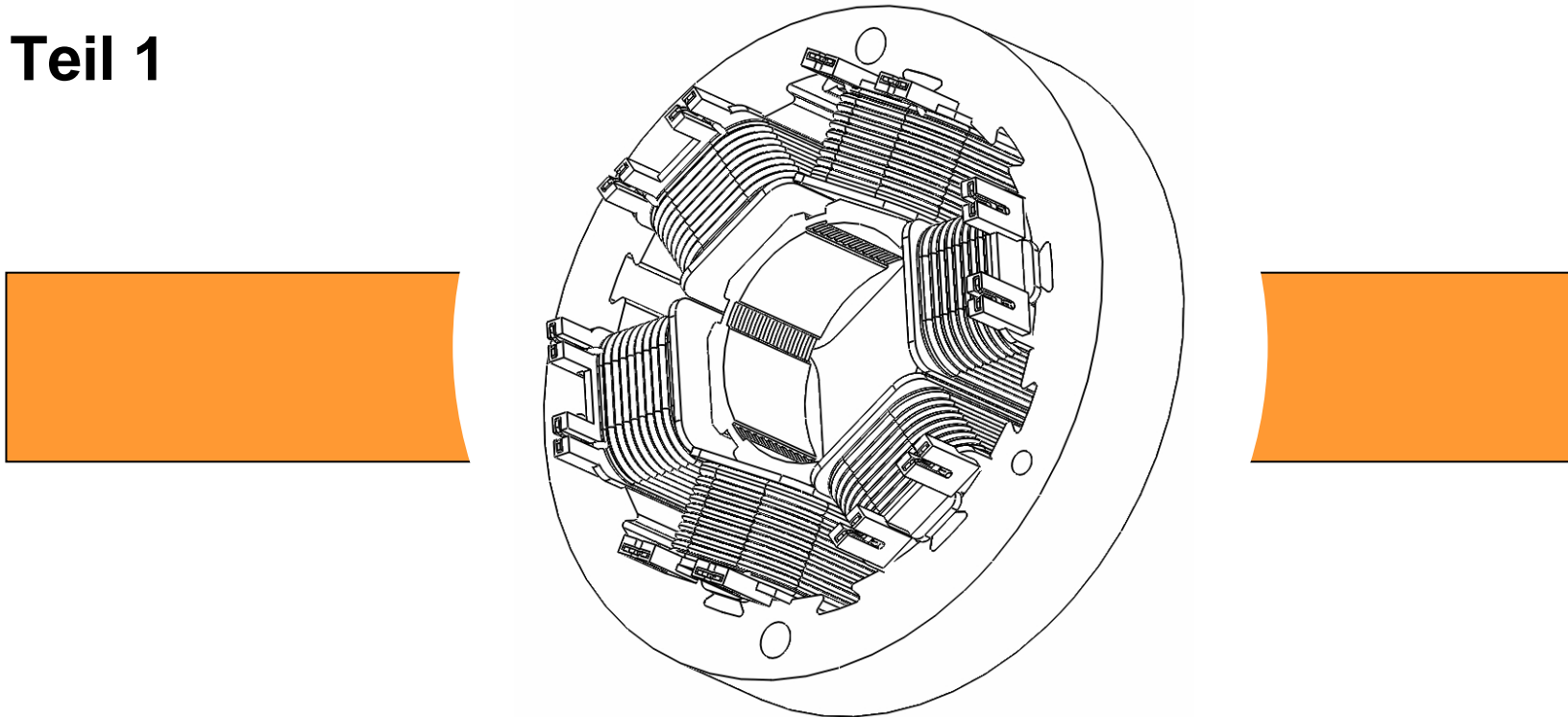


Dr.-Ing. Wolfgang Jordan

Technologie kleiner Elektromaschinen

Teil 1



Wissenspeicher für Produktentwickler, Techniker und Kaufleute

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6	2. Technologie der Isolierung.....	27
1. Technologie der Magnetkörper.....	7	2.1 Isolieren verteilter Wicklungen.....	28
1.1 Grundgeometrien.....	7	2.1.1 Anker-Isolierung.....	28
1.2 Fertigungsgerechter Blechschnitt.....	9	2.1.2 Innenstator-Isolierung.....	29
1.3 Elektroblech und seine Verarbeitungseigenschaften.....	10	2.1.3 Kragenisolierung bei AC-Statoren.....	30
1.4 Paketiervverfahren.....	11	2.2 Isolieren von Zahnpolwicklungen.....	31
1.4.1 Nieten.....	11	2.2.1 Paarige Stirnisierteile.....	31
1.4.2 Klammern.....	12	2.2.1.1 Stufung der Wickelkammer.....	34
1.4.3 Verbacken.....	13	2.2.1.2 Vorbereitung orthozyklischer Wicklung.....	35
1.4.4 Schweißen	14	2.2.1.3 Einlege-Stirnisierteile für Einzelpakete.....	36
1.4.5 Stanzpaketieren.....	15	2.2.1.4 Polkettenisolierung mit Ausrichtfunktion.....	37
1.4.5.1 Stanzpaketieren durch Verknüpfen.....	15	2.2.1.5 Prototyping-Vormuster für Stirnisierteile.....	39
1.4.5.2 Stanzpaketieren durch Verkleben.....	18	2.2.2 Verbundisolierung.....	40
1.4.6 Rollieren.....	19	2.2.2.1 Statoren.....	40
1.5 Segmentierte Magnetkörper.....	20	2.2.2.2 Einzelpolspulen.....	42
1.5.1 Polstern und Rückschlussring.....	21	2.2.3 Spulenkörper.....	43
1.5.2 Stator mit Polschuhhülse.....	22	2.2.4 Isolierendes Umspritzen.....	44
1.5.3 Rückschlussring und Einzelpakete.....	23	2.2.4.1 Polsterne.....	44
1.5.4 Stator aus Vollpolsegmenten.....	24	2.2.4.2 Einzelne Vollpolpakete.....	45
1.5.4.1 Stapelausgleich nicht rotationssymmetrischer Bauteile.....	25	2.2.5 Isolierende Beschichtung von Blechpaketen.....	46
1.5.4.2 Polketten aus Vollpolsegmenten.....	26		
1.5.5 Segmentierung eines Universalmotor-Polrings.....	26		
1.5.6 Sonderlösung „einstückige Segmentierung“.....	26		

