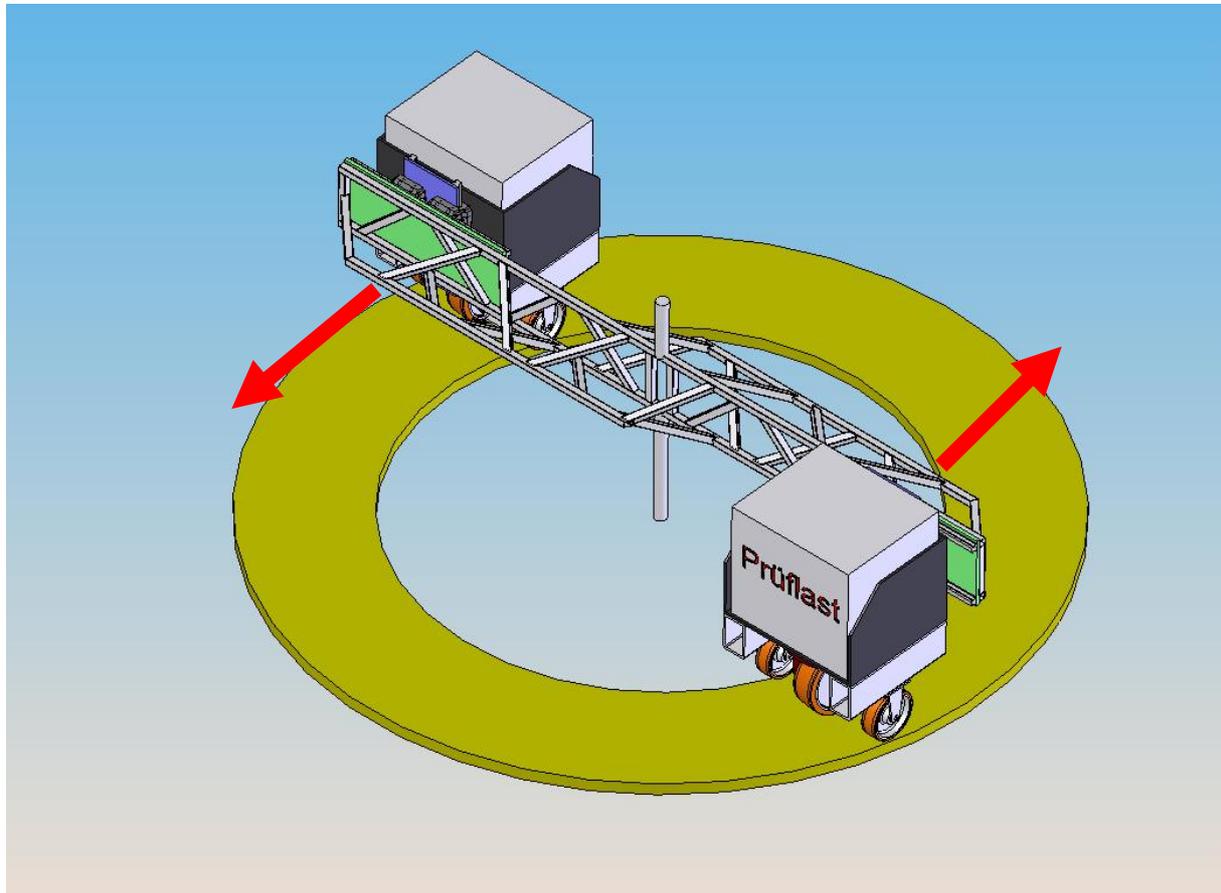


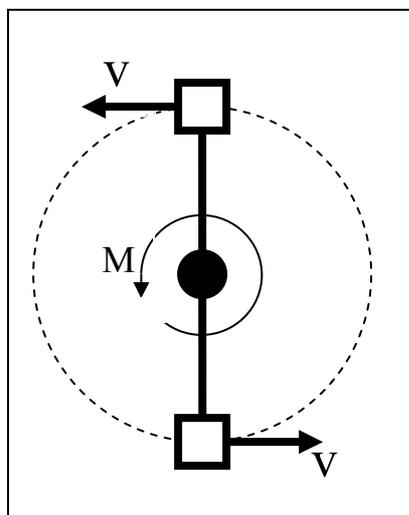
## Konzept Prüfstandsentwicklung Innorad

