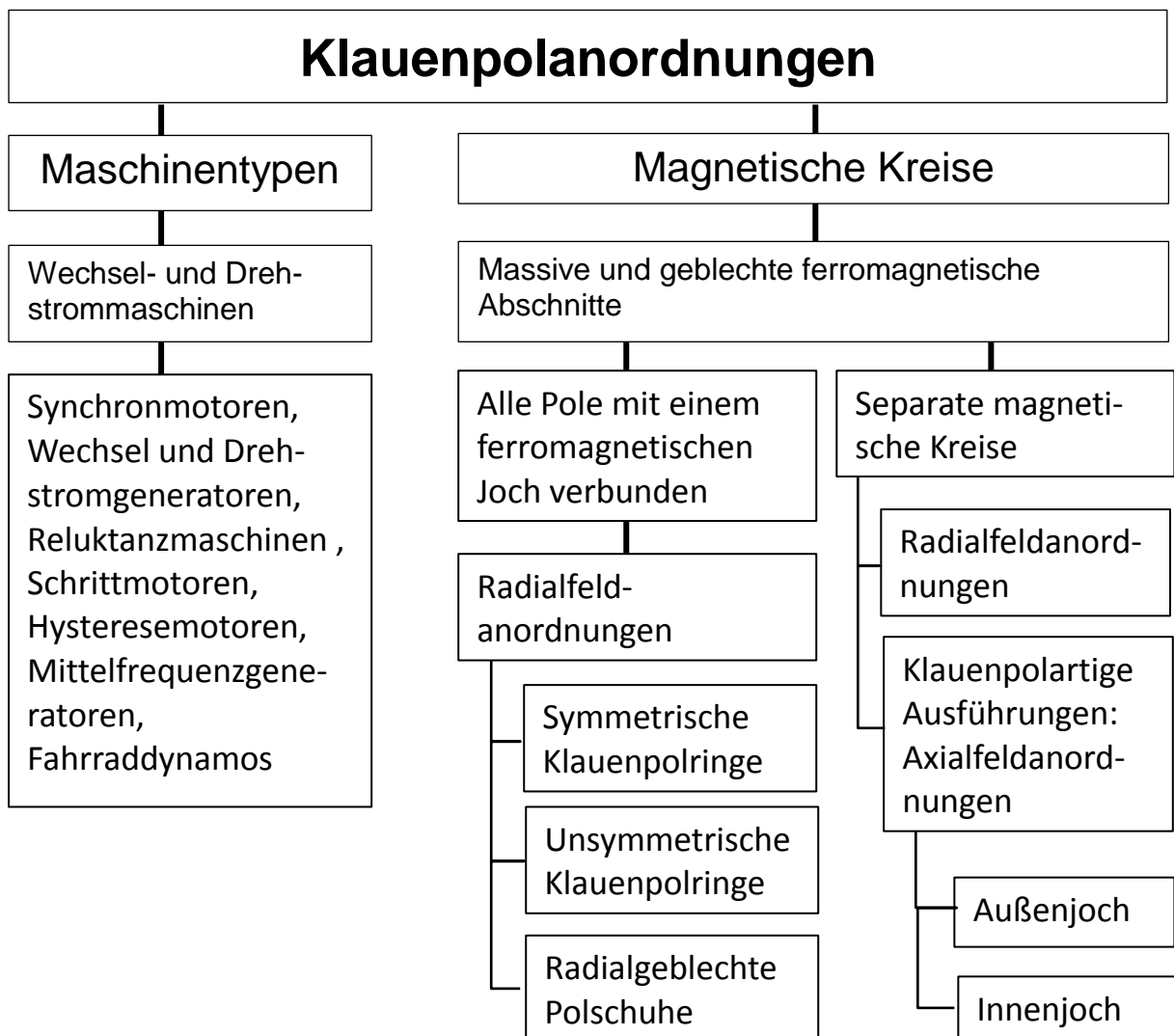


Bild 1.1: Ausführungen der Klauenpolanordnungen

Um die Kosten der Elektronikantriebe zu reduzieren, werden vielfach einsträngige Wicklungen angestrebt. Dabei hat man die Wahl, die Polschäfte oder die Joche des magnetischen Kreises zu bewickeln oder Klauenpolanordnungen zu verwenden, deren Wicklung nur aus einer Ringspule besteht. Durch die Gestaltung des magneti-

schen Kreises lassen sich mit der Ringspule beliebig viele Polpaare am Luftspalt positionieren.

Klauenpolanordnungen kommen für die Auslegung der Anker und der Polräder in Frage. Dabei können in einer Maschine Läufer und Ständer oder nur einer dieser Hauptelemente als Klauenpolkonstruktion ausgeführt werden. Einen Überblick der prinzipiellen Gestaltung der Klauenpolanordnungen gibt die Blockgrafik im Bild 1.1. Die Begriffe Klauenpolanordnung, Klauenpolmaschine und Klauenpolmotor werden in erster Linie mit den Dosen- oder Schachtel-motoren in Verbindung gebracht (Bild 1.2).

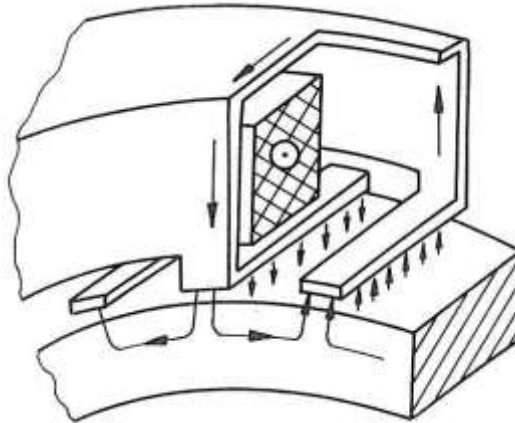
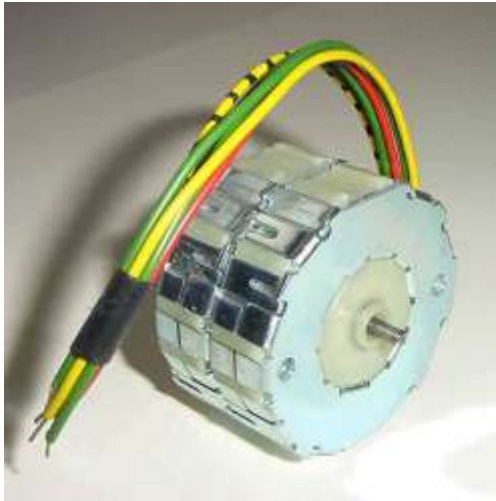


Bild 1.2: Klauenpolmotor (Dosenmotor)

Auf diese Erzeugnisgruppe bezieht sich die im „Lexikon der Elektrotechnik“ vom VHC Verlag 1994 ausgewiesene Definition der Klauenpolanordnungen. Darin heißt es:

**Klauenpolanordnung**, eine **spezielle Ausführung** des magnetischen Kreises elektrischer Maschinen, bei der das magnetische Feld einer Ringspule von einem weichmagnetischen Blech oder einem Gießkörper so geführt wird, dass innerhalb der Spule die Klauenpole entstehen. Auf diese Weise kann eine große Polpaarzahl realisiert werden. In Verbindung mit einem heteropolar magnetisierten permanentmagnetischen Läufer werden auf diese Weise Kleinmaschinen als Synchronmaschine vor allem als Schrittmotor ausgeführt. Klauenpolanordnungen finden auch bei Drehstromlichtmaschinen Verwendung.

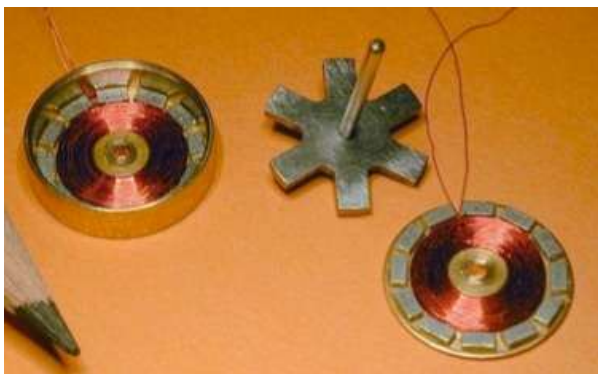


Bild 1.3: Als Klauenpolanordnung bezeichneter Generator mit Leitstückläufer

Diese Definition erfasst nur eine spezielle Gruppe der Klauenpolanordnungen und ist demzufolge zu eng gefasst. Auf der anderen Seite wird der Begriff Klauenpolanord-

nung sehr weit ausgedehnt, denn er wird z.B. auch für einen Generator mit Leitstückläufer verwendet (Bild 1.3).

Um Konstruktionen den Klauenpolanordnungen zuordnen zu können, werden einige Kriterien zusammengestellt, die diese Baugruppe elektrischer Maschinen charakterisieren.

## 2 Charakteristische Merkmale der Klauenpolanordnungen

### 2.1 Anordnung der Klauenpole um eine Ringspule

Kennzeichen einer **Klauenpolanordnung** ist eine Ringspule (Bild 2.1), die mit ferromagnetischen Elementen am Luftspalt eine Polpaarzahl größer als 1 ausbildet. Dabei werden zunächst die ferromagnetischen Verbindungen der Pole unterschiedlicher und gleicher Polarität nicht betrachtet. Die Ankerpole können an der inneren (Bild 2.2) und an der äußeren Seite (Bild 2.3) der Spulenoberfläche angeordnet werden. Außerdem lassen sich die Klauenpole auch in axialer Richtung neben der Spule zu einer zylindrischen Fläche anordnen (Bild 2.4).

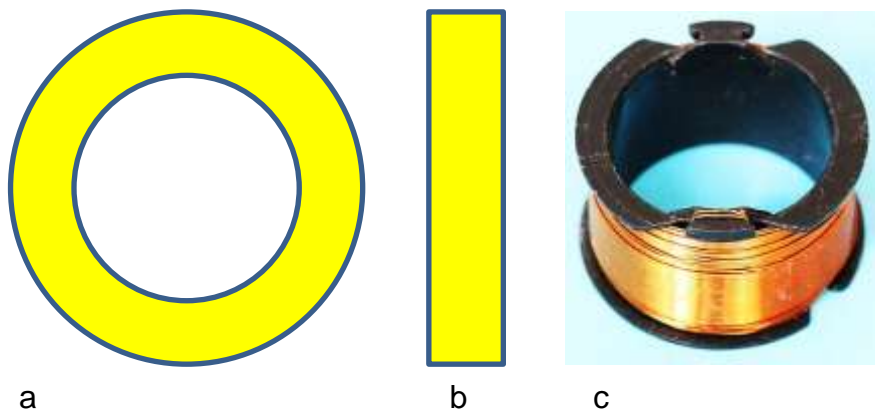


Bild 2.1: Ringwicklung: a) Axiale Ansicht, b) Radiale Ansicht, c) Reale Ausführung

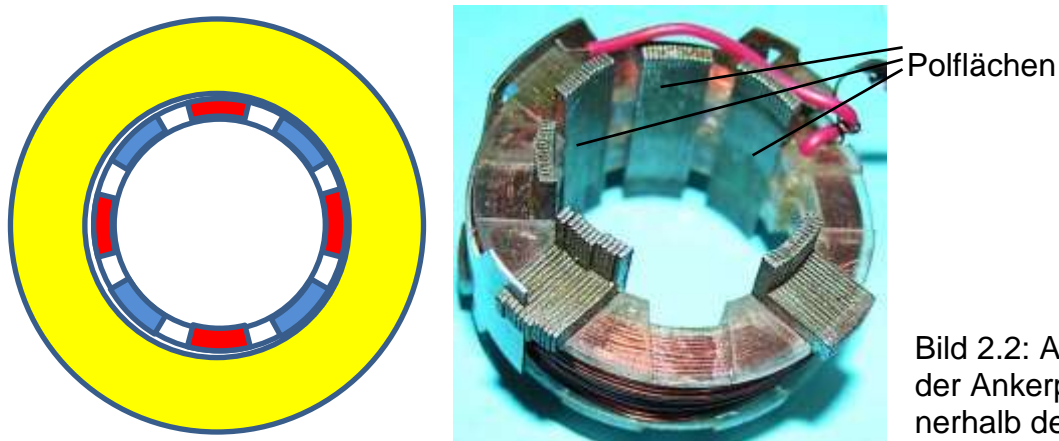


Bild 2.2: Anordnung der Ankerpole innerhalb der Spule

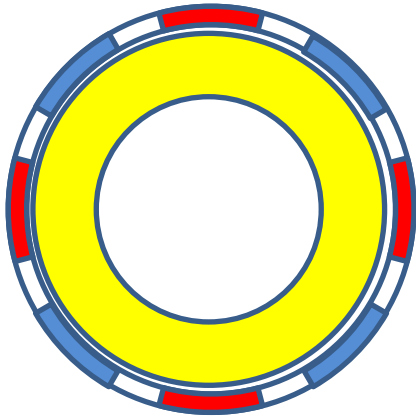


Bild 2.3: Anordnung der Pole an der Peripherie der Spule

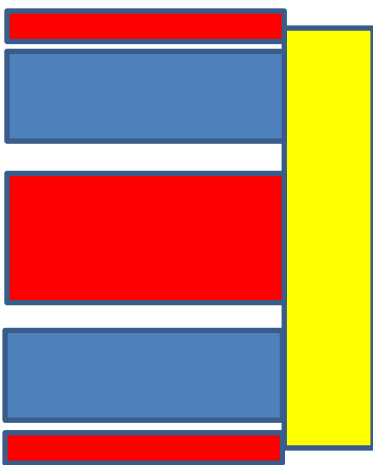


Bild 2.4: Anordnung der Pole in axialer Richtung zur Spule

Die ferromagnetische Verbindung (Joch) der Klauenpole kann paarweise erfolgen, sodass zwei Klauen zu einem separaten magnetischen Kreis gehören. Dabei können benachbarte Polschuhe verbunden werden oder solche, die um  $(2n+1)$  Polteilungen voneinander entfernt sind. Im Bild 2.5 beträgt der Abstand der verbundenen Pole drei Polteilungen.



Bild 2.5: Ferromagnetische Verbindung zweier Pole, die um drei Polteilungen voneinander entfernt sind

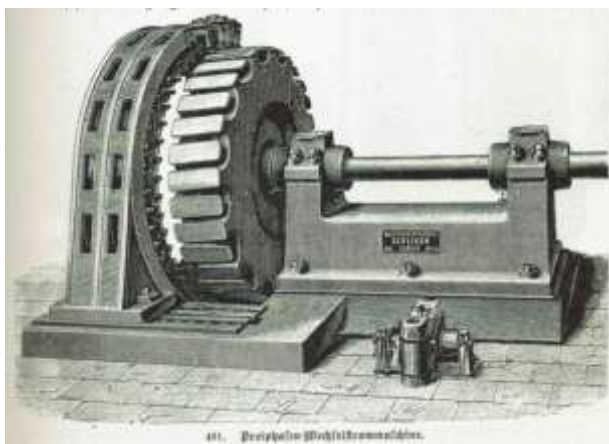
Die separaten magnetischen Kreise haben den Vorteil, dass für den magnetischen Kreis des Ankers nur schmale Bleichstreifen geschnitten werden müssen. Geringere Montageaufwendungen ergeben sich, wenn die gleichnamigen Pole an einer Seite verbunden werden und einen Kranz bilden (Bild 2.6). Zwei Kränze werden gegeneinander um eine Polteilung verdreht und ihre Klauen ineinander gesteckt. Diese Elemente erinnern an Klauenkupplungen, von denen vermutlich die Bezeichnung „Klauenpolanordnung“ für magnetische Kreise abgeleitet worden ist.



Bild 2.6: Ferromagnetische Verbindung der Pole gleicher Polarität

## 2.2 Polräder

Wird die Ringspule einer Klauenpolanordnung mit Gleichstrom eingespeist, dann werden aus den Ankern Polräder, die vorzugsweise in Drehstrommaschinen eingesetzt werden (Bild 2.7). In Wechselstromgeneratoren kleiner Leistung, z.B. in Fahrraddynamos, wird die stromdurchflossene Spule durch einen axialmagnetisierten zweipoligen Dauermagneten ersetzt (Bild 2.8). Er wird kombiniert mit Klauenpolkränzen, deren Joche sich an die stirnseitigen Polflächen der Magnete anlegen. Die Klauenpole können in axialer Richtung neben dem Magneten angeordnet (Bild 2.9) oder um die zylindrische Oberfläche des Magneten verteilt werden (Bild 2.10).



a



b

Bild 2.7: Gleichstromerregte Polräder: a) Drehstromgenerator von Laufen 1891, b) Erregersystem eines Fahrzeuggenerators

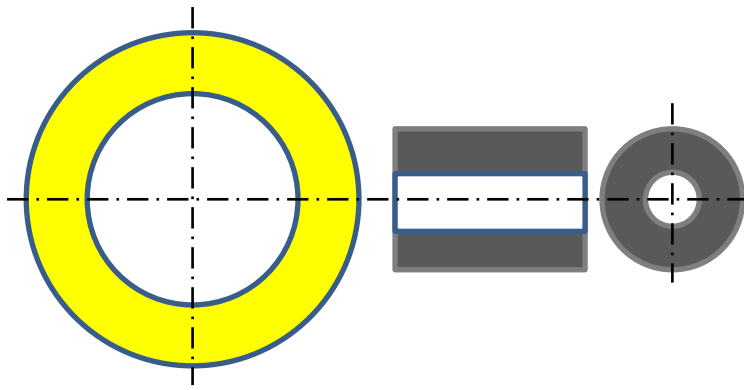


Bild 2.8: Möglichkeiten zum Aufbau eines Gleichfeldes:  
 a) Ringspule  
 b) Axialmagnetisierter Dauermagnet

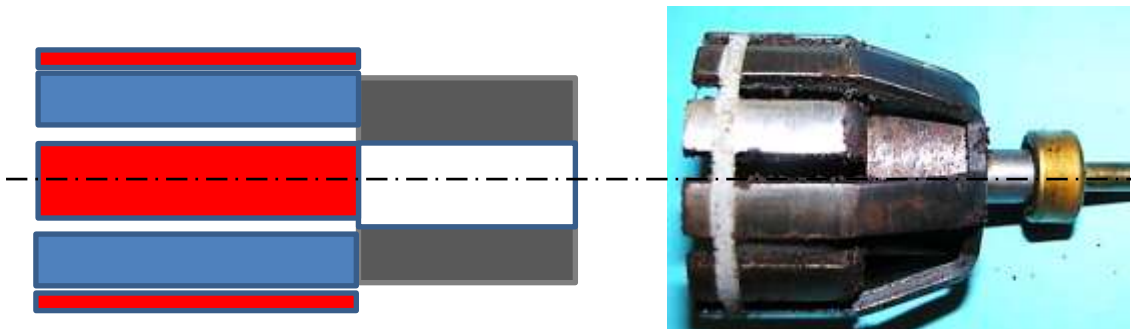


Bild 2.9: Pole axial zum Magneten angeordnet

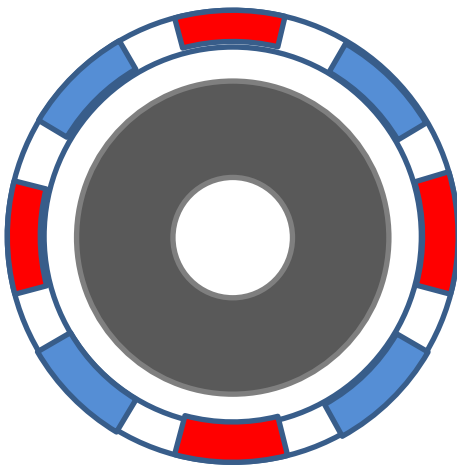


Bild 2.10: Klauenpole a Magneten angeordnet



### 2.3 Flussrichtung im Polschuh

Im Bild 2.11 ist ein Klauenpolpaar dargestellt. Im Vergleich zu realen Anordnungen sind ein Magnetpol und ein Klauenpol um eine Polteilung verdreht dargestellt, sodass beide Klauenpole in einer Ebene liegen. Außerdem sind die beiden Klauenpole nebeneinander gezeichnet, sodass der magnetische Kreis eines Klauenpolpaares ersichtlich ist. Die Pfeile geben die Richtung des magnetischen Flusses in den einzelnen Abschnitten des magnetischen Kreises an. Daran lassen sich zwei Unterschiede zu den elektrischen Maschinen mit ausgeprägten Polen erkennen:

- Der magnetische Fluss verläuft innerhalb der Polschuhe bzw. Klauenpole in axialer Richtung und nimmt vom Polfuß zur Polspitze ab.
- Entlang der Polschuhachse erfolgt eine stetige Umlenkung des magnetischen Flusses um  $90^\circ$ , sodass radiale Luftspaltfelder aufgebaut werden.
- Die Feststellung, dass die Luftspaltfelder benachbarter Klauenpole in Umfangsrichtung ihre Richtungen wechseln, d.h. es existiert ein heteropolares luftspaltfeld, erscheint trivial, ist aber zur Abgrenzung von den klauenpolartigen Ausführungen notwendig.

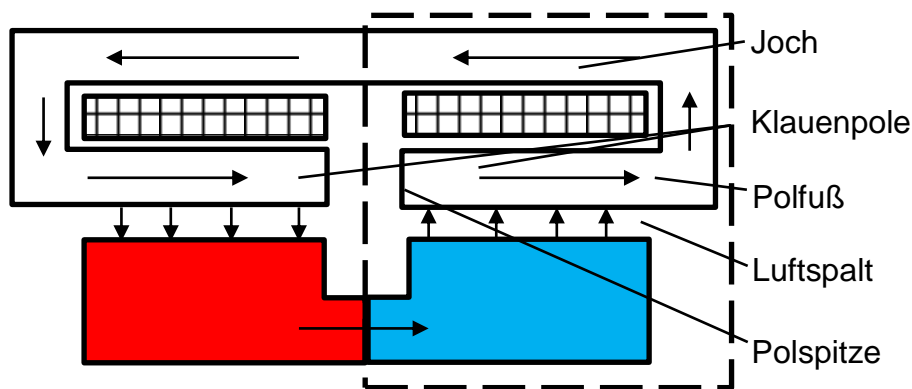


Bild 2.11: Darstellung eines Klauenpolpaares in einer Ebene, in der die Pfeile die Richtung des magnetischen Flusses angeben. Magnetpol und Klauenpol innerhalb der unterbrochenen Linie um eine Polteilung verdreht.

Im Vergleich zu den Grundformen der elektrischen Maschinen erscheinen die Klauenpolanker als eigenwillig gestaltete elektromagnetischer Kreise, wie es im Lexikon / 1/ betont wurde. Man kann aber durchaus eine Verwandtschaft mit anderen einsträngigen Wicklungen elektrischer Maschinen ableiten. Für eine Gegenüberstellung der einsträngigen Wicklungsarten bieten sich die vielfältigen Anker Ausführungen in Fahrraddynamos an. Dabei schält sich der Unterschied heraus, dass bei den Klauenpolanordnungen nicht wie üblich die Wicklung den einfachen Formen des magnetischen Kreises angepasst wird, sondern die ferromagnetischen Abschnitte werden auf die Kontur der Ringwicklung zugeschnitten.

### 3 Von der Ringspule abweichende einsträngige Wicklungen

#### 3.1 Bewicklung ausgeprägter Pole

Die prinzipielle Darstellung einsträngiger Wicklungen auf den Schäften ausgeprägter Pole (Bild 3.1) ist praktisch ein Symbol elektrischer Maschinen, denn bewickelte Pole und Zähne sind Bausteine in dreiphasigen Synchrongeneratoren des gesamten Leistungsbereichs, in Asynchronmaschinen, in Wechselstromgeneratoren sowie in Gleich- und Wechselstromkommutatormotoren. Die Spulen sind sowohl im Ständer (Bild 3.2) als auch im rotierenden Hauptelement (Bild 3.7) positioniert und werden von Wechsel- und Gleichströmen durchflossen. Die Polpaarzahl kann beliebig gewählt werden. Je nach Entfaltung von Wirbelströmen werden die Pole massiv oder geblecht ausgeführt (Bild 3.3).

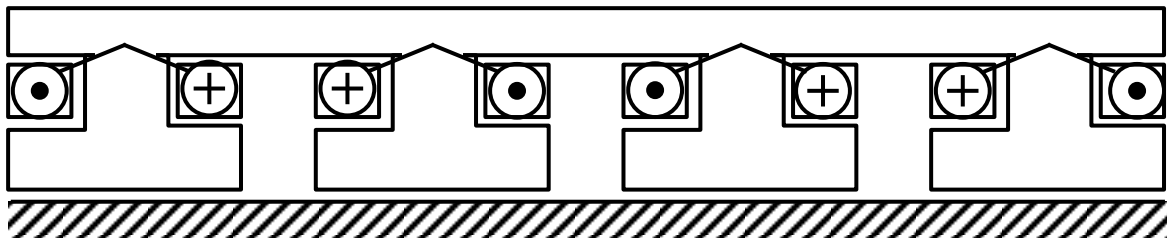


Bild 3.1: Einsträngige Wicklungen auf den Schäften ausgeprägter Pole mit den Stromrichtungen bei Gleichstromeinspeisung

In Abhängigkeit vom Konstruktionskonzept der Fahrraddynamos wurden die magnetischen Kreise unterschiedlich ausgeführt. Das betrifft sowohl die ruhenden als auch die rotierenden Anker. Im Bild 3.2a sind die Ankerspulen auf den ausgeprägten Polen eines runden Blechpakets aufgeschoben. Die Ankerpolachsen sind radial ausgerichtet. Dagegen verlaufen die Achsen der Spulenkerne im Bild 3.2b parallel zur Drehachse des Läufers. Alle sechs Spulenkerne sind auf einer Jochplatte montiert. Zur Reduzierung der Wirbelströme wurden die Spulenkerne auch geblecht ausgeführt (Bild 3.3).

