



LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER

INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSINFORMATIK

**Alternatives Mobilitätskonzept für einen  
Instandhaltungsstandort**

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang  
Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für  
Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der  
Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Lara Bettina Baune

Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 29. März 2019

# Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Glossar</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen der alternativen Mobilität</b>	<b>4</b>
2.1 Konventionelle Antriebe . . . . .	4
2.2 Alternative Mobilitätsansätze . . . . .	7
2.3 Methan und andere alternative Kraftstoffe . . . . .	7
2.3.1 Methan als Kraftstoff . . . . .	9
2.4 Alternative Antriebsformen / Antriebsstränge . . . . .	12
2.4.1 Batterieelektrischer Antrieb . . . . .	12
2.4.2 Brennstoffzellenfahrzeug . . . . .	21
2.4.3 Plug-In-Hybrid . . . . .	26
2.4.4 Elektrisch angetriebene Fahrräder . . . . .	27
2.5 KO-Automobilität . . . . .	28
2.6 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Förderungen . . . . .	30
2.7 MTU Maintenance . . . . .	32
2.8 Konzepte in Unternehmen . . . . .	33
<b>3 Methodik</b>	<b>35</b>
3.1 Anforderungsanalyse . . . . .	35
3.2 Grundlagen einer Befragung . . . . .	36
3.2.1 Schriftliche Befragung . . . . .	37
3.2.2 Ablauf der Befragung . . . . .	39
3.2.3 Erstellung des Fragebogens . . . . .	39
3.2.4 Häufigkeitsverteilung als Mittel der Auswertung . . . . .	41
3.2.5 Mitarbeiterbefragung . . . . .	43

---

<b>4</b>	<b>Anforderungsbestimmungen</b>	<b>44</b>
4.1	Definition der Anforderungen der Mitarbeiter durch die Ergebnisse der Befragung . . . . .	44
4.1.1	Vorgehen zur Anforderungsbestimmung . . . . .	44
4.1.2	Ergebnisse der Mitarbeiterbefragung . . . . .	47
4.1.3	Definition der Mitarbeiteranforderungen an die Ladeinfrastruktur . . . . .	54
4.1.4	Definition der Mitarbeiteranforderungen an den Fuhrpark . . . . .	57
4.2	Anforderungen durch das Unternehmen im Allgemeinen . . . . .	58
4.2.1	Vorgehen der Anforderungsdefinition . . . . .	58
4.2.2	Definition der Anforderungen des Unternehmens . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Vergleich der Antriebe auf Basis der definierten Anforderungen</b>	<b>62</b>
5.1	Vergleich auf Kostenbasis . . . . .	62
5.2	Lebenszyklusanalysen der alternativen Antriebe . . . . .	67
5.3	Vergleich der Reichweiten und Lademöglichkeiten . . . . .	71
5.4	Bedienung und Sicherheit im Vergleich . . . . .	74
5.5	Vergleich der ethischen Vertretbarkeit der Antriebe . . . . .	76
5.6	Vergleich auf Basis der zukünftigen Entwicklungschancen . . . . .	78
5.7	Vergleich auf Basis der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit . . . . .	79
5.8	Einfluss auf die Mitarbeiterzufriedenheit . . . . .	82
5.9	Weitere Anreize für den Umstieg auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb . . . . .	84
5.10	Ergänzung des Konzeptes durch Carsharing Optionen . . . . .	85
5.11	Ergänzung des Konzeptes durch Lademöglichkeiten für E-Fahrräder . . . . .	87
<b>6</b>	<b>Diskussion der Konzeptansätze</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>Limitation der Arbeit</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>98</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>100</b>
<b>A</b>	<b>Daten Wