

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Einleitung.....	2
2. Eigenschaften der Synchron-Torque-Maschine .....	3
3. Prinzipieller Aufbau der Synchron-Torque-Maschine .....	4
4. Wirkungsweise der Synchron-Torque-Maschine (STM) .....	8
5. Variationsmöglichkeiten des Übersetzungsverhältnisses .....	17
6. Ausführungsformen der Synchron-Torque-Maschine .....	18
7. Geplante Serienmaschinen .....	21
8. Einsatzgebiete der Synchron-Torque-Maschine.....	21
 Anhang A: Datenblatt Serienmaschine „STM“ .....	 22
Anhang B: Datenblatt Serienmaschine „STM SE“ .....	23
Anhang C: Datenblatt Serienmaschine „VTM SE <sup>2</sup> “ .....	24

# 1. Einleitung

Unterschiedliche Elektromotoren und -generatoren werden heute in großer Anzahl sowohl in der Industrie als auch im Haushalt, in Kraftfahrzeugen und in vielen anderen Bereichen verwendet. Mit Rücksicht auf einen guten Wirkungsgrad werden diese Maschinen meistens für höhere Drehzahlen ausgelegt und mittels eines mechanischen Getriebes auf die gewünschte Arbeitsdrehzahl untersetzt.

Die Probleme der Übertragung der Antriebsleistung mittels eines mechanischen Getriebes (Kosten, Wartung, Störanfälligkeit) werden bei der im folgenden beschriebenen Synchron-Torque-Maschine dadurch vermieden, dass das Getriebe ohne zusätzlichen Fertigungsaufwand bereits im Gehäuse dieser elektrischen Maschine integriert ist. Dieses Getriebe realisiert die Untersetzung nicht mit Hilfe von mechanischen Zahnrädern, sondern berührungslos mittels eines Magnetfeldes.

Synchronmaschinen in unterschiedlichen Ausführungsformen sind in der Praxis auch schon seit langem bekannt. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass der Ständer eine mehrphasige und mehrpolige Wicklung enthält und der Rotor die gleiche Polzahl wie der Ständer aufweist.

In einigen Sonderfällen, z. B. bei elektronisch geschalteten Reluktanzmotoren, sind die Polzahlen im Ständer und im Rotor auch unterschiedlich. Diesen bekannten Anordnungen haftet der Nachteil an, dass nur relativ geringe Drehmomente übertragen werden können und somit ein zusätzliches Getriebe erforderlich ist, um die gewünschten Antriebsmomente zu erreichen. Außerdem tritt bei diesen Motoren im unteren Drehzahlbereich häufig eine Drehzahlschwankung auf (bedingt durch Drehmomentschwankungen), die durch eine aufwendige elektronische Steuerung korrigiert werden muss.

Der Entwicklung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen Synchronmotor mit den Eigenschaften eines Getriebemotors zu schaffen, der die Übertragung großer Drehmomente bei kleiner Baugröße gestattet, mit hohem Wirkungsgrad arbeitet, und mit geringem fertigungstechnischen Aufwand herstellbar ist. Außerdem soll dieser Motor gute Gleichlaufeigenschaften erhalten und im Stillstand, bei einer Gleichstromdurchflutung der Ständerwicklung, ein hohes Haltemoment aufweisen.

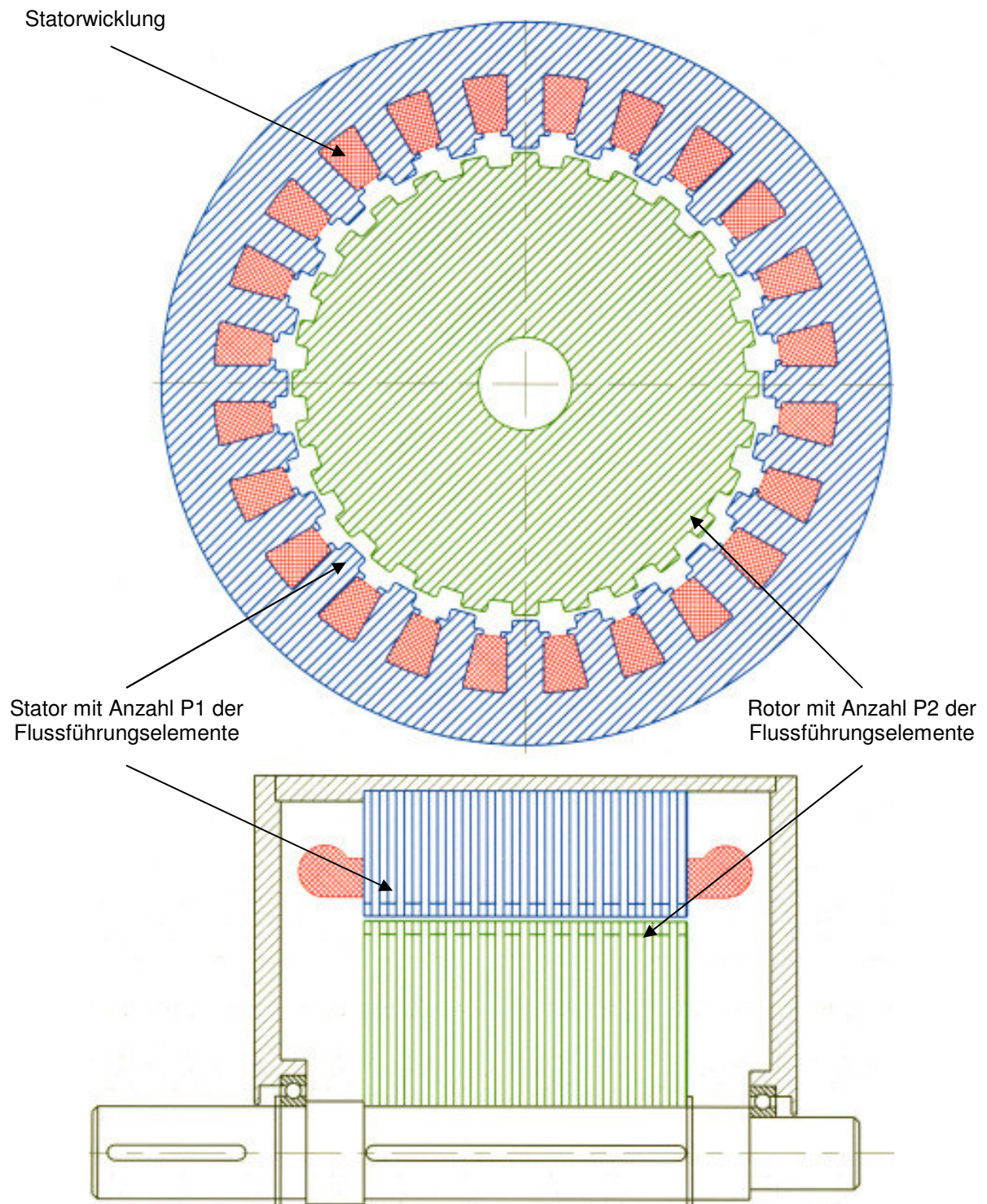
## 2. Eigenschaften der Synchron-Torque-Maschine

- Hohes Drehmoment bei kleinem Gewicht
- Sehr gute Rundlaufeigenschaften im kleinen Drehzahlbereich
- Kein Schlupf, unabhängig von der Belastung und von Spannungsschwankungen
- Kann am Netz und mittels handelsüblichen Frequenzumrichtern betrieben werden (ohne Rückführung)
- In vielen Fällen kann auf Untersetzungsgetriebe verzichtet werden, da die **STM** im kleinen Drehzahlbereich sehr hohe Drehmomente liefert
- Der Strom steigt nur unwesentlich an, wenn die **STM** überlastet oder blockiert wird
- Sehr geräuscharmes Laufverhalten
- Die **STM** kann weder bei Überlast noch im Blockierfall zerstört werden
- Sehr preiswert, da der Aufbau sehr einfach ist