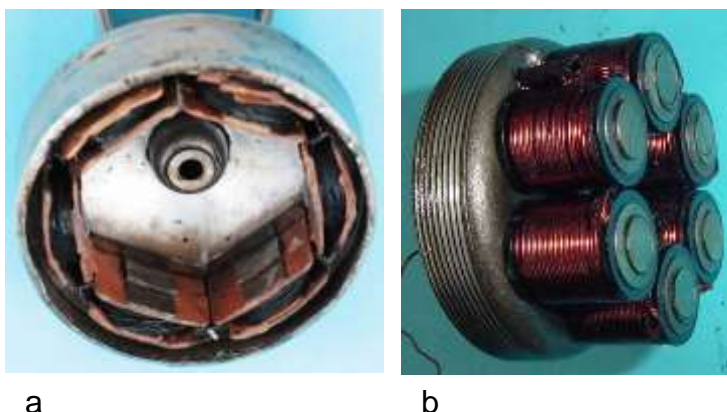


Bild 3.2: Bewicklung radialer und achsparalleler Polschäfte im Ständer  
a) Rundes Blechpaket mit ausgeprägten Polen  
b) Säulenförmige massive Spulenkerne

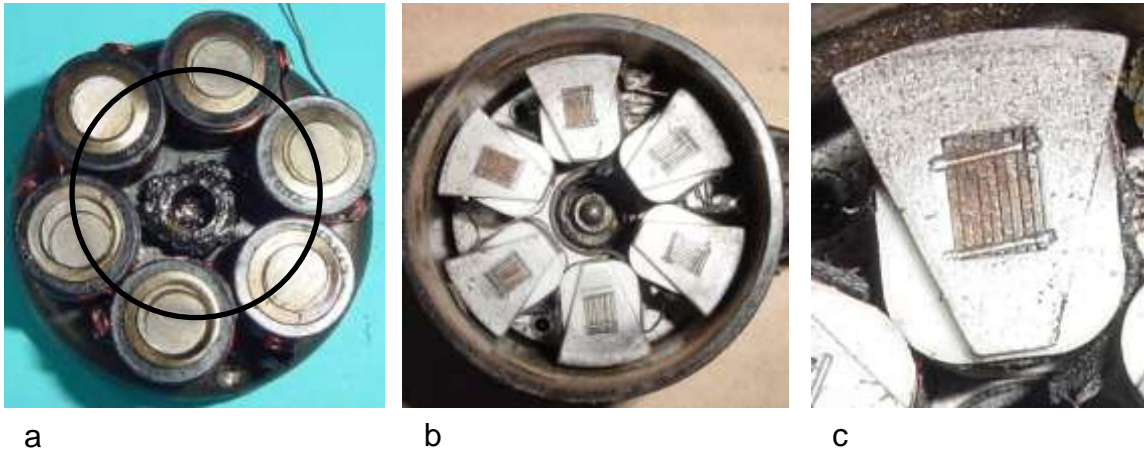


Bild 3.3: Spulenkern: a) Massiv, b) und c) Geblecht

Bei dem im Bild 3.4 abgebildeten Anker besteht das Ankereisen aus sechs Blechen. Die Spulen und die Bleche werden zusammengesetzt und erhalten erst im Gehäuse die geschlossene konstruktive Form des Ankers. Dabei legen sich die Jochbereiche zwischen den Polschäften fest an die Gehäusewand an. Da im Polschaft nur zwei Bleche in Umfangsrichtung nebeneinander liegen, ist die Spulenweite und damit die Wickelkopflänge sehr kurz (Bild 3.5).

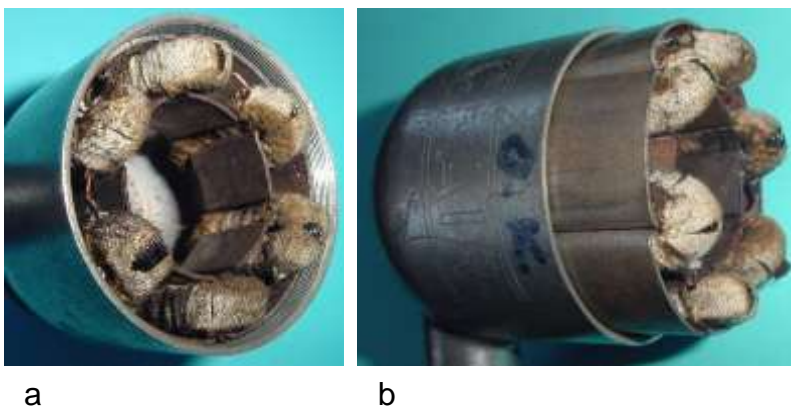


Bild 3.4: Sechspoliger Anker bestehend aus 6 bandagierten Spulen und sechs Blechen:  
a) Ansicht der Polflächen,  
b) Anker im Gehäuse stabilisiert

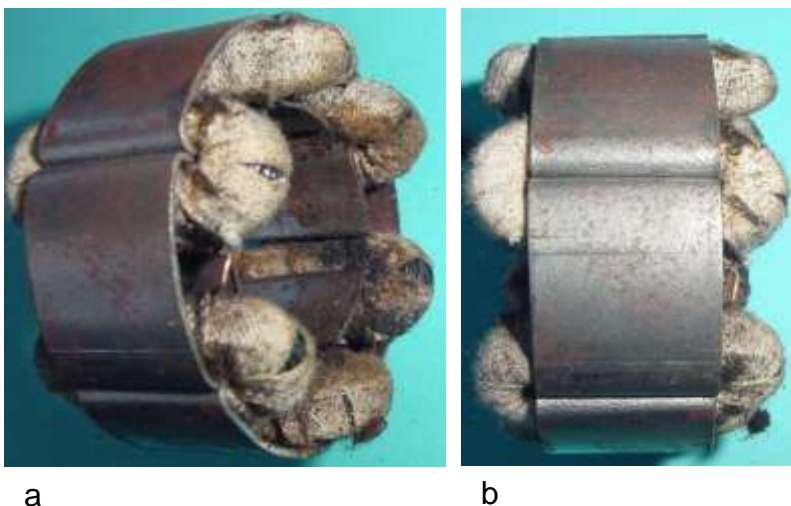
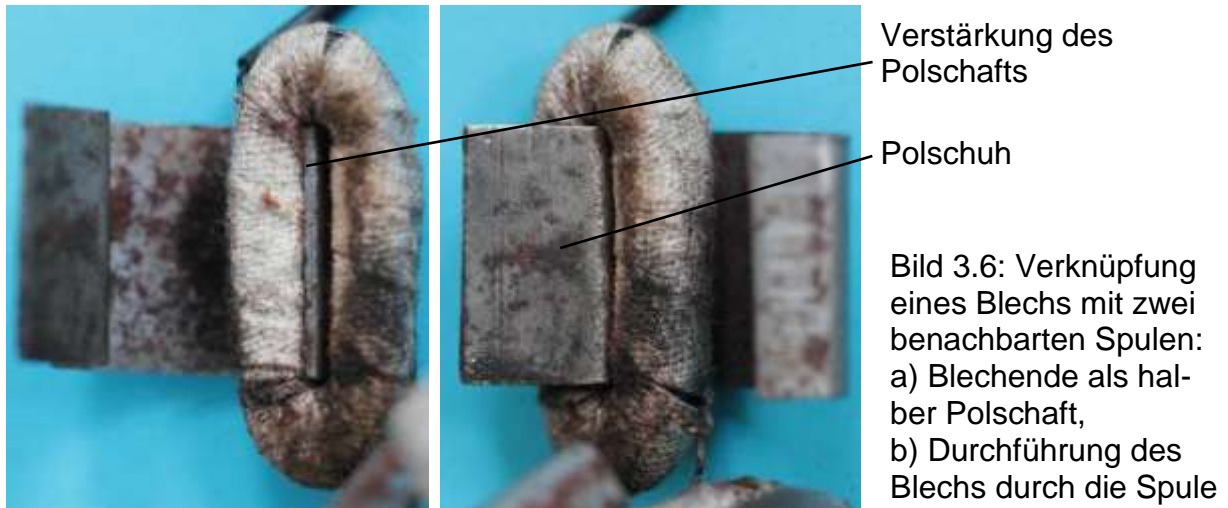


Bild 3.5: Ankereisen:  
a) Zwei Blechstärken bilden den Polschaft  
b) Kurze Wicklungsköpfe

Jedes Blech bildet einen vollständigen Polschuh und  $\frac{1}{6}$  der Jochlänge. Der Bereich zwischen dem Polschuh und dem Jochabschnitt gehört zum Polschaft. Er wird verstärkt durch das Ende des benachbarten Blechs, sodass der Polschaft zwei Blechstärken breit ist. Die Verknüpfung eines Blechs mit zwei benachbarten Spulen zeigt Bild 3.6. Das zur Verstärkung des Polschafts dienende Blechende ist im Bild 3.6a eingeklinkt.



Die rotierenden Anker mit zwei, vier und acht Nuten gehören auch zu den Anordnungen, in denen die einsträngige Wicklung auf den Polschäften untergebracht ist.

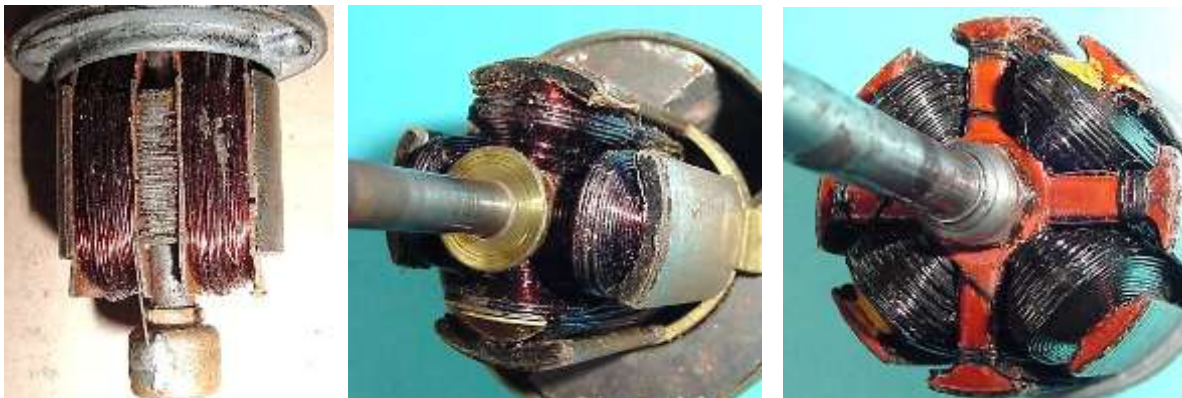


Bild 3.7: Zwei -,vier- und achtnutige rotierende Anker

### 3.2 Bewicklung der Joche

Neben der Polschaltbewicklung ist die Jochbewicklung seit dem Beginn der Serienproduktion elektrischer Maschinen bekannt (Bild 3.8). Das betrifft z.B. zweipolige Maschinen, in denen ursprünglich Grammesche Ringanker zum Einsatz kamen (Bild 3.9). In Fahrraddynamos kommen zweipolige (Bild 3.10) und vierpolige Anker mit Jochbewicklung (Bild 3.11) zum Einsatz.

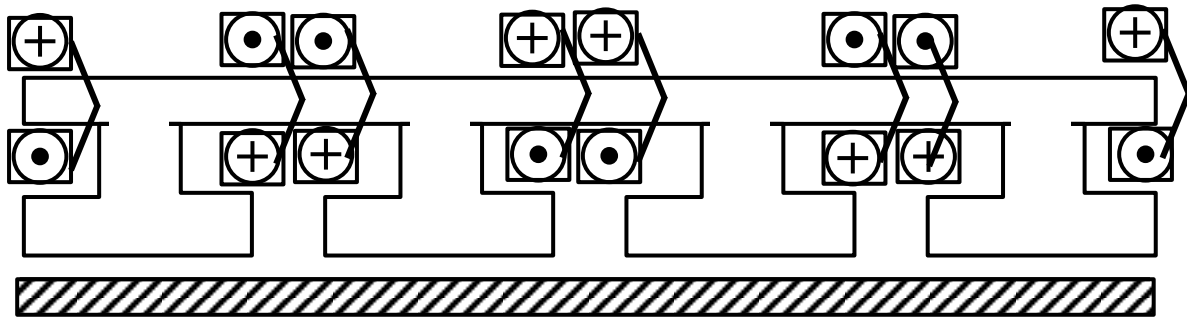


Bild 3.8: Jochbewicklung einsträngiger Hauptelemente

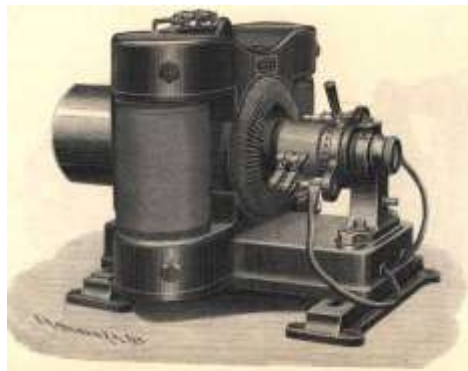
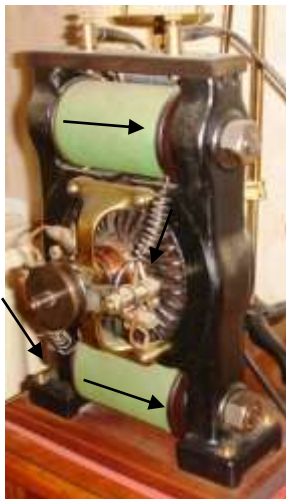


Bild 3.9: Bewicklung der Joche in Kombination mit einem Grammeschen Ringanker

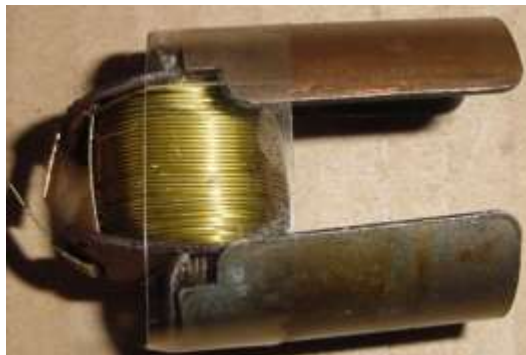


Bild 3.10: Bewicklung des Ankerjochs eines zweipoligen Ankers

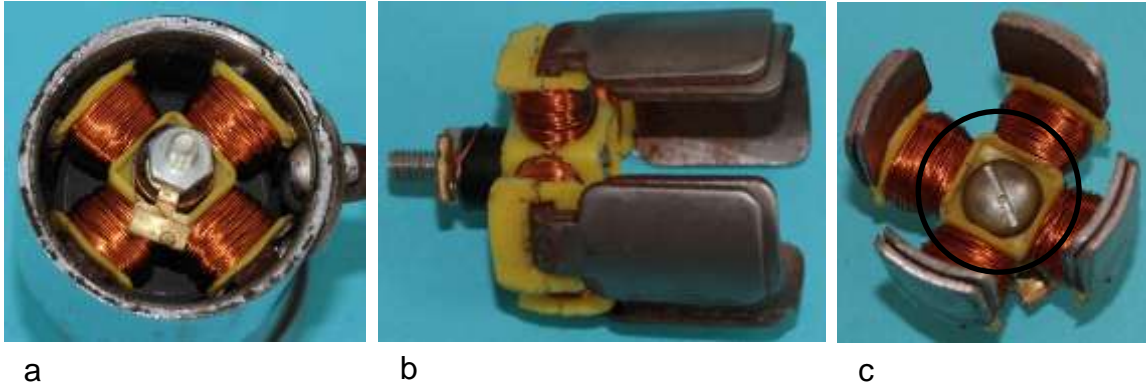


Bild 3.11: Vierpoliger Anker mit Jochbewicklung: a) Untere Ansicht der Wicklung, b) Ausbildung der Pole, c) Innere Ansicht des Ankers mit Schnittebene

Legt man durch die bewickelten Pole Schnittebenen, wie sie im Bild 3.3a und Bild 3.11c mit einem Kreis angedeutet sind, erhält man die vereinfachte Abwicklung, wie sie im Bild 3.12 dargestellt ist. Die Ankerströme bilden Feldwirbel aus, die jeweils der zweifachen Spulenwindungszahl proportional sind (Bild 3.13). An den Feldwirbeln ändert sich in erster Näherung nichts, wenn nur jeder zweite Pol mit der doppelten Windungszahl ausgestattet ist. Ein Beispiel dafür ist der 8-polige Anker im Bild 3.14. In der Abwicklung von Bild 3.15 wechseln sich unbewickelte Pole mit Polen doppelter Windungszahl ab. Im Vergleich mit der Bewicklung aller Pole vergrößert sich die mittlere Windungslänge, sodass nur in Sonderfällen diese technologisch einfachere Bewicklung ausgeführt wird.

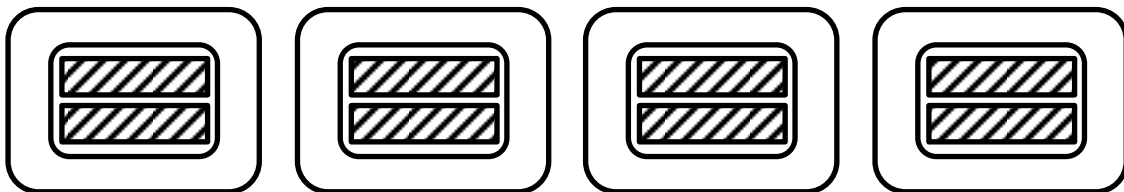


Bild 3.12: Bewickelte Polschäfte: Je Pol und Spule mit  $w_1$ -Windungen

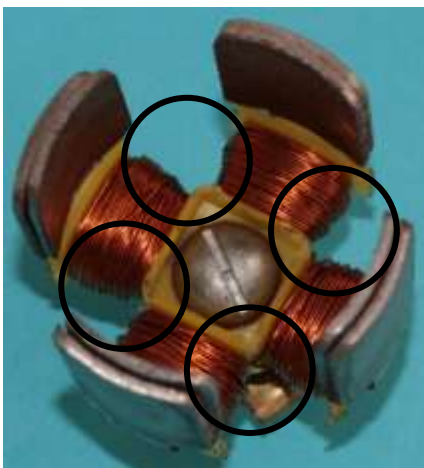


Bild 3.13: Vier Feldwirbel Durchflutung  $\Theta = 2 w_i$



Bild 3.14: Ankerspulen auf jedem zweiten verlängerten Polschuh

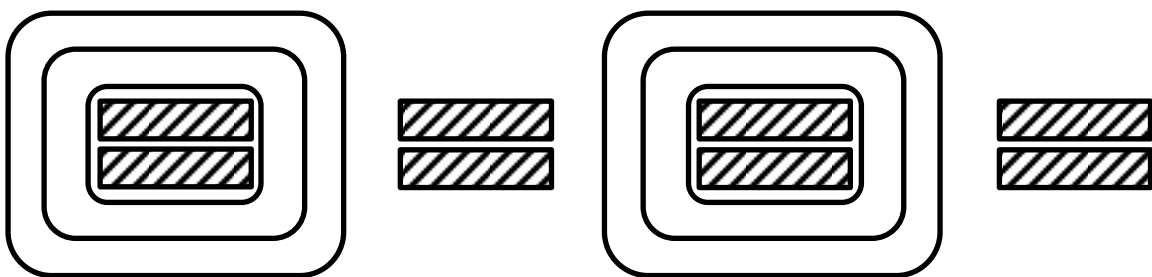


Bild 3.15: Jeder zweite Pol ist mit der doppelten Windungszahl bewickelt

### 3.3 Mäanderförmige Spulenform

Die Spulen auf jedem zweiten Pol können bei gleichen Feldverhältnissen ersetzt werden durch eine mäanderförmige Wicklung, wie sie mit der mittleren Windung im Bild 3.16 angedeutet ist. In dieser Weise werden die Drehstromwicklungen in Fahrzeuggeneratoren ausgeführt. Die im Bild 3.17 zum Ausdruck kommende Dominanz der Wicklungsköpfe gegenüber den sich in den Pollücken befindenden Spulenseiten wird abgeschwächt, wenn die Spulenseiten verlängert werden und der von der Spule aufgespannte Raum mit Blechen ausgefüllt wird (Bild 3.18). Soll bei der Verlängerung der Spulenseiten der Blechquerschnitt nicht verändert werden, müssen die Bleche der axialen Ausdehnung der Spulenseiten angepasst und die Spulenseiten mit den dazugehörigen Blechen dicht aneinander geschoben werden (Bild 3.19).

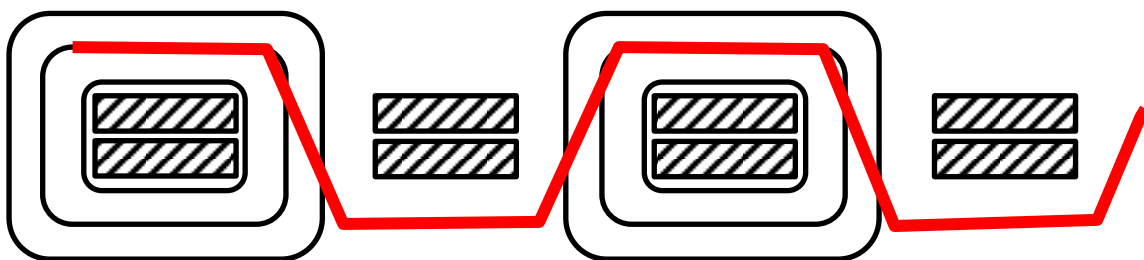


Bild 3.16: Mittlere Windung einer mäanderförmigen Wicklung im Vergleich mit der Bewicklung jeden zweiten Pols

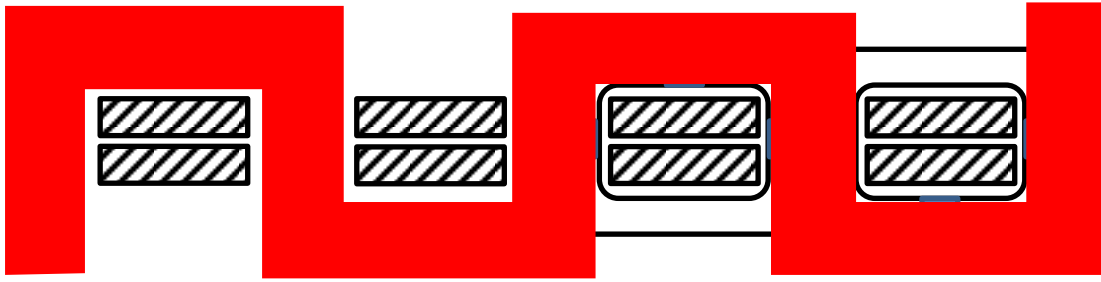


Bild 3.17: Bewicklung der Pole mit nur einer Spule

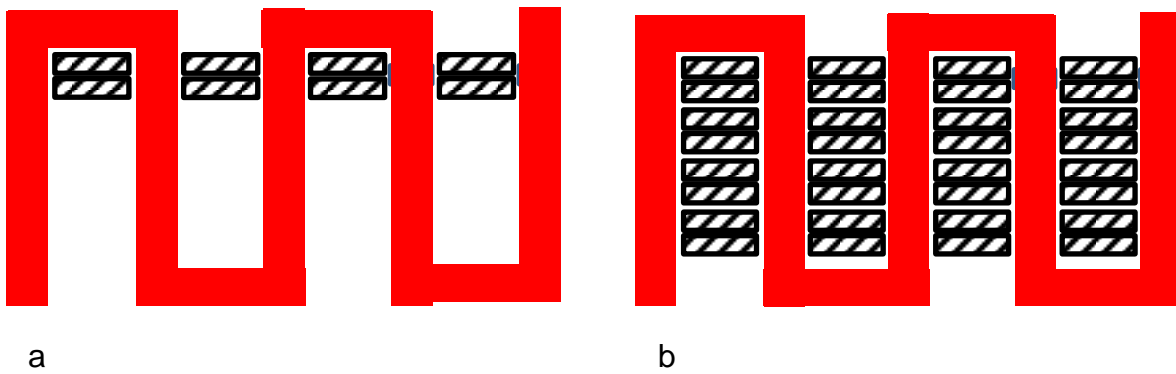


Bild 3.18: Verlängerung der Spulenseiten und Ausfüllung des von der Spule aufgespannten Raums durch weitere Bleche

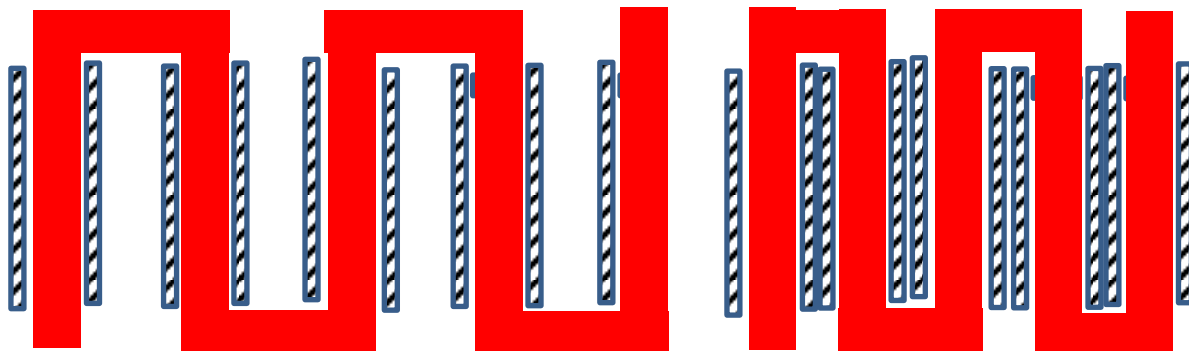


Bild 3.19: Anpassung der Blechabmessungen an die Spulenseitenlänge



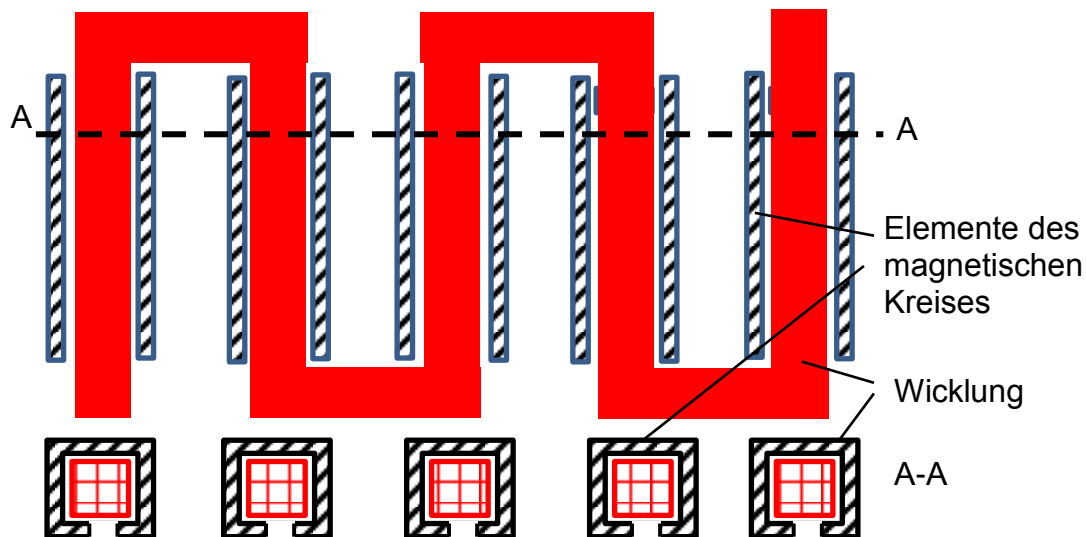
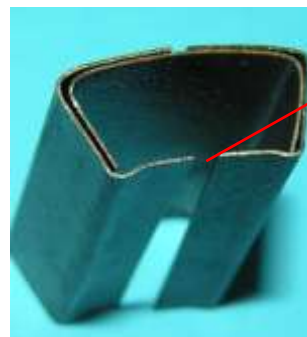


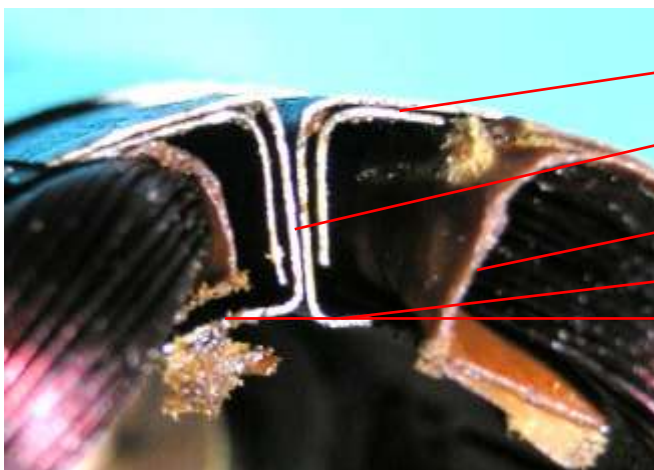
Bild 3.20: Von ferromagnetischen Blechen umschlossene Spulenseiten

Das Ergebnis der Veränderungen wird in der Schnittebene A-A im Bild 3.20 sichtbar. Im Gegensatz zu den üblichen Anker Ausführungen, bei denen die Wicklung die Blechpakete umschließen, sind im Bild 3.20 die Spulenseiten vom Blech umgeben. In einem Ausführungsbeispiel erfolgt die Ummantelung mit drei U-förmigen Blechen (Bild 3.21). Letztendlich wird die Polschuhfläche aus einem Blech und der Polschaft aus vier Blechen gebildet (Bild 3.22).



Pollücke

Bild 3.21: Aus drei U-förmigen Blechen zusammengesetzte Umhüllung einer Spulenseite



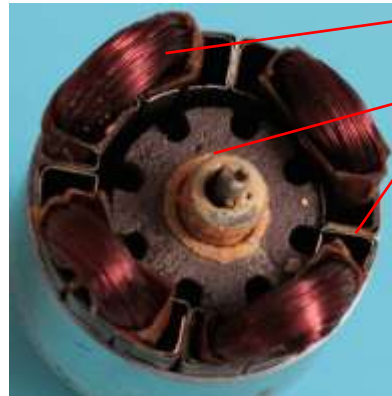
Ankerjoch,  
zwei Bleche

Polschaft,  
vier Bleche

Spulenisolation

Polschuhflächen,  
ein Blech

Bild 3.22: Zusammensetzung eines Polschafes



Wicklungskopf  
 Achtpoliges Polrad  
 Polschaft

Bild 3.23: Anker:  
 a) Magnetischer Rückschluss,  
 b) Wicklungsköpfe



Pollücke

Bild 3.24: Anker:  
 a) Eine Spulenseite ohne Ummantelung  
 b) Luftspaltfläche mit kleiner Pollückenbreite

a

b

Die Wickelkopfgestaltung und die Position des Polrads in der Ankerbohrung veranschaulichen die Fotos im Bild 3.23. Durch die dichte Gruppierung der Spulenseiten entsteht eine zylindrische Luftspaltfläche, die nur durch schmale Pollücken unterbrochen ist (Bild 3.24a). Damit werden Polfühlungs Drehmomente nahezu vollständig vermieden.

## 4 Ableitung der Klauenpolanordnung aus der mäanderförmigen Wicklung

Es ist nicht zu übersehen, dass das Wicklungsvolumen im Vergleich zu anderen einsträngigen Ankern nennenswert größer ist. Deshalb hat sich nicht die mäanderförmige Wicklung sondern die Ringwicklung durchgesetzt. Sie lässt sich konstruktiv von der Mäanderform durch die Verformung des magnetischen Kreises ableiten, wobei komplizierte Konturen der Bleche entstehen.

Verschiebt man ausgehend von der Position im Bild 4.1a die Polquerschnitte um eine Wicklungsbreite gegeneinander (Bild 4.1b), dann entsteht ein Kanal, in dem die Spule eingelegt werden kann (Bild 4.1c). Dabei wird die mäanderförmige Spule gestreckt und wandelt sich zu einer Ringspule.

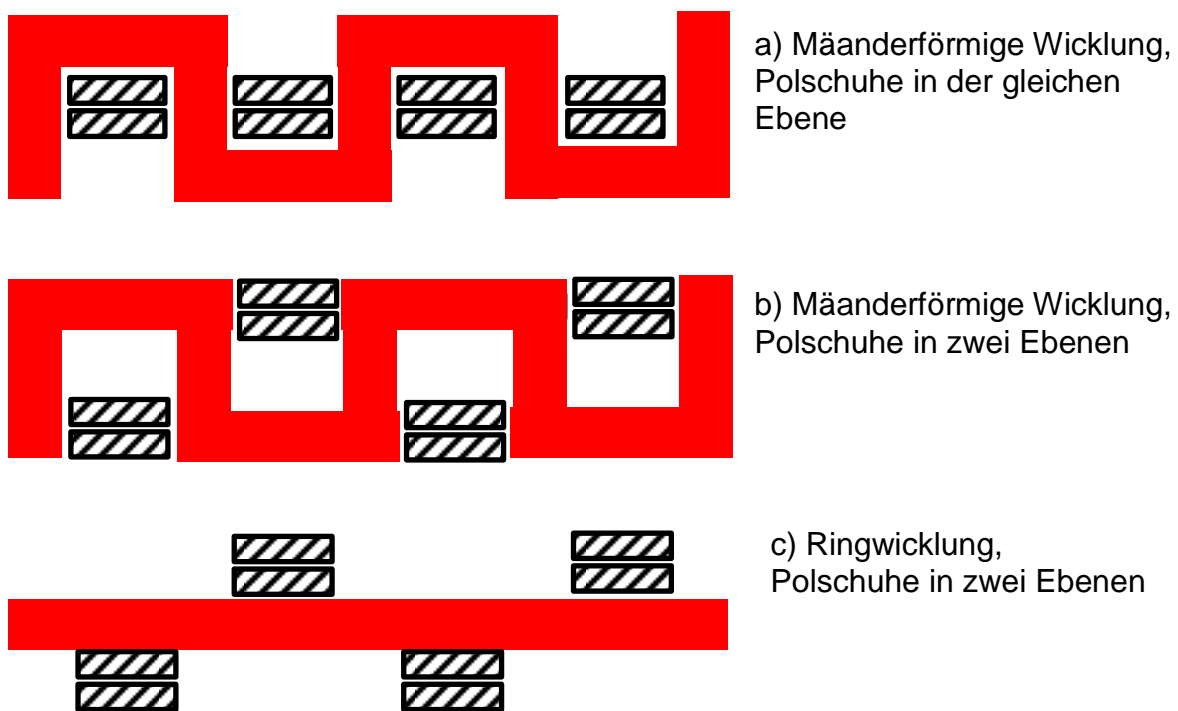


Bild 4.1: Umwandlung der mäanderförmigen Spule in eine Ringspule

Um die Polflächen in eine Ebene zu bringen, werden die Polschuhe um die Spule gebogen. Im Bild 4.2b wurden die Polschuhe unterhalb der Spule zweimal abgewinkelt, sodass alle Polflächen oberhalb der Spule in einer Ebene liegen. Auf diese Weise ergibt sich die Lage der Spule in axialer Richtung unter der Ankerbohrung (Bild 4.3).

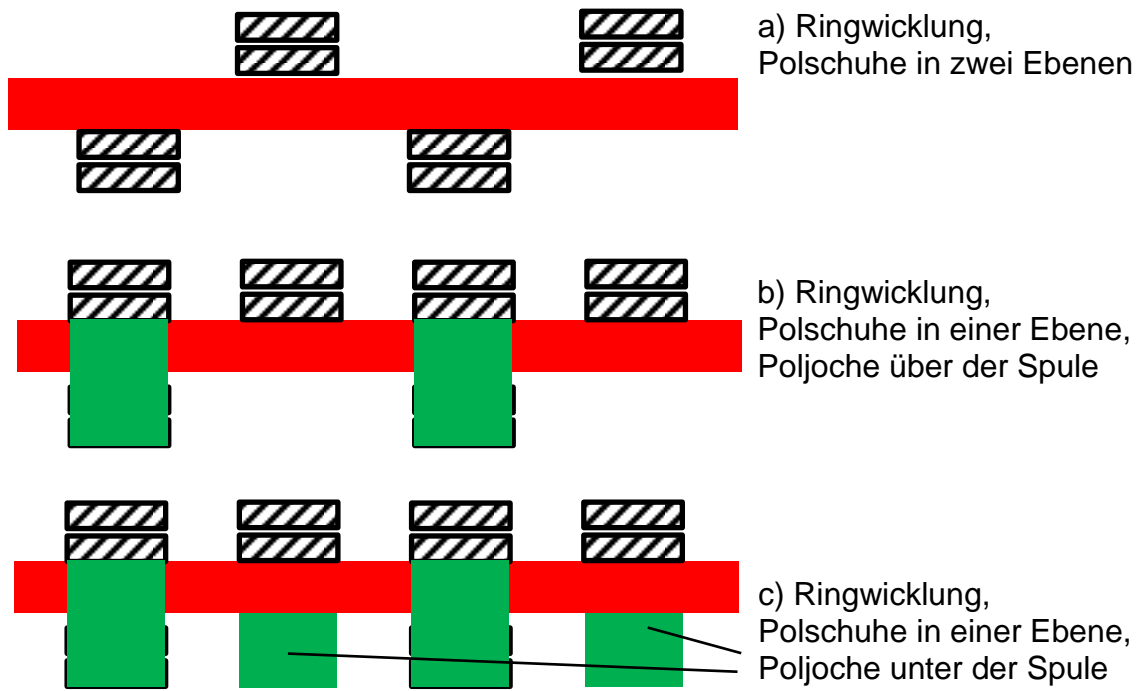


Bild 4.2: Gestaltung der Poljoche bei der Anordnung der Polschuhe in einer Ebene

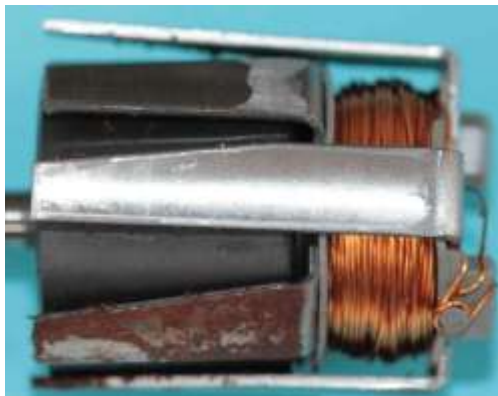


Bild 4.3: Lage der Ankerspule in axialer Richtung unter der Polradbohrung

Die ferromagnetische Verbindung der unterschiedlichen Polkonfigurationen erfolgt mit angepassten Jochen. Neben der Verbindung aller Polschuhe (Bild 4.4a) ist die paarweise Verbindung nebeneinanderliegender Pole (Bild 4.4b) oder der um  $(2n+1)$  Polteilungen entfernt liegenden Polschuhe (Bild 4.4c) konstruktiv möglich.

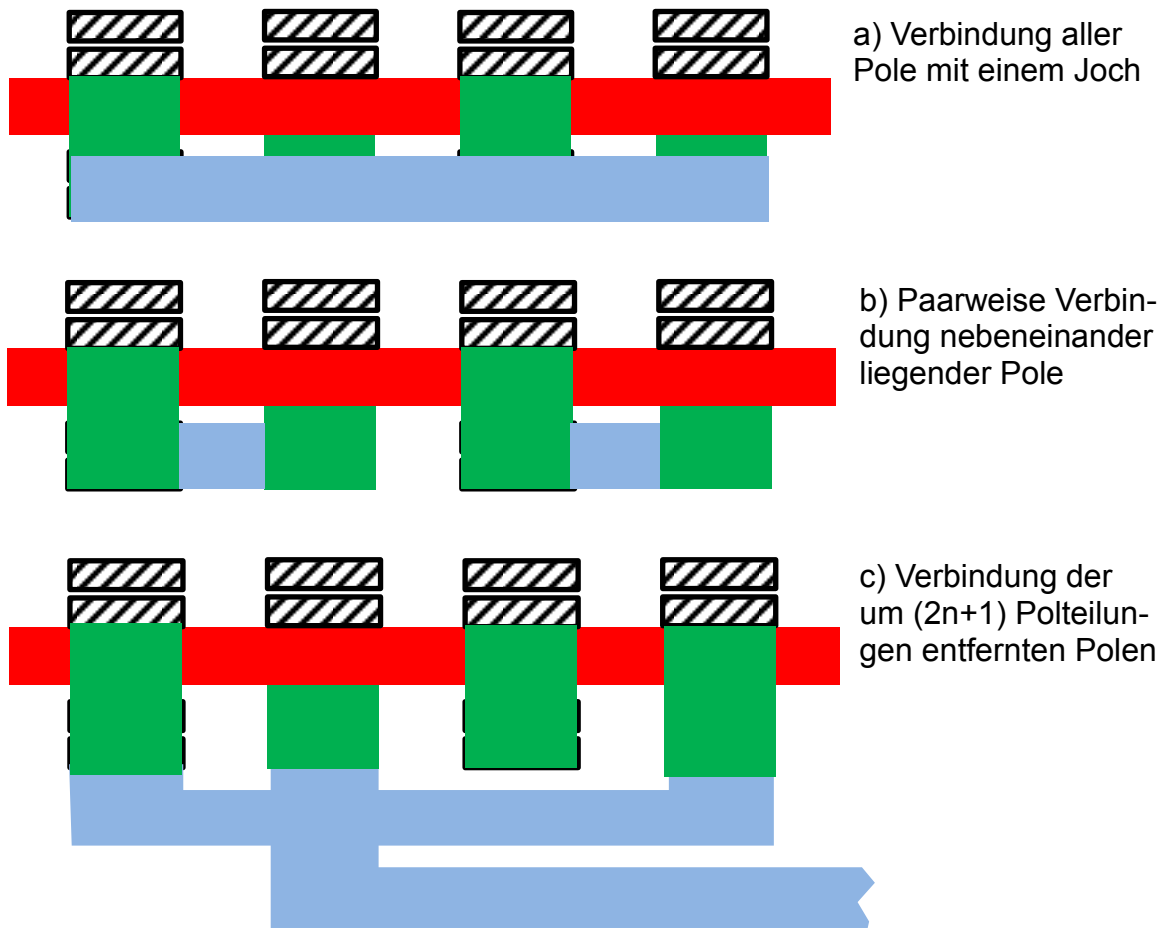


Bild 4.4: Verbindung der Pole durch Joche

Werden ausgehend von der Darstellung im Bild 4.5a beide Pole in den Innen- oder Außenraum der Spule gebogen (Bild 4.5b und c), ergeben sich die vielfach realisierten Formen der Klauenpolanker, für die im Bild 4.6 zwei Beispiele dargestellt sind.

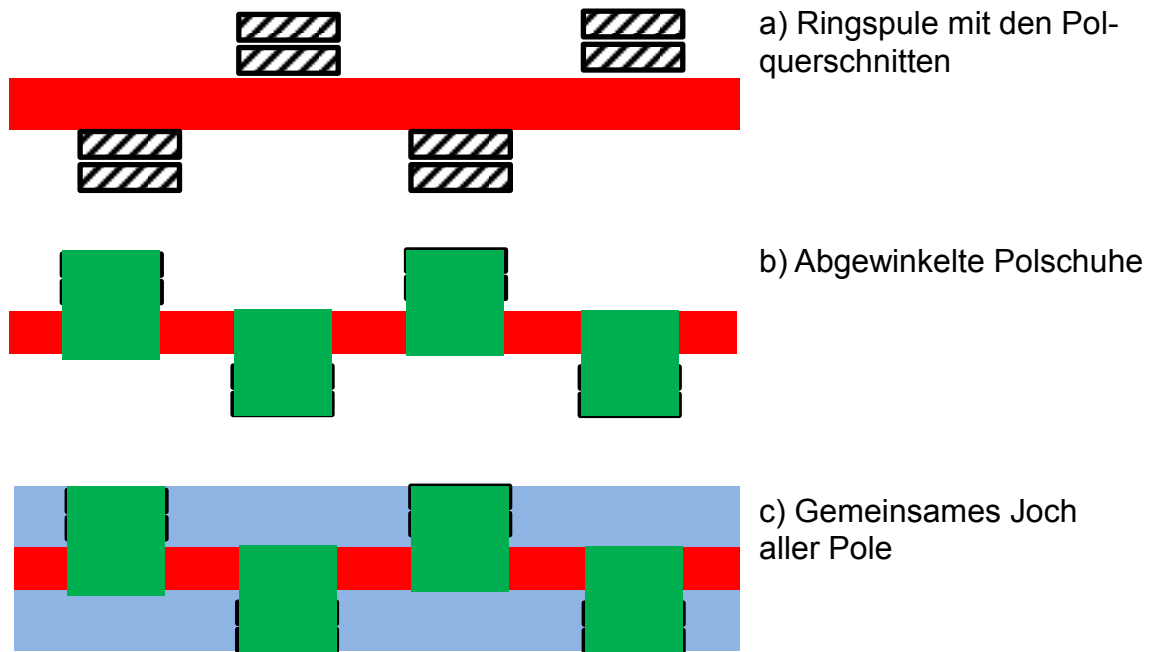


Bild 4.5: Abwinkeln beider Polschuhe



a



b

Bild 4.6: Lage der Polflächen:  
a) Innerhalb  
b) Außerhalb der Ankerspule

## 5 Prinzipieller Feldverlauf in Klauenpolanordnung

Im Bild 5.1 sind zwei Schnitte durch ein Klauenpolpaar der Ausführung von Bild 4.6a angegeben. Darin sind die Flussverkettungen der Ankerspule bei stromdurchflossener Wicklung und nichtmagnetisiertem Läufer sowie bei stromloser Wicklung und dem Dauermagnetfeld des Polrades durch Pfeile angedeutet.

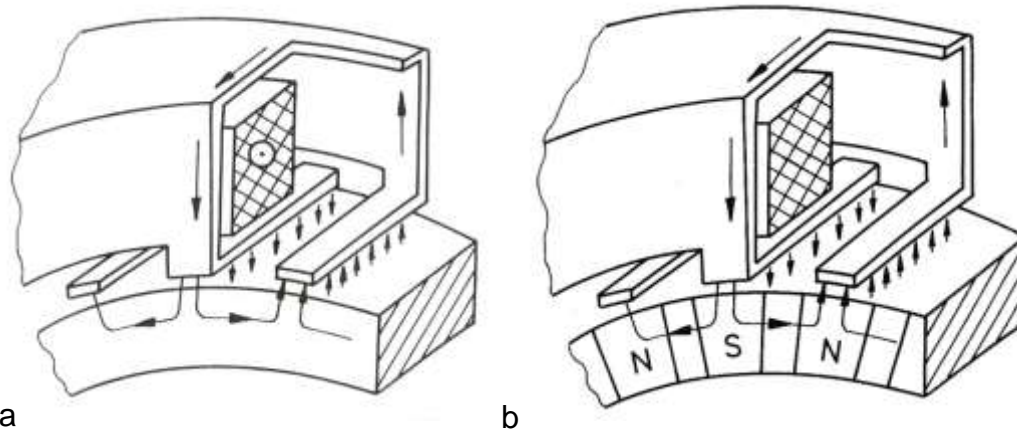


Bild 5.1: Darstellung des Feldverlaufs: a) Magnetfeld der stromdurchflossenen Ankerspule, b) Dauermagnetfeld

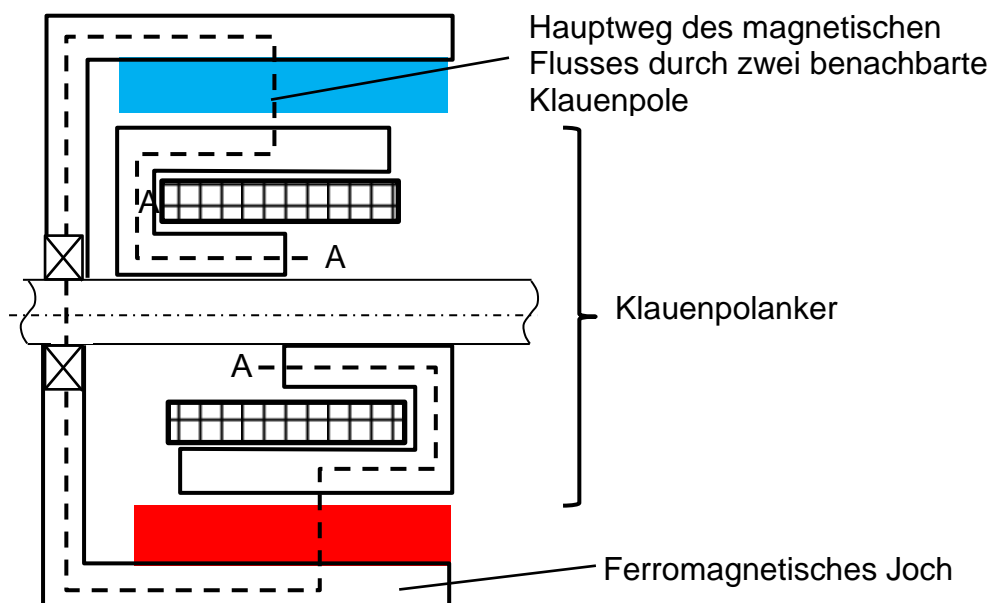


Bild 5.2: Prinzipieller Verlauf des magnetischen Flusses durch zwei nebeneinanderliegende Pole eines Klauenpolankers und einem Dauermagnetpolpaar, die Flächen A sind identisch und stoßen aneinander

Eine weitere Veranschaulichung der Flussverkettung der Ankerspule erfolgt im Bild 5.2. Darin ist der Verlauf eines Feldwirbels durch zwei benachbarte Klauenpole dargestellt. Die entsprechenden Klauenpole des Ankers und die Dauermagnetpole wurden in eine Ebene verschoben. Um die Verbindung zur rotierenden Maschine sicht-

bar zu machen, wurde die Achse eingezeichnet. Dadurch erscheinen die Flächen A, die in der realen Anordnung aneinander stoßen, auf beiden Seiten der Achse und der Weg des magnetischen Flusses musste durch das Lager gezeichnet werden. Übersichtlicher ist der Flussverlauf in der Darstellung eines Polpaares ohne Achse und Lager (Bild 5.3). Mit der unterbrochenen Linie wird demonstriert, wie der magnetische Fluss der Dauermagnete durch die Spulenebene geführt wird. Bei Verdrehung des Ankers um eine Polteilung ändert der mit der Spule verkettete Fluss seine Richtung.

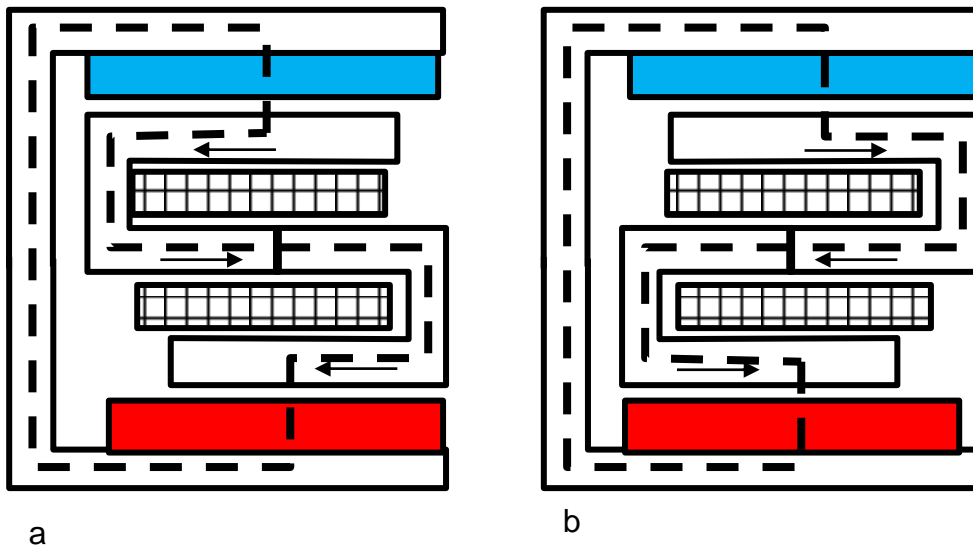


Bild 5.3: Prinzipielle Hauptflusswege eines Klauenpolpaares in den zwei ausgeprägten Ankerstellungen



## 6 Ausgeführte Klauenpolanordnungen

Eine Zielstellung bei der Konstruktion der Klauenpolanker besteht in der Verwendung einfacher Blechformen, die in hohen Stückzahlen automatisch gefertigt werden können. Demzufolge bestimmen ein- und zweiteilige Klauenpolkonstruktionen das Produktionsprofil. Deren Nachteil besteht in der ungenügend Begrenzung der Wirbelstromverluste, sodass zu ihrer Reduzierung der magnetische Kreis ganz oder teilweise geblecht ist. Lediglich bei den Klauenpolpolrädern sind die Klauenpole massiv und mit großen Querschnitten ausgeführt.

### 6.1 Klauenpolpolräder

Klauenpolanordnungen begleiten die gesamte Entwicklungsgeschichte rotierender elektrischer Maschinen. Der Drehstromgenerator, der 1891 in Laufen am Neckar die elektrische Energie in das Drehstromnetz der Elektrizitätsausstellung in Frankfurt einspeiste, ist mit einem Klauenpolpolrad (Bild 6.1) ausgerüstet. (Entfernung Laufen-Frankfurt: 175 km, 55 V Maschinenspannung, 8500 V Übertragungsspannung, 65 V Verbraucherspannung, Leistung 225 kW).

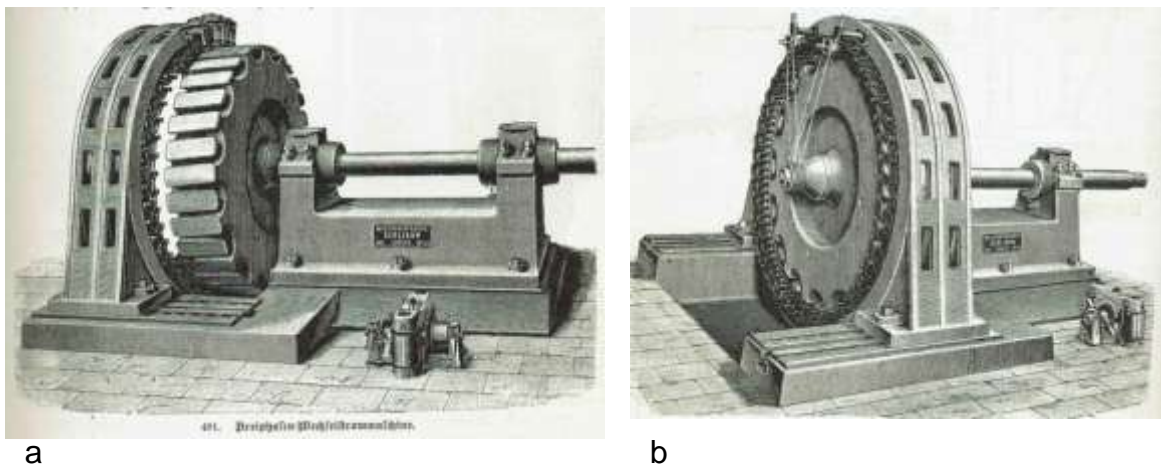


Bild 6.1: Klauenpolgenerator von Laufen 1891 mit separater Erregermaschine:  
a) Anker auf der Grundplatte verschoben, b) Schleifkontakte der Erregerwicklung

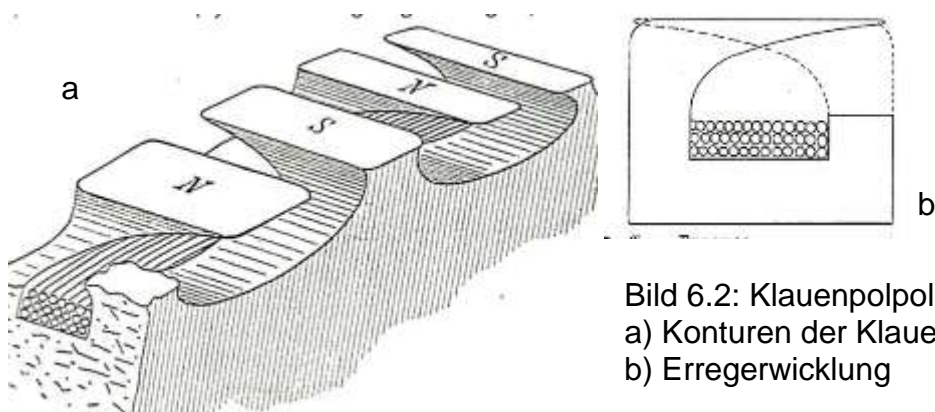


Bild 6.2: Klauenpolrad:  
a) Konturen der Klauenpole,  
b) Erregerwicklung

Das Polrad besteht aus 32 Polschuhen, einer Gusseisenscheibe und einer Ringwicklung. An der Peripherie besitzt die Scheibe eine umlaufende Nut, die die Ringspule mit 496 Windungen aus 5 mm starkem, isoliertem Kupferdraht aufnimmt (Bild 6.2). Die 32 Polschuhe sind wechselseitig auf dem Nutrand angeschraubt. Der Durchmesser des Polrades liegt bei etwa 2 m.

Mit der Klauenpolanordnung im Wasserkraftgenerator von Laufen haben die Polräder der Drehstromlichtmaschinen bzw. der Kraftfahrzeuggeneratoren große Ähnlichkeit. Sieht man von den Abmessungen ab, dann besteht ein wesentlicher Unterschied in der Zahl der Eisenteile des magnetischen Kreises, denn er wird im KFZ-Generator nur aus drei Teilen gebildet (zwei Klauenpolkränze und die Welle).



Bild 6.3: Klauenpolrad eines KFZ-Generators

Die Klauenpolkränze sind aus bis zu 10 mm starken Stahlblechen ausgeschnitten, entsprechend verformt und bearbeitet. Beide Ringe werden auf der Welle befestigt, die einen Abschnitt des magnetischen Kreis bildet. Die Erregerspulen der Klauenpolräder werden über Schleifringkontakte mit Gleichstrom gespeist, sodass die Klauenpolringe einen Gleichfluss führen, der die massive Ausführung der Eisenteile des Polrades ermöglicht.

Der Aufbau des Erregergleichfeldes ist auch mit zweipoligen Dauermagneten möglich. Sie werden axial magnetisiert und von den Klauenpolringen beliebiger Polzahl umfasst. Das achtpolige Polrad eines Fahrraddynamos zeigt Bild 6.4. Im Bild 6.5 sind sowohl der Anker als auch das Polrad mit Klauenpolkonstruktionen ausgeführt.



Bild 6.4: Dauermagneterregtes Klauenpolrad



a



b

Bild 6.5: Klauenpolräder: a) Polrad aus Bild 6.4 eingebaut, b) Klauenpole in axialer Richtung neben dem zweipoligen Dauermagneten

## 6.2 Rotierende Klauenpolanker

Rotierende Klauenpolsysteme kommen nicht nur als Polräder sondern auch als Anker zum Einsatz (Bild 6.6). Sie werden oft mit Magnetringen kombiniert (Bild 6.7) die entsprechend der Anzahl der Klauenpole magnetisiert sind. Ein Gesichtspunkt für die Wahl rotierender Klauenpolanker sind kleine Spulendurchmesser, sodass entweder ein kleiner ohmscher Widerstand oder eine geringe Kupfermenge angestrebt werden kann.



Bild 6.6: Rotierender Klauenpolanker mit Kugellagern und zwei übereinander liegenden Blechen

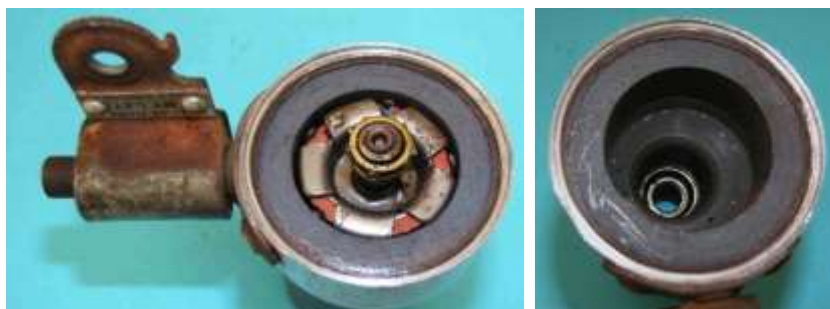
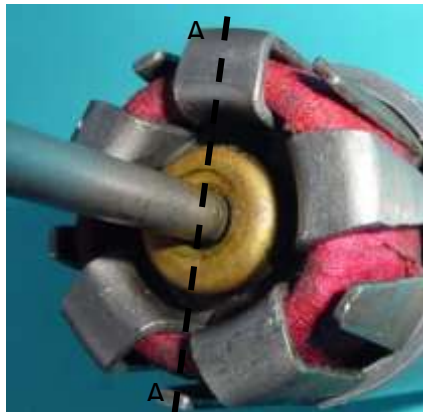
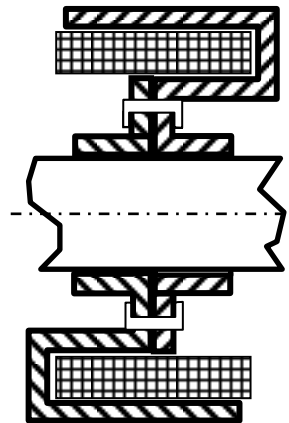


Bild 6.7: Rotierender zehnpoliger Klauenpolanker mit Ringmagnet

Das Ankereisen des Motors im Bild 6.6 besteht aus zwei gleichen Klauenpolkränzen. Jeder Polkranz ist mit einer Hälfte des Spulenkerns vereinigt. In der Spulennitte stoßen beide Teile aneinander (Bild 6.8), wobei der magnetische Fluss senkrecht zu den Berührungsflächen gerichtet ist. Die üblicherweise eingebauten Schleifkontakte wurden hier eingespart, indem die Kugellager im Stromkreis eingebunden werden, sodass sie die Stromleitung vom rotierenden zum ruhenden Generatorteil übernehmen.

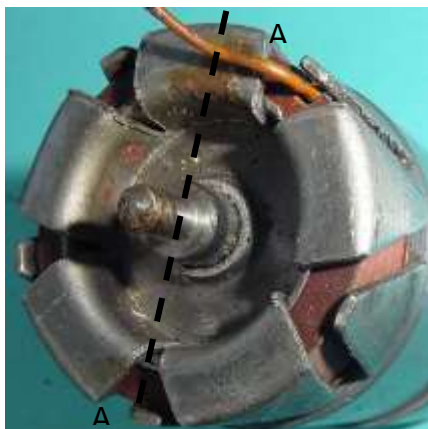


a

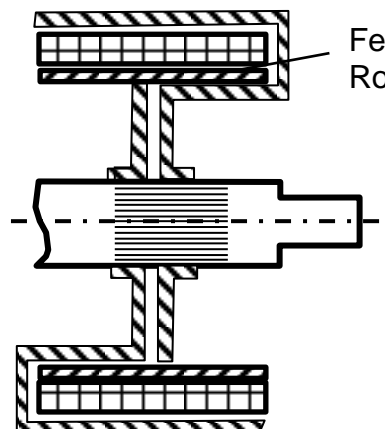


b

Bild 6.8: Zweiteilige Klauenpolanordnung:  
a) Stirnseite des Ankers,  
b) Schnittebene A-A



a



b

Bild 6.9: Dreiteilige Klauenpolanordnung: a) Stirnseite des Ankers, b) Schnitt A-A

Die beiden Anker im Bild 6.6 und Bild 6.8 haben die gleichen Querschnitte der magnetisch leitenden Abschnitte, sind aber mit zwei 0,5 mm starken Blechen im Bild 6.6 und mit einem 1 mm starkem Blech im Bild 6.8 ausgeführt. Zur Vermeidung zu hoher magnetischer Spannungsabfälle an der Berührungsstelle der beiden Klauenpolkränze sind sie miteinander vernietet. Diese Maßnahme wird im Anker von Bild 6.9 durch ein ferromagnetisches Rohr vermieden. Die Klauenpolkränze sind im Rohr eingepresst, ohne sich unbedingt berühren zu müssen. Außerdem dient das Rohr als Tragkörper für die Spule.

In der vierpoligen Variante von Bild 6.10 sind 3 mm starke Polschuhe ausgeführt. Aus der Wahl der Blechdicke kann auf eine unterschiedliche Bewertung der Wirbelstromverluste geschlossen werden.

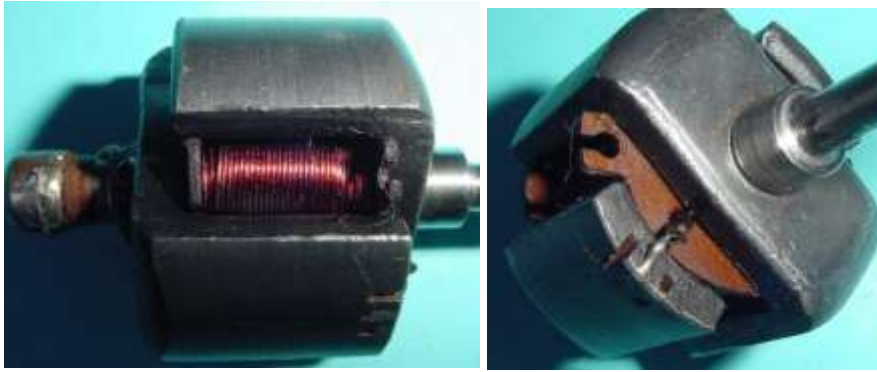


Bild 6.10: Vierpoliger Klauenpolanker

### 6.3 Ruhende Klauenpolanker mit Außenläufer

Die Stromleitung durch die Lager bei rotierenden Klauenpolankern ist bezüglich der Kontaktsicherheit und der Lagerlebensdauer problematisch, sodass zusätzliche Schleifkontakte erforderlich sind. Dieser Aufwand wird vermieden, wenn das dauermagneterregte Polrad rotiert und die Spulenden direkt angeschlossen werden.

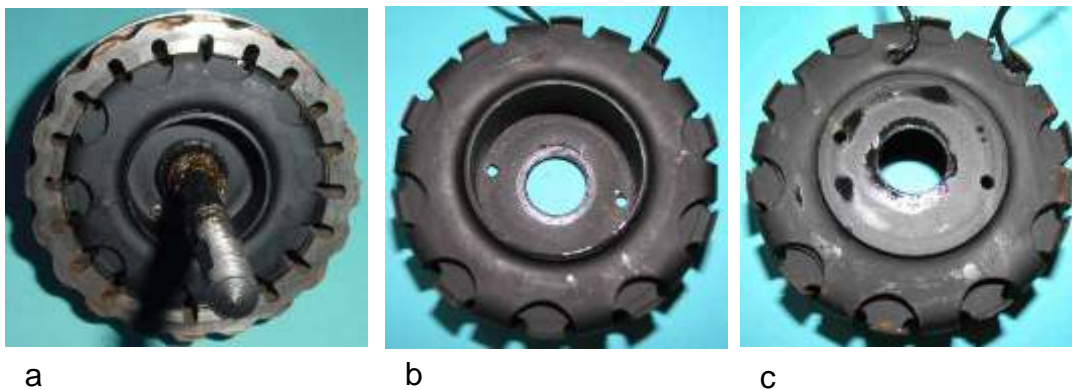


Bild 6.11: Sturmey Archer-Nabendynamo, 20-poliger Nabendynamo mit AlNiCo-Magnetring, 1938: a) Polrad und Anker, b) und c) Klauenpolanker mit dem Montagekopf, Ankerdurchmesser 69,5 mm

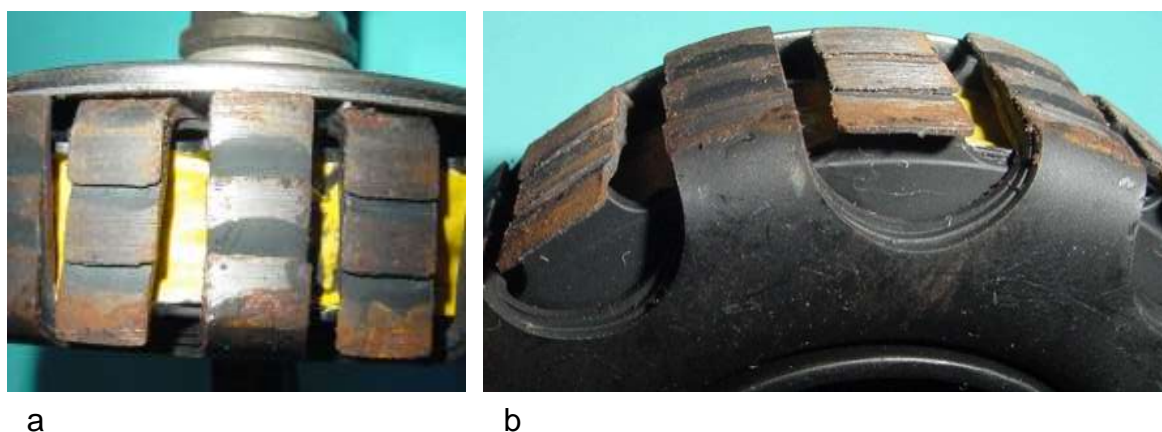


Bild 6.12: Ruhender Klauenpolanker: a), b) Polflächen, c) Polspitzen

Ein Klauenpolanker mit 20 Polen, dessen Polkränze aus drei übereinander gelegten 0,5 mm starken Blechen bestehen, ist im Bild 6.11 und Bild 6.12 in mehreren Ansichten dargestellt. Die Polkränze sitzen auf einem Montagetopf, der mit einer Achse verschraubt ist. Eine der Besonderheiten dieser Ausführung stellt die Luftspaltgestaltung dar. Die Polflächen des Luftspalts werden nicht nur von einem Blech sondern von den drei Blechen gebildet.

Durch entsprechende Fertigungsschritte wird dennoch über einen großen Teil der Polflächen ein konstanter Luftspalt realisiert. In den anderen Bereichen schwankt die Luftspaltlänge maximal um 0,5 mm. Die radiale Ausdehnung der Klauenpole nimmt vom Joch zur Polspitze ab. Um diesen Anker rotiert ein AlNiCo-Magnetring (Bild 6.11a).

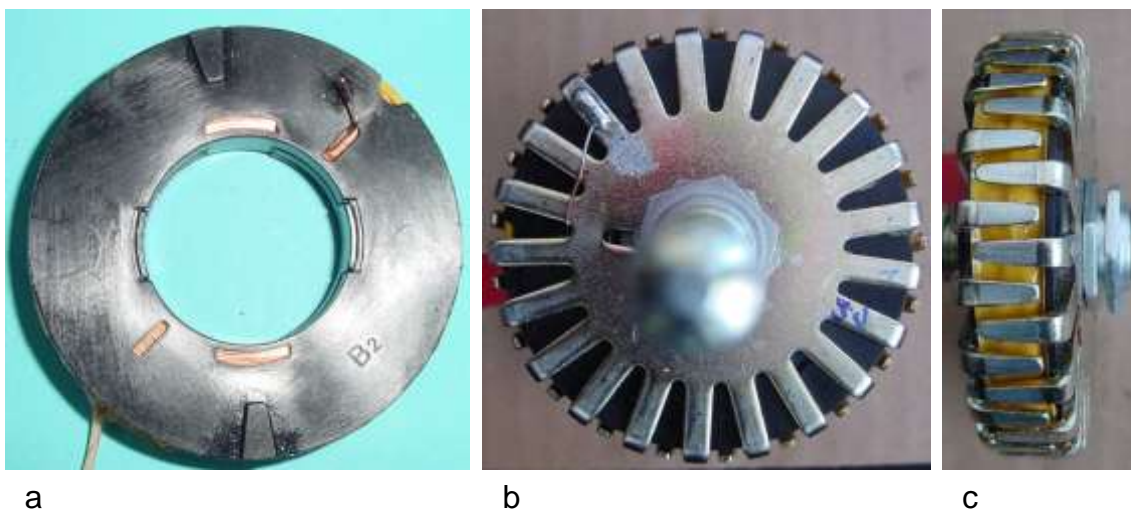


Bild 6.13: Kurze Ankerspule mit 42 Polen

Die Fertigung des magnetischen Kreises gestaltet sich wesentlich einfacher, wenn der Klauenpolkranz nur aus einem Blech besteht. Ein Beispiel mit 42 Polen und kurzer axialer Länge zeigt Bild 6.13. Die Klauenpolanker bieten die Möglichkeit, sich den Einbaubedingungen vielfältig anzupassen. So ist der Durchmesser der Ankerspule im Bild 6.14b sehr viel kleiner als der des Innenraums der Klauenpolkränze.

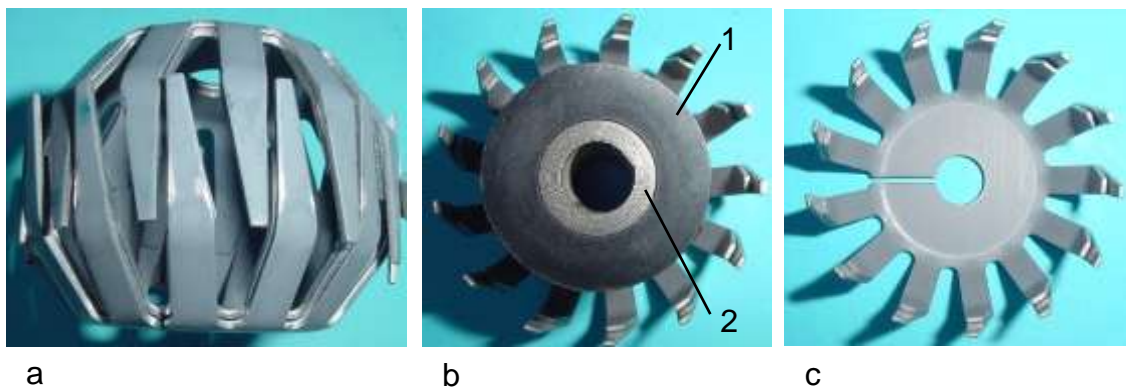


Bild 6.14: Freie Anpassung der Klauenpole an ein Gehäuse: a) Ineinander greifende Klauenpolringe, b) Ankerspule (1) mit gewickeltem Ankerkern (2) im Klauenpolring, c) Ein Klauenpolkranz mit zwei Blechen

Bei den hochpoligen Klauenpolanordnungen ergibt sich ein Problem bei der Gestaltung der Spulenkern, wobei die Spulenbohrung möglichst vollständig mit ferromagnetischem Material ausgefüllt werden sollte, um den Spulendurchmesser zu minimieren. Eine massive Ausführung der erforderlichen großen Querschnitte ist wegen der hohen Wirbelstromverluste nicht sinnvoll. Deshalb wurde bei der Variante im Bild 6.14b einen 0,1 mm starken Blechstreifen aufgewickelt. Die Stirnseiten des Blechcoils berühren die Klauenpolkränze, um den magnetischen Kreis zu schließen. Der Schlitz im Klauenpolkranz bewirkt ebenfalls eine Reduktion der Wirbelstromverluste. Begünstigt werden die Wirbelströme dadurch, dass der Luftspaltfluss senkrecht auf die ausgedehnten Polschuhe trifft.

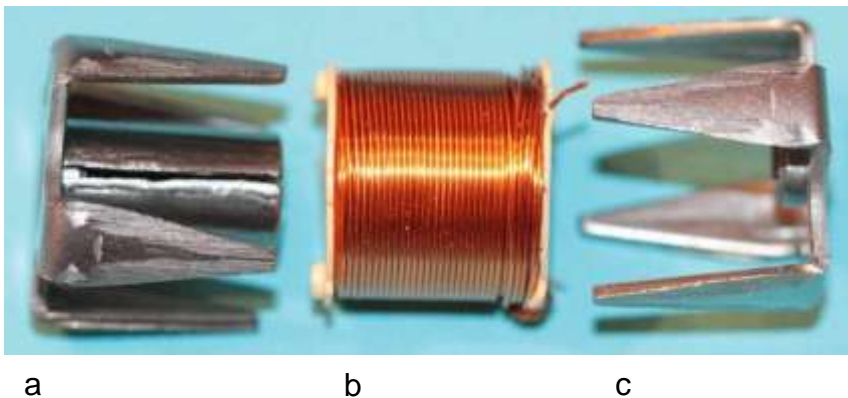


Bild 6.15: Anker mit dreiteiligem Ankereisen:  
a) Klauenpolring mit Spulenkern,  
b) Spule, c) Zweiter Klauenpolring

Bei Maschinen mit kleinen magnetischen Flüssen werden Klauenpole aus einem Blech gefertigt. Die Klauenpolkonstruktionen bestehen aus drei (Bild 6.15 und Bild 6.16) oder aus zwei Teilen (Bild 6.17 und Bild 6.18). Beim separaten Spulenkern wird ein gerolltes Blech oder ein geschlitztes Rohr verwendet, um Wirbelströme im Spulenkern einzuschränken. Bei dem Tiefziehteil (Bild 3.18b), das einen Klauenpolring und den Spulenkern vereinigt, sind deshalb lange Schlitzte im Spulenkern vorhanden.



Bild 6.16: Dreiteilige Klauenpolkonstruktion

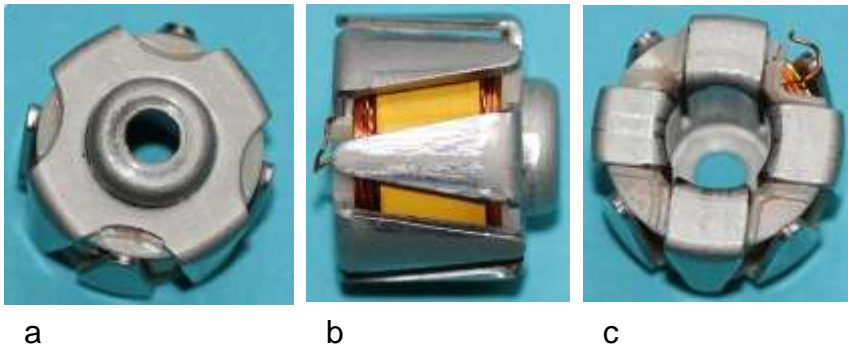


Bild 6.17: Anker mit zweiteiligem Ankereisen für einen Radialläufer

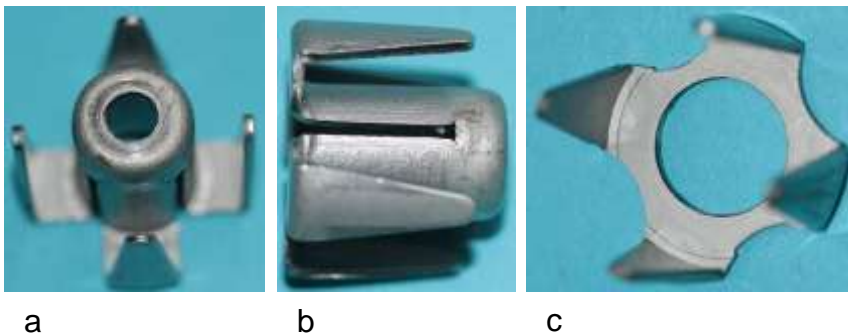


Bild 6.18: Zweiteiliges Ankereisen:  
a) und b) Spulenkern vereinigt mit Klauenpolkranz,  
c) Klauenpolkranz

## 6.4 Separate magnetische Kreise

### 6.4.1 Radial geblechte Klauenpole

Die Wirbelströme lassen sich wirksam einschränken, wenn eine segmentartige Zusammensetzung des magnetischen Kreises mit Blechpaketen vorgenommen wird (Bild 6.19). Die Bleche eines Pakets bilden mit den Schnittkanten die Polschuhfläche. Die U-förmigen Blechpakete (Bild 6.20) umklammern von beiden Seiten die Spule. Die im Bild 6.21 mit A bezeichneten Flächen stoßen in der Spulenmitte aneinander. Dagegen sind die Polschuhe am Luftspalt um eine Polteilung verschoben, worauf das im Bild 6.19c mit einer unterbrochenen Linie hervorgehobene Polpaar hinweist. Dies hat zur Folge, dass die Joche an den Stirnseiten des Ankers (Bild 6.19a und b) nicht strikt radial sondern etwas gekrümmt sind.

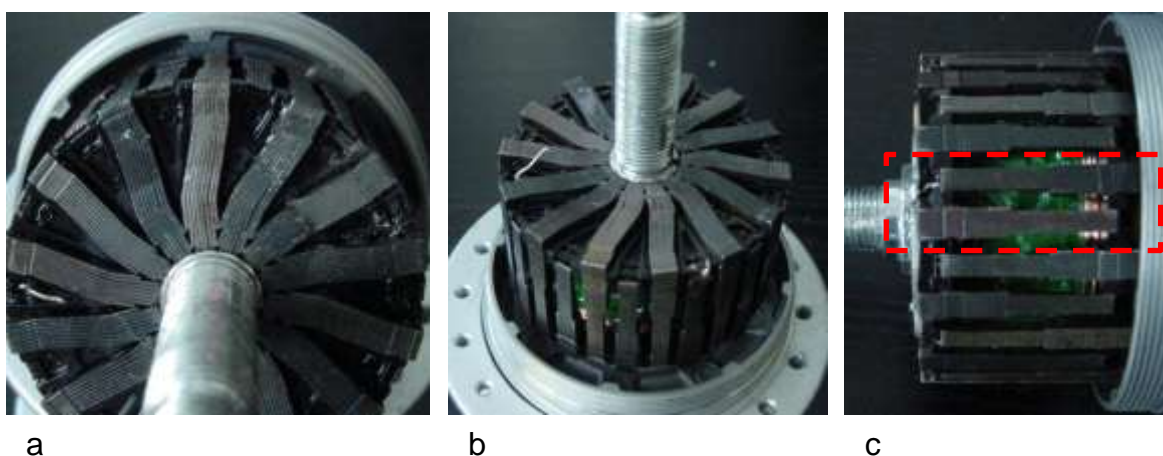


Bild 6.19: Ansichten der Klauenpolkonstruktion mit 28 Polen



Die Blechpakete bestehen aus jeweils 8 Blechen, die drei unterschiedliche Konturen aufweisen. Die Blechkonturen sind sowohl im Spulenkern als auch im Polbereich unterschiedlich gestaltet (Bild 6.20). Das Ziel dieser technologisch aufwendigen Blechpaketgestaltung besteht in der besten Ausnutzung des Spuleninnenraums. Die Position der Blechpakete auf der Achse geht aus der Darstellung im Bild 6.21 hervor.

