

**Weder Bürsten, noch Magnete;
der „Plusmotor“ (SR-Motor)
hat dazu die einfachste Elektronik
..... und kann sogar ohne Kupfer auskommen!**

Am Anfang des neuen Millenniums wurde deutlicher, dass mechanisch kommutierte Motoren durch bürstenlose ersetzt werden.

Die Halbleiterhersteller bringen immer bessere und preiswertere Schalter (IGBT-s, Mosfets) auf dem Markt.

Doch wo ist der geeignete neue Motor, das den milliardenfach produzierten "alten" (Kommutatormotor) ersetzen kann?

Einige Fachleute sehen den noch wenig bekannten Reluktanzmotor (Switched Reluctance Motor, SRM) als Ideallösung; dessen Elektronik ist jedoch noch zu aufwändig.

Der Markt wartet noch auf dem preisgünstigen, robusten Motor ohne Bürsten.

Der hier beschriebene SR-Motor, der "Plusmotor" hat nicht nur eine äußerst einfache Elektronik, mit oder ohne Drehzahlregelung; durch die besondere mechanische Bauweise ist es außerdem preisgünstig herstellbar und für einen SR-Motor besonders leise.

Der "Plusmotor" ist ein grundlegend neuartiger elektronisch kommutierter Reluktanzmotor (SR-Motor) mit nur zwei im Gegenteil wirkenden Phasen (Jede Phase umfasst 30° mechanisch, 180° elektrisch. Der **lückenlose** Wechsel zweier Phasen erlaubt eine maximale Ausnutzung, die kaum von andere Motoren erreicht wird.

1). Was ist das (patentgeschützte) „Plus“ am Plusmotor seiner Artgenossen gegenüber?

- *die Entmagnetisierungsenergie wird ohne Zwischenspeicherung in dem Magnetkreis zurückgeführt,*
- *kürzeste Magnetpfade (geringste Verluste)*
- *eine neue Bandwicklung mit höchsten Füllfaktoren, eine besondere Wickeltechnologie (WO...), die auch den Einsatz von Aluminium statt Kupfer gestattet*
- *enge Luftspalte mit grob tolerierte (preiswerte) Teile dank einer neuen Montagetechnik*

Dieser Motor ist für die automatische Montage konzipiert und hat prinzipiell bessere magnetische, elektrische, thermische und akustisch- mechanische Eigenschaften als übliche SR- Motoren (*s. Comparison.pdf*) Die Applikationen umfassen Kfz- Anwendungen von Kleinmotoren bis zur integrierten Anlaser- Lichtmaschine oder Luftladegebläse, bis hin zu Netzspannungsanwendungen wie bei Staubsaugern, Motoren für Waschmaschinen, Küchengeräten

Einige Motoren für Niederspannungsanwendungen wurden mit guten Ergebnissen erprobt; kurzfristig können Kleinserien einer Motorgröße (Rotordurchmesser 43 mm) produziert werden.

Weitere Details auf Anfrage.

Auch nach Ende der Lebensdauer hat der "Plusmotor" Vorteile: ohne Magnete ist es leichter recycelbar.

2). Bauweise/ Funktionsprinzip des einfachsten „Plusmotors“

Die Bezeichnung „Plusmotor“ leitet sich ab aus der kreuzweisen Anordnung der vier U-Elektromagnete 10 (Stator) um den Rotor 21. Jeder Phase (X, Y) sind zwei gewickelte U-Joche zugeordnet, (S.Bild 1.gif)

Die gesamte Wicklung einer Phase (vier Spulen, bifilar) **wird auf einmal ohne Zwischenverbindungen zwischen den Spulen aus zwei parallelen Stücken von geeignetem Band hergestellt.** (S.Wicklung.pdf) Je zwei Spulen werden auf einem U-Joch 11 (Blechkpaket) eingeschoben, die Phasenmagnete sind damit fertig. Spulenkörper sind nicht notwendig. Auf dem Motorrahmen montiert, ergeben die vier U- Magnete der zwei Phasen den achtpoligen Stator mit außenliegenden Wicklungen. (S.Stator.jpg)

Der Rotor ist ein nichtgewickelt Blechkpaket 21 mit sechs ausgeprägten Polen, das auf einer Welle aufgedrückt ist. Die Rotorstellung wird mit Hilfe nur eines Hallsensors 31 ermittelt.

Der Motor hat nur zwei Leistungsschalter 21 (Mosfet, IGBT) und eine sehr preiswerte Steuerelektronik.

Die Elektronik wird auch auf den Motorrahmen, (Aludruckguß) befestigt.(S.Motor.jpg)

Wir setzen voraus, daß Sie mit der Arbeitsweise eines Reluktanzmotors vertraut sind;

3). Funktion:

Der Hallsenor 31 (S.Bild 1.gif, vgl. Circuit.pdf) mit komplementären (flip-flop) Ausgängen steuert über einen 12-poligen Gebermagneten die Gate der Leistungsschalter 21 an.

Die vier aktiven Statorpole der X-Phase ziehen die naheliegendsten Rotorpole an.

Sobald die Rotorpole sich weit genug gedreht haben, wird der Strom zu der nachfolgenden Phase (Y) umgeleitet. Das heisst, wenn die o.g. Pole (Phase X, vgl.) fast mit den gegenüberstehenden Statorpole übereinstimmen, werden die "X" Wicklungen (vom Hallsensor 31 gesteuert) abgeschaltet und diejenigen der "Y" Polpaare verzögerungsfrei (Flip-Flopbetrieb) eingeschaltet, so dass der Rotor sich um 30° weiterdreht; diese Vorgänge wiederholen sich zyklisch, und der Motor arbeitet kontinuierlich.

Der "Plusmotor" hat bifilare Wicklungen (Primär- und by-pass Wicklung, 112 bzw.113) die eine einzigartige Rückgewinnung der Entmagnetisierungsenergie gestatten, vgl. Wicklung.jpg , Circuit.pdf.

Wenn der Primärstrom I_p , das heisst der Strom, welcher die Leistungsschalter 21 und die Primärwicklungen 112 durchläuft, abgeschaltet wird, entstünde eine für die Leistungsschalter sonst gefährliche Selbstinduktionsspannung. Diese wird zu der by- pass Wicklung 113 der nächsten Phase geführt, und lässt so den by-pass Strom I_b aus der Entmagnetisierungsenergie entstehen. Dieser fließt durch die by-pass 221 Diode zu der Plusleitung der Stromquelle.

Die Energierückgewinnung führt sogar bei Kleinmotoren zu einem hohen Wirkungsgrad (70-85%), welcher, anders als bei Motoren mit Permanentmagneten einem breiten Leistungsbereich abdeckt.

4). Eigenschaften:

Der Generatorbetrieb (Bremsfunktion) ist durch die Kommutierungsverschiebung (Drehung des Hallsensors) möglich.

Da ein SR-Motor weder Bürsten noch Magnete hat, zeigt er nicht die Nachteile der bürstenbehafteten Motoren, wie:

- Verschleiß

- Entmagnetisierungsgefahr
- Verschiebung der Drehmoment-/Drehzahlkennlinie wegen der temperaturbedingten Änderung des Magnetfeldes.

Der "Plusmotor" kann auch sehr flach, platzsparend aufgebaut werden und ist für sehr hohe Drehzahlen geeignet.

Zusammen mit nur einem Gebläserad (Drehzahl ca. 30 000U/min) lässt sich eine Gebläseeinheit bauen, die gerade halb so gross ist wie eine konventionelle, zweistufige automotive, s. SLP.pdf

Der Plusmotor hat, falls keine elektronische Regelung vorhanden ist, "von Natur aus" eine Reihenschlußkennlinie mit hohem Anlaufmoment und sehr hohen Leerlaufdrehzahlen (als Folge der Feldabschwächung).

Dadurch liegen die nutzbaren Drehzahlen im Bereich 3:1 ohne Drehzahlregelung, bzw. mehr als 10:1 mit Drehzahlregelung.

SR-Motoren sind als hochdynamisch bekannt, und der "Plusmotor", bei welchem 4 von 6 Rotorpolen ständig aktiv sind, sticht unter diesem Aspekt besonders hervor.

Zum besseren Verständnis betrachten wir den "Plusmotor" aus verschiedenen Standpunkten, anhand der „mechatronischen“ Darstellung (S.Bild 1.gif, vgl. Circuit.pdf) die in komprimierter Darstellung die Anordnung des "Plusmotors" mit alle Wicklungen und den relevanten elektronischen Bausteinen zeigt:

5). Magnetisch:

Die Motoranordnung hat je zwei einzelne U-Joche für die zwei Phasen X und Y (Stator 8-, Rotor 6-polig., vgl. Fig 1-Fig.2). Die äußeren Polecken der U-Joche der Phasen X und Y sind in mm-Bereich benachbart.

Dies macht möglich, dass der Übergang der Rotorpole von der X- auf die Y- Phase praktisch verzögerungsfrei ist. Diese ungleichmäßige Polverteilung bringt auch den sicheren Anlauf in die gewünschte Drehrichtung.

Der neue Magnetkreis des Plusmotors, lediglich über zwei Leistungsschalter gesteuert, gestattet eine wesentlich höhere Leistungsausbeute im Vergleich zu der "klassischen" 8/6 Polanordnung der 4-phasigen SR- Motoren, s. MagnCrit.pdf

Beim letzteren sind jeweils zwei Pole aktiv; der "Plusmotor" hat stets vier aktive Pole. Hinzu kommt, dass der statorseitige Polflächenumfang (Eisenumfang) des "Plusmotors" 240° erreicht (statt üblich 120°), wobei der rotorseitige auch höher liegt (180° statt ca. 120°). Dies erlaubt eine höhere Ausgangsleistung des leichteren Motors mit kürzeren magnetischen Pfaden (weniger Eisen, und damit weniger Verlust durch Wirbelströme).

Die "X"- U-Joche 11X liegen waagrecht und tragen je zwei Primärwicklungen 112X und zwei gleichzeitig mitgewickelte by-pass Wicklungen 113X, die aus Alu- oder Kupferband bestehen können; die "Y"- Phase ist identisch mit senkrechten Jochen.

Um ein Bremsmoment zu schaffen, ist es notwendig, die Wicklungen zu dem Zeitpunkt zu bestromen, als die Reluktanz des Magnetkreises sich erhöht.

Mit anderen Worten, der Strom muss fließen, wenn die Rotorzähne sich gerade aus der Zahn-Zahn Stellung (alligned position) der betroffenen Pole entfernen. In dieser Betriebsart ist es nicht notwendig, die Stromfließrichtung in den Wicklungen umzukehren.

Dies heißt, dass die Generator(Brems-) sowie die Motorfunktion mit unidirektionalen Schaltern möglich sind.

Eine partielle Rückgewinnung der Bremsenergie direkt zu der Antriebsbatterie (z. B) ist möglich, weil die Generatorfunktion in einzigartiger Weise gestattet, eine Spannung abzugreifen, die höher liegt als die Spannung, die den Motor auf die entsprechende Drehzahl beschleunigt hat.

6). Elektrische Vorteile.

Die erwähnte geringe Entfernung zwischen den Außenecken der Pole der X- und Y-Phasen führt dazu, dass zwei Rotorpole die gerade aus der Überdeckung mit zwei Statorpole (X) sich weiterdrehen, nahezu ohne zeitliche Verzögerung unter den Einfluß der nachfolgenden zwei (Y) Statorpole kommen.