3.	Technologie der Bewicklung.....	48	4.2.2	Schneidklemmkontakt-Taschen.....	71
3.1	Maschinelle Wickelverfahren.....	48	4.2.3	Anwickelstifte.....	72
3.1.1	Flyerwickelverfahren.....	48	4.2.4	Stützpunktlose Ausleitung.....	73
3.1.1.1	Flyerdüse rotierend.....	48	4.2.5	Anlegen abhängig vom Schaltschema.....	74
3.1.1.2	Werkstück rotiert.....	50	4.3	Kontaktieren.....	75
3.1.2	Nadelwickelverfahren.....	52	4.3.1	Widerstands-Warmpressschweissen.....	75
3.1.2.1	Innengenutete Blechpakete.....	53	4.3.2	Schneidklemm-Kontaktieren.....	77
3.1.2.2	Außengenutete Blechpakete.....	54	4.3.3	Hochtemperatur-Löten.....	78
3.1.2.3	Paarungsgeometrie Draht/Düse/Paket.....	54	4.4	Ausleiten.....	79
3.1.3	Einziehverfahren.....	55	4.4.1	Ausleitung über stirnseitige Schaltplatine.....	79
3.1.4	Formungsschritt-Verfahren.....	57	4.4.1.1	Hakenkontakte mit Lötpin-Abgang.....	79
3.1.5	Flachdraht-Polspulen rotationsgewickelt.....	58	4.4.1.2	Varianten von Schneidklemmkontakten.....	81
3.2	Produktseitige Verlegevarianten f. Windungsbildung.....	59	5.	Ausgewählte Anwendungsbeispiele.....	82
3.3	Verfahrensseitige Verlegevarianten f. Windungsbildung.....	60	5.1	Flyerwickeltechnik.....	82
3.4	Vergleich der Eignungskriterien Nadel- / Flyerwickeln.....	61	5.1.1	Kommutatoranker.....	82
3.5	Füllfaktor von Wicklungen.....	65	5.1.2	Permanenterregte Gleichstrommotoren.....	86
3.5.1	Begriff.....	65	5.2	Polstern-Variationen.....	88
3.5.2	Orthozyklische Wicklung.....	66	5.2.1	Radial zurückziehbare Spulenkörper.....	88
3.6	Wickeln paralleler Leiter.....	67	5.2.2	Mit Scharnier schwenkbare Spulenkörper.....	89
4.	Technologie der Kontaktierung.....	68	5.3	Innenstator eines Außenläufermotors.....	90
4.1	Varianten der wicklungsseitigen Kontaktierung.....	69	5.4	Unsegmentierte Innenläufer-Statoren.....	91
4.2	Anlegen der Drähte am Kontaktstützpunkt.....	70	5.4.1	Schrittmotor-Statoren.....	91
4.2.1	Haken und Gabeln.....	70	5.4.2	EC-Motor-Statoren.....	92
			5.5	Separate Einzelpol-Bewicklung.....	93

5.6	Luftspaltwicklungen.....	96
5.6.1	Motoren mit hohlzylindrischer Wicklung.....	97
5.6.2	„Fingerhut“-Wicklungen.....	99
5.6.3	Scheibenläuferwicklungen.....	100
5.6.4	Bürstenloser Stapelscheibenmotor.....	101
5.7	Axialfeldmotoren.....	102
5.8	Verbackene Wicklungen.....	103
5.8.1	Eingezogene Statorwicklungen.....	103
5.8.2	Plattenspulen eisenloser Linearmotoren.....	104
5.8.3	Ronden-Linearmotor mit bifilaren Scheibenspulen.....	105
5.9	Klauenpolstator eines Synchronmotors.....	106
5.10	Schrägnutige Statoren.....	107
5.11	Wechsel wickeltechnischer Lösungen.....	108
5.11.1	Kommutatoranker mit Zahnpolwicklung.....	108
5.11.2	Nadelwickeln verteilter Statorwicklungen.....	109
	Der Autor.....	110
	Quellenverzeichnis.....	111

Vorwort

Kleine Elektromaschinen, überwiegend als Elektromotoren, finden breite Anwendung in zahlreichen technischen Produkten für Industrie und Haushalt, im Automotive-Sektor, der Bürotechnik, Robotik sowie automatisierten Fertigungsanlagen.

Die Technische Universität Ilmenau widmet ihnen jährlich ein stark besuchtes Kleinmaschinenkolloquium. Teilnehmer sind dort nicht nur Ingenieure aus spezialisierten Elektromaschinenwerken sondern zunehmend aus Firmen, die ihre Antriebe nicht länger zukaufen wollen, sondern eine Eigenfertigung anstreben.

Hierzu gibt es Bedarf an technologischem Fachwissen.

Als Mitautor des 1990 erschienenen Fachbuches „Technologie des Elektromaschinenbaus“ konnte ich zu Kleinmaschinen damals noch nicht viel berichten. Die dynamische Entwicklung bei den kleinen Elektromaschinen ergibt aber nun Bedarf an einem speziellen Wissensspeicher.

Die mehr als zwanzigjährige Tätigkeit als Firma technoexpert dresden hat viel Wissen für einen solchen Speicher ergeben.

Es meinen Fachkollegen zur Verfügung zu stellen, ist das Anliegen dieser Publikation.

Wie schon im oben erwähnten Fachbuch wird dabei der Schwerpunkt der Technologie in den Prozessen der Magnetkörperfertigung, der Isolier- und Wickeltechnik sowie den Kontaktierungslösungen gesehen.

Natürlich ist der Begriff „kleine Elektromaschinen“ verschieden interpretierbar, je nach Produkt-Standpunkt des Betrachters.

Der vorliegende Wissensspeicher zieht hier den Bogen vom eisenlosen Glockenläufermotor, den es bereits ab 1,9 mm Außendurchmesser gibt, über die permanent erregten oder elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren, Synchron- und Reluktanzmotoren bis zu Radantrieben und Motoren für Hybrid-Fahrzeugantriebe. Nicht ausgespart wird der Asynchronmotor mit verteilter Wicklung. Und mit Berücksichtigung des Kfz-Generators handelt es sich nicht nur um Motoren. Auch Linearmotoren gehören in dieses Gebiet.

Entscheidendes gemeinsames Merkmal ist die vorzugsweise Verwendung von Wicklungen aus runden Kupferlackdrähten. Die Kenntnis von Funktion und Aufbau dieser kleinen Elektromaschinen wird vorausgesetzt und auf Beschreibungen hierzu verzichtet. Das Literaturverzeichnis gibt einschlägige Hinweise. Einen reichen Fundus an Kleinmotoren stellt die Sammlung Kleinmotoren der TU Ilmenau dar, die Herrn Prof. Dr.-Ing.habil. Dieter Oesingmann zu verdanken ist.

Die Zusammenarbeit mit der Firma Aumann GmbH hat meine Kenntnisse zum Fachgebiet bereichert. Besonders danke ich Dipl.-Ing. Jens Klingbeil und Dipl.-Ing. Jürgen Hagedorn.

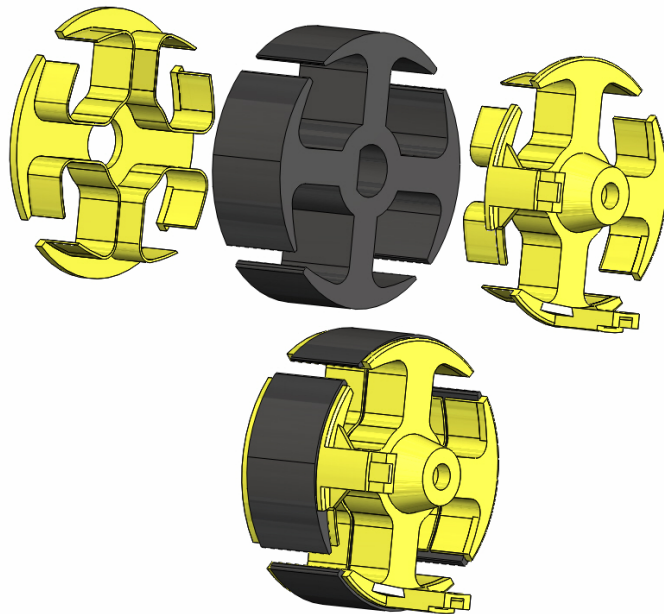
Zahlreiche weitere Fachkollegen und die Kunden meiner Firma technoexpert dresden haben mir Gelegenheit gegeben, neuartige technologische Lösungen kennen zu lernen.

Ihr Dr. Wolfgang Jordan

2.2 Isolieren von Zahnpolwicklungen

2.2.1 Paarige Stirnsolierteile

Das Innenstator-Blechkpaket eines kleinen EC-Motors wird durch zwei aufgesteckte Stirnsolierteile isoliert. Diese decken die Stirnseiten ab und mit angespritzten dünnen Auskleidungen die Poltaschen.



Das Stirnsolierteil der späteren Wicklungs-Schaltseite besitzt zusätzlich zwei Dome mit Stecktaschen für Kontaktteile und einen Kegelring um das Achsloch.

Die Poltaschen-Auskleidungen beider Stirnsolierteile nähern sich in Paketmitte bis auf eine Lücke, die den zu erwartenden axialen Toleranzen der Auskleidung Rechnung trägt aber auch die Kriechwegs-Anforderungen des später querenden Wickeldrahtes berücksichtigt.

Die Stirnsolierteile sind Spritzgießteile. Die axiale Länge der Auskleidungen ist verfahrensbedingt begrenzt wegen der Formschrägen und ihrem Einfluss auf die Solldicke der Poltaschen-Isolierung.

Paarige Stirnsolierteile bleiben deshalb nur Blechkpaketen geringer Länge von max. etwa 20 mm vorbehalten.

Das Bestücken der Statorpakete mit den Stirnsolierteilen läßt sich automatisieren. Dabei werden die Pakete aus einer Blisterpackung aufgenommen, auf Gratseite und Winkellage ausgerichtet auf einen Montagedorn gesetzt. Die Stirnsolierteile richten zwei Vibrationsförderer greifrichtig aus. Es folgt das Fügen des ersten Teiles, dann ein Wenden des Stators um 180° und das Fügen des zweiten Stirnsolierteiles.