### 3. Prinzipieller Aufbau der Synchron-Torque-Maschine

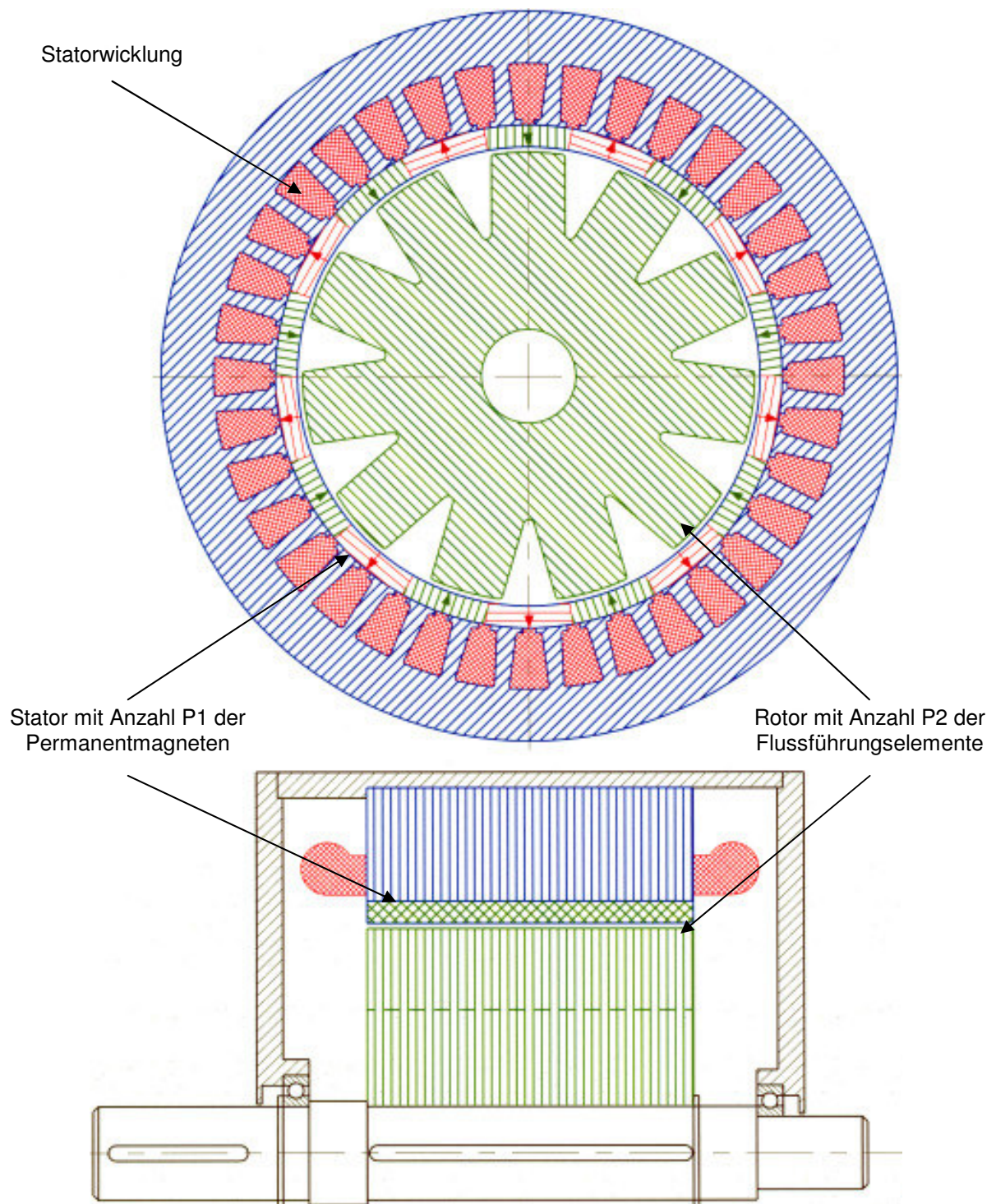
Der prinzipielle Aufbau der **STM** ist in **Bild 1** dargestellt.

Die **STM** besitzt eine niederpolige Drehstromwicklung im Stator, wie man sie bereits von herkömmlichen Asynchron- oder Synchronmaschinen kennt. Bedingt durch eine spezielle Form der Stator- und Rotorzähne erhält die **STM** die Eigenschaften einer langsamlaufenden Synchronmaschine mit sehr hohem Drehmoment. Der Stator erhält zusätzlich Flussführungselemente, die in axialer Richtung orientiert sind und deren aktive Länge sich über die gesamte Länge des Blechpaketes erstreckt. Die Flussführungselemente bestehen entweder aus ferromagnetischem Material (**Bild 1**) oder aus magnetisiertem Permanentmagnetmaterial (**Bild 2**).



**Bild 1:** Vereinfachte Ausführung der STM  
Die Flussführungselemente sind in Form von Zähnen im Rotor- und Statorblech ange-  
stanz.





**Bild 2:** Ausführung der STM mit Permanentmagneten im Stator

Die einzelnen Flussführungselemente gleichmäßig auf dem Kreisumfang anzuordnen ist erforderlich, um eine gleichmäßige Drehmomentübertragung zu gewährleisten. Die Anzahl der Flussführungselemente auf dem Kreisumfang ist abhängig von der gewünschten Drehzahl bei einer vorgegebenen Frequenz des Wirkstromes.

Der Rotor erhält ebenfalls Flussführungselemente, die in axialer Richtung orientiert sind und deren aktive Länge sich über die gesamte Länge des Statorblechpaketes erstreckt. Die Flussführungselemente bestehen auch hier entweder aus ferromagnetischem Material oder aus magnetisiertem Permanentmagnetmaterial. Die Anzahl der Rotorflussführungselemente auf dem Kreisumfang unterscheidet sich von der Anzahl der Statorflussführungselemente um die Polzahl (bei der Ausführung mit Permanentmagneten um die Polpaarzahl) der Drehstromwicklung im Ständer.

Mit dieser neuartigen **STM** sind gegenüber herkömmlichen Elektromaschinen sehr hohe Drehmomente erreichbar, wobei das Gewicht vergleichsweise klein ist. Die hohen Drehmomente sind dadurch möglich, weil die Maschine Anordnungen mit insgesamt drei unterschiedlichen Polzahlen aufweist, wobei eine große Anzahl der vorhandenen Magnetpole gleichzeitig im magnetischen Eingriff der Magnetflussführung stehen. Somit kann in vielen Fällen auf ein Untersetzungsgetriebe verzichtet werden, da die Maschine auch im kleinen Drehzahlbereich sehr hohe Drehmomente liefert.

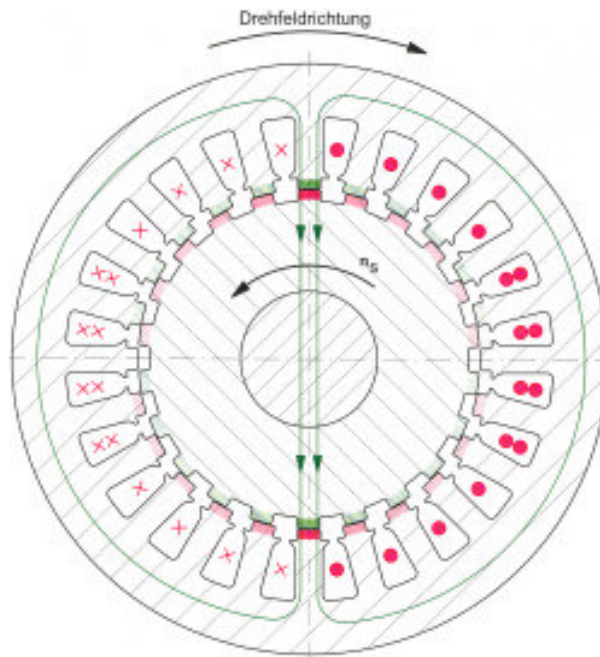
Weitere wesentliche Vorteile der neuartigen **STM** ergeben sich dadurch, dass sie im Vergleich zu herkömmlichen Maschinen sehr gute Rundlaufeigenschaften im kleinen Drehzahlbereich aufweist und keinen Schlupf, unabhängig von der Belastung und von Spannungsschwankungen, hat. Die **STM** kann am Netz und mittels handelsüblichen Frequenzumrichtern betrieben werden. Der Strom verändert sich nur unwesentlich, wenn die Maschine belastet oder blockiert wird, so dass die **STM** weder bei Überlast noch im Blockierfall zerstört werden kann. Zur Stabilisierung des Betriebs und des Regelverhaltens wird eine Rückführung empfohlen.