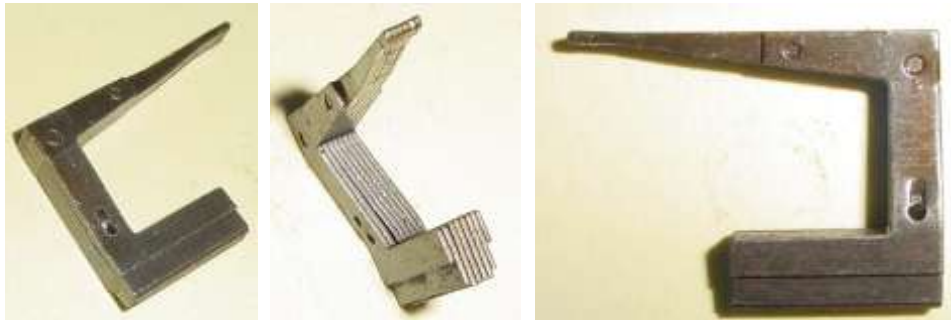


Bild 6.20: Ansichten eines stanzpaketierten Klauenpolblechpakets

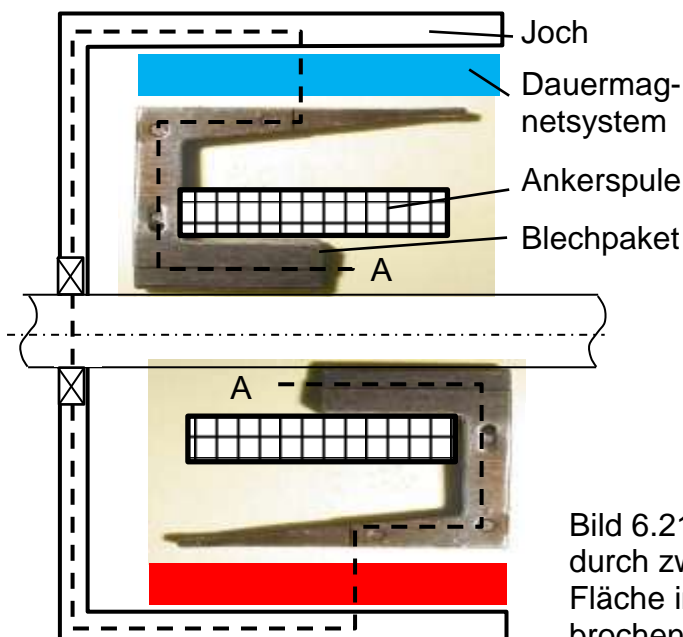


Bild 6.21: Hauptweg des magnetischen Flusses durch zwei benachbarte Pole (siehe umrandete Fläche im Bild 6.19c). Die Flächen A der unterbrochenen Linie sind identisch

### 6.4.2 Aus Blechstreifen gebogene Polpaare

Eine Klauenpolanordnung mit separaten magnetischen Kreisen und flachen Polblechen zeigen die Fotos im Bild 6.22 und Bild 6.23. Die Spannweite eines Polbügels ist um eine Polteilung geringer als der halbe Kreisumfang. Für eine achtpolige Ausführung sind vier Polbügel erforderlich, deren Joche sich unterhalb der Spule kreuzen (Bild 6.22a). Zur Reduzierung der Wirbelströme wurden die Polbügel aus zwei übereinander liegenden Blechen gefertigt. Die materialsparende Herstellung der Polbügel ist verbunden mit der aufwendigen und schwer zu mechanisierende Montage der Klauenpole.

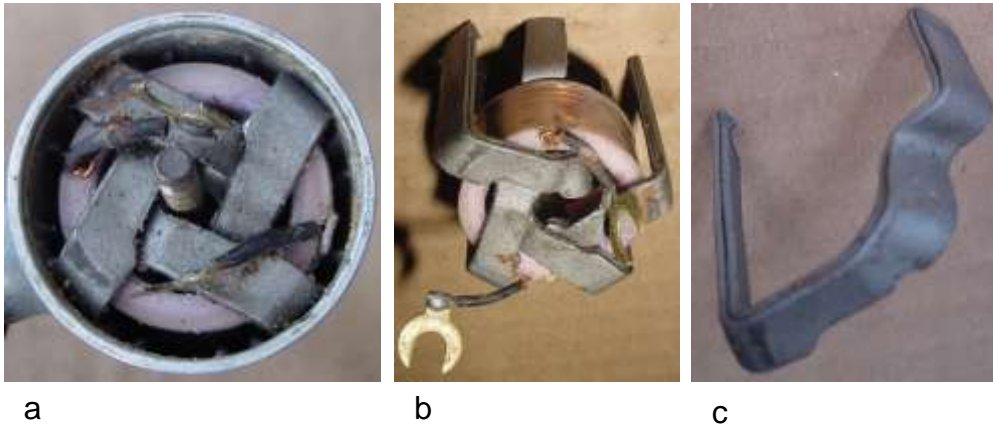


Bild 6.22: Magnetischer Kreis einer achtpoligen Anordnung mit vier Polbügeln: a) Lage der Joche unterhalb der Spule, b) Verknüpfung der Spule mit den Polbögen, c) Polbogen aus zwei übereinander liegenden flachen Blechen

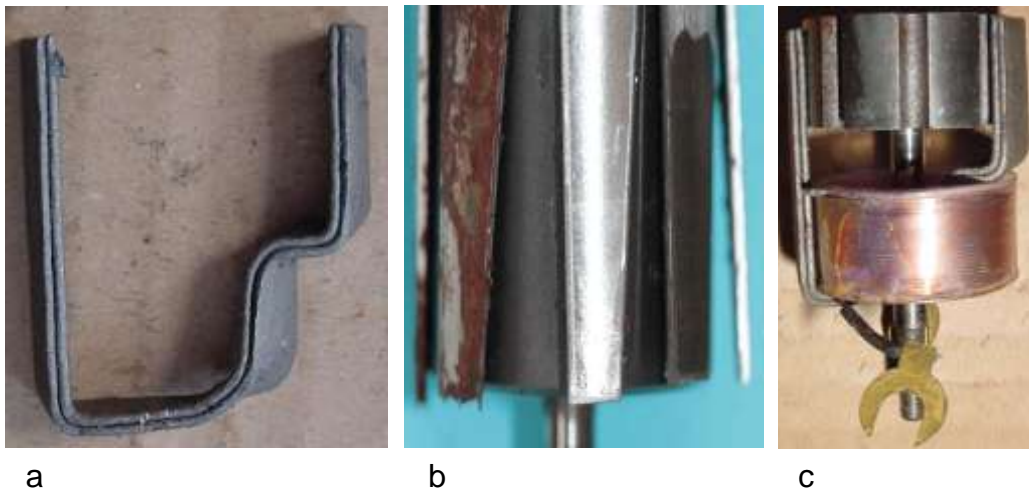


Bild 6.23: Baugruppen des Generators: a) Stufung des Polbügels, b) Ein Polbügel mit Polrad, c) Ankerspule mit Polrad und einem Polbügel

## 6.5 Klauenpole in axialer Richtung neben der Ankerspule (Axialanker)

### 6.5.1 Einteilige Klauenpolanordnung, 8-polig

Der fertigungstechnische Aufwand für den im Bild 4.3 dargestellten Klauenpolanker ist durch eine geschickte Montage der gesamten Klauenpolanordnung auf ein Minimum gesunken. Es wird eine Blechform ausgeschnitten, die alle Abschnitte des ferromagnetischen Ankereises enthält (Bild 6.24a). Im ersten Biegevorgang werden die kurzen Klauen abgewinkelt (Bild 6.24b), um danach den Spulensitz zu formen (Bild 6.24c und d). Dann erfolgt das Einrollen des Blechs, sodass die langen Klauen und der Spulenkern einen Dom bilden (Bild 6.25a) über den die Spule geschoben wird (Bild 6.25b und c). Durch zwei weitere Biegevorgänge entsteht die endgültige Ankerform (Bild 6.25d), die in ein Gehäuse kraftschlüssig eingefügt wird.

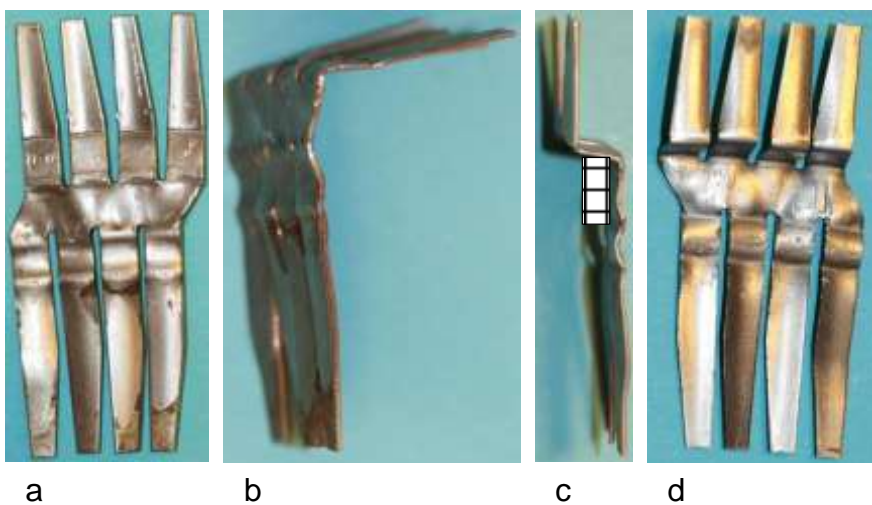
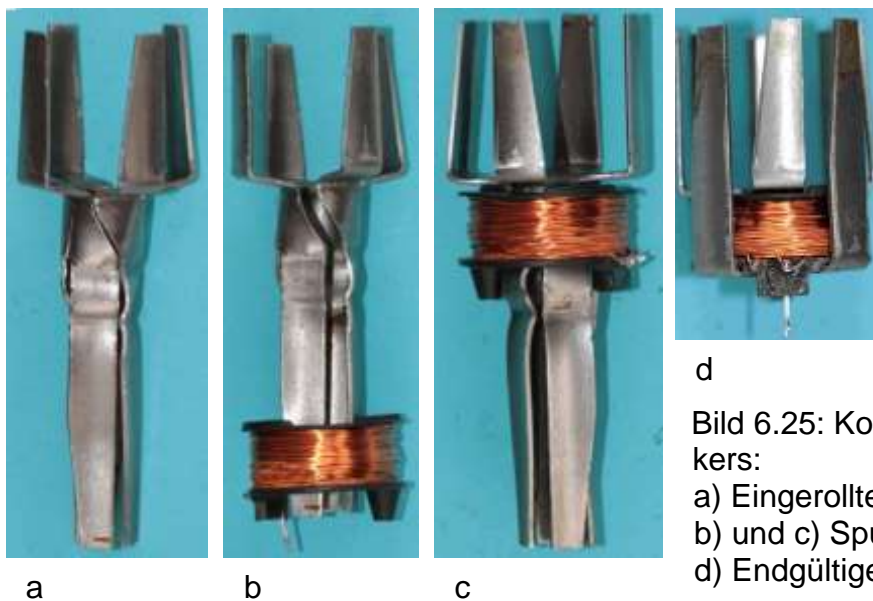


Bild 6.24: Fertigungsschritte der Klauenpole:  
a) Schnittkontur des Ausgangsblechs,  
b) Abwinkeln der kurzen Pole,  
c) Stufe für den Spulensitz,  
d) Ansicht nach zwei Biegevorgängen



d  
Bild 6.25: Komplettierung des Ankers:  
a) Eingerollte Pole  
b) und c) Spulenmontage,  
d) Endgültige Ankerform

Diese Technologie wurde 1931 in Deutschland patentiert / 4/. Im gleichen Patent wurden auch die separaten Polpaare, die im vorhergehenden Abschnitt beschrieben sind, vorgestellt.

### 6.5.2 Zweiteilige Klauenpolanordnung mit vier Polen

Die vierpolige Klauenpolkonstruktion im Bild 6.26 zeichnet sich durch einen geringen Stanzabfall bei der Herstellung der Klauenpole aus. Für diesen Axialanker werden aus rechteckigen Blechstreifen zwei gabelförmige Bauteile gepresst. Ein Teil vereinigt den Spulenkern und zwei Pole (Bild 6.26a), während beim zweiten Teil die zwei Pole durch das Joch verbunden sind (Bild 6.26b). Beide Teile sind um 90° gegeneinander verdreht und ineinander gesetzt. Den vollständigen Anker zeigt (Bild 6.26c). Die vollständigen Anker zeigt (Bild 6.26d).

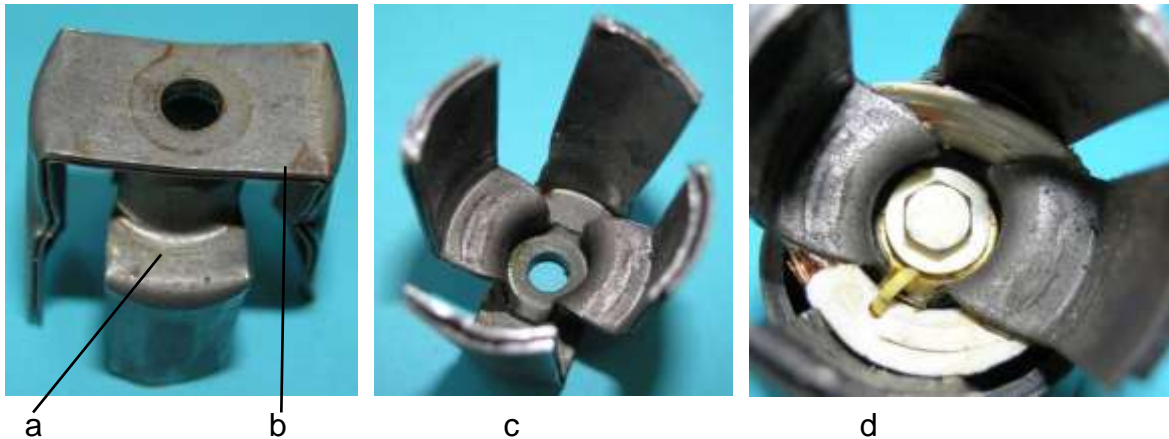


Bild 6.26: Vierpolige Klauenpolanordnung für einen Axialanker: a) Zwei Klauenpole mit dem Spulenkern, b) Zwei Klauenpole mit dem Ankerjoch, c) Kreuzförmige Anordnung beider Blechteile mit zentrischer Bohrung, d) Vollständiger Anker

## 6.6 Modifizierungen des Ankereisens für Innenpolräder

### 6.6.1 Gegossene Klauenpolkränze

Die Innenpolläufer sind gekennzeichnet durch ein Polrad, das von den Klauenpolen und der Ankerspule ringförmig umfasst wird. Für die Herstellung der geometrisch komplizierten Form des Ankereisens bietet sich ein gusstechnisches Verfahren an. In der Ausführung von Bild 6.27 bilden eine Fußplatte und vier Polschuhe ein gemeinsames Gussteil. Ein ebenfalls gegossenes Rohr oder ein Rohrabschnitt dient als Joch, auf dessen Stirnseiten die Fußplatten aufgesetzt werden. Die Spule liegt innerhalb des Rohres und umfasst die Polschuhe.

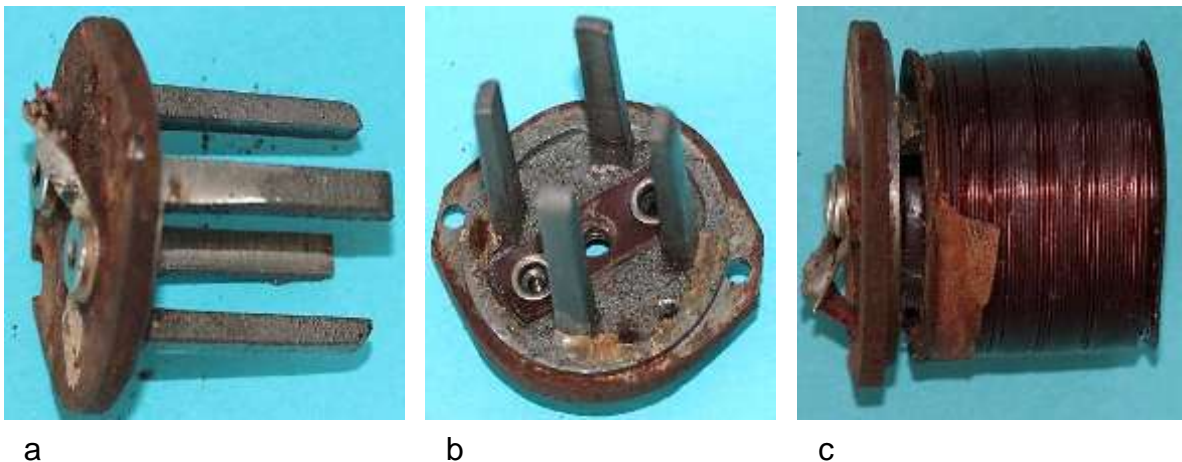


Bild 6.27: Gegossene Klauenpole: a) und b) Fußplatten mit Klauenpolen, c) Spule mit einem Gussteil

Die Gusstechnik hat sich für die Herstellung des Anker magnetkreises nicht durchgesetzt. Stattdessen wurden Blechkonstruktionen entwickelt, die kostengünstiger zu fertigen sind und mehr Möglichkeiten bieten, die Wirbelstromverluste im Ankereisen zu begrenzen. Diese Konstruktionen unterscheiden sich in der Zahl der Bauteile und in der Art der Wirbelstrombegrenzung.

### 6.6.2 Einteilige Klauenpolausführung

Eine mit der Variante von Bild 6.25d vergleichbare einfache einteilige Klauenpolkonstruktion wurde auch bei Innenpolläufern ausgeführt. Ausgeschnitten wird ein abwechselnd mit Zähnen versehener Blechstreifen (Bild 6.28c). Er wird um die Spule gelegt und die Zähne so verbogen, dass sie die Ringspule klauenartig umfassen (Bild 6.28b). Der Klauenpolanker wird in einem Gehäusetopf eingepasst, ohne die Stoßstelle des Jochs am Spulenumfang zu bearbeiten.

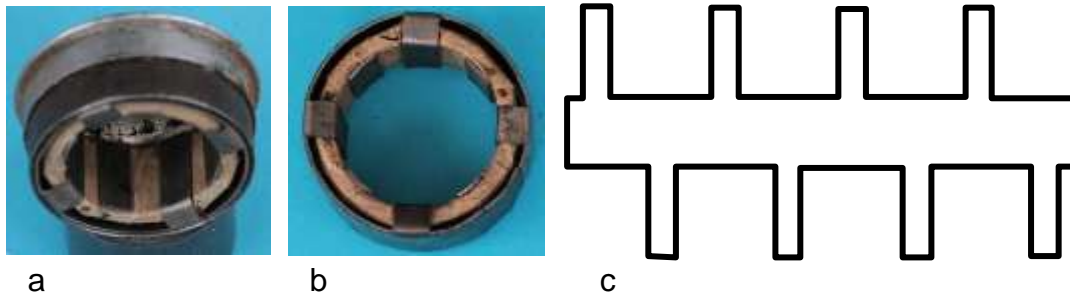


Bild 6.28: Einteilige Klauenpolkonstruktion

### 6.6.3 Dreiteilige Klauenpolausführung

Der große Blechverschnitt und die magnetisch ungenutzten Stirnflächen der Spule sind der Grund für andere Blechschnittformen. Zwei Varianten werden im Reichspatent Nr. 687842 von 1934 vorgestellt. Es werden eine dreiteilige (Bild 6.29) und eine zweiteilige Klauenpolkonstruktion (Bild 6.38) beschrieben, bei denen im Vergleich zur Variante im Bild 6.28 die Stirnseiten der Spule zur Verlängerung des Jochs genutzt werden. Im Patent wird der geringe Stanzabfall hervorgehoben. Der Nachteil dieser Ausführungen besteht in der Abhängigkeit der axialen Pollänge vom Innendurchmesser der Ankerspule.

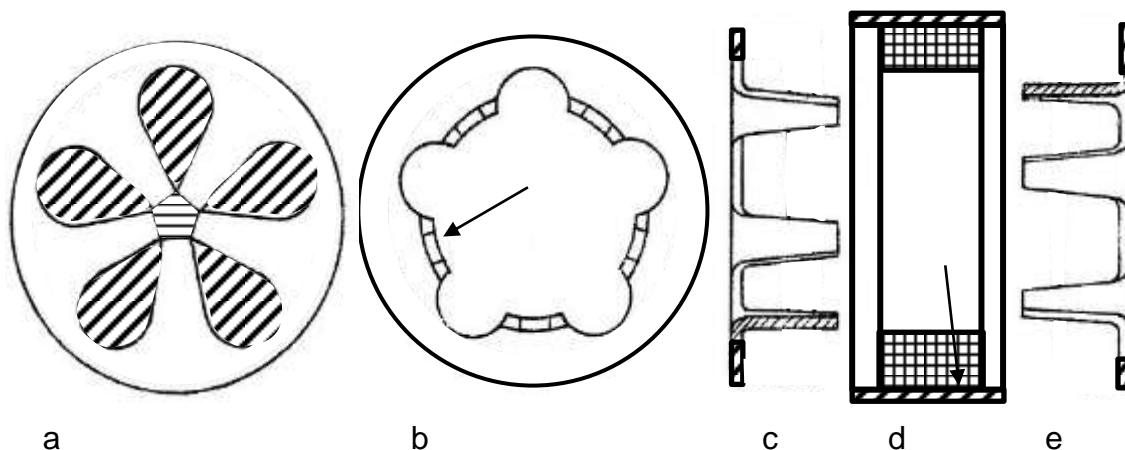


Bild 6.29: Patentzeichnungen der Fertigungsschritte einer dreiteiligen Klauenpolkonstruktion: a) Ausschneiden der gekennzeichneten Flächen, b) Abwinkeln der Klauenpole, c) und e) Klauenpolringe, d) Spule mit Joch (Eisenrohr)

Aus einer runden Blechscheibe werden zunächst die im Bild 6.29a gekennzeichneten Flächen für eine 10-polige Klauenpolanordnung ausgeschnitten. Die Klauenpole

werden abgewinkelt (Bild 6.29b und Bild 6.30) und in die Spulenbohrung eingeführt. Dazu werden die zwei identischen Klauenpolringe um eine Polteilung gegeneinander verdreht. Der magnetische Kreis wird durch ein die Spule umschließendes Eisenrohr geschlossen (Bild 6.29c, d und e).

Im Bild 6.31 und im Bild 6.32 ist das Joch nicht als Rohr ausgebildet sondern wird aus zwei rechteckförmigen gerollten Blechen gebildet. Ihre Stoßstellen werden an unterschiedlichen Stellen positioniert, um einen durchgehenden Luftspalt im Joch zu vermeiden. Für einen zusätzlichen Schutz gegen Umwelteinflüsse und zur konstruktiven Stabilisierung lässt sich, wie es beim Muster im Bild 6.33 erfolgte, die Spule mit dem Ankereisen vergießen.



Bild 6.30: Dem Patent Nr. 687842 entsprechender Klauenpolkranz

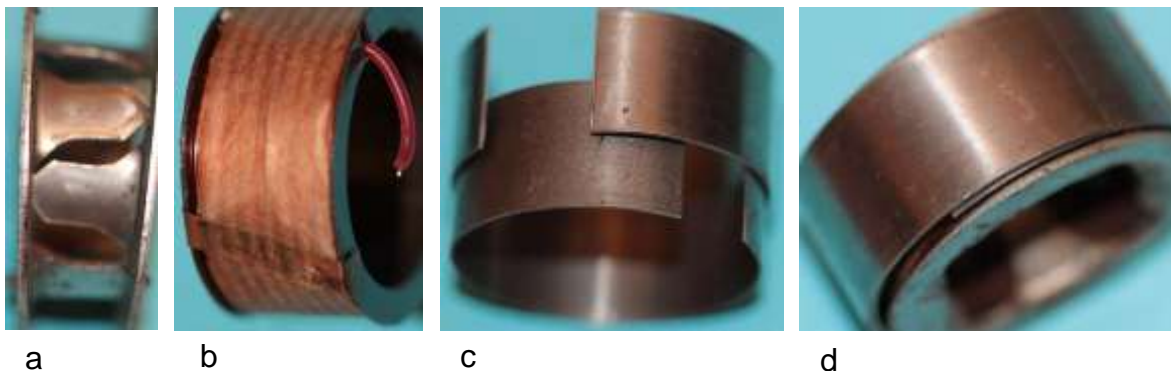


Bild 6.31: Vierteilige Klauenpolanordnung: a) Ineinander greifende Klauenpolringe, b) Ankerspule, c) Zwei Jochbleche, d) Vollständiger Anker

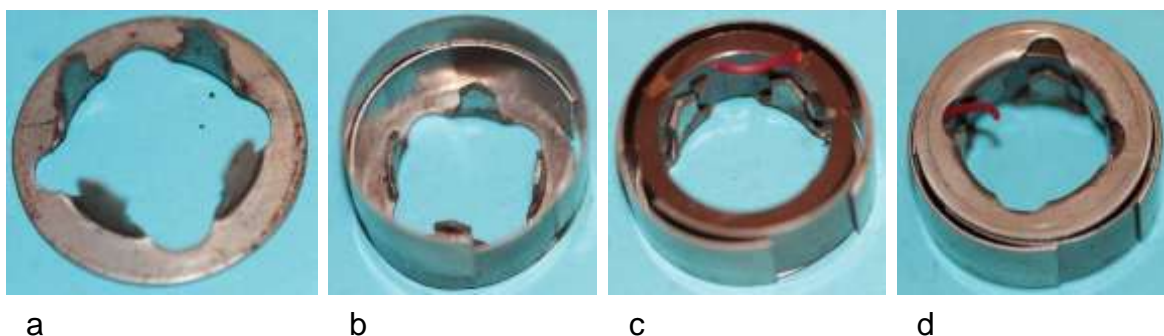


Bild 6.32: Montage vierteiliger Klauenpolanordnungen: a) Klauenpolkranz, b) Klauenpolkranz mit den Jochblechen, c) Eingefügte Spule, d) Vollständiger Anker

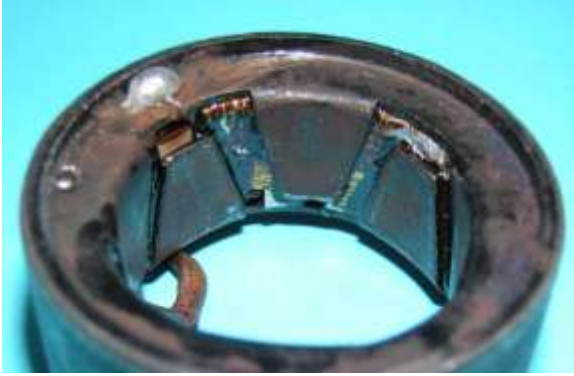


Bild 6.33: Vergossenes dreiteiliges Klauenpolssystem

Die im Reichspatent Nr. 687842 vorgestellte dreiteilige Klauenpolkonstruktion kommt auch in gegenwärtigen Motorkonstruktionen zum Einsatz. Dabei werden aus einem Blechstreifen die Blechkonturen herausgeschnitten und die Polschuhe abgewinkelt (Bild 6.34). Zwei Klauenpolringe werden im Spulenkörper eingegossen (Bild 6.35), wobei an einer Stirnseite Kontaktstellen angespritzt werden, die eine automatische Kontaktierung ermöglichen.



Bild 6.34: Klauenpolring im Blechstreifengitter



Bild 6.35: Zwei Klauenpolringe mit Thermoplast vergossen



Für die ferromagnetische Verbindung der Klauenpolkränze wird ein Blechstreifen verwendet, der bei der Montage des bewickelten Spulenkörpers (Bild 6.36) im Gehäuse eingelegt wird. Eingesetzt wird diese Konstruktion z.B. in Wasserpumpen (Bild 6.37)..

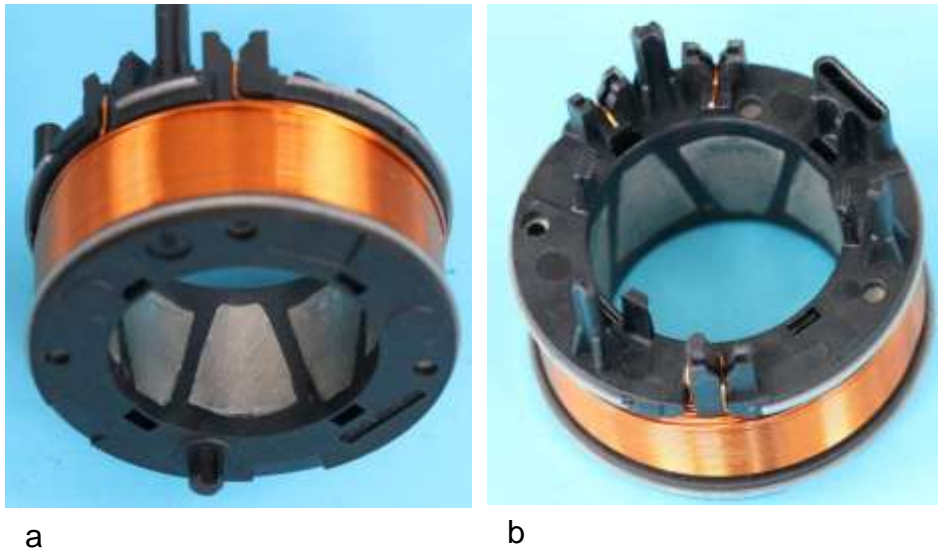


Bild 6.36: Bewickelter Anker mit Kontaktstellen für eine automatische Montage



Bild 6.37: Motor mit Klauenpolanker als Antrieb in einer Wasserpumpe

## 6.6.4 Zweiteilige Klauenpolausführung

### 6.6.4.1 Kurze Polschuhe

Wird im Arbeitsschritt vor dem Ausschneiden der Polkonturen (Bild 6.38b) aus der Blechrunde ein Topf gezogen (Bild 6.38a), entfällt das Jochrohr als separates Bauteil. Die Topfränder werden paarweise so gestaltet, dass sie, wie in den Patentzeichnung angedeutet (Bild 6.38d und e), ineinander gesteckt werden können. Sehr häufig wird ein Topfrand aufgeweitet, sodass eine Wulst an der Fugestelle sichtbar ist (Bild 6.39).

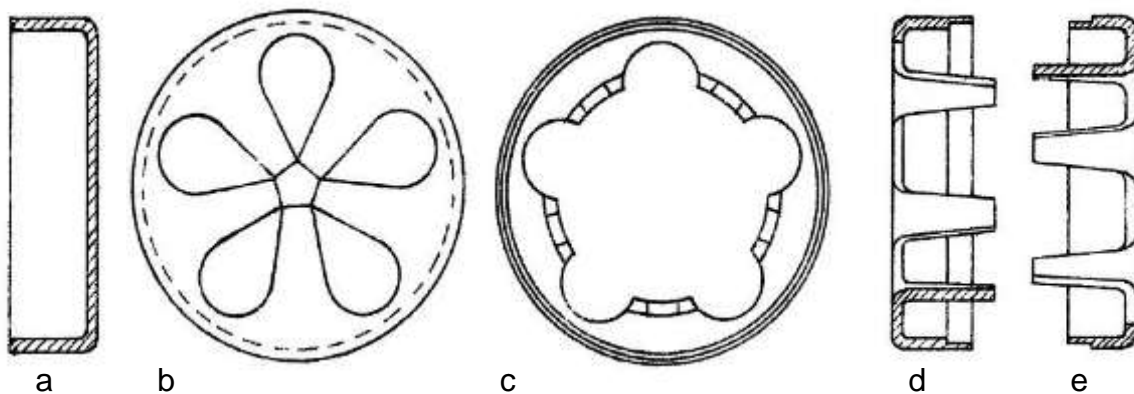


Bild 6.38: Patentzeichnungen einer zweiteiligen Klauenpolanordnung: a) Eisentopf, b) Schnittkontur im Boden, c) Abgewinkelte Klauenpole, d) Klauenpolkranz mit Außenrand, e) Klauenpolkranz mit Innenrand

Die Aufweitung eines oder beider Topfränder wird eingespart, wenn die beiden baugleichen Klauenpolkränze in ein Gerätegehäuse eingepresst werden, wobei sich die Topfränder berühren müssen (Bild 6.40). Diese Stoßstelle könnte der Beweggrund sein, das Joch vollständig mit nur einem Polkranz zu vereinigen (Bild 6.41a). Beim zweiten Polkranz ist das Joch zu einem Ring verkleinert. Er wird auf dem im Topfrand vorhandenen Sitz durch Umbördeln aufgepresst, sodass kein nennenswerter Luftspalt an der Fugestelle entsteht (Bild 6.41).

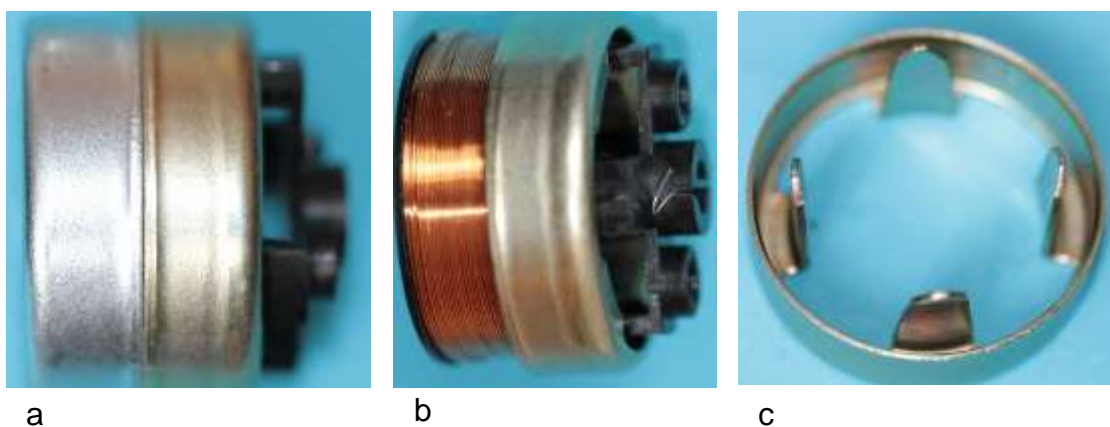


Bild 6.39: Zweiteilige Klauenpolanordnung: a) Ineinandergesteckte Klauenpolkränze, b) Klauenpolkranz mit aufgeweitetem Topfrand, c) Klauenpolkranz ohne Aufweitung



a b c  
 Bild 6.40: Klauenpolanordnung ohne aufgeweitete Topfränder: a) Klauenpolkranz im Gehäuse, b) und c) Ankerspule mit einem Klauenpolkranz

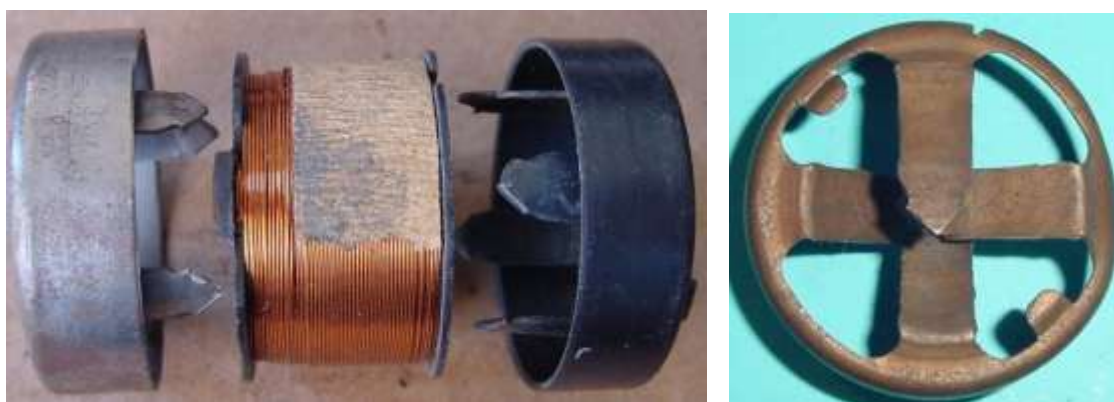


Bild 6.41: Zweiteilige Klauenpolanordnung  
 a) Klauenpolkranz mit Joch  
 b) Klauenpolkranz ohne Joch

a b

#### 6.6.4.2 Verlängerte Polschuhe

Die im Patent Nr. 687842 begrenzte Länge der Polschuhe ist bei der Variante im Bild 6.42 übertroffen, was nach dem Zurückbiegen der Polschuhe im Bild 6.42 sichtbar ist. Offensichtlich lässt sich durch entsprechende Schnitt- und Biegearbeitsgänge die axiale Länge der Klauenpole in geringen Grenzen variieren.



a b

Bild 6.42: Zweiteiliges Ankereisen mit verlängerten Polschuhen: a) Spule mit beiden Polkranzen, b) Demonstration verlängerter Polschuhe

Eine beliebige Länge der Polbleche wird mit einem Fertigungskonzept realisiert, das im Joch der Klauenpolringe einen Schlitz zulässt. Für einen Klauenpolkranz wird ein gezahnter Blechstreifen ausgeschnitten (Bild 6.43). Nach Biegevorgängen der Zähne wodurch der Raum für die Ankerspule bereitgestellt wird, wird das Blech zum Klauenpolkranz geformt (Bild 6.44).

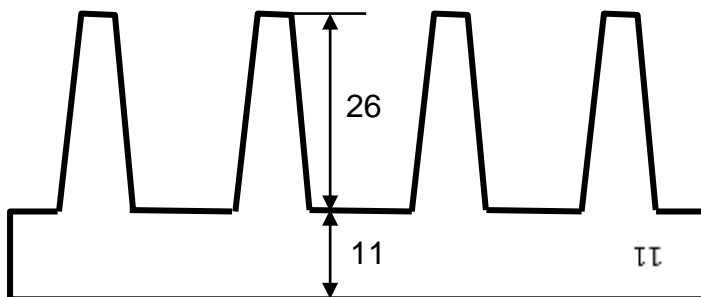


Bild 6.43: Gestanzte Kontur des Klauenpolkranzes

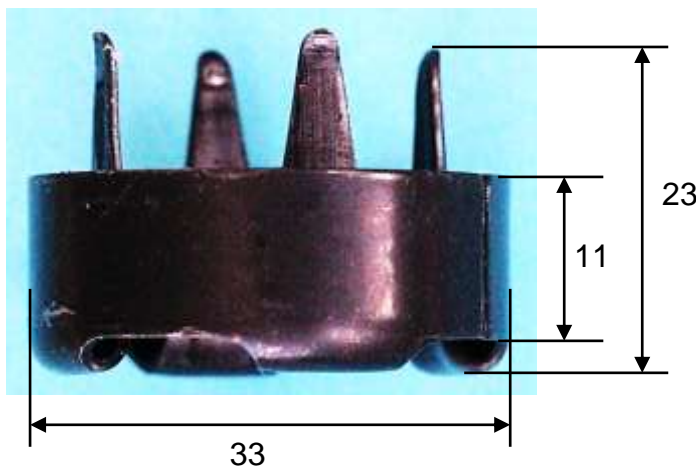


Bild 6.44: Abmessungen des Klauenpolkranzes

Der Schlitz zwischen den Schnittkanten der Blechenden bewirkt eine magnetische Unsymmetrie, die sich im Betriebsverhalten nur unbedeutend bemerkbar macht. Da man die Zahnblechstreifen ineinander fügen kann, ergeben sich Möglichkeiten, den Stanzabfall klein zu halten. Im Bild 6.45 ist für ein mögliches Schnittbild der Stanzabfall schraffiert gekennzeichnet. Die Polkränze sind im Jochbereich ohne Überlappung aneinander gefügt (Bild 6.46).

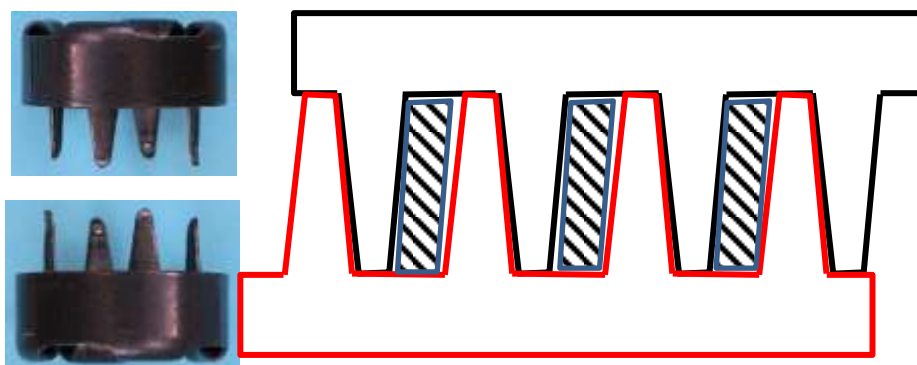


Bild 6.45: Ineinander-greifende Polflächen im Schnittbild

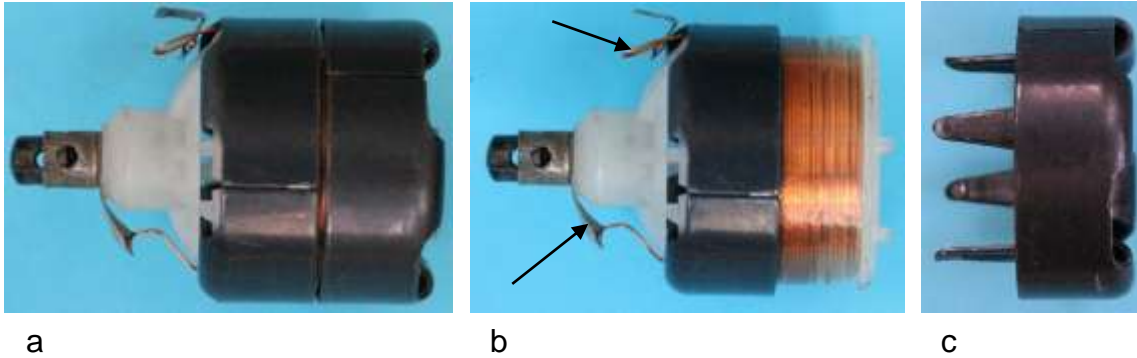


Bild 6.46: Anker: a) Kabelanschluss und geteiltes Joch des Ankereisens, b) Ankerspule nach Entfernung eines Klauenpolkranzes, c) Klauenpolkranz

### 6.6.4.3 Großflächige Überdeckung der Joche

Eine Konstruktion, bei der der Außendurchmesser der Klauenpolringe die Pollänge ebenfalls nicht begrenzt, zeigen die Fotos im Bild 6.47. Im Gegensatz zu der Variante im Bild 6.46 werden zwei ungleiche Klauenpolringe ineinander gefügt, die keinen Trennschlitz aufweisen. Ein Konstruktionsgesichtspunkt dieser Ausführung könnte die Reduzierung des magnetischen Spannungsabfalls im Klauenpolanker sein. Dafür sprechen die vergleichsweise große Blechdicke von 1,5 mm und die flächenhafte Überdeckung der Joche über die gesamte Ankerlänge.



Bild 6.47: Fügen beider Klauenpolkranze

Die Klauenpolkranze haben 8 mm breite Polschuhe und 32 mm breite Jochbereiche, die durch einen in radialer Richtung nach innen abgewinkelten Ring miteinander verbunden sind. Die drei Jochsegmente spannen einen zylindrischen Raum auf. Durch zweimaliges Abwinkeln (Bild 6.48a) werden die Polschuhe auf einen kleineren Durchmesser ausgerichtet, der vom Polrad und von der Luftspaltlänge vorgegeben ist. Die Jochsegmente der beiden Klauenpolringe sind unterschiedlich gestaltet. Einmal sind ihre Oberflächen glatt und im zweiten Fall sind die Seitenbereiche der Joche (jeweils etwa ein Drittel der Jochbreite) nach innen gezogen (Bild 6.49 und Bild 6.50), sodass die beiden Klauenpolkranze ineinander gefügt werden können. Dabei wird die Ringspule zwischen den Polschuhen und den Jochen eingeschlossen (Bild 6.47). Die axiale Ankerlänge beträgt 25 mm.

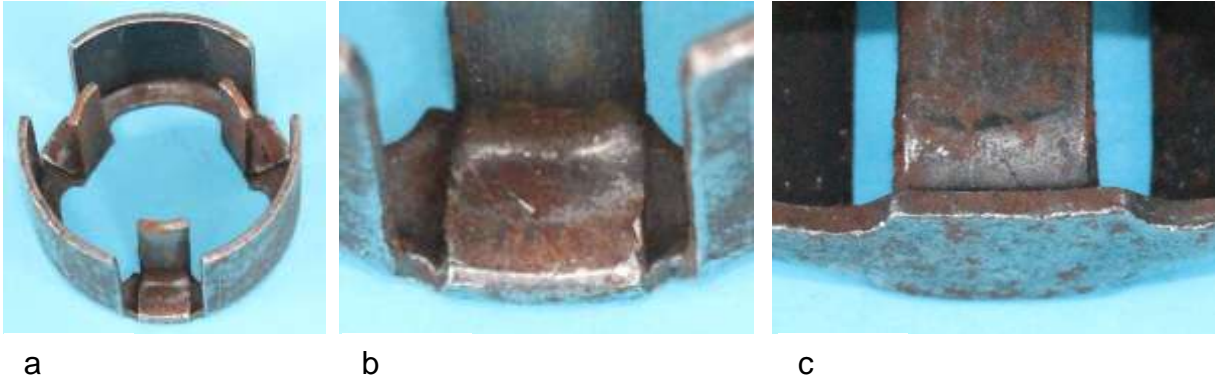


Bild 6.48: Zweifache Abwinklung des Polschuhs: a) Gesamtansicht der Polschuhe b) Ansicht der Biegezone von außen, c) Ansicht vom Innenraum

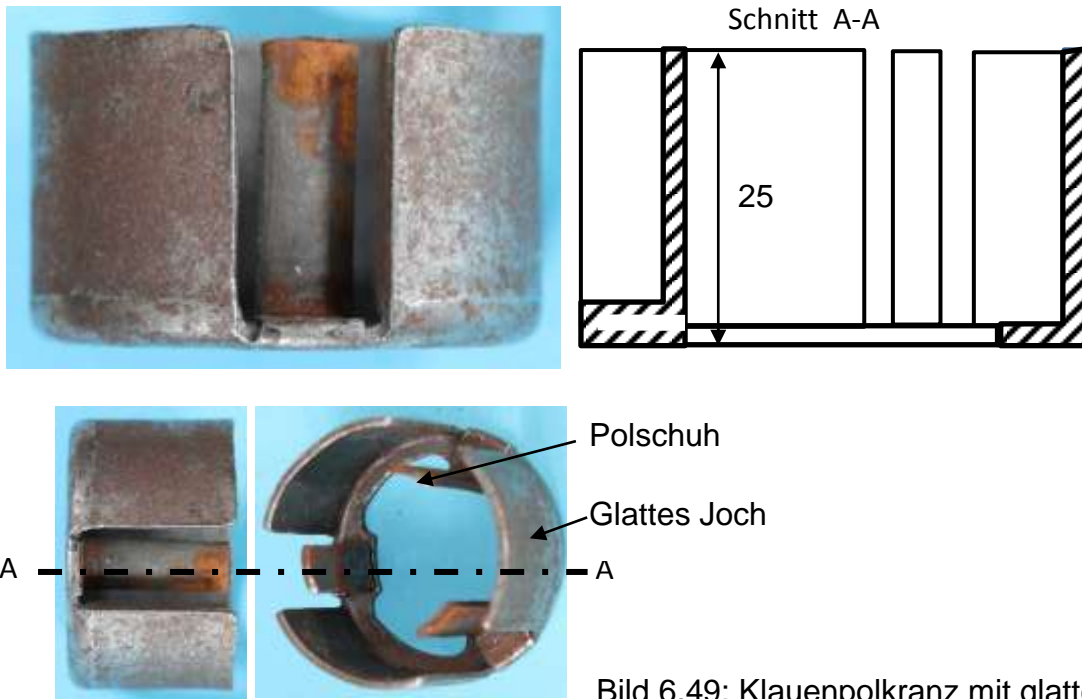


Bild 6.49: Klauenpolkranz mit glattem Joch

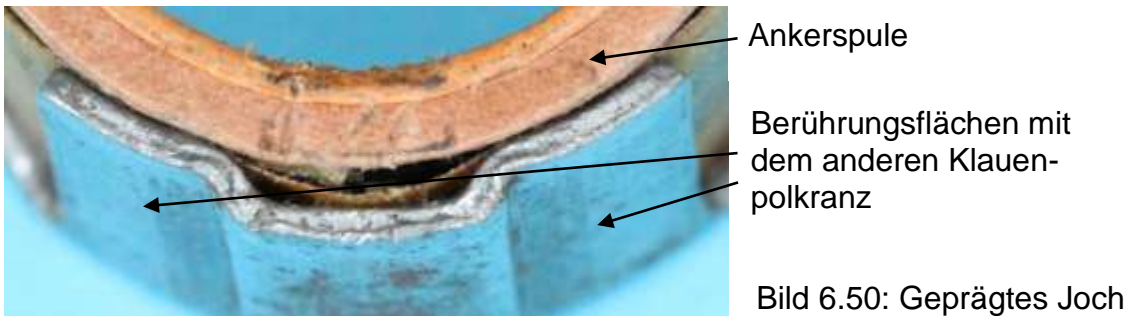


Bild 6.50: Geprägtes Joch



Bild 6.51: Ankerspule und Klauenpolkranz mit geprägtem Joch

## 6.7 Einzelpole

### 6.7.1 Radialgeblechte Polschuhe

Die Klauenpolankerkonstruktion im Bild 6.52 hat Wilhelm Schlattner im Patent Nr. 837872 / 3/ beschrieben. Sie gehört zu den Ausführungen mit einem sehr hohen Fertigungsaufwand. Ursache dafür ist das Ziel, Wirbelstromverluste klein zu halten, was zur Blechung aller Abschnitte des magnetischen Kreises Anlass gab. Die Form der Polbleche (Bild 6.55) kann als hakenförmig, als unsymmetrischer T-Schnitt oder als T-Schnitt mit ungleich langen Schenkeln beschrieben werden. Vierzehn 0,5 mm starke Einzelbleche, die nicht miteinander verknüpft sind, bilden ein Polblechpaket. Insgesamt besteht das Ankerisen aus 118 Einzelteilen. Davon entfallen 112 Bleche auf die acht Polschuhe und 6 auf den magnetischen Rückschluss (Ankerjoch). Das Ankerjoch wird aus zum Halbkreis gebogenen Blechen zusammengesetzt (Bild 6.53a). Die Jochbleche haben an ihren Rändern um eine Polteilung wechelseitig versetzte Ausnehmungen, in die die Polblechpakete eingesetzt werden (Bild 6.55). Außerdem werden die Blechpakete durch Nuten im Spulenkörperwand fixiert.

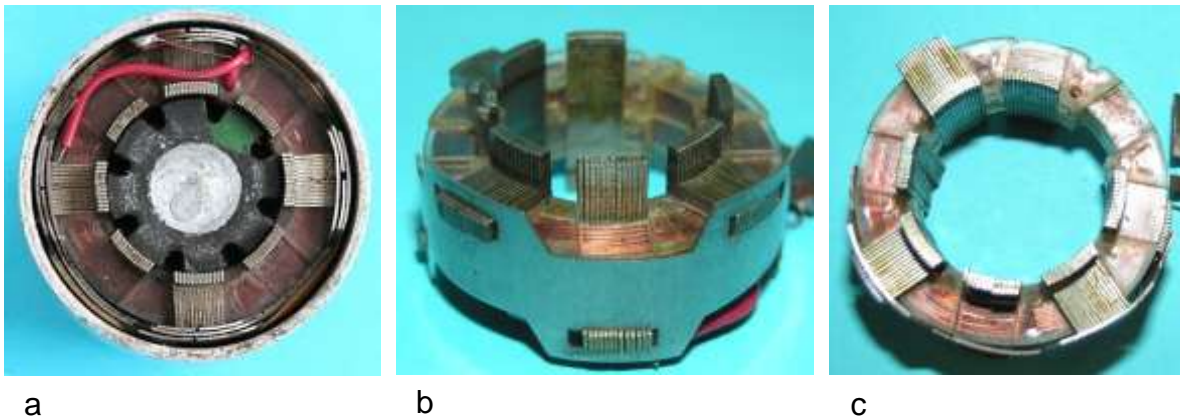


Bild 6.52: Anker mit radialgeblechten Polschuhen: a) Stirnseiten des Polrades und des Ankers, b) Eingeklinktes Jochblech, c) Spule mit eingesetzten Blechpaketen

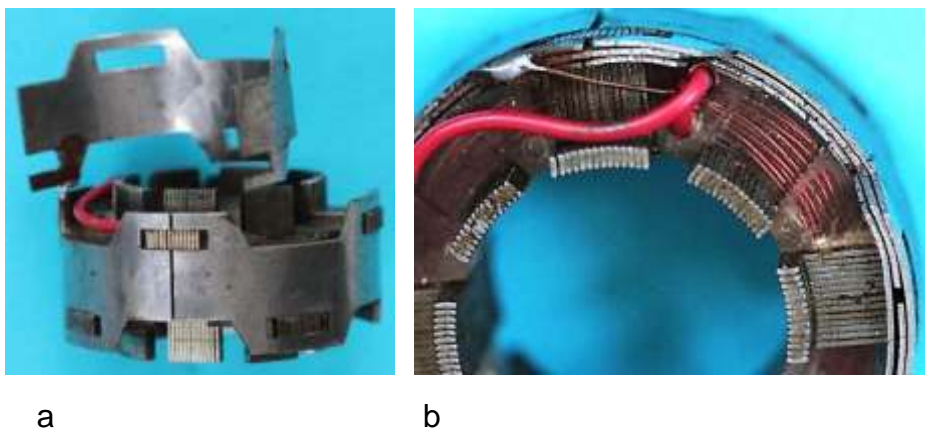


Bild 6.53: Joch:  
a) Ein separiertes Jochblech,  
b) Drei Jochbleche mit versetzten Stoßstellen



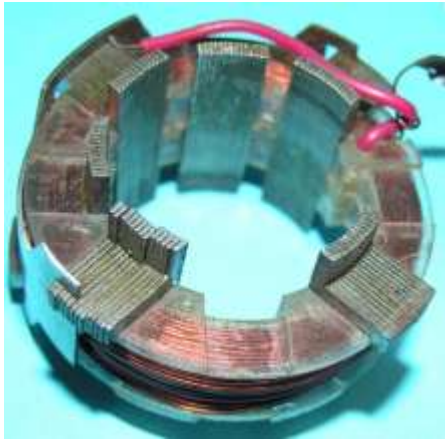


Bild 6.54: Spulenkörper mit Nuten zur Aufnahme der losen Blechpakete



Bild 6.55: Ankereisen: a) Jochblech, b) Bleche eines Polschuhs

In Verbindung mit radialgeblechten Polschuhen ist im Bild 6.56 eine weitere Ausführungsvariante des Jochs dargestellt. Die L-förmigen Blechpakete werden im Aluminiumgehäuse eingegossen (Bild 6.57b) und dann bewickelt (Bild 6.57a). Der magnetische Kreis wird mit jeweils drei übereinanderliegenden, V-förmig geschnittenen Jochblechen verbunden (Bild 6.56b).



Bild 6.56: Eingegossene Polschuhblechpakete: a) Stirnseiten der Polschuhe, b) Mäanderförmige Gestaltung des Jochs, c) Stoßstelle zwischen einem Polschuhblechpaket und den Jochblechen



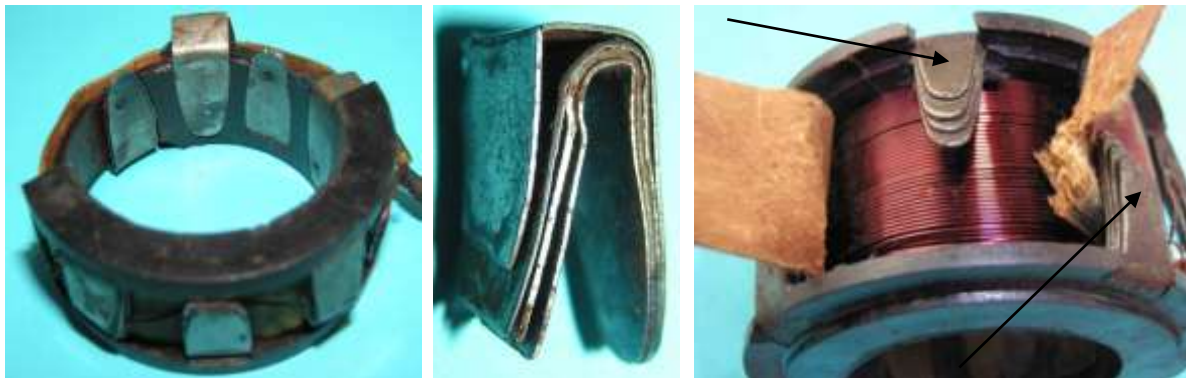
a

b

Bild 6.57: Polflächen: a) Übergangflächen zum Joch, b) Polflächen am Luftspalt

### 6.7.2 Polschuhe aus übereinanderliegenden Blechen

Neben radialgeblechten Polblechpaketen werden auch flache Polbleche oder Polblechstapel miteinander vergossen (Bild 6.58a). Nach der Bewicklung werden die Stapelenden um die Spule gebogen (Bild 6.58b). Ein darüber zu schiebendes Eisenrohr oder Eisengehäuse stellt die magnetisch leitende Verbindung zwischen den Polblechstapeln her.



a

b

c

Bild 6.58: Mit der Spule vergossene Klauenpole: a) Polflächen und Kontaktflächen mit dem Joch, b) Vier übereinander liegende Polbleche, c) Berührungsfächen mit dem Joch

## 7 Konstruktion eines 12-poligen Klauenpolankers mit separaten magnetischen Kreisen

Im Bild 7.1a ist ein Generator abgebildet, auf den die Bezeichnung Klauenpolmaschine zutrifft, denn sowohl das Erregersystem als auch der Anker sind Klauenpolanordnungen. Die Besonderheit des Ankers besteht darin, dass er in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand der Magnete mit drei Erregersystemen (Bild 7.2) kombiniert wurde, ohne selbst geometrische Änderungen zu erfahren.

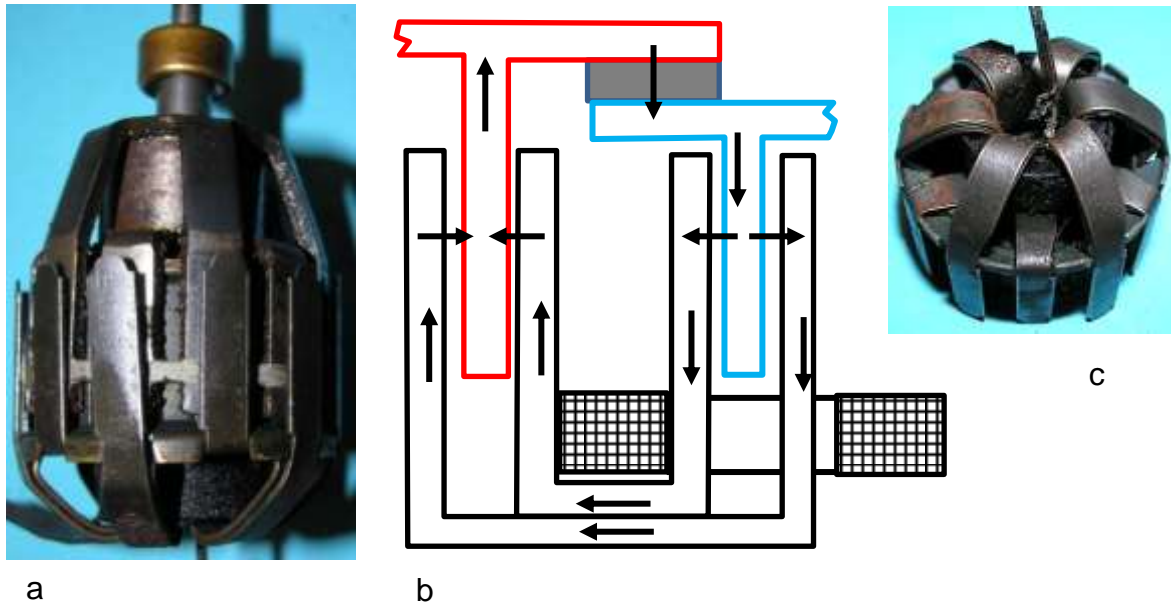


Bild 7.1: 12-poliger Generator: a) Klauenpolssystemen im Läufer und Ständer, b) Prinzipskizze zum Aufbau des Generators, c) Klauenpolanker

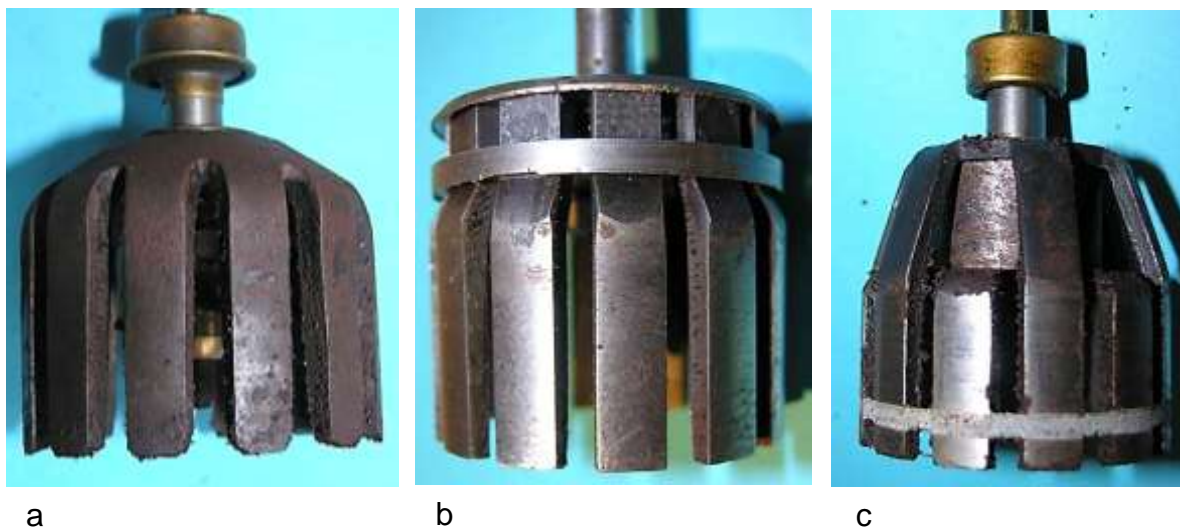


Bild 7.2: Dauermagneterregte 12-polige Polradausführungen: a) Tulpenmagnetform, b) Stabmagnetform, c) Klauenpolanordnung mit zweipoligem Magneten

Die 12 polige Ankerkonstruktion (Bild 7.3) lässt sich auf den grundlegenden Gedanken des Patents UK Nr. 394,219 von 1931 / 4/ (Bild 7.4) zurückführen. In der Patentzeichnung sind separate Polpaare aus Blechstreifen mit der Ringspule dargestellt, wobei die Ankerpolflächen innerhalb eines Magnetkorbs positioniert sind.

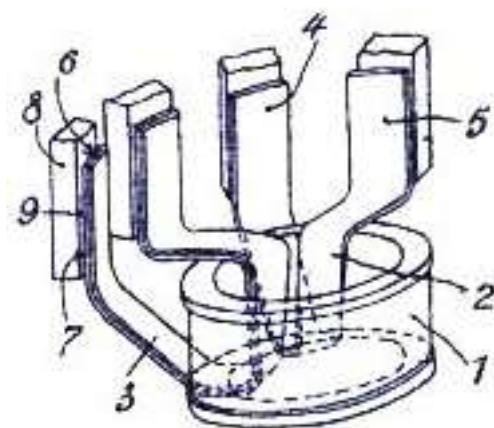
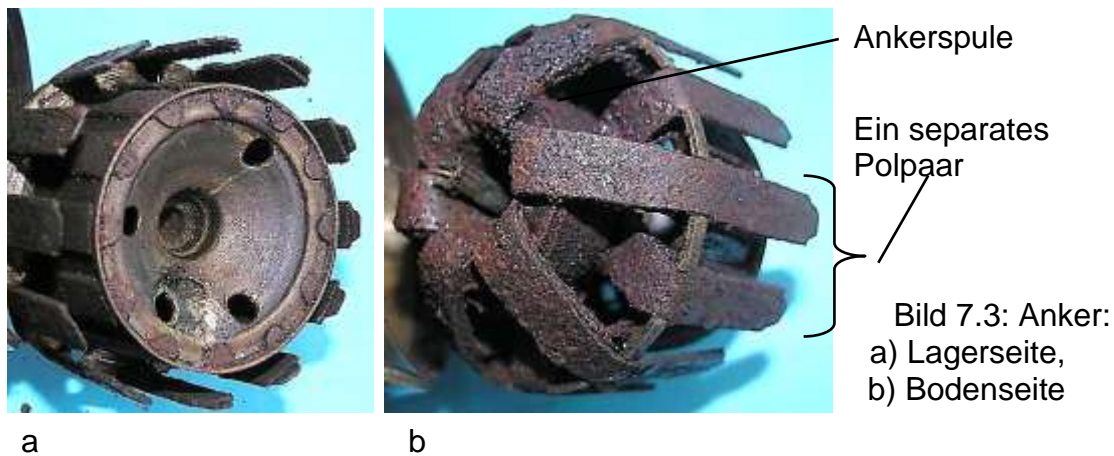


Bild 7.4: Skizze aus dem UK-Patent Nr. 394,219: Zwei separate Polpaare mit der Ringspule verkettet:  
1-Ringspule,  
4, 5 und 6- Ankerpole,  
8- Magnetpole  
9- Luftspalt

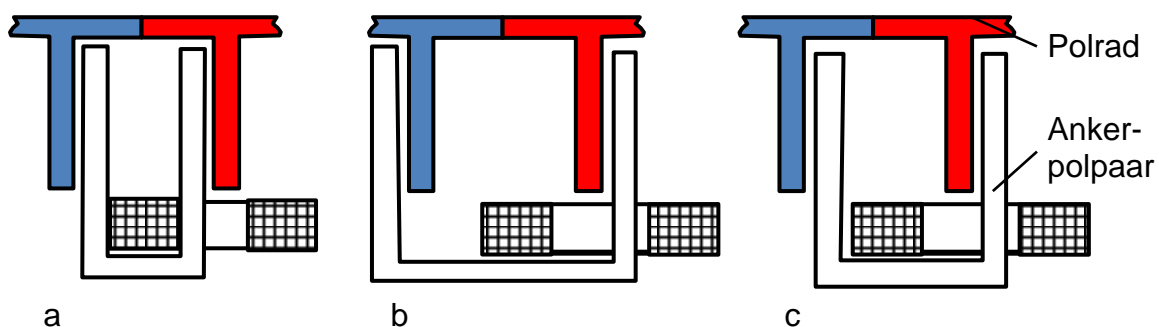


Bild 7.5: Einfache Klauenpolkombination: a) Ankerpole innerhalb des Polkorbs, b) Ankerpole außerhalb des Polkorbs, c) Ein Ankerpol innerhalb und ein Ankerpol außerhalb des Polkorbs

Davon ausgehend lassen sich mehrere Modifikationen entwickeln, deren Kenntnis die Charakterisierung des im Bild 7.3 dargestellten Ankers erleichtert. Die stark vereinfachten Skizze eines Ankerpolpaars im Bild 7.5a entspricht der Patentzeichnung mit den innen liegenden Ankerpolen. Die Ankerpole lassen sich auch außerhalb des

Magnetkorbs anordnen (Bild 7.5b). Beide Varianten werden im Bild 7.5c kombiniert, sodass ein Ankerpol außerhalb und einer innerhalb des Magnetkorbs positioniert ist. Die Klauenpolpaare der Varianten Bild 7.5a und b lassen sich ineinanderfügen, sodass jeder Dauermagnetpol durch zwei Luftspalte von den Ankerpolschuhen getrennt ist. Damit bilden zwei parallel angeordnete Ankerpolpaare den magnetischen Kreis, der als Doppelpolpaar bezeichnet wird. In der im Bild 7.6a gewählten Darstellung sind zwei Ankerblechschnitte erforderlich. Dieser Nachteil wird vermieden, wenn die Ankerpolform von Bild 7.5c als Grundelement gewählt wird (Bild 7.6b).

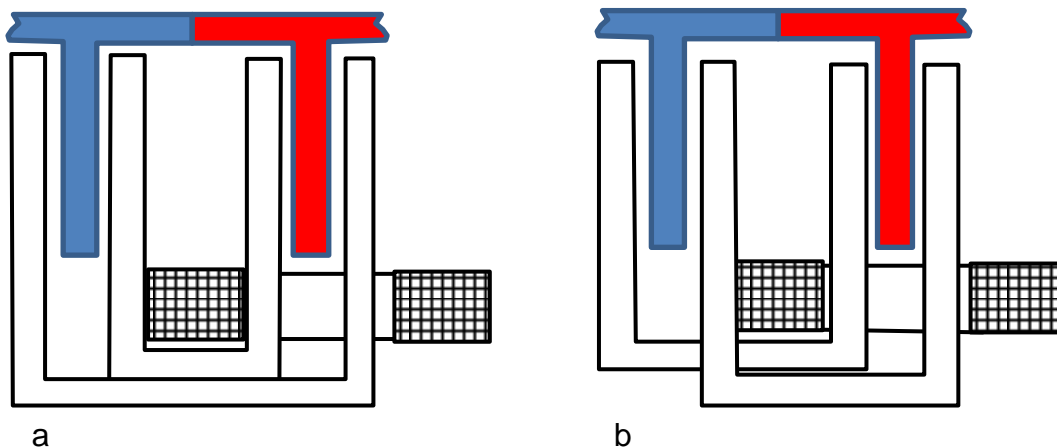


Bild 7.6: Kombination der Ankerpole innerhalb und außerhalb des Polkorbs, a) Ungleiche Blechlängen, b) Gleiche Blechlängen



Bild 7.7: Ankerbleche (0,5 mm dick, 7 mm breit und 110 mm lang):  
a) Blech mit einer runden und einer geraden Schmalseite,  
b) Gedrehtes Ankerblech von a), c) Übereinander gelegte Bleche

In den Ankern der vorliegenden 12-poligen Dynamos besteht jedes Ankerpolpaar aus zwei gleichen, übereinander gelegten 0,5 mm starken Blechen (Bild 7.7). Aus technologischen Gründen ist ein Blechende abgerundet. Beim Übereinanderlegen werden die Bleche um 180° gegeneinander verdreht. Dieses Blechpaar wird so verformt (Bild 7.8a), dass im Mittelteil die Spule umfasst wird und die Enden im Abstand von einer Polteilung einen Innen- und einen Außenpol bilden. Die Biegelinien der parallel angeordneten Klauenpolpaare (Bild 7.8b) sind unterschiedlich. Vorzugsweise werden sie gemeinsam gebogen. Bei einem Doppelpolpaar liegen im Jochbereich vier Bleche übereinander (Bild 7.8c). Die parallel liegenden Polschuhe haben voneinander einen Abstand, der der radialen Dicke der Magnetpole des Polrades und zwei Luft-

spaltlängen entspricht. Das Bild 7.9 zeigt zwei ausgewählte Ansichten eines Doppelpolpaares.



Bild 7.8: Elemente eines Ankerpolpaares: a) Geformtes Doppelblech, b) Zwei parallele Polpaare, c) Zwei parallele Polpaare zu einem Doppelpol vereinigt



Bild 7.9: Doppelpolpaar in zwei ausgewählten Ansichten

Sechs Doppelpolpaare werden mit der Ringspule verknüpft, wie es im Bild 7.10 zum Ausdruck kommt. Die Spule bzw. der Spulenkörper ist kein konstruktives Bauteil, an dem die Klauenpolpaare geordnet und eindeutig fixiert werden. Diese Funktion wird von einem Montagezylinder aus Messingblech (Bild 7.11) und einem Abstandsring (Bild 7.16) ausgeübt. Am unteren Rand des Montagezylinders sind Abstandslaschen angeschnitten, zwischen denen die Doppelpolpaare eingeklinkt werden (Bild 7.13 und Bild 7.14). Dabei legt sich der innere Polschuh flach an die Außenwand des Montagezylinders an. Auf diese Weise sind im Bild 7.16c alle Klauenpolpaare um den Zylinder postiert.



a



b

Bild 7.10: Anker mit den separaten Klauenpolpaaren  
a) Ansicht der Jochche,  
b) Ansicht des Montage-raums



a



b



c

Bild 7.11: Montagezylinder: a) Kalottenlagerseite, b) und c) Unterseite mit Lagerdom



a



b



c

Bild 7.12: Montagekorb mit einem Doppelpolpaar: a) Lange Pole im Vordergrund, b) Kurze Pole im Vordergrund, c) Innere Pole im Abstandsring eingefügt

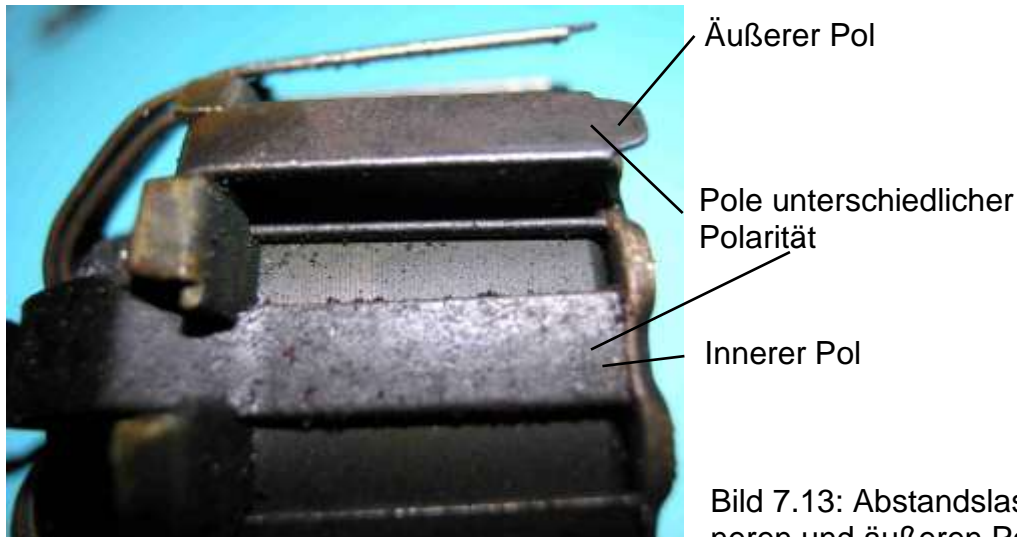


Bild 7.13: Abstandslaschen mit inneren und äußeren Polschuhen

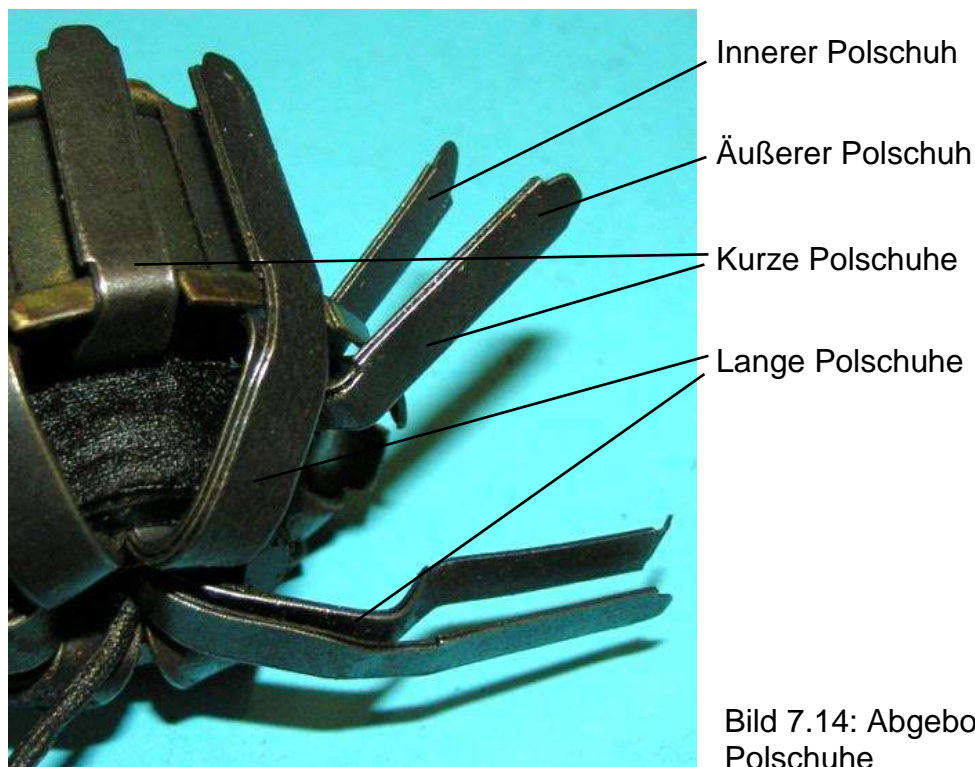


Bild 7.14: Abgebogene Polschuhe

Mit dem runden Blechende (Bild 7.12c) greifen die inneren Polschuhe in die Schlitze des Abstandsrings (Bild 7.15 und Bild 7.16b) ein und werden dort umgebogen. Die äußeren Ankerbleche liegen federnd an der Innenseite des Gehäusemantels an. Ein Ring mit Zähnen, die so breit sind wie die Pollücken, verhindert das Verbiegen der äußeren Ankerpole (Bild 7.17).



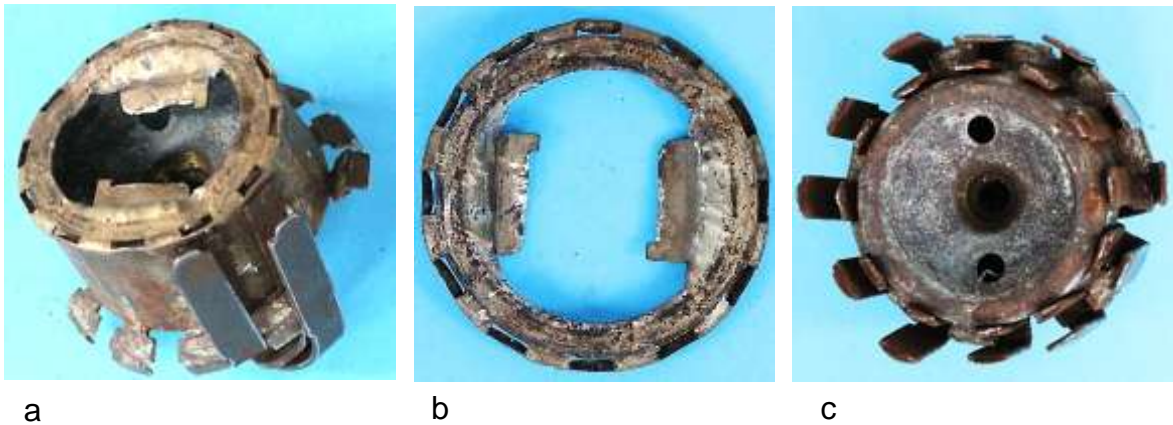


Bild 7.16: Montagekorb mit Ankerpolpaaren: a) Montagekorb mit Abstandsring, b) Abstandsring, c) Montagekorb mit den 6 Doppelpolpaaren



Innerhalb des Montagezylinders ist ein unten geschlossener Lagerdom eingezogen, der ein Öldepot aufnimmt. Der obere Rand des Doms dient als Sitz des Kalottenlagers (Bild 7.16c und Bild 7.18). Die federnde Kalottenlagerbrille (Bild 7.18b) wird mit den zwei nach innen zeigenden Blechlaschen des Abstandsrings (Bild 7.16b) gespannt und gegen Verdrehung gesichert.

Diese Ankerkonstruktion umfasst einen vergleichsweise großen Raum, der nicht von elektromagnetisch aktiven Bauteilen genutzt wird. Dadurch sind die Abmessungen des Generators so groß, dass kleinere Dynamos gleicher Leistung einen Marktvorteil haben.



a



b

Kalotte  
Kalottenlagerbrille  
Angeschchnittene  
Abstandslasche

Bild 7.18: Unteres Gleitlager:  
a) Montagekorb mit eingelegter Kalotte,  
b) Kalottenlagerbrille

Die wichtigsten Merkmale des 12-poligen Klauenpolankers werden nachfolgend noch einmal zusammengestellt:

- Der magnetischer Kreis besteht aus 12 separaten Polpaaren
- Zwei Polpaare sind parallel angeordnet und mit dem magnetischen Fluss des gleichen Polradpolpaares verkettet, sodass das Polrad nur mit 12 Polen ausgeführt wird und der Anker ebenfalls als 12-polig in Erscheinung tritt.
- Die Polschuhe des Ankers stehen den Magnetpolflächen innerhalb und außerhalb des Polrades gegenüber.
- Jedes der 12 Polpaare wird von zwei 0,5 mm dicken, 7 mm breiten und 110 mm langen Blechstreifen gebildet. Sie haben an einer Schmalseite eine kreisförmige Kontur.
- Die Bleche eines Polpaares sind gegeneinander um 180°gedreht und so zusammengefügt, dass an jedem Ende der Blechpaare eine gerundete Schmalseite hervorragt.
- Zwei Blechpaare werden übereinander gelegt und gemeinsam verformt. Dabei liegen im mittleren Bereich, in dem eine Verdrehung der Blechpaare um eine Polteilung erfolgt, vier Bleche übereinander.
- Die Enden des Blechpaare, die die Polflächen bilden, werden gespreizt. Über die gesamte Pollänge stehen sich die Polflächen parallel gegenüber. Zwischen ihnen bewegen sich die Pole des Polrades.
- Der von den Ankerpolen aufgespannte Innenraum nimmt den Montagetopf auf, der als Lagerschild für das Kalottenlager und zur Befestigung der Ankerpole dient.

## 8 Klauenpolähnliche Ausführungen mit Axialfeld

### 8.1 Magnetische Kreise und Luftspalte

Die im Bild 8.1 dargestellten Jochansichten werden leicht den Klauenpolanordnungen zugeordnet. Die Joche gehören zu separaten magnetischen Kreisen, deren ferromagnetische Abschnitte in einer Schnittebene liegen. In Umfangsrichtung gibt es bei diesen Ausführungen keine magnetisch leitende Verbindung zwischen benachbarten Polen. Jedes im Bild 8.1 sichtbare Joch gehört zu einem separaten magnetischen Kreis, in dessen Luftspalt eine Magnetscheibe rotiert. Die Lage des Luftspalts richtet sich nach Gesichtspunkten, die vom Einsatzfall bestimmt werden. Zwei Positionen, die den Mustern im Bild 8.1 entsprechen, sind in den Schnittzeichnungen im Bild 8.2 dargestellt.

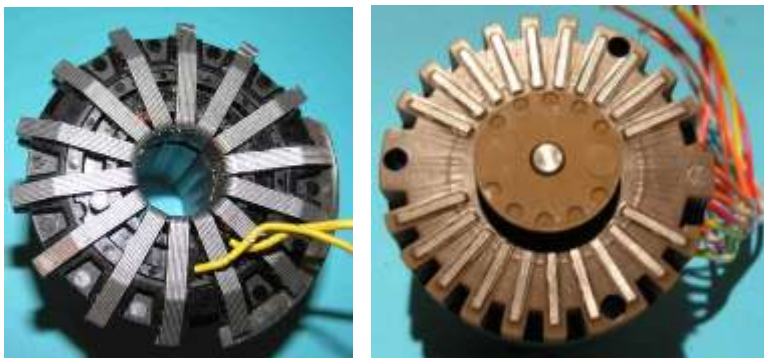


Bild 8.1: Am Umfang verteilte separate magnetische Kreise

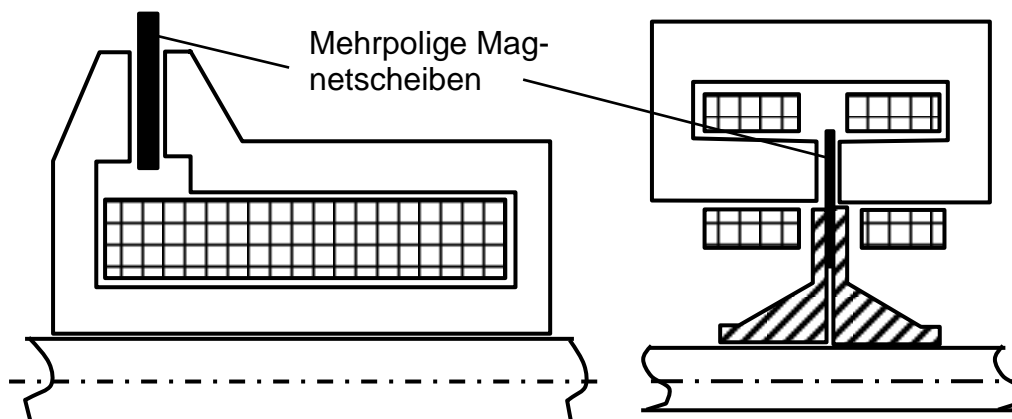


Bild 8.2: Längsschnitte separater magnetischer Kreise mit Scheibenmagneten: a) Luftspalt an der Peripherie der Spule, b) Luftspalt im Spulenkern

### 8.2 Luftspalt an der Peripherie der Ankerspule

Die beiden Generatoren im Bild 8.3 haben als charakteristisches Bauteil einen Magnetring, der entsprechend der Polpaarzahl (28 und 26 Polpaare) axial magnetisiert ist (Bild 8.4). Dieser Ring ist mit kreisförmig angeordneten Stabmagneten ohne ferromagnetischen Rückschluss vergleichbar. Zur Reduzierung stellungsabhängiger Drehmomente wurden die Pollücken nicht radial sondern geseht ausgerichtet (Bild

8.4b). Der magnetische Kreis der Ringspule besteht aus Blechpaketen, die paarweise geschlossene magnetische Kreise bilden und nur durch den Luftspalt für den Magnetring unterbrochen sind. Ihre Anzahl ist halb so groß wie die Zahl der Magnetsegmente bzw. Polteilungen auf dem Ring.

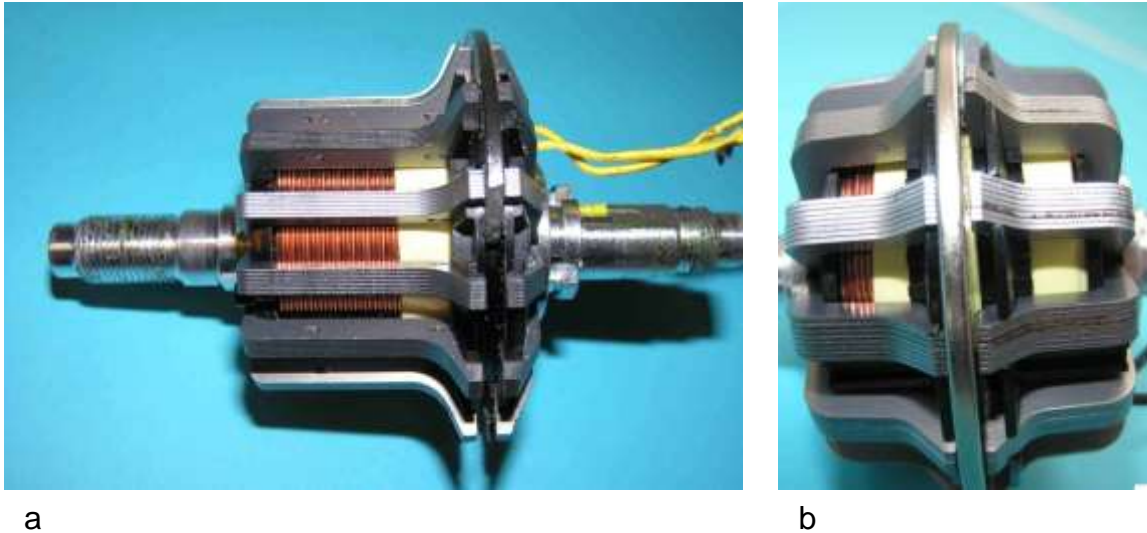


Bild 8.3: Unsymmetrische und symmetrische Klauenpolanordnungen mit Ringmagnet

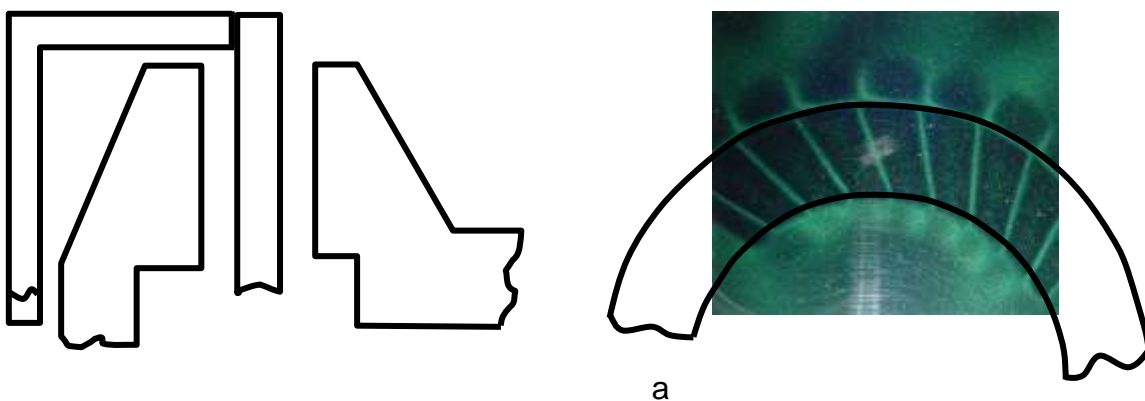


Bild 8.4: Axial magnetisierter Ring: 28 Pole, 2,1 mm dick, Außendurchmesser 62 mm, Innendurchmesser 40mm

Nur jedes zweite Magnetsegment ist mit der Ringspule verkettet. Bei der Drehung des Rings um eine Polbreite ändern die mit der Spule verketteten Flüsse ihre Richtung, sodass in der Wicklung eine Wechselspannung induziert wird. Aufgrund der unterschiedlichen Lage der Luftspalte kommen, wie es aus den Darstellungen im Bild 8.5 hervorgeht, verschiedene Blechpaketformen zum Einsatz. Einmal besteht der magnetische Kreis aus zwei unterschiedlichen Blechpaketen, deren 7 Bleche gleicher Abmessungen miteinander verhakt sind. Im anderen Fall wird der magnetische Kreis aus zwei gleichen Blechpaketen gebildet. Zur effektiven Ausnutzung des Bau-raums und der Optimierung des Luftspaltfeldes sind diese Blechpakete aus drei Blechschnitten zusammengesetzt (Bild 8.6). Variiert wurden die Luftspaltkontur und

die Jochbreite. Ohne miteinander verknüpft zu sein, sind jeweils 8 Bleche in dafür vorgesehene Nuten des Spulenkörpers eingepresst (Bild 8.7).

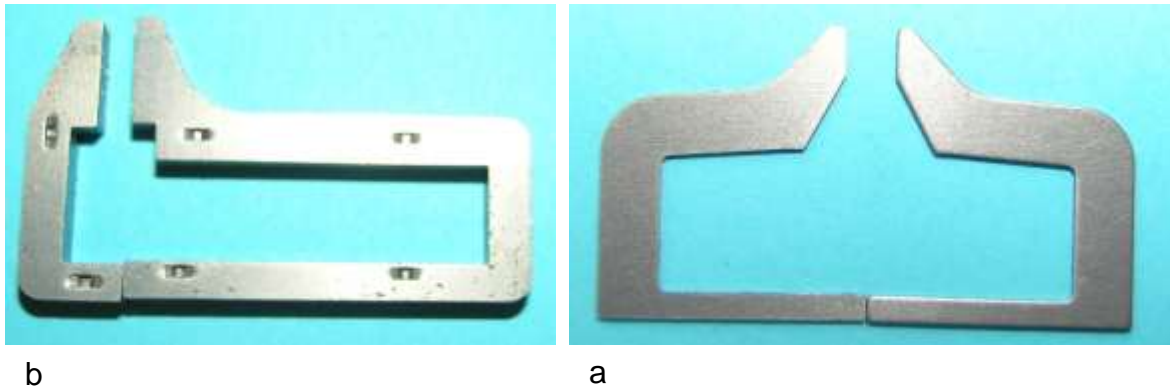


Bild 8.5: Lage des Luftspalts. a) Zwei ungleiche Blechpakete, b) Gleiche Blechpakete

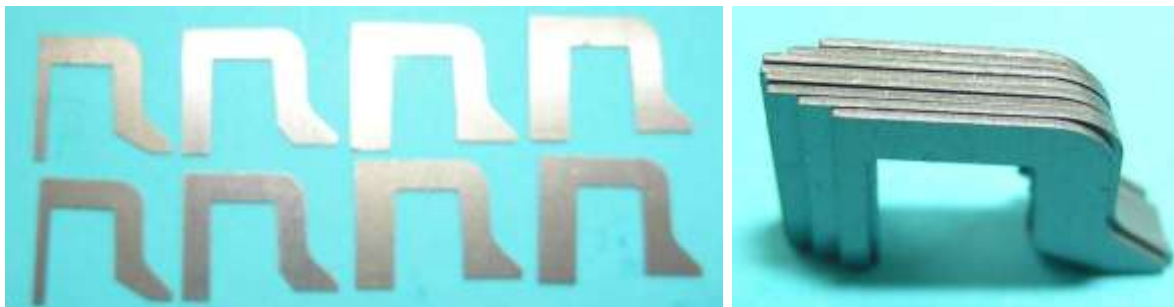


Bild 8.6: Bleche eines Blechpakets der Ausführung von Bild 8.3b.

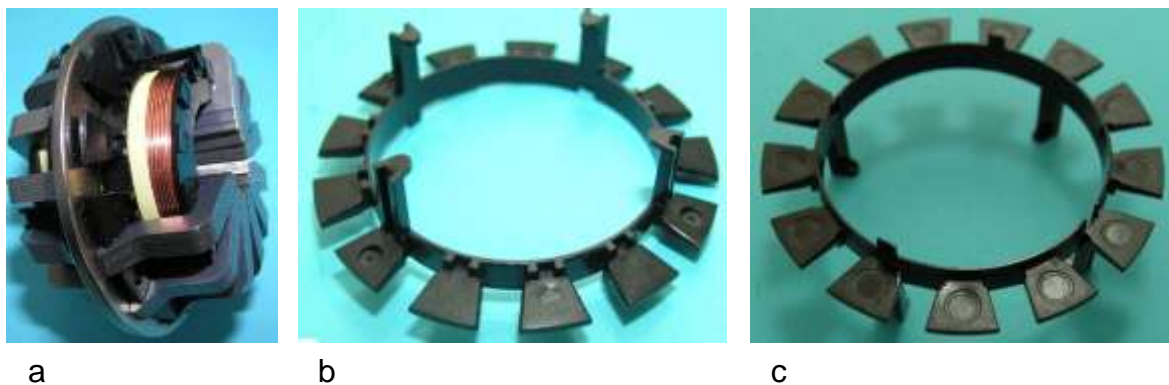


Bild 8.7: Nuten im Spulenkörper zur Fixierung der unverknüpften Blechpakete

In den Ansichten von Bild 8.8 und Bild 8.9 wird das Problem der Bauraumausnutzung bei Ringspulenordnungen deutlich. Die Zielstellung, nur wenig Bauraum zu beanspruchen, verlangt die vollständige Nutzung der Spulenbohrung für den magnetischen Fluss. Da bei den vorliegenden Mustern ein zentraler Raum für eine Achse vorgehalten werden muss, gilt es, die Fläche eines Rohrquerschnitts mit den Querschnitten der Blechpakete auszufüllen. Dies gelingt bei kleinen radialen Ausdehnun-

gen mit einem Rechteckquerschnitt. Bei längeren radialen Maßen ist eine Stufung des Spulenkerns angebracht.

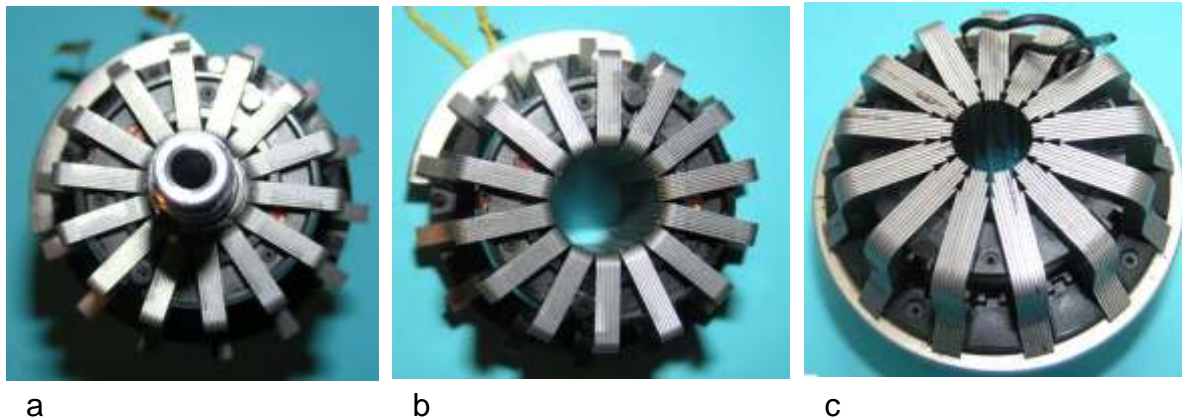


Bild 8.8: Spulenbohrung: a) mit Achse, b) Achse entfernt, 14 Blechpakete, c) Achse entfernt, 13 Blechpakete

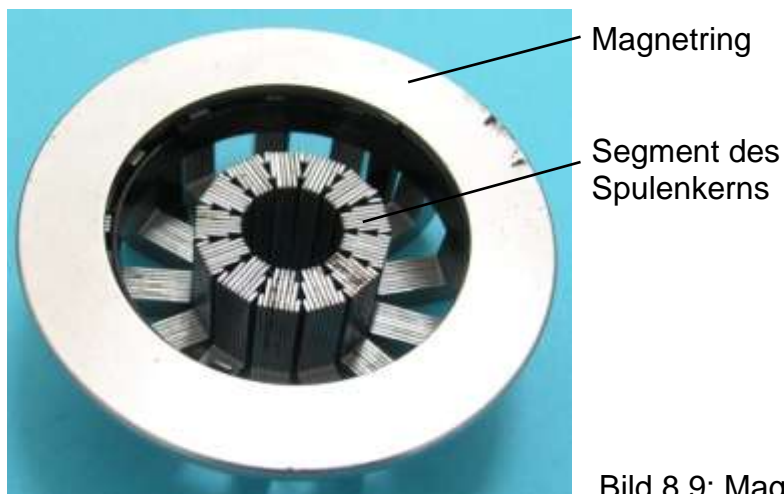


Bild 8.9: Magnetring mit 13 Blechpaketen

### 8.3 Luftspalt im Spulenkern

Zwei separate Ankersysteme, bei denen sich der Luftspalt im Spulenkern befindet, sind in einem Schrittmotor vereint, dessen Seitenansicht im Bild 8.11a dargestellt ist. In der Mitte ist er aus konstruktiven Gründen in zwei gleiche Kunststoffkörper geteilt (Bild 8.10). Die Vergussmasse vereint jeweils 20 U-förmige 2 mm starke Blechpakete (Bild 8.12), von denen jeweils 10 zu einem Ankerpolssystem gehören. Die beiden Systeme sind um eine halbe Polteilung gegeneinander verdreht, wodurch die unterschiedlichen tangentialen Abstände zwischen den Systemen entstehen (Bild 8.11b). Die Spulen umfassen die inneren Stirnflächen der Blechpakete, die die Polflächen am Luftspalt bilden. Die äußeren Stirnflächen der Blechpakete beider Kunststoffkörper stoßen aneinander. Jeder Strang besteht aus zwei Spulen, deren Anschlüsse separat herausgeführt sind (Bild 8.10).

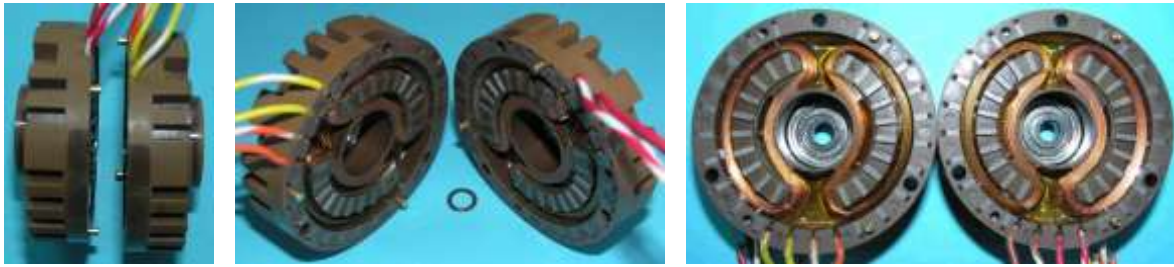


Bild 8.10: Zwei identische Baugruppen eines Schrittmotors

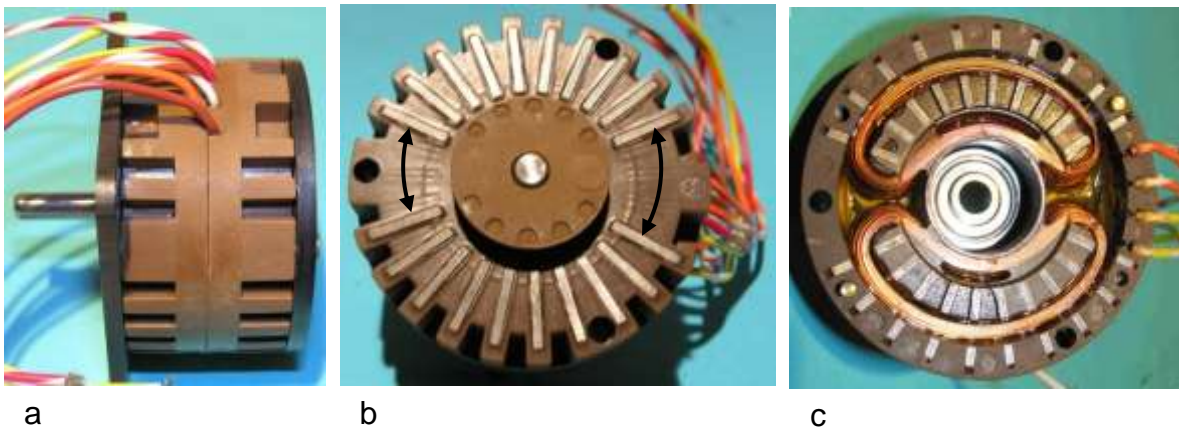


Bild 8.11: Zweisträngiger Schrittmotor mit zwei konstruktiv gekoppelten Polsystemen: a) Motor mit Montageplatten, b) Zwei um eine halbe Polteilung gegeneinander verschobene Polgruppen, c) Lage der Spulen, die zu unterschiedlichen Polsystemen gehören

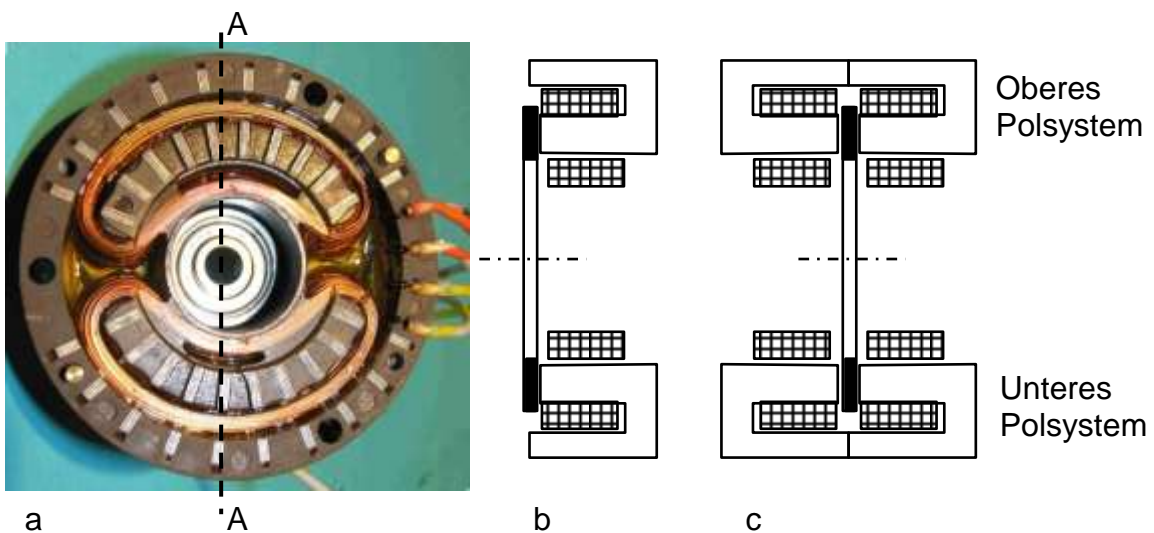


Bild 8.12: Aufbau des Schrittmotors: a) Eingegossene Blechpakete und eingelegte Spulen beider Stränge, b) Schnitt A-A durch jeweils eine Hälfte der beiden Polsysteme, c) Schnitt des vollständigen Polsystems

Die nierenförmige Form der Ankerspulen ist ungewöhnlich, was auf besondere Anforderungen an das Betriebsverhalten des Schrittantriebs zurückzuführen ist. Die Spulen sind in dem Kunststoffkörper mit Lack befestigt (Bild 8.13a). In den Skizzen von Bild 8.12 ist die Anordnung der magnetischen Kreise angegeben, die in der Schnittebene A-A liegen. Die ebenfalls angedeutete Magnetscheibe wird von beiden Seiten von auf der Welle sitzenden Konstruktionselementen gehalten (Bild 8.13). Für den leichten Lauf und die Fixierung der Magnetscheibe sorgen zwei Kugellager.

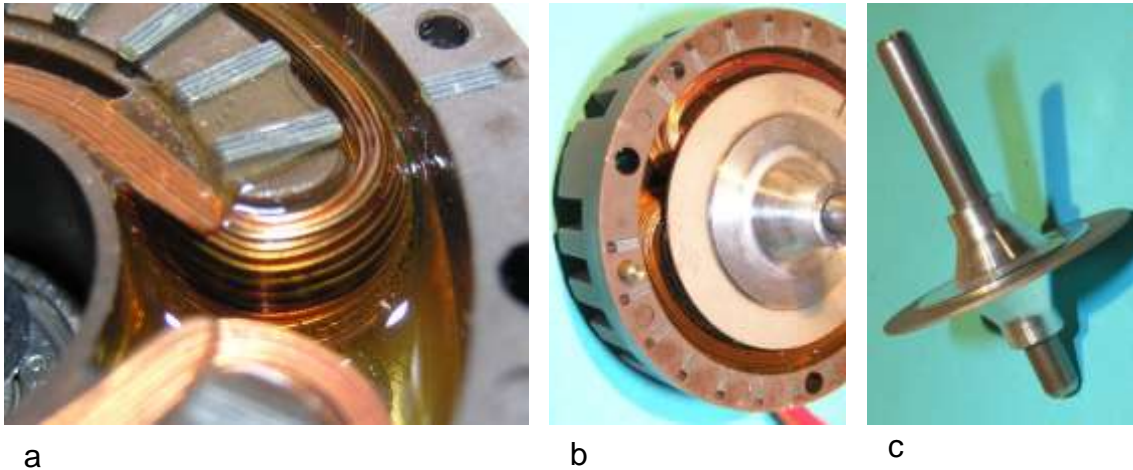


Bild 8.13: Bauteile des Schrittmotors: a) Wicklungskopfbefestigung, b) Eine Motorhälfte mit dem Polrad, c) Magnetscheibe mit 52 axialmagnetisierten Polpaaren



## 9 Quellen

/ 1/ „Lexikon der Elektrotechnik“ von H.-D. Junge und G.Müller,  
VCH Verlagsgesellschaft 1994, Definition der Klauenpolanordnungen

/ 2/ Reichspatentamt: Patent Nr. 687842, Klasse 21d<sup>1</sup> Gruppe 11

Titel: Elektrische Fahrradlichtmaschine

21.06.1934 Einreichungsdatum

18.01.1940 Bekanntmachung

07.02.1940 Ausgabedatum

Patentinhaber: Elektrotechnische Fabrik Schmidt & Co. G.m.b.H. in Berlin

Inhalt: Kontur und materialsparende Herstellungsverfahren von Klauenpolringen für Dosenmotoren

/ 3/ Deutsches Patentamt Nr. 837872

Titel: Magnetelektrische Kleinlichtmaschine

04.12.1949 Einreichungsdatum

02.05.1952 Ausgabedatum

Patentinhaber: Wilhelm Schlattner , Wolfratshausen

Inhalt: Geblechtes Joch und radialgeblechte Pole

/ 4/ Englisches Patent Nr. 394, 219

Convention Date (Germany): Nov.21, 1931

Application Date (in United Kingdom): Oct. 28,1932. No. 30,338/32.

Complete Accepted: June, 1933

Improvements in or relating to Stationary Armatures for Small Electric Generators.

Inhalt: Klauenpolanordnungen aus Blechstreifen und aus einem Einzelblech demonstriert an einer 12-poligen Ausführung.