Nach umfangreicher Arbeit wurde das Wirkprinzip „Kreisaktuator“ für den geplanten Prüfstand festgelegt. Das Grundprinzip besteht darin, die jeweilige Rolle oder das jeweilige Rad mit der Prüflast unter Prüfgeschwindigkeit an einem Arm im Kreis zu führen. Der Bodenbelag kann gewechselt werden und ist kreisringförmig aufgebracht (Siehe Bild).



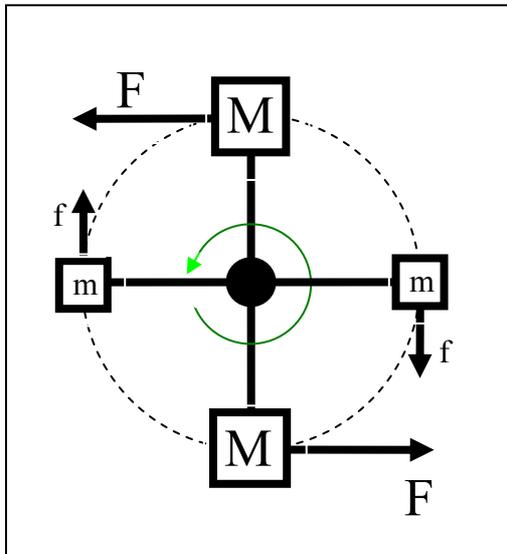
Aufgrund der hohen Fliehkräfte muss der Aufbau symmetrisch erfolgen, daher sind im Bild zwei gegenüber liegende Einheiten veranschaulicht.

Schematisch betrachtet bzw. skizziert könnte man es wie im folgenden Bild darstellen:



Will man nicht-angetriebene Rollen testen, muss in irgendeiner Weise ein relativ großes Antriebsmoment im Drehpunkt des Armes aufgebracht werden.

Möchte man angetriebene Räder während der Tests mit einer zusätzlichen Kraft in Fahrtrichtung (Bremsen/Beschleunigen) belasten, wird das notwendige im Drehpunkt des Armes aufzubringende Moment schnell sehr groß. Aus Gründen der Machbarkeit empfiehlt sich daher der folgende Aufbau.



Wie man sieht gibt es nun einen Arm mit am Ende angebrachten „großen Massen“ und „großen Antriebseinheiten“, während am um  $90^\circ$  versetzten Arm „kleine Massen“ und „kleine Antriebseinheiten“ sitzen.

Auf diese Weise ist es möglich, die „kleinen Räder“ mit einem definierten Schlupf in Fahrtrichtung zu betreiben, da die „größeren Räder“ eine deutlich höhere Traktion haben.

Auf einen bremsenden Antrieb kommt also jeweils ein treibender Antrieb.

Der treibende Antrieb muss also die Bremsleistung und Walkleistung des Bremsantriebs, sowie die Walkleistung des treibenden Antriebs aufbringen.

Anderweitige Verluste sind eher vernachlässigbar.

Nun etwas Grundsätzliches:

Es kristallisieren sich 2 Hauptproblemfälle aus der Praxis heraus, welchen mit Versuchen auf diesem Prüfstand auf den Grund gegangen werden soll:

- Thermisches Versagen des Laufbelags bei kleinen nicht-angetriebenen Lastrollen
- Blumenkohl-Effekt bei angetriebenen Staplerrollen

Das thermische Versagen der kleinen Lastrollen wird auf jeden Fall prüfbar sein, daher soll es hier nicht weiter erwähnt werden.