Um die Wirbelstromverluste gering zu halten, werden Rotor und Stator geblecht.

Ferner ist es möglich, die Flussführungselemente geschrägt anzuordnen, um das Betriebs- und Geräuschverhalten positiv zu beeinflussen und / oder in die Zwischenräume der Rotorflussführungselemente zusätzlich einen Dämpferkäfig aus Kupfer oder Aluminium einzubringen.

## 4. Wirkungsweise der Synchron-Torque-Maschine (STM)

Die Funktionsweise der **STM** lässt sich am einfachsten an einer zweipoligen Maschine erläutern. In **Bild 3** sind die Ströme der Drehstrom-Statorwicklung als Augenblickswert in den Nuten eingezeichnet. Die Kreuze (x, xx) und die Punkte (•, ••) geben die Richtung der Ströme an und sind auch gleichzeitig ein Maß für die Stromstärke.



Die zur resultierenden Drehmomentbildung beitragenden Flussführungselemente bei:

Polpaarzahl der Ständerwicklung	p	=	1
Anzahl der Ständerflussführungselemente	P1	=	24
Anzahl der Rotorflussführungselemente	P2	=	22
Netzfrequenz	f	=	50 Hz
Synchrone Drehzahl	n <sub>s</sub>	=	-272,72 min <sup>-1</sup>

**Bild 3:** Synchron-Torque-Maschine (Leerlauf)

**Bild 3** zeigt die **STM** bei Leerlauf. Die Feldlinien des zweipoligen Magnetfeldes sind an den Stellen der maximalen magnetischen Flussdichte (**B<sub>max</sub>**) eingezeichnet. An diesen beiden Stellen bringen sich die Rotorzähne mit den Statorzähnen in Überdeckung. Das rotierende Drehfeld bewirkt, dass sich die Rotorzähne nacheinander, den Stellen der maximalen Flussdichte folgend, mit den Statorzähnen in Überdeckung bringen und so eine Drehbewegung des Rotors entsteht. In dem hier beschriebenen Fall ist die Drehbewegung des Rotors entgegengesetzt der Drehfeldrichtung.

Während das Drehfeld der zweipoligen Maschine eine Drehzahl von 3000 min<sup>-1</sup> aufweist, dreht der Rotor lediglich mit einer Drehzahl von 272,72 min<sup>-1</sup>.

**Das Untersetzungsverhältnis beträgt somit: i = 11**



Die Drehzahluntersetzung ist gleich dem zurückgelegten Winkel des Statordrehfeldes im Verhältnis zum zurückgelegten Winkel der Rotordrehbewegung innerhalb der gleichen Zeit. Die unterschiedliche farbliche Intensität in den Rotor- und Statorzähnen geben einen Hinweis auf die Größe des Drehmomentbeitrages der einzelnen Zähne.

Weiterhin sind die Nordpole grün und die Südpole rot dargestellt. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen kann davon ausgegangen werden, dass etwa ein Drittel der Stator- und Rotorzähne gleichzeitig einen aktiven Beitrag zur Drehmomentbildung leisten.

Einen Hinweis über die Bildung des Drehfeldes, abhängig von den Augenblickswerten der drei Strangströme, gibt **Bild 4**.

**Bild 5** zeigt die **STM** im Motorbetrieb bei maximaler Belastung.

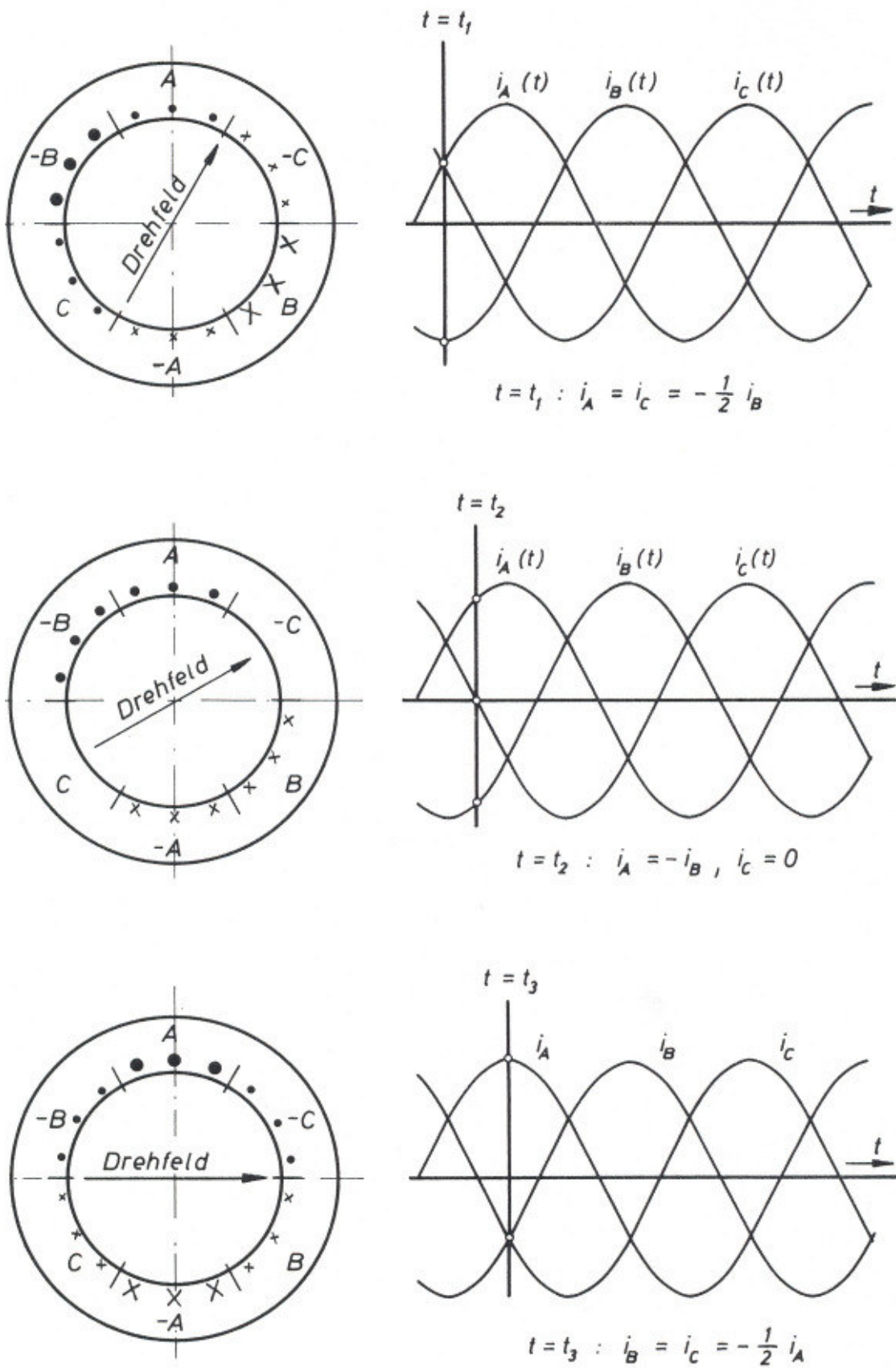
Stabile Betriebsverhältnisse liegen immer dann vor, wenn sich die Rotorflussführungselemente gegenüber dem Leerlauf um maximal eine halbe Breite der Statorflussführungselemente verdrehen.

Diese Verdrehung wird durch den mechanischen Polradwinkel  $\beta$  gekennzeichnet. Der elektrische Polradwinkel  $\beta_{el}$  ergibt sich aus folgender Gleichung:

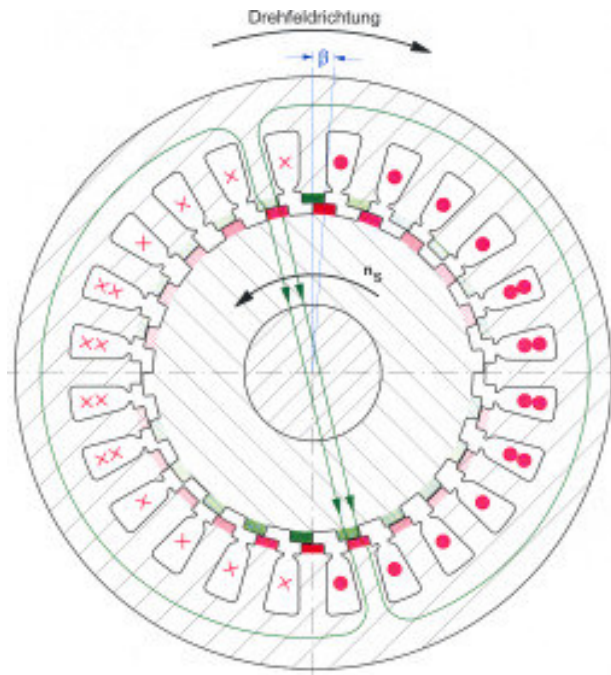
$$\beta_{el} = \beta \times p (i + 1) \text{ mit } i = \frac{p_2}{p_2 - p_1} \quad (1)$$

Eine größere Belastung, die auch einen größeren Polradwinkel zur Folge hat, führt zum Stillstand des Motors. Bei dem belasteten Motor ändern sich gegenüber dem Leerlauf die Verhältnisse des magnetischen Widerstandes im Luftspalt. Daher kommt es auch, wie in **Bild 5** dargestellt, zu einer Verschiebung der Flussachse.

Der Generatorbetrieb ist in **Bild 6** dargestellt. Hier sind Polradwinkel und Flussachse in entgegengesetzter Richtung verschoben.



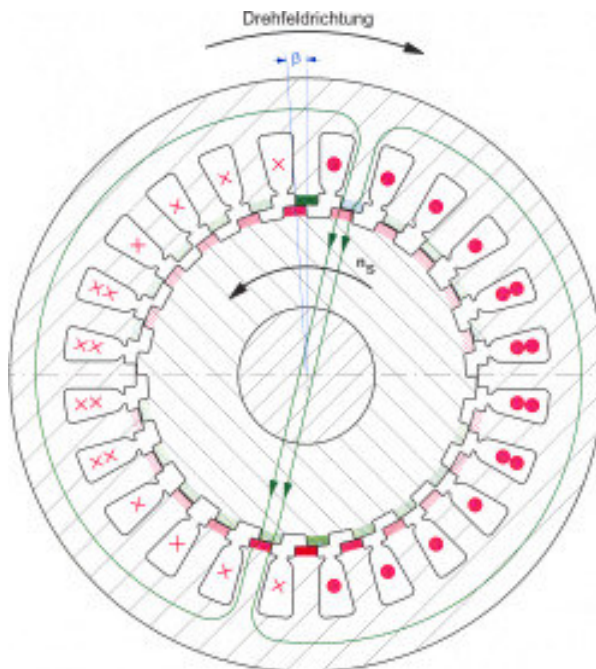
**Bild 4:** Drehfeld einer Drehstromwicklung mit den 3 Strängen A, B und C



Die zur resultierenden Drehmomentbildung beitragenden Flussführungselemente bei:

Polpaarzahl der Ständerwicklung	$p = 1$
Anzahl der Ständerflussführungselemente	$P1 = 24$
Anzahl der Rotorflussführungselemente	$P2 = 22$
Netzfrequenz	$f = 50 \text{ Hz}$
Synchrone Motordrehzahl	$n_s = -272,72 \text{ min}^{-1}$

**Bild 5:** Synchron-Torque-Motor (max. Belastung)



Die zur resultierenden Drehmomentbildung beitragenden Flussführungselemente bei:

Polpaarzahl der Ständerwicklung	$p = 1$
Anzahl der Ständerflussführungselemente	$P1 = 24$
Anzahl der Rotorflussführungselemente	$P2 = 22$
Netzfrequenz	$f = 50 \text{ Hz}$
Synchrone Generatordrehzahl	$n_s = -272,72 \text{ min}^{-1}$

**Bild 6:** Synchron-Torque-Generator (max. Belastung)

Die im Vorangegangenen beschriebene Wirkungsweise ist im Grunde das Prinzip einer Reluktanzmaschine, da der Rotor keine Wicklung aufweist und sich weder im Rotor noch im Stator Permanentmagnete befinden.

Neben einem hohen Drehmoment lässt sich bei diesem Typ Synchron-Torque-Maschine auch ein sehr guter Wirkungsgrad bis etwa 90% erreichen, der bei herkömmlichen elektrischen Maschinen im Bereich kleiner Drehzahlen bisher nicht realisiert werden konnte.

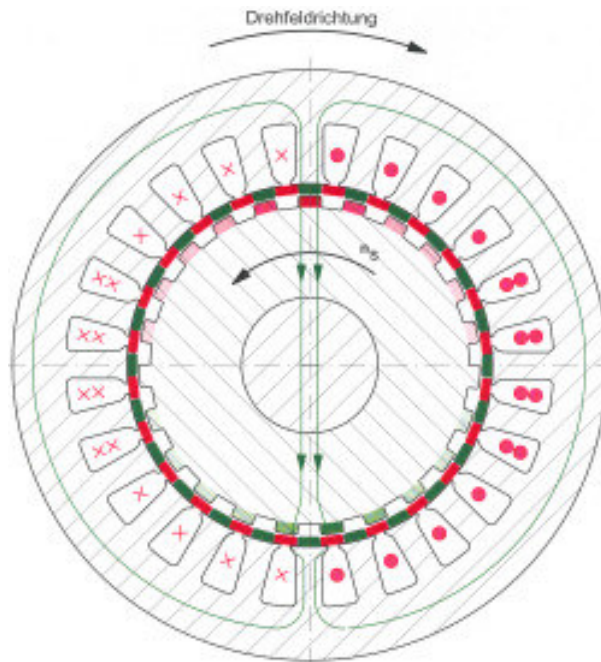
Wenn das Drehmoment bei gleichem Motorvolumen und etwa gleichem Gewicht noch weiter erhöht werden soll, bietet sich an, entweder im Stator oder im Rotor statt der Flussführungselemente Permanentmagnete anzuordnen. Die grundsätzlichen Eigenschaften der **STM** verändern sich dadurch nicht.

Die **Bilder 7 bis 9** zeigen eine Ausführung mit Permanentmagneten in der Statorbohrung. In **Bild 7** ist der Leerlauf, in **Bild 8** der Motorbetrieb und in **Bild 9** der Generatorbetrieb dargestellt.

Der wesentliche Unterschied dieser Permanentmagnet-Ausführung zur **STM**-Reluktanzmaschine ist die kleinere Drehzahl und die größere Verschiebung der Flussachse (bedingt durch das starke Magnetfeld der Permanentmagnete).

Die elektrischen Verhältnisse der **STM** zeigen **Bild 10** (Ortskurve des Statorstromes beim Reluktanzprinzip) und **Bild 11** (Ortskurve des Statorstromes beim Permanentmagnetprinzip).

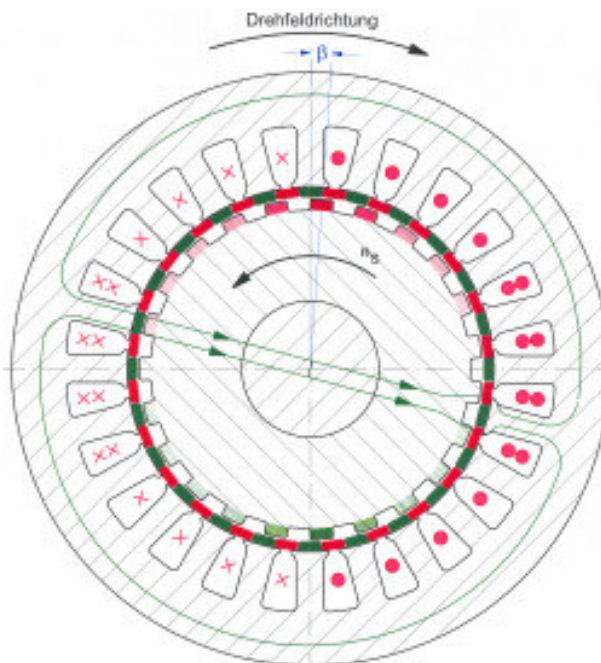
Deutlich wird, dass beim Permanentmagnetprinzip ein wesentlich höheres Drehmoment und ein größerer Leistungsfaktor ( **$\cos \varphi$** ) erreicht werden kann. Nachteilig sind allerdings die höheren Kosten, bedingt durch die zusätzlich benötigten Permanentmagnete.



Die zur resultierenden Drehmomentbildung beitragenden Flussführungselemente bei:

Polpaarzahl der Ständerwicklung	$p = 1$
Anzahl der Ständerpermanentmagnet-Polpaare	$P1 = 24$
Anzahl der Rotorflussführungselemente	$P2 = 23$
Netzfrequenz	$f = 50 \text{ Hz}$
Synchrone Drehzahl	$n_s = -130,43 \text{ min}^{-1}$

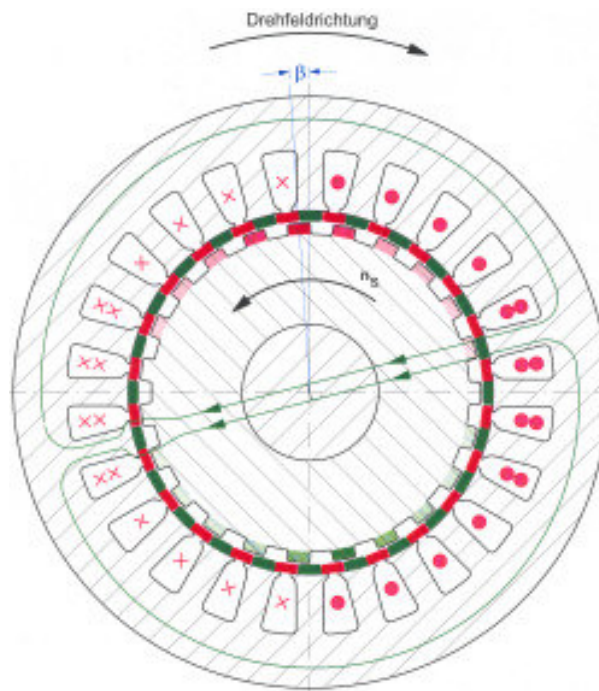
**Bild 7:** Synchron-Torque-Maschine mit Permanentmagneten (Leerlauf)



Die zur resultierenden Drehmomentbildung beitragenden Flussführungselemente bei:

Polpaarzahl der Ständerwicklung	$p = 1$
Anzahl der Ständerpermanentmagnet-Polpaare	$P1 = 24$
Anzahl der Rotorflussführungselemente	$P2 = 23$
Netzfrequenz	$f = 50 \text{ Hz}$
Synchrone Motordrehzahl	$n_s = -130,43 \text{ min}^{-1}$

**Bild 8:** Synchron-Torque-Motor mit Permanentmagneten (max. Belastung)

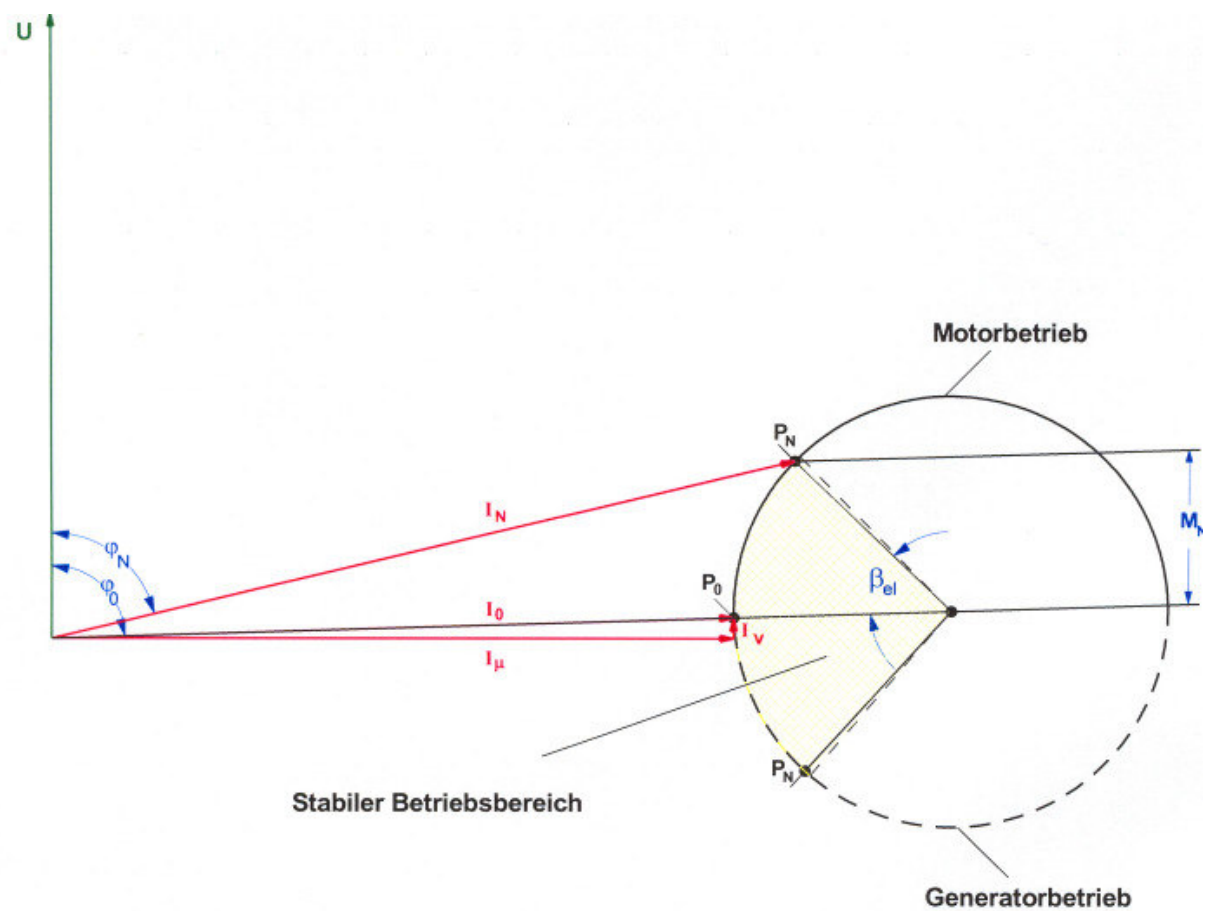


Die zur resultierenden Drehmomentbildung beitragenden Flussführungselemente bei:

Polpaarzahl der Ständerwicklung	$p = 1$
Anzahl der Ständerpermanentmagnet-Polpaare	$P1 = 24$
Anzahl der Rotorflussführungselemente	$P2 = 23$
Netzfrequenz	$f = 50 \text{ Hz}$
Synchrone Motordrehzahl	$n_s = -130,43 \text{ min}^{-10}$

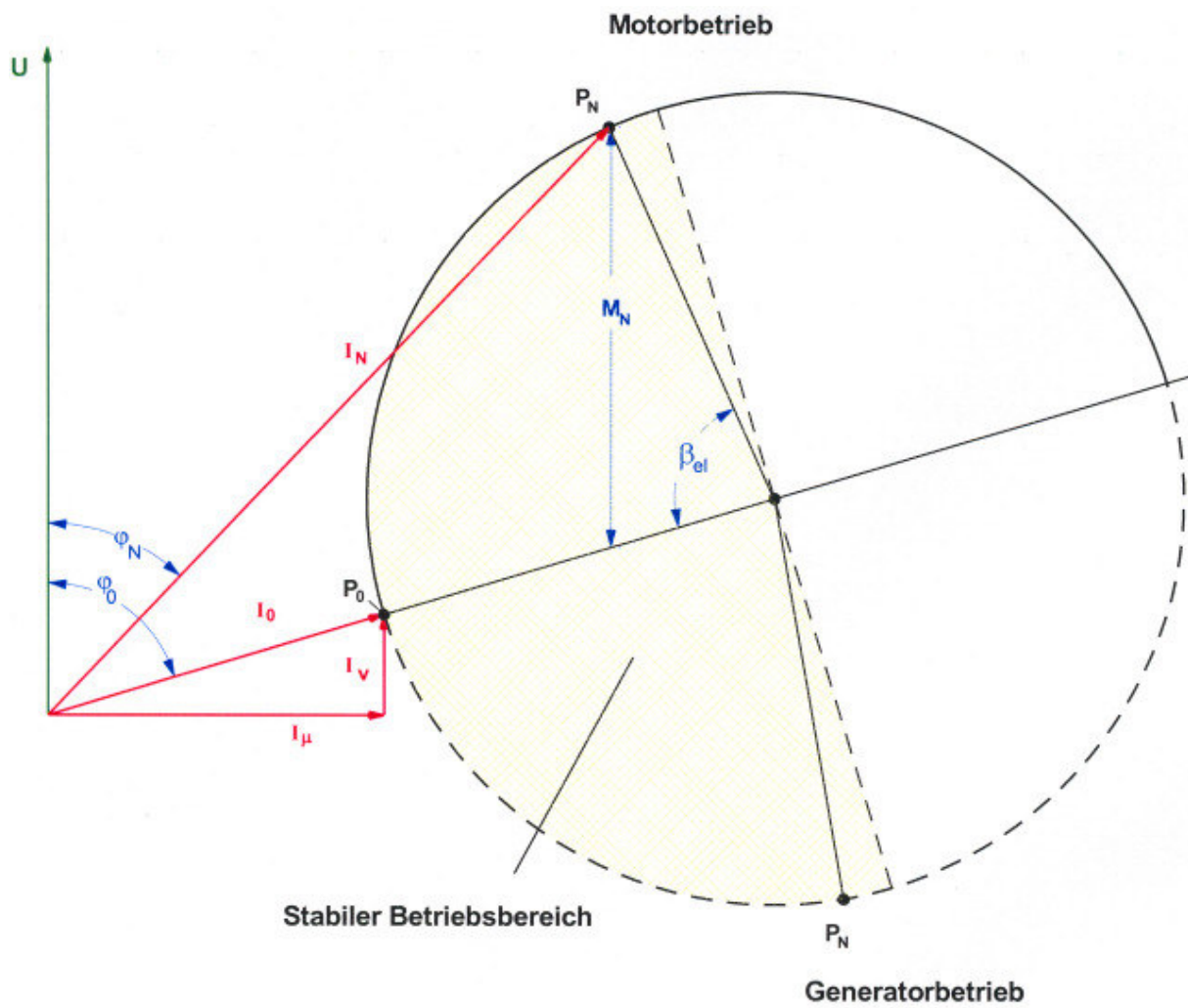
**Bild 9:** Synchron-Torque-Generator mit Permanentmagneten (max. Belastung)





- $U_N$  : Nennspannung
- $P_N$  : Nennpunkt auf der Ortskurve
- $P_0$  : Leerlaufpunkt auf der Ortskurve
- $I_N$  : Nennstrom
- $I_0$  : Leerlaufstrom
- $I_\mu$  : Magnetisierungsstrom
- $I_v$  : Verluststrom (deckt Kupfer- und Eisenverluste)
- $M_N$  : Nennmoment
- $\varphi_N$  : Phasenverschiebungswinkel im Nennbetrieb
- $\varphi_0$  : Phasenverschiebungswinkel im Leerlauf
- $\beta_{el}$  : elektrischer Polradwinkel

**Bild 10:** Ortskurve des Statorstromes einer Synchron-Torque-Maschine



- $U_N$  : Nennspannung
- $P_N$  : Nennpunkt auf der Ortskurve
- $P_0$  : Leerlaufpunkt auf der Ortskurve
- $I_N$  : Nennstrom
- $I_0$  : Leerlaufstrom
- $I_\mu$  : Magnetisierungsstrom
- $I_v$  : Verluststrom (deckt Kupfer- und Eisenverluste)
- $M_N$  : Nennmoment
- $\phi_N$  : Phasenverschiebungswinkel im Nennbetrieb
- $\phi_0$  : Phasenverschiebungswinkel im Leerlauf
- $\beta_{el}$  : elektrischer Polradwinkel

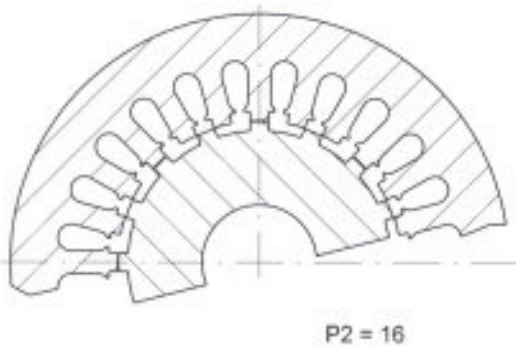
**Bild 11:** Ortskurve des Statorstromes einer Synchron-Torque-Maschine mit Permanentmagneten im Stator

## 5. Variationsmöglichkeiten des Übersetzungsverhältnisses

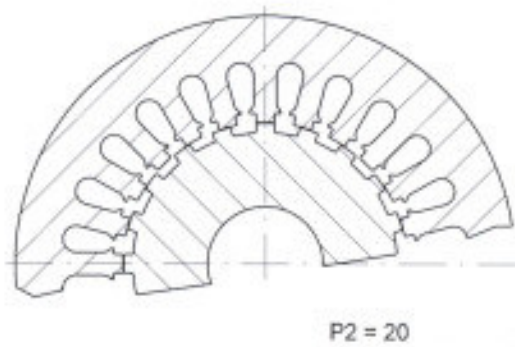
STM ( Leerlauf )