Ein Synchronismus der magnetisch/ mechanischen und elektrischen Vorgänge) ist dadurch einfacher möglich.

Dies hat für die **Vereinfachung der Elektronik** zwei wichtige Konsequenzen:

- Es erlaubt, dass der Motor mit je zwei 180° Stromblöcken (Flip-Flop) betrieben werden kann. Die Ansteuerung der zwei Leistungsschalter 21 kann von einem einzigen Hallsensor 31 gesteuert werden.
- Die Selbstinduktionsspannung U_a , die bei der Phasenumschaltung entsteht (aus der Entmagnetisierungsenergie) kann an der wicklungsseitigen Verbindung der Leistungsschalter 21 gewonnen und direkt der by- pass Wicklung der nächsten Phase zugeführt werden, (vgl.Circuit.pdf.)

Eine Zwischenspeicherung der Entmagnetisierungsenergie in einem Kondensator ist nicht mehr notwendig. Die Diode 221 schließt den Kreis des by- pass Stromes I_b zum Plusleiter.

Der By- pass Strom stammt von der Primärwicklung 112X der U-Joche der Phase X und durchläuft die By- pass Wicklung 113Y der U-Joche der Phase Y.

Dabei unterstützt der By- pass Strom I_b den gerade ansteigenden Primärstrom I_{py} (der Y-Phase), sodass die Y-Joche schneller aufmagnetisiert werden. Dies erhöht die Motorleistung und den Wirkungsgrad.

Die Abschaltenergie belastet nicht mehr die Leistungsschalter 21 (in Avalanchemodus) und bleibt vorwiegend (anders als bei herkömmlichen SR-Motoren) innerhalb des Magnetkreises des Motors.

Die Entmagnetisierungsenergie kreist also zyklisch auf kürzestem Wege zwischen den Phasen. Die Aufmagnetisierung der gerade eingeschalteten Joche erfolgt schneller die Entmagnetisierung der abgeschalteten dagegen langsamer; der Motor läuft besonders ruhig, die Stromblöcke sind nahezu trapezförmig.

Öffnet man den By- pass Stromkreis während des Motorbetriebs, fällt sofort auf, dass sowohl der Wirkungsgrad wie auch das Geräuschverhalten des Motors sich drastisch verschlechtern.

Ohne Strombegrenzung oder Drehzahlregelung wird der "Plusmotor" wie ein üblicher Gleichstrommotor einen hohen Anlaufstrom erfordern.

Eine Drehzahlregelung ist über die vorhandenen Leistungsschalter 21 möglich; der zusätzliche Teileaufwand beschränkt sich auf einige preiswerte passive Bauteile.

Die Drehzahlregelung erfolgt über die Verzögerung (spätere Einschaltung) des Primärstromes am Anfang der Phase. Der Zeitpunkt des Phasenwechsels bleibt unverändert, und damit auch die Energierückgewinnung.

Ist die Verzögerung des Primärstromes zeitlich vorgegeben (drehzahlunabhängig), so entsteht ein gewisser Rückkoppelungseffekt, weil die Drehzahlabenkung (Verlängerung der Phasendauer) zu einer Verlängerung des Primärstromes I_p führt.

Um eine ausreichende Entstörung im Bereich der Mittel- bis Langwellen zu erreichen, wird ein Elko parallel zu den Motoranschlüssen geschaltet.

Hier wurde nur die einfachste funktionsfähige Schaltung beschrieben; um die Motorfunktion zu optimieren, haben wir Schaltungen entwickelt, die die Motorfunktionen für die jeweilige Aufgabe anpassen. Dies geschieht durch die Optimierung der Kommutierung, Drehzahlregelung, Sanftanlauf, u. s. w., Funktionen auf die wir hier nicht weiter eingehen.

7). Wicklungen:

Die Wicklung aus Kupfer- oder Aluband (Niederspannungsbereich, Füllfaktor bis 90%, statt 40..60% bei Drahtwicklungen) verringert drastisch die ohmschen Verluste.

Mit einer **Aluband**wicklung sind ohne Volumenzunahme Widerstandswerte wie bei einer Kupfer**draht**wicklung erreichbar, mit ca. 50% Gewichtsvorteil.

Die bifilare Primär- u. By- pass Wicklung 112 bzw 113 wird aus zwei gleichzeitig gewickelten, untereinander isolieren (Band)Leitern mit dazwischengelegten Isolationsfolien zusammengesetzt.

Die Eigenentwicklung eines neuen isolierten Wickelbandes (aus Kupfer oder Aluminium) findet auch hier Anwendung.

In einer speziellen Variante kann die Bandwicklung eines "Plusmotors" derart gestaltet werden, dass der rechnerische Füllfaktor sogar über 100% liegt, d.h. der aus dem Wicklungswiderstand ermittelte Metallquerschnitt der Windungen ist größer als das zwischen dem U-Joch und dem Rotor befindliche Wickelfenster.

Die U-Joche 11 werden in den zusammenhängenden acht Wicklungen 112-113 einer Phase aus Kupfer- oder Aluband eingeschoben.

Im Vergleich zu den vom Inneren eines Ringstators angebrachten Wicklungen ist dies besonders einfach und gestattet eine erheblich bessere Raumausnutzung.

Bei Grossserienfertigung dürfte eine Bandwicklung preiswerter sein als die entsprechende Drahtwicklung.

Die Fertigung ist schneller und einfacher, weil anstelle eines Drahtes, welcher in multiplen Zieh- und Isoliervorgängen (unter Einsatz umweltbedenklicher Lacke bzw. Lösungsmittel) hergestellt wird, blanke Metallbänder bzw. preiswerte Polyesterfolien z.B. zum Einsatz kommen. (Neue Technologie)

Mit 2-3 Bandstärken lassen sich Anwendungen abdecken, die sonst zig- Drahtstärken auf Lager erfordert hätten.

Es ist auf jeden Fall leichter, einen 0,25x8mm Kupferstreifen als einen 1,6mm starken Lackdraht um den Ecken eines Blechpaketes zu wickeln, und die Wickelköpfe werden kleiner. (wichtig beim Kfz-Kleinmotoren, z. B)

Der Hauptvorteil dieser besonderen Wicklungen ist, dass sie erheblich höhere Stromstärken (und damit höheren Leistungen) bei den milliardenfach produzierten Kleinmotoren gestatten. Solche Wicklungen können vorteilhaft nicht nur beim Plusmotor, sondern auch bei anderen Motoren, insbesondere bei den sich verbreitenden ringförmigen Motoren zum Einsatz kommen.

8). Mechanische Bauweise; Stator.jpg zeigt den Stator des Plusmotors, bestehend aus die vier Phasenmagnete, auf den Motorrahmen 5 durch ein toleranzausgleichendes Spezial Verfahren (flüssigen Nieten) montiert, ohne Elektronik.

Der "Plusmotor" hat **mechanische Vorteile:**

Alle bisherigen Motoren weisen eine mechanische Befestigung der (oft durchlüfteten) Lagerschilder am Stator auf, die am **Außenumfang** des Statorpaketes unter Einschluss der Wicklungen erfolgt.

Bei dem Plusmotor erfolgt die Befestigung des einzigen Lagerschildes zum Rahmen mit dem integrierten hinteren Lagerschild im **Bereich der Statorpole**, also in unmittelbarer Luftspaltnähe.

Dadurch bleiben auch die Wicklungen außen, was die Kühlung verbessert.

Das vordere Lagerschild, welches den Rotorraum schließt deckt die Wicklungen nicht mehr ab. Der geschlossene Rotorraum verhindert, dass Schmutzpartikel den Rotor blockieren könnten.

Eine patentierte Montagetechnik mit "flüssigen Nieten" erlaubt, mit grobtolerierten (preiswerten) Teilen engste Toleranzen im Luftspaltbereich einzuhalten. (Siehe dazu die Datei "Fluß.Niete.pdf")

Die genaue und starre Befestigung des Stators gegenüber dem Rotor ist sehr wichtig.

Um dies zu erreichen, ist notwendig, die Strecke (den Kräftepfad) von den Statorpolen über die Lagerschilder, Lagerstellen und die Rotorwelle bis zu den Rotorpolen so kurz und steif wie möglich zu gestalten. Wie man anhand der Datei „Comparison.pdf“ vergleichen kann, hat diesbezüglich der "Plusmotor" wegen der kleinen Lagerschilder und besonders kurzen Kräftepfade Vorteile.

Dies bringt eine besonders hohe Steifigkeit, reduziert die Geräusentwicklung und erlaubt eine axial sehr kurze Bauweise, weil die Lagerschilder **unterhalb** der Wickelköpfe liegen. Für viele Anwendungsfälle muss der Rotor nicht ausgewuchtet werden, da die Rotorbleche alleine kaum Unwucht verursachen.

Langsamere Motoren (bis ca. 3000 U/Min.) brauchen keine besonderen Blechsorten und 0,5mm Stärke ist ausreichend. Dünnere Bleche sind für höhere Drehzahlen notwendig, und ein Optimum Kosten/ Wirkungsgrad muss - je nach Einsatzfall- gefunden werden.

9). Wärmeabfuhr:

Nach dem Zusammenbau des Stators bleiben die Lücken zwischen den U-Magneten (Wicklungen) nach außen hin offen, also die Wicklungen befinden sich außerhalb des geschlossenen Rotorraumes. Dadurch lässt sich die Motorwärme wesentlich besser abführen, was eine höhere Motorausnutzung gegenüber den bekannten Motoren gestattet, deren Wicklungen unter den Lagerschilder liegen.

Die Windungen aus Metallband liegen unmittelbar aufeinander, nur durch die Isolationsfolien (z. B. 23µm stark) getrennt; die Wärmeübertragung von Windung zu Windung ist also hervorragend.

Der Wärmeverlust des Motors beträgt 15...35% der Leistungsaufnahme. Je kleiner der Motor bei gleicher Leistungsabgabe ist, (der "Plusmotor" ist eher kleiner als andere Motorarten) desto größer ist die Wärmebelastung der Motorflächen (W/cm²).

Um diese Wärme abzuführen, sind zwei Wege möglich:

- Der Motor kann bei höheren Temperaturen betrieben werden, wobei der Reluktanzmotor, der keine Magnete hat, eher Vorteile bietet
(Ein SR-Motor kann im Prinzip bei Temperaturen über 400°C arbeiten, wenn die Wicklungen/die Lagerung für höhere Temperaturen ausgelegt sind und die Elektronik ausreichend kühl gehalten wird).

- Intensivere Kühlung durch Zwangsbelüftung oder Ankoppelung an einem Kühler.

Eine Durchlüftung/ Kühlung des Motors über den Luftspaltraum/ (die Pollücken des Rotors) ist bei Bedarf möglich, wobei durch eine zweckmäßige Gestaltung der Luft- Einlaß- bzw. Auslaßbereiche (Öffnungen in den Lagerschildern) eine Förderwirkung des gezahnten Rotors ohne zusätzlichen Lüfter möglich ist.

10). Akustische Vorteile:

Den bisherigen SR- Motoren eilte der Ruf voraus, sie seien laut.

Die Geräuschentwicklung der Motoren beruht auf:

- der Verformung des Statorumfangs,
- Drehmomentschwankungen, die vom Stator auf die Motorhalterung (Karosserie) übertragen werden.

Während des Betriebs eines SR-Motors (oder Generators) ändert sich der Magnetfluss zwischen Stator und Rotor ständig, egal, ob der Motor im Stromblockbetrieb oder mit Pulsweitenmodulation arbeitet. Dies produziert das Drehmoment, verursacht jedoch erhebliche innere Radialkräfte, die hauptsächlich den Stator wechselweise ovalisieren. Dadurch entstehen Geräusche, welche nach außen über Luftwege oder mechanische Ankopplung (Körperschall) übertragen werden.

Weil physikalisch bedingt, können diese Kräfte nicht vermieden werden. Diese akustischen "Nebenwirkungen" sind aufgrund der bei dem "Plusmotor" beschriebenen steifen Bauweise ohne den großen Rückschlussring reduziert, vgl. Comparison.pdf

Der magnetisch/mechanischen Symmetrie wegen, heben sich die magnetostriktiven Schwingungen der U-Magnete gegenseitig am Umfang des Luftspaltes größtenteils auf.

Vom diesem Bereich ausgehend sollte man den Plusmotor an einem Träger befestigen.

Der Stromanstieg in den Wicklungen des "Plusmotors" ist relativ langsam, so dass Geräusche eher bei der Stromabschaltung entstehen würden.

Der By- pass Strom I_b verhindert, dass die Entmagnetisierung zu weit nach unten erfolgt, was mehr Geräusche entstehen ließe.

11). Zum Nachdenken: Motor ohne Stator?

Ein einzigartiger Weg, die vom Reaktionsdrehmoment verursachten Schwingungen des Motorträgers **ganz zu vermeiden** (anstelle einer mehr oder weniger erfolgreichen Dämpfung) ist die Benutzung eines statorlosen Motors mit zwei gegenläufigen Rotoren.

Bei diesem wird durch eine spezielle Lagerung und die Art der Stromzufuhr über Schleifringe der frühere Stator zum Außenrotor.

Innen- wie Außenrotor tragen axiale oder radiale Gebläseräder.

Der Innenrotor dreht z. B. nach links und der Außenrotor nach rechts, die beiden angetriebenen Lüfter mit entgegengesetzter Steigung fördern jedoch in der gleichen Richtung. (Vgl Beispiele aus der Luftfahrt, Hubschrauber Kamow und Flugzeuge TU95, AN70 haben gegenläufige Propeller)

Sollten die zwei Lüfter nicht hintereinander (2-stufiges Gebläse), sondern nebeneinander (Tandem, über Riemenantrieb) angeordnet werden, so fördern beide Lüfter parallel (einstufig).

Die Relativ- (Luftspalt)Drehzahl zwischen den Rotoren ist die Summe der Links- bzw.

Rechtsdrehzahlen, also etwa doppelt so hoch wie die Lüfterdrehzahl.

Der Motor wird elektrisch ausgelegt für diese Summendrehzahl, die sich hälftig auf die 2 Lüfter verteilt.

Da der Motor bei gegebener Leistung zweimal schneller ist als herkömmliche Motoren gleicher Leistung, ist er auch wesentlich leichter (Materialersparnis).

Ein herkömmliches Motor, der über Riemen einen zweiten Lüfter antreibt, erreicht dies durch Drehmomentabzweigung. (Motor- = Lüfterdrehzahl 100%, Drehmoment an den Lüftern gleich, 50-50%).

Die neue, doppelrotorige, statorlose Bauform arbeitet durch Drehzahlabzweigung; Motordrehzahl = 200%, Rotor = Lüfterdrehzahl 100%, Motor(Lüfter)drehmoment = 50% gegenüber des „normalen“ Motors gleicher Leistung.

Zusätzlicher Vorteil: Auf den Träger des Gebläses wirkt kein Reaktionsmoment, es wird kein Körperschall übertragen.

Anhang: Kennlinien verschiedener Plusmotoren.