Der Blumenkohleffekt macht hier allerdings schmerzhaft Kompromisse notwendig.

Zur Erinnerung: Der Blumenkohleffekt entsteht durch die Überschreitung der maximalen Schubspannung im Vulkollanbelag aufgrund „zu guter Traktion“. Liegt also beispielsweise der Reibwert zwischen Hallenboden und Rad sehr hoch (z.B. neuer Kunstharzboden,  $\mu \geq 1$ ) entstehen vor Allem beim Lenken auf der Stelle immense Kräfte, wodurch der Laufbelag Risse bekommt.

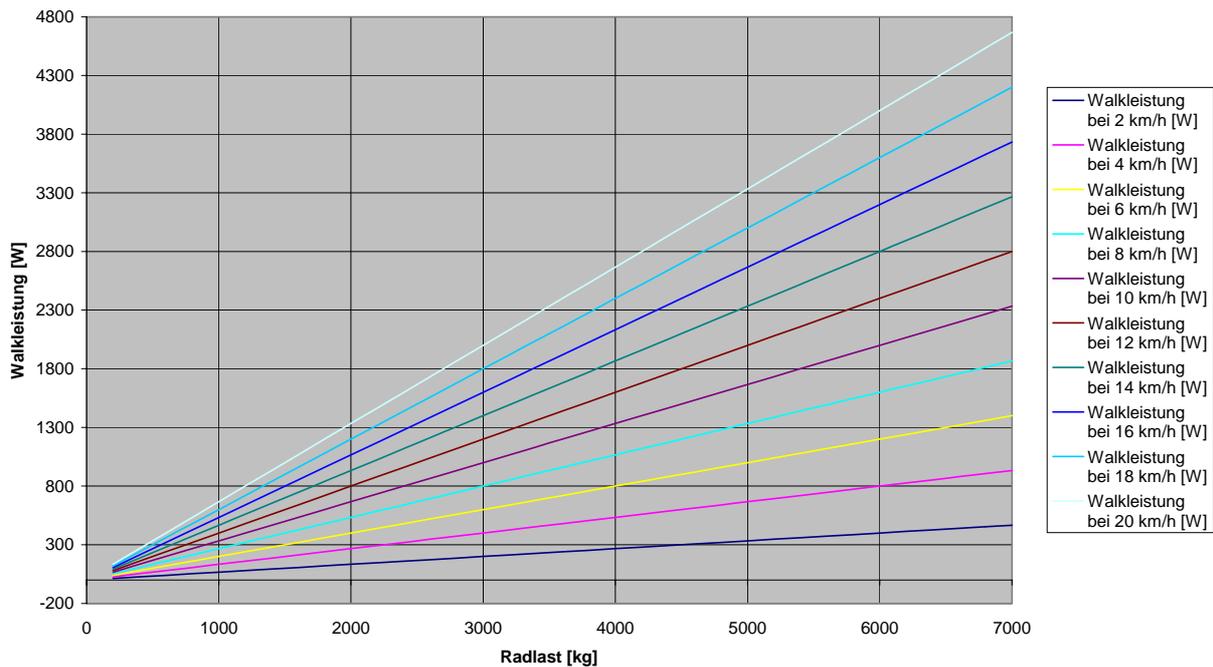
Soll dieser Effekt auf dem beschriebenen Prüfstand nachgestellt werden, bereitet das auf den ersten Blick keine Probleme. Auf der Stelle lenken und Kurven fahren ist problemlos möglich. Möchte man den Blumenkohleffekt aber wissenschaftlich genauer untersuchen, kommt sofort der Wunsch nach einem definierten Schlupf in Fahrtrichtung auf. Auf diese Weise hätte man sehr genau definierbare Bedingungen und möglichst wenig Fremdeinflüsse. Es ist anzunehmen, dass man so allgemeingültige Zusammenhänge zwischen Belag, Last, Geschwindigkeit, Schlupf und Verschleißbild identifizieren könnte.

So weit so schön, dabei wird eine Tatsache aber schnell übersehen: Diese Untersuchungen werden sehr wahrscheinlich nicht als Dauerversuch möglich sein, da die hier notwendigen Energiemengen bzw. die durch das jeweilige Rad zu übertragende Leistung die Radbeläge sehr schnell thermisch versagen lassen würden.

Um einen Eindruck von der Größenordnung der auftretenden Walkleistungen zu bekommen empfiehlt sich die Betrachtung des folgenden Schaubildes.

(Bemerkung: Der reine Abrollwiderstand beträgt ungefähr 1,2% der Radlast)

### Energievernichtung durch reines Walken



Wie man sehr schnell sieht sind die umgesetzten Energiemengen beträchtlich und es wird klar, dass ab einem bestimmten Produkt aus Last und Geschwindigkeit die Belastung nur kurzfristig ertragen werden kann. Es erscheinen daher Versuchsfahrten in Form eines Lastkollektivs sinnvoll, welche den Rädern immer wieder „Külpausen“ verschaffen.

Ein derartiges Lastkollektiv würde den Einsatz schwächer dimensionierter Antriebe ermöglichen und daher aller Voraussicht nach die Kosten des Prüfstandes auf einem niedrigen Niveau halten.

Aus antriebstechnischer Sicht ergibt sich hier folgendes Dilemma:

Da der Reibwert zwischen Rad und Boden den Wert 1 übersteigen kann, ergeben sich sehr hohe Kräfte in Fahrtrichtung, welche zur Erzeugung von Schlupf notwendig sind. Durch den Zusammenhang zwischen Antriebsleistung und der bei einer festen Kraft erreichbaren Geschwindigkeit ergeben sich für nennenswerte Geschwindigkeiten immense Leistungen.

Zusammenhang:  $P = F \cdot v$  (Leistung = Kraft mal Geschwindigkeit)

Die in der Formel genannte Kraft ist die notwendige die Vortriebs- oder Bremskraft.

Ein Beispiel:

Leistung der Antriebseinheit: 4,5 kW (1 kW = 1000 W = 1000 Nm/s)  
 maximale Traglast der Rolle: 1000 kg (Daraus Normalkraft auf Boden, „ $F_N$ “)  
 angenommener Reibwert sei  $\mu = 1$ .

Für die notwendige Vortriebskraft ergibt sich mit  $F_R = \mu \cdot F_N$ :

$$F_V = 1 \cdot 1000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 10 \text{ kN}$$

Für die bei der vorhandenen Antriebsleistung maximal realisierbare Geschwindigkeit ergibt

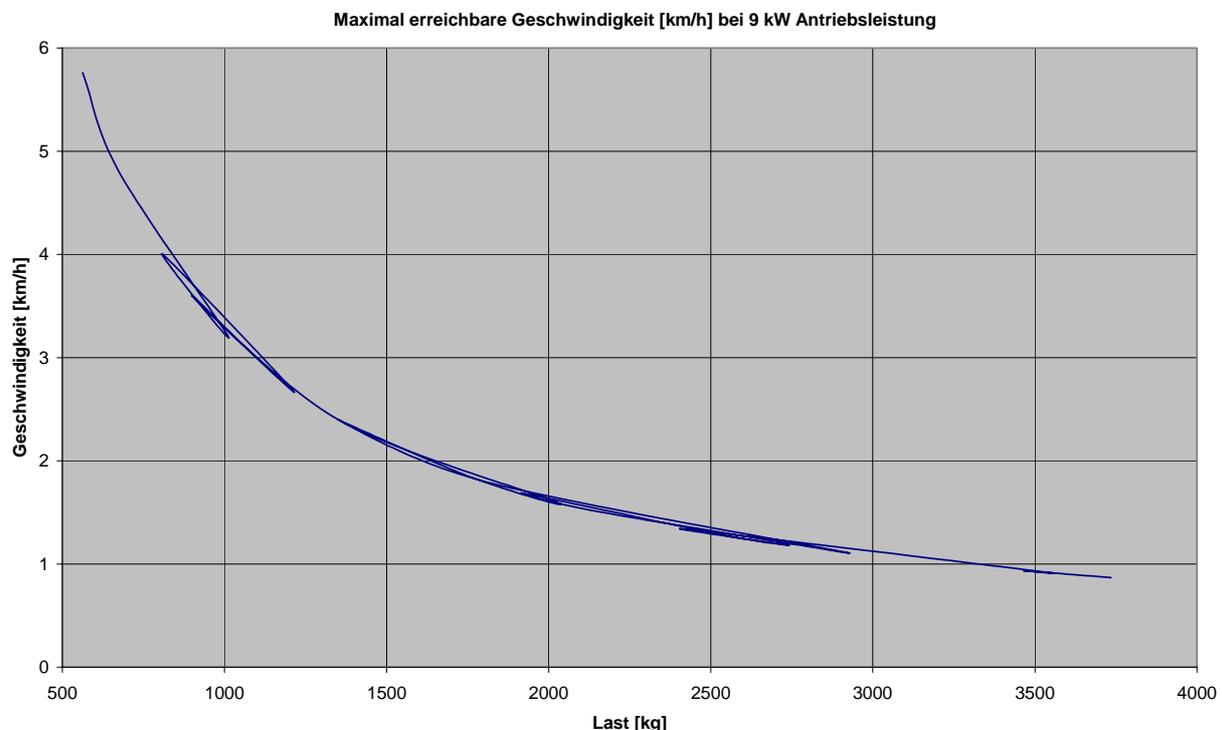
$$\text{sich daher: } v = \frac{P}{F} = \frac{4500 \frac{Nm}{s}}{10000N} = 0,45 \frac{m}{s} = 1,62 \frac{km}{h}$$

Wie man nun sieht, sind zur Realisierung von nennenswertem Schlupf bei nennenswerten Geschwindigkeiten unter nennenswerter Last immense Leistungen notwendig. Es lohnt daher eine Betrachtung hinsichtlich Aufwand und Nutzen.

Zunächst liegt es nahe, sich bei der Realisierung von konstantem Schlupf in Fahrtrichtung auf kleine Radgrößen zu beschränken. Der wissenschaftliche Zusatznutzen von Versuchen mit großen Rädern wäre relativ gering, der Aufwand hingegen wäre unverhältnismäßig hoch. Bei kleinen Rädern halten sich die Kosten für Bau und Betrieb des Prüfstands in vernünftigen Grenzen. Die Kosten für Prüfräder würden ebenfalls moderat bleiben. Angenommen man verwendet vorhandene Antriebseinheiten mit einer maximalen Leistung von 4,5 kW, so kann man bereits Versuche hinsichtlich folgender Kriterien realisieren:

- Einfluss unterschiedlicher Bodenbeläge unter realen Bedingungen
- Kurvenfahrten unter realen Bedingungen
- Bremsen und Beschleunigen unter realen Bedingungen
- Geradeausfahren unter realen Bedingungen

Geht man nun davon aus dass zur Erzeugung von Schlupf die bereits erwähnten Lastkollektive gefahren werden, kann die Antriebsleistung von 4,5 kW kurzfristig etwa verdoppelt werden, solange die mittlere abgegebene Leistung nicht zu hoch wird. Folgende Geschwindigkeiten wären unter Erzeugung von Schlupf mit einer Leistung von 9 kW realisierbar.



Die Verwendung von Staplerantrieben mit einer Leistung von 4,5 kW erscheint daher zum jetzigen Zeitpunkt sehr sinnvoll.