

R.-D. Weege

## Mittelachsenantriebe – eine Antriebsalternative bei Elektro-Rollstühlen?

Central axis drives – an alternative drive in the range of power wheelchairs?

Auf dem internationalen Rollstuhlmarkt sind praktisch alle Antriebs- und Lenkvarianten verfügbar, die im Bereich der allgemeinen Fahrzeugphysik bekannt sind. Dazu gehören gelenkte und un gelenkte Systeme, Einrad- bis Allradantriebe sowie zweiachsige und dreiachsige Versionen mit und ohne Federung. Am häufigsten vertreten ist ein Elektro-Rollstuhl, der vorne indirekt gelenkt und hinten angetrieben ist. Mittelachsenantriebe sind eine moderne Variante mit einer sehr guten Manövrierfähigkeit, verhalten sich jedoch problematisch an Hinderniskanten, bei Bodenwellen und auf unebener Fahrbahn.

On the international wheelchair market, there are almost all drive and steering versions available that are known in the field of general vehicle physics. This comprises steered and non-steered systems, one-wheel up to all-wheel drives as well as two-axle and three-axle versions with and without suspension. The power wheelchair with the highest demand is indirectly steered in the front and driven at the back. Central axis drives are a modern drive option with an unrivalled manoeuvrability, however, fraught with problems in terms of kerbsides, ground waves and uneven surface.

### Einleitung

Die weltweit größte Industrieshow, die Industriemesse Hannover, eröffnete Bundeskanzlerin Angela Merkel im letzten Jahr unter dem Motto „Elektromobilität“ und betonte damit eine Besonderheit. Für jeden, der sich mit Rollstühlen beschäftigt, ist dieser Begriff längst alltäglich.



Abb. 1 Historischer, dreirädriger Rollstuhl mit Verbrennungsmotorantrieb, 2,75 PS Nennleistung.

Die frühesten fremdangetriebenen Rollstühle – außer über Muskelkraft – verfügten über Verbrennungsmotoren; Abbildung 1 zeigt einen dreirädrigen Rollstuhl mit Verbrennungsmotor und mechanischer Lenkung. Verbrennungsmotoren haben Emissionen in Form von Geräuschen und Abgasen und sind in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts durch Elektroantriebe verdrängt und abgelöst worden. Mit der Anwendung der elektromotorischen Fortbewegung änderten sich auch die Nutzungsgewohnheiten. Durch den weitgehend emissionsfreien Betrieb kann der Elektro-Rollstuhl indoor gefahren werden, was natürlich weitere Anforderungen, besonders hinsichtlich der Wendigkeit, mit sich brachte. Durch die Elektromobilität und Antriebsausführungen, die das

Wenden auf der Stelle ermöglichen, aber auch durch moderne Antriebssteuerungen, hat ein Personenkreis Eigenmobilität erhalten, die bis dahin nur mithilfe von anderen Menschen erreicht werden konnte.

Die Formulierung „weitgehend emissionsfrei“ ist bewusst gewählt, weil beim Elektro-Rollstuhl zwar keine Schall- und Abgasemissionen auftreten, wohl aber solche durch elektromagnetische niederfrequente Felder, denen insbesondere der Nutzer permanent ausgesetzt ist. Die Wirkung dieser (Dauer-) Belastungen auf den Organismus ist bis heute nicht wissenschaftlich umfassend und grundlegend geklärt.

### Lenkung

Gemäß der Lenkung werden

- direkt (durch eine Art Zwangslenkung) und
- indirekt (durch eine Art Schlepplenkung)

gelenkte Rollstühle unterschieden [2].

Bei indirekt gelenkten Rollstühlen stehen Lenkung und Antrieb in Korrelation und sind nicht voneinander zu trennen. Hier und im Folgenden soll unter „Antrieb“ immer eine Einrichtung verstanden werden, die sowohl beschleunigen (antreiben) als auch verzögern (bremsen) kann. Die Lenkungsart bei Rollstühlen hat einen signifikanten Einfluss auf das Fahrverhalten, die Fahrsicherheit – besonders auf nicht völlig ebenem oder geneigtem Gelände sowie auf Fahrstrecken mit schlechtem Reibkoeffizienten zwischen Reifen und Fahrbahn und bei der Hindernisüberwindung –, den Fahrkomfort etc.

## Antriebsausführungen

Fahrzeuge wie Rollstühle, die auf Straßen, im Gelände oder in Innenräumen unterwegs sind, sind in der Regel zwei- oder mehrachsrig ausgeführt.