$$\begin{aligned} p &= 2 \\ P1 &= 24 \end{aligned}$$

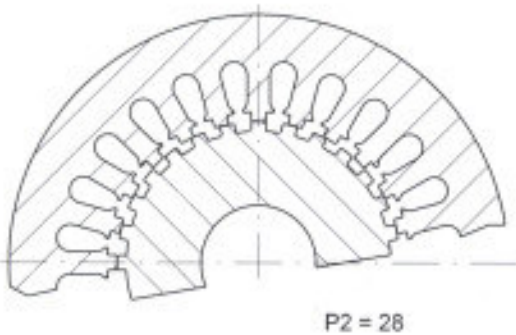
a)  $n_s = -750 \text{ min}^{-1}$



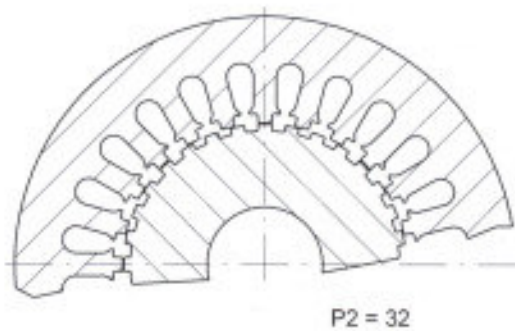
b)  $n_s = -300 \text{ min}^{-1}$



c)  $n_s = 214,29 \text{ min}^{-1}$



d)  $n_s = 375 \text{ min}^{-1}$

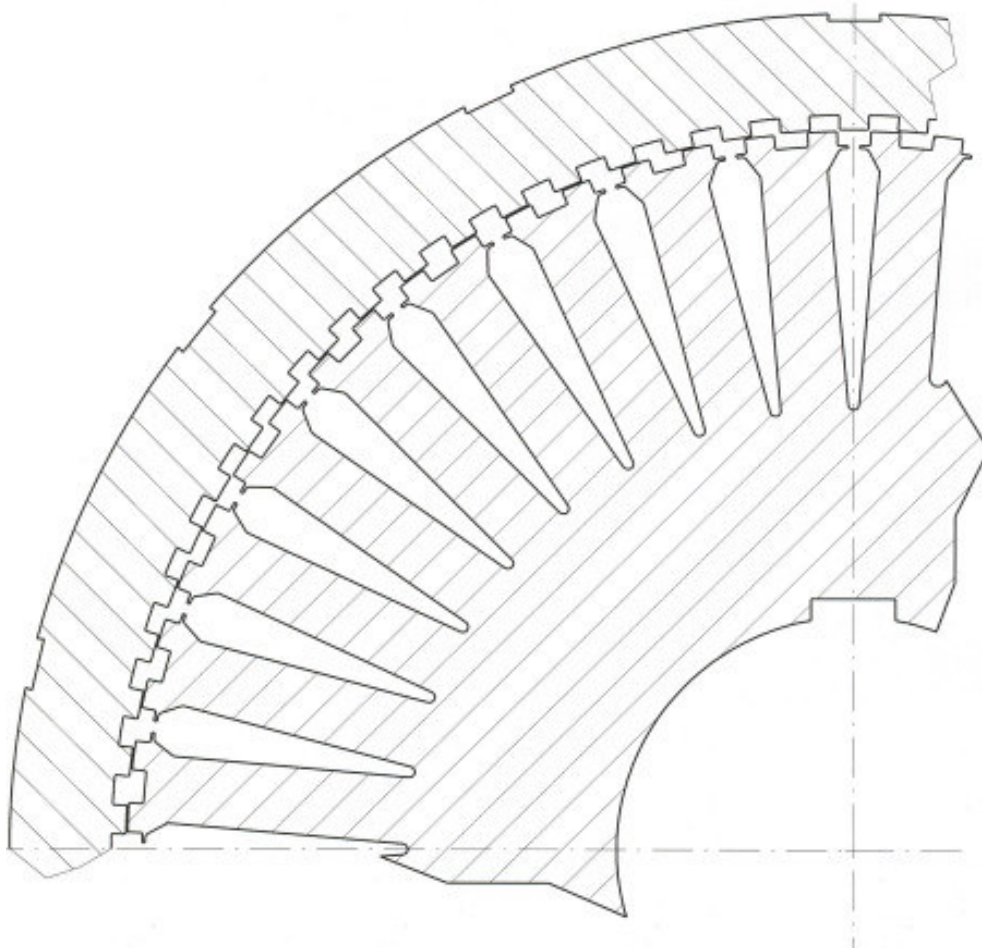


**Bild 12:** Variationsmöglichkeiten des Übersetzungsverhältnisses

## 6. Ausführungsformen der Synchron-Torque-Maschine

Bei der Synchron-Torque-Maschine können alle Ausführungsformen realisiert werden, die man von herkömmlichen Elektromaschinen kennt, wie z. B. Außenläufer, Scheibenläufer und Linearantriebe.

Der im **Bild 13** gezeigte Außenläufer liefert ca. 50% mehr Drehmoment als ein äquivalenter Innenläufer. Sehr vorteilhaft ist hier, dass der Rotorinnendurchmesser im Vergleich zum Asynchron-Außenläufer sehr groß gehalten werden kann, da im Rotor kein Wicklungsmaterial untergebracht werden muss. Ein großer Rotordurchmesser ist bezüglich des erzielbaren Drehmomentes immer von Vorteil, da sich das Drehmoment quadratisch mit dem Durchmesser verändert. Weiterhin kann beim Außenläufer mehr Wicklungskupfer im Innenstator untergebracht werden, was dem Wirkungsgrad sehr zugute kommt.

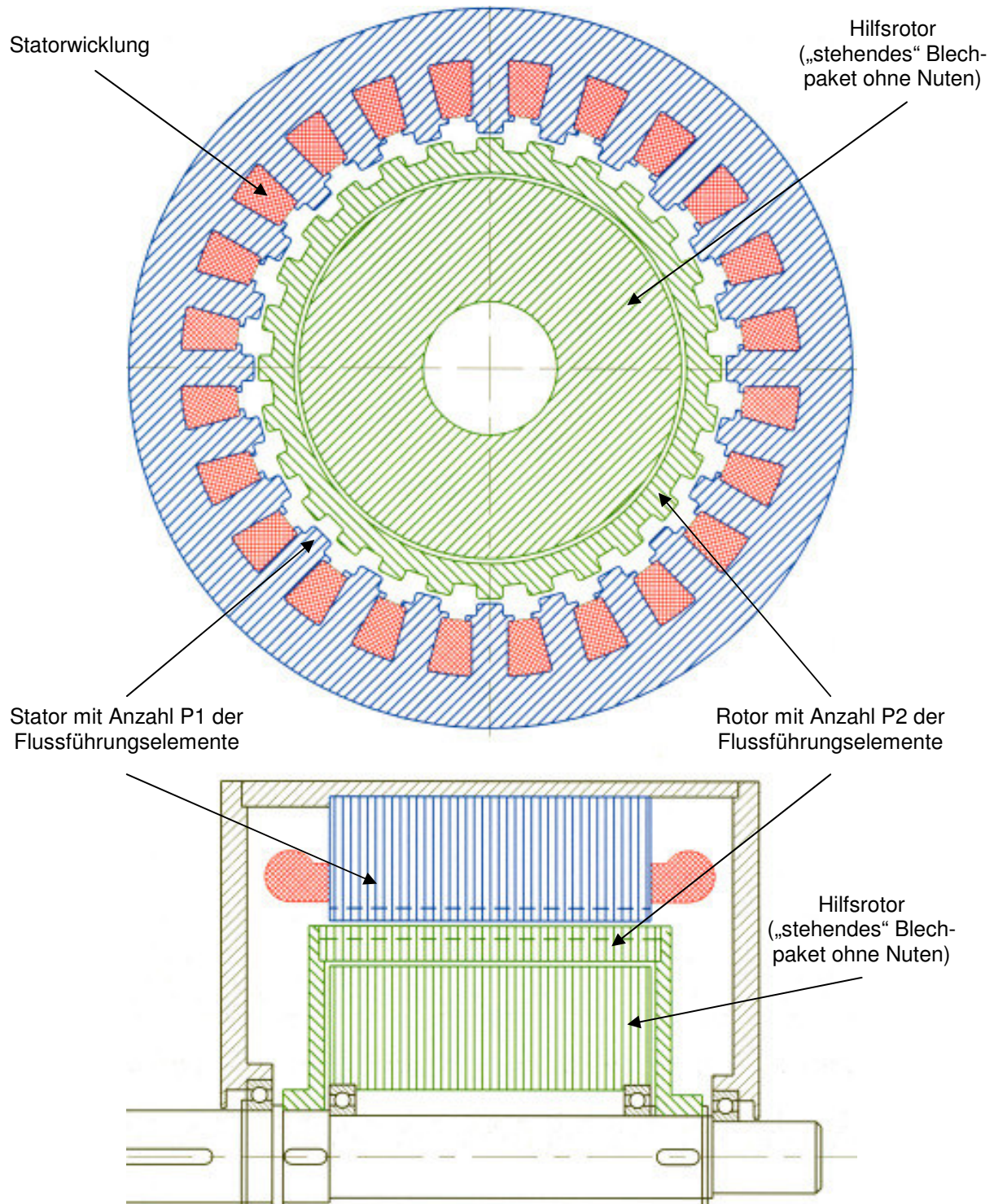


$p = 3, P_1 = 72, P_2 = 78, n = 76,92 \text{ min}^{-1}$

**Bild 13:** STM-Außenläufer Baugröße 315

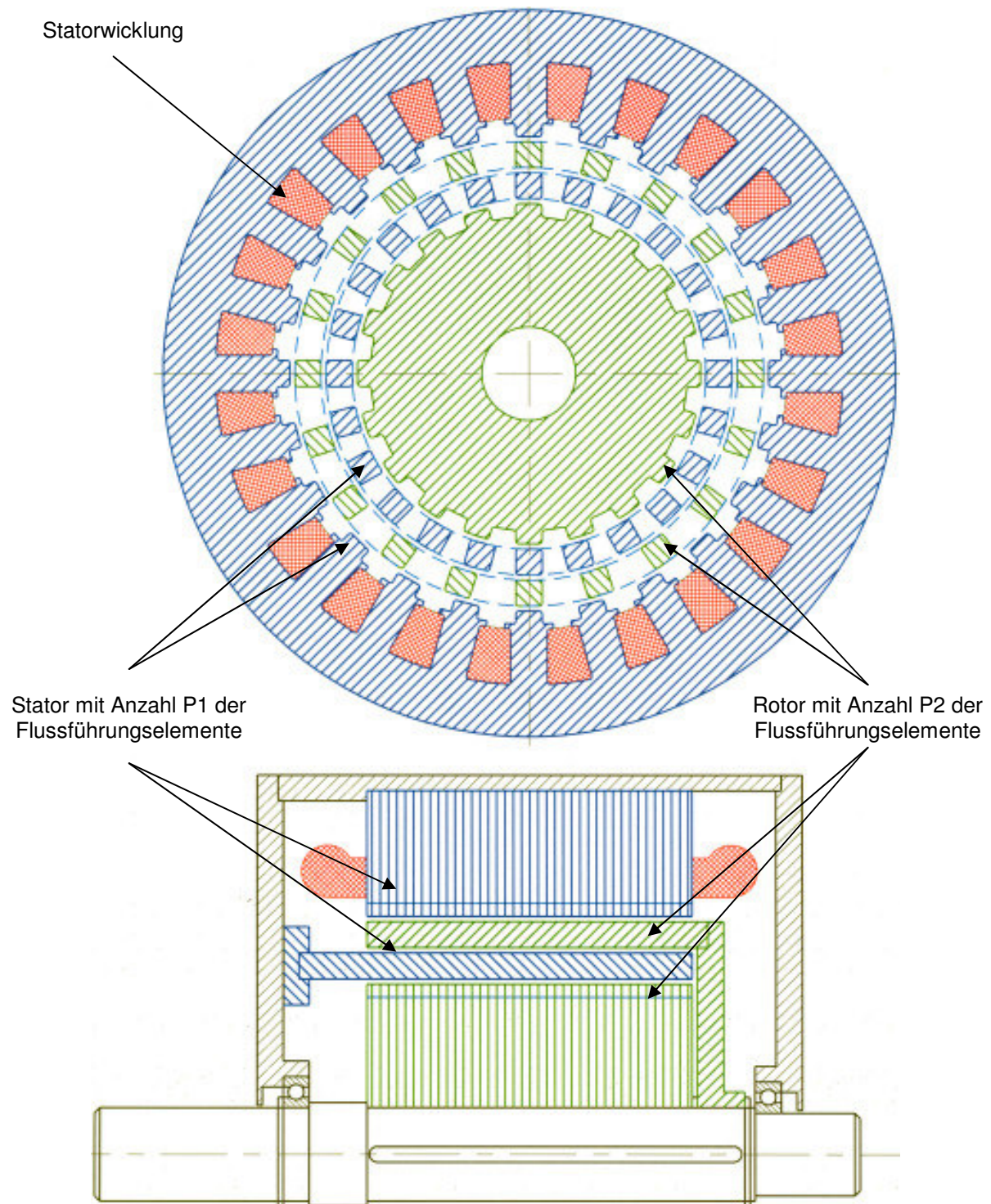


Eine weitere interessante Ausführungsform mit sehr geringem Rotorträgheitsmoment zeigt **Bild 14**. Aufgrund des geringen Trägheitsmomentes dürfte dieser Maschinentyp höchsten dynamischen Ansprüchen bei Netz- und Umrichterbetrieb genügen.



**Bild 14:** Ausführung mit geringem Rotorträgheitsmoment

Der im **Bild 15** gezeigte Mehrfachläufer ist eine Ausführungsvariante, bei der sehr hohe Drehmomente bei relativ kleinem Motorgewicht erzielt werden können. Nachteilig ist hier allerdings der erforderliche große Fertigungsaufwand.



**Bild 15:** Mehrfach-Innenläufer



## 7. Geplante Serienmaschinen

Die in **Tabelle 1** (Anhang A) angegebenen Daten zeigen das Spektrum der geplanten Serienmaschinen. Selbstverständlich können auch Sonderausführungen ausgelegt werden, da aufgrund der bisherigen umfangreichen experimentellen und theoretischen Untersuchungen eine genaue Vorausberechnung möglich ist.

## 8. Einsatzgebiete der Synchron-Torque-Maschine

Die **STM** kann grundsätzlich in allen Einsatzgebieten elektrischer Maschinen zur Anwendung kommen. Allerdings ist sie herkömmlichen Maschinen klar unterlegen, wenn hohe Drehzahlen erforderlich sind. Die Hauptanwendungsgebiete der **STM** liegen im Bereich kleiner Drehzahlen von  $n = 0 \dots 600 \text{ min}^{-1}$ . Es wird auch in absehbarer Zeit nicht möglich sein, die mechanischen Getriebe generell zu ersetzen, da sich die Drehmomente nicht gemäß dem Drehzahl-Untersetzungs-Verhältnis steigern lassen. Die **STM** kann im Dauerbetrieb ohne Kühlung (je nach Ausführungsform) das 2- bis 5-fache Drehmoment vergleichbarer Asynchronmotoren liefern. Deutlich wird aber anhand der vorangegangenen Beschreibung, dass in vielen Fällen auf ein mechanisches Getriebe oder zumindest auf einige Getriebestufen verzichtet werden kann.

Folgende Anwendungsgebiete dürften interessant sein:

- Rührwerkstechnik (hier stören mechanische Getriebe erheblich)
- Servotechnik, Robotertechnik (wenn der **STM** mittels Umrichter und Rückführung betrieben wird)
- Ventiltechnik (der **STM** kann ohne Endschalter eingesetzt werden und wird im Blockierfall nicht zerstört)
- Traktionstechnik
- Aufzugstechnik (hier geht der Trend in Richtung getriebeloser Antriebe)
- Lüftertechnik (der **STM** ist hier besonders gut im Bereich kleiner Drehzahlen einsetzbar)
- Positionierantriebe (der **STM** kann auch als Schrittmotor betrieben werden)
- Pumpenantriebe (im Bereich kleiner Drehzahlen)
- Windkrafttechnik (da die **STM** einen sehr guten Wirkungsgrad im Generatorbetrieb bei kleinen Drehzahlen hat und sehr geräuscharm läuft, kann in diesem Fall auf ein Getriebe verzichtet und eine erhebliche Kostenersparnis erreicht werden)
- Flurförderzeuge (Gabelstapler) und Radnabenmotoren für E-Fahrzeuge
- Gleichlaufantriebe (keine Drehzahlschwankungen durch unterschiedliche Belastungen)

## Anhang A: Datenblatt Serienmaschine „STM“

Baugröße	Polzahl	Drehzahl bei 50 Hz [min <sup>-1</sup> ]	Eisenlänge [mm]	Drehmoment [Nm]	
				S1	S3
71	4	300,0	60	6	9
			75	8	12
90	4	300,0	80	13	20
			110	18	27
112	4	187,5	110	32	48
			135	39	60
132	4	187,5	125	50	75
			170	68	100
160	4	187,5	160	100	150
			215	135	200
200	4	136,4	230	235	350
			250	256	385
250	6	125,0	230	456	680
			260	515	770
315	8	93,8	240	960	1450
			530	2120	3200

Tabelle 1: Datenblatt der Serienmaschine „STM“

Diese Variante kann bei gleichem Drehmoment mit Fremdlüfter mit mehrfacher Nenndrehzahl betrieben werden.

## Anhang B: Datenblatt Serienmaschine „STM SE“

Baugröße	Polzahl	Drehzahl bei 50 Hz [min <sup>-1</sup> ]	Eisenlänge [mm]	Drehmoment [Nm]	
				S1	S3
71	4	136,0	60	9	14
			75	12	17
90	4	136,0	80	19	28
			110	27	40
112	4	111,0	110	48	72
			135	58	87
132	4	88,0	125	75	110
			170	100	150
160	4	71,0	160	150	225
			215	200	300
200	4	49,0	230	350	525
			250	380	570
250	6	42,0	230	680	1000
			260	750	1125
315	8	35,0	240	1400	2100
			530	3100	4650

Tabelle 2: Datenblatt der Serienmaschine „STM SE“

Diese Variante kann bei gleichem Drehmoment mit Fremdlüfter mit mehrfacher Nenndrehzahl betrieben werden.

## Anhang C: Datenblatt Serienmaschine „VTM SE<sup>2</sup>“

Baugröße	Polzahl	Drehzahl bei 50 Hz [min <sup>-1</sup> ]	Eisenlänge [mm]	Drehmoment [Nm]	
				S1	S3
71	4	136,0	60	18	27
			75	24	36
90	4	136,0	80	38	57
			110	54	80
112	4	111,0	110	96	145
			135	116	175
132	4	88,0	125	150	225
			170	200	300
160	4	71,0	160	300	450
			215	400	600
200	4	49,0	230	700	1050
			250	760	1140
250	6	42,0	230	1360	2000
			260	1500	2250
315	8	35,0	240	2850	4250
			530	6300	9450

Tabelle 3: Datenblatt der Serienmaschine „VTM SE<sup>2</sup>“

Diese Variante kann bei gleichem Drehmoment mit Fremdlüfter mit mehrfacher Nenndrehzahl betrieben werden.