2.2.2.2 Einzelpolspulen

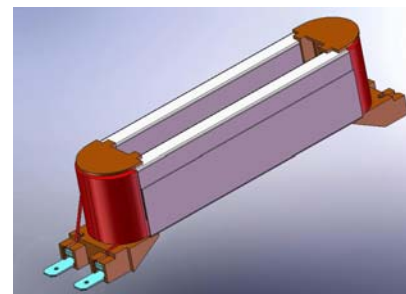
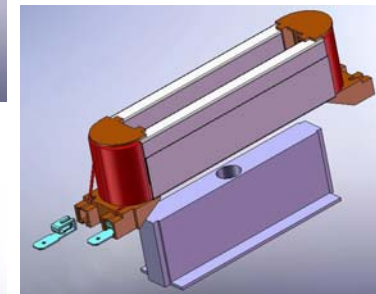
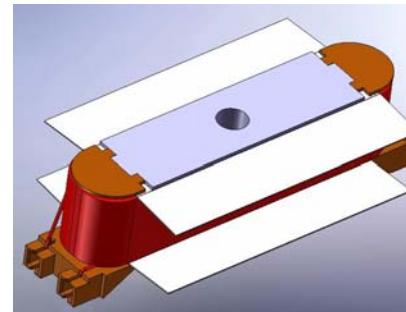
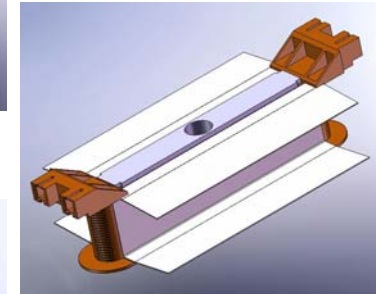
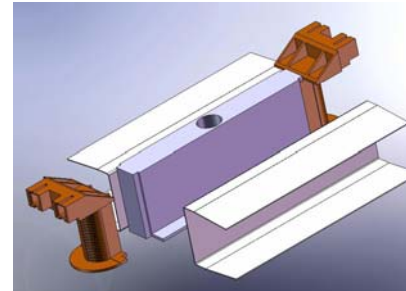
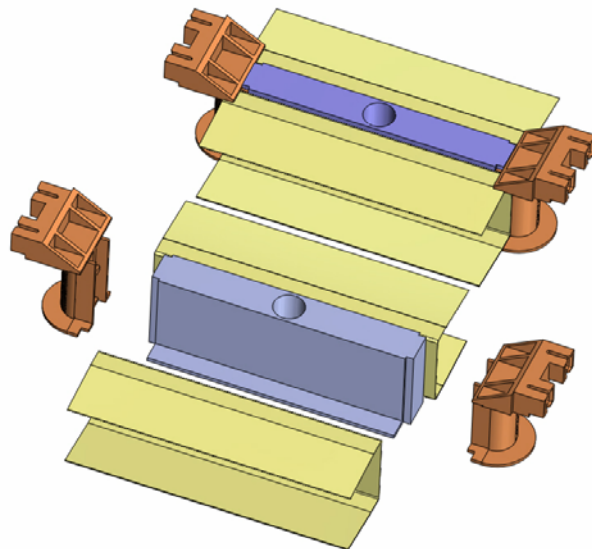
Auch Im unten gezeigten Fall liegt eine Verbundisolierung aus Stirnisoliereteilen und einer Poltaschen-Auskleidung vor.

Sie wird aber am Wickelkern einer separat gewickelten Polspule vorbereitet, die nach dem Wickelvorgang durch die umgelegten freien Schenkel der Isolierprofile auch an den Längsseiten isolierend umschlossen wird.

Zwischen den Stirnisoliereteilen und den seitlichen Isolierprofilen gibt es beiderseits Überlappungen zur Kriechweg-Sicherung.

An den Stirnisoliereteilen sind Kontaktstellen für die Spulenden ausgebildet, hier Schneidklemmkontakt-Kammern.

So entsteht mit dieser Isolierung eine aufsetzbare Polspule für segmentierte Statoren, zum Beispiel für einen Polstern.



Der zu bewickelnde Innenstator ist formschlüssig auf den Zapfen (1) einer abgewinkelten Halterungsplattform (2) gesteckt, die ihrerseits auf der Antriebsspindel (3) sitzt.

Bis auf den aktuell zu bewickelnden Polzahn werden alle übrigen Polzähne durch eine konzentrisch anliegende Wand des Abdeckteiles (4) der Plattform abgedeckt. Integriert in dieses Teil sind zugleich die beiden äußeren Leitbleche (5).

Die mittige Abdeckung des Polschuhes übernimmt auch hier ein radial andockender Leitkörper (6) mit dem inneren Leitblechpaar (7), der beim Wickeln synchron mit der Spindel (3) umläuft.

Die Drahtausleitdüse (8) leitet den Draht auf die rotierenden inneren Leitbleche, von wo er durch die Nutschlitz an den Polkern gezogen wird. Eine leichte Oszillation der Düse kann von Vorteil sein. Statt an einen 1-achsig verstellbaren Schlitten, wie vereinfachend gezeigt, kann die Düse von einem Kreuzschlitten aus positioniert werden und zum Beispiel kreisende Bewegungen um einen Kontaktstützpunkt ausführen.

Ist ein Pol bewickelt, dann dreht die Halterungsplattform (2) in ihre Grundstellung, der Leitkörper (6) wird zurückgezogen und eine Schaltspindel (9) wird in die Polygonkupplung (10) eingeführt, um den Stator in die nächste Wickelstellung zu drehen.