**Abb. 2** Einachsiges Fahrzeug, fahrdynamisch stabilisiert durch komplexe elektronische Regeleinrichtungen [4].

Einachsige Fahrzeuge verfügen ohne komplexe Regelungssysteme über kein stabiles Gleichgewicht. Nur mit aufwändigen Regelungsalgorithmen lässt sich das allseits bekannte Beispiel Segway (Abb. 2) [4] sicher fahren und beherrschen – allerdings eher weniger von Personen mit körperlich bedingten Mobilitätseinschränkungen. Aus der Entwicklung des Segway ist auch ein Behindertenfahrzeug entstanden, der iBOT Independence [3], der ebenfalls auf einer Achse fahren sowie in der zweiachsigen Stellung unebenes Gelände, Hindernisse und Treppen überwinden kann. Abbildung 3 zeigt die Fahrposition auf einer Achse.

Dieses hochtechnische Multifunktions-Mobilitätshilfsmittel – weniger als herkömmlicher Elektro-Rollstuhl zu bezeichnen – fährt einachsrig und damit extrem wendig mit je einem Antriebsmotor je Laufrad. Damit gleicht dieses System einem Mittelachsenantrieb, bei dem auf Stützrollen verzichtet werden kann. Bei der Fahrt auf zwei Rädern ergibt sich eine erhöhte Sitzhöhe, weil sich die Räder in übereinander angeordneter Position befinden. Beide Achsen sind un gelenkt, die Kurvenfahrt auf zwei Achsen erfolgt daher unter nicht unbeträchtlichen Reibverlusten

zwischen Fahrbahn und Reifen/Rädern und wird durch Drehzahldifferenzen der Antriebsräder bewirkt. Für gewöhnliche Landfahrzeuge gibt es solche Systeme nicht – dort sind zwei Achsen üblich, eine gelenkt, zum Beispiel am Pkw oder SUV.

Das oberste Entwicklungsziel bei der Elektro-Rollstuhl-Konstruktion ist die Kompaktheit; die Maße des sitzenden Menschen sollen nicht überschritten werden. Das hat Folgen für die statische sowie die dynamische Fahrstabilität. Bei Fahrbahnquerneigungen oder -längsneigungen und an der Hinderniskante muss der Rollstuhl sicher beherrschbar bleiben, darf weder seitlich noch vor- oder rückwärts kippen. Die Physik lässt sich nicht überlisten, sie fordert möglichst große, durch die Radaufstandspunkte „aufgespannte“ Flächen, innerhalb derer sich der Durchstoßpunkt der Gravitationslinie befinden muss. Damit unter allen „freigegebenen“ Betriebsbedingungen (also beim bestimmungsgemäßen Gebrauch) ausreichend Sicherheit gegen Kippen besteht, erhalten zum Beispiel Greifreifen-Rollstühle hinten ein Stützrollenpaar, ebenso hinten angetriebene Elektro-Rollstühle.



**Abb. 3** Hightech-Rollstuhl Independence iBOT in der Fahrposition auf einer Achse [3], (Foto: [www.techlaunges.com](http://www.techlaunges.com)).

Ist der Radstand (der Achsabstand) kurz und der Antrieb vorn, wird ein Stützrollenpaar vor der Vorderachse angeordnet.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden Elektro-Rollstühle streng nach dem Prinzip der Funktionstrennung von Antriebs- und Lenkachse gestaltet. Das hat auch seine Vorteile, wie unter anderem eine unkomplizierte Leitung des

Drehmomentes zu den Antriebsrädern. Nach den Definitionen der Fahrwerksphysik verfügen Rollstühle somit meist über eine Antriebsachse, eine Lenkachse und eine Stützachse, auch wenn Letztere nur aus kleinen Röllchen besteht – die Rollstühle sind streng genommen dreiachsig. Die Laufräder der Stützachse schweben im normalen Fahrbetrieb über der Fahrbahn, haben also keinen Bodenkontakt. Die Laufräder der Stützachse sind meist un gelenkt, können aber auch über einen Radnachlauf gelenkt ausgebildet sein. Um die Größe des Radnachlaufs kann allerdings die Größe der durch die Radaufstandspunkte beschriebenen Fläche verkleinert werden, was nachteilig ist.



**Abb. 4** Hinten angetriebener, vorn indirekt gelenkter Rollstuhl, 2 x 300 W Nennleistung (Foto: Meyra/Ortopedia).

Nun können die Achslagen und Achsarten variiert werden. Wo wird die Antriebsachse angeordnet, wo die Lenkachse, wo die Stützachse – gelenkt oder un gelenkt? Alle Kombinationen sind im Elektro-Rollstuhlmarkt vertreten.

Aus physikalischen Gründen wird die Achslastverteilung für front- oder heckgetriebene Elektro-Rollstühle so gewählt, dass die Antriebsachse den Hauptgewichtsanteil von mindestens 60 Prozent überträgt, die Lenkachse den Rest, da die Stützachse bei normaler Fahrt unbelastet bleibt. Die meisten Elektro-Rollstühle sind hinten angetrieben und vorn indirekt gelenkt (Abb. 4). Die sich aus diesem Konzept ergebenden Fahreigenschaften sind in Abbildung 5 wiedergegeben. Beim Schwenken auf der Stelle geschieht dieses um eine senkrechte Achse in Fahrzeugs-

**vorn**  
**indirekt**  
**gelenkt**



- wendig
- Frontlenkung
- zweimotorig
- Kursstabilität begrenzt
- Hindernisüberwindungsfähigkeit eingeschränkt
- Lenkverhalten weniger präzise

**Abb. 5** Wesentliche Eigenschaften vorn indirekt gelenkter Elektro-Rollstühle.

längssymmetrie und durch die Antriebsachse verlaufend. Diese Achse liegt in der Praxis in der Nähe der Wirbelsäule des Rollstuhlnutzers, also im hinteren Bereich eines sitzenden Menschen. Bei der Kurvenfahrt beschreibt ein Vorderrad den größten Spurbereich, und dieser größte Spurbereich liegt im Blickfeld und somit gut überschaubar vor dem Rollstuhl.

Ist der Rollstuhl vorn angetrieben und hinten indirekt gelenkt, drehen sich die physikalischen Verhältnisse um. Abbildung 6 zeigt einen derartigen Rollstuhlaufbau und in Abbildung 7 sind die Eigenschaften zusammengefasst. Die Schwenkachse verläuft ebenfalls mittig durch die Antriebsachse und verläuft in diesem Fall in etwa zwischen den Oberschenkeln des Nutzers. Das wird als angenehm wendig empfunden, weil das ungefähr die Achse des sitzenden Körpers ist, von der alle Körperzonen gleich weit entfernt sind – der Abstand zum Rücken



**Abb. 6** Vorn angetriebener, hinten indirekt gelenkter Elektro-Rollstuhl, 2 x 300 W Nennleistung (Foto: Meyra/Ortopedia).

entspricht also in etwa dem Abstand zu den Fußspitzen. Das Rollstuhlheck schwenkt bei der Kurvenfahrt allerdings möglicherweise in Bereiche, die nicht im Blickfeld des Fahrers liegen.



Abb. 7 Wesentliche Eigenschaften vorn angetriebener, hinten indirekt gelenkter Elektro-Rollstühle.

Die dritte Antriebsvariante ist nun der über zwei Antriebsmotoren indirekt gelenkte Mittelachsenantrieb. Er verfügt über eine un gelenkte Mittelachsenantriebsachse und eine vordere und eine hintere Achse, jeweils indirekt gelenkt und als Stützachse ausgebildet (Abb. 8). Dreiachsige Fahrzeuge benötigen mindestens eine gefederte Achse, damit auf unebenem Boden alle Achsen Bodenkontakt behalten. Bei diesem Rollstuhl



Abb. 8 Mittelachsenantrieb, hinten indirekt gelenkter, vorn un gelenkter Elektro-Rollstuhl, 2 x 300 W Nennleistung (Foto: Weege).

überträgt die Mittelachse einen sehr großen Gewichtsanteil, was sich insbesondere auf Fahrbahnneigungen gegenüber den vorgenannten Varianten positiv bemerkbar macht. Da die nicht angetriebenen Achsen aufgrund der Gewichtsverteilung ständig Bodenkontakt haben müssen, sind die Hindernisüberwindungs-

fähigkeit und die Fahrt auf unebenem Gelände problematisch. Mittelachsenantrieb Rollstühle weisen häufig als vordere Achskonstruktion Ausführungen auf, die sich beim Kontakt mit einem Höhenhindernis (Bordstein) anheben, auf das Hindernis aufsetzen, so dass die nachfolgende Antriebsachse das Hindernis überwinden kann, wobei die hintere Achse als Stützachse dient und ein Aufsteigen des Rollstuhls verhindert. Die Zeichnung für ein Schutzrecht [1] deutet die Komplexität derartiger Fahrwerksaufbauten an (Abb. 9).

In Bezug auf die Wendigkeit ist dieses Konzept unübertroffen und benötigt die geringste Wendefläche, wenn alle Randbedingungen mit den vorgenannten Ausführungen gleich sind. Der technische Aufwand für eine angemessene und sichere Hindernisüberwindungsfähigkeit ist allerdings nicht unüberträglich. Von dem Aufwand für das Fahrwerk beziehungsweise für die Achskonstruktionen hängt das Fahrverhalten wesentlich ab. In Abbildung 10 sind die Eigenschaften dargestellt.

Neben diesem klassischen Mittelachsenantrieb gibt es auch Vierradantriebssysteme, bei denen die Laufräder der vorderen Achse mit angetrieben werden. Diese vordere Achse ist dabei un gelenkt ausgebildet und hebt sich ebenfalls an der Hinderniskante an. Da auch hier die mittlere Achse die größte Achslast trägt, können die Reibungsverluste bei der Kurvenfahrt, zum Beispiel beim Wenden auf der Stelle, durch querstehende und querradiierende Vorderräder, die nicht hoch belastet und un gelenkt sind, in Kauf genommen werden. Da durch eine einfache Übersetzung die Laufräder der vordersten Achse mit der mittleren Antriebsachse gekuppelt sind, ergeben sich gleiche Umfangsgeschwindigkeiten der Räder jeweils für die linke beziehungsweise rechte Seite. Da die Vorderachse un gelenkt ist, bewirkt auch dies zusätzliche Reibung bei der Kurvenfahrt. Da Rollstuhlfahren nicht nur aus Kurvenfahren und Hindernisfahrt besteht, sorgt dieses Antriebskonzept aufgrund des Vierradantriebs für besten Vortrieb, besonders auf rutschiger Fahrbahn, auf der das

Nichterfüllen des Lenkgesetzes (Rollstuhl mit zwei un gelenkten Achsen) fast nicht stört. Die hintere Achse ist als indirekt gelenkte Stützachse, die an der Hinderniskante wirkt, ausgeführt.

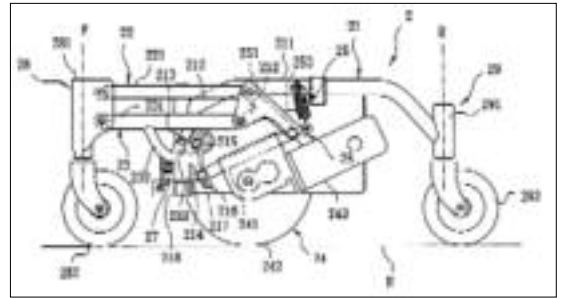


Abb. 9 Radaufhängung am Mittelachsenantrieb, Patentzeichnung EP 1 832 266.

Die behandelten Heck-, Front- und Mittelachsenantriebe sind insgesamt indirekt gelenkt, verfügen also über zwei Antriebsmotoren, ebenso die Variante des Mittelachsenantriebs mit zusätzlich angetriebener (un gelenkter) Vorderachse. All diesen Ausführungen steht das klassische Antriebskonzept „direkte Lenkung/ Einmotorenantrieb mit Differentialgetriebe“ gegenüber. Es ist im Fahrzeugbau Stand der Technik, wie zum Beispiel in jedem Pkw. Die direkte Lenkung in Verbindung mit dem Differentialgetriebe bewirkt ein reines Abwälzen der Laufräder unter allen Bedingungen und ist



Abb. 10 Wesentliche Eigenschaften indirekt gelenkter Elektro-Rollstühle mit Mittelachsenantrieb.

in Bezug auf Erfüllung des Lenkgesetzes reibungsfrei. Das minimiert den Verschleiß und lässt demzufolge die größte Fahrstrecke mit einer Batterieladung bei ansonsten gleichen Randbedingungen für alle vier betrachteten Systeme zu. Wo keine Reibung herrscht, entsteht kein Verschleiß, wo kein Verschleiß auftritt, wirken keine Kräfte/Belastungen, die den Verschleiß verursachen und



Abb. 11 Vorn angetriebener, hinten direkt gelenkter Rollstuhl, 750 W Nennleistung (Foto: Meyra/Ortopedia).

somit entsteht kein negativer Lebensdauereinfluss. Dieses System hat den größten Fahrkomfort, die größte Fahrsicherheit (Kursstabilität), die beste Hindernisüberwindungsfähigkeit, die geringsten Folgekosten – immer wieder die gleichen Randbedingungen vorausgesetzt. Dieses Antriebskonzept stellt also eine äußerst kostengünstige Variante mit großer Lebensdauer dar. Der einzige Nachteil besteht darin, dass das Wenden auf der Stelle nicht möglich ist, die benötigte Wendefläche aber trotzdem klein ist (Abb. 11 u. 12).

## Zusammenfassung

In den obigen Ausführungen ist der Rollstuhl Independence mit vier einzeln angetriebenen, aber ungeLenkten Laufrädern erläutert. Aufgrund seines Aufbaus und seiner

Möglichkeiten kann er als multifunktionaler Elektro-Rollstuhl bezeichnet werden. Das macht ihn von der wirtschaftlichen Seite her betrachtet aber nicht gerade günstig in der Beschaffung. Bei der vierrädigen Fahrt auf der Ebene hat der Rollstuhl während der Kurvenfahrt erhebliche Reibungsverluste.

Der hinten angetriebene und vorn indirekt gelenkte Rollstuhl hat die größte Verbreitung, ist handlich, verhält sich aber an der Hinderniskante und bei Fahrbahnquerneigungen nicht unproblematisch.

hinter mit Radantrieb  
**direkt gelenkt**  
Lenkservomotor

- Kursstabilität sehr gut
- Lenkverhalten äußerst präzise
- Hindernisüberwindungsfähigkeit sehr gut
- Differenzial / 2-motorig
- Wendigkeit eingeschränkt
- Hecklenkung

Abb. 12 Wesentliche Eigenschaften hinten direkt gelenkter Elektro-Rollstühle.

In der umgekehrten Radanordnung ist der Rollstuhl sehr angenehm wendig und an der Hinderniskante unproblematischer als die heckangetriebene Variante. Der größte Spurkreis bei der Kurvenfahrt liegt allerdings nicht mehr im Blickfeld. Der Mittelachsenantrieb ist die wendigste Variante mit dem geringsten Platzbedarf. Aufgrund der hohen

Belastung der Mittelachse fährt der Rollstuhl auf ebenen geneigten Fahrbahnen sehr sicher, jede Hindernisüberwindung stellt jedoch ein Problem dar, was die Außenanwendung extrem einschränkt – von der Vier-Rad-Antriebsvariante abgesehen. Für die Außenanwendung und bedingt in Innenräumen ist die direkt gelenkte Elektro-Rollstuhlvariante das Maß aller Dinge.

Der Mittelachsenantrieb ist also eine Antriebsvariante, die die anderen Antriebsachsenanordnungen nicht ersetzen oder zurückdrängen wird, da, außer dem Vorteil des minimalen Platzbedarfes, beim Wenden doch signifikante Fahrnachteile bestehen, die nur mit sehr aufwändigen Fahrwerkskonstruktionen ausgeglichen werden können.

### Der Autor:

Prof. Dr. Rolf-D. Weege  
Hochschule Ostwestfalen-Lippe  
Liebigstraße 87  
32657 Lemgo

### Literaturverzeichnis

- (1) European Patent Application EP 1 832 266 A1 vom 12. September 2007
- (2) Weege, R.-D.: Fahrtriebsarchitektur bei Elektro-Rollstühlen – wie im Automobilbau, Orthopädie-Technik (60) 2009, 670-673
- (3) www.ibotnow.com, Johnson & Johnson
- (4) www.segway.de



**G. Fitzlaff, S. Heim:**  
**Passeile für Prothesen der unteren Extremitäten**  
**Ihre Konstruktion – Funktion – biomechanische Wirkungsweise**  
Hardcover, 140 Seiten, 200 Fotos und Zeichnungen, vierfarbig, Dortmund 2002, ISBN 3-9807268-5-1, 79 Euro + Versandkosten

ser Publikation ist es, die Konstruktionen, Funktionen und biomechanischen Wirkungssteilen für Prothesen der unteren Extremitäten aufzuzeigen, die uns heute bei der Prothese von Amputierten zur Verfügung stehen. Dabei sollten die technischen Möglichkeiten im Hintergrund der medizinischen und anatomischen Voraussetzungen, den verschiedenen Umwelten mit ihren Gewohnheiten des täglichen Lebens, sowie der heute auch von putierten an eine Prothesenversorgung gestellten Ansprüche und nicht zuletzt der Wirklichkeit betrachtet en.“

us dem Vorwort)

<b>Bestellung</b>	_____ Stück
Vorname _____	Nachname _____
Firma _____	Land _____
Adresse _____	
Ort _____	PLZ _____
Datum _____	Unterschrift _____

**Fax: +49 / (0)231/55 70 50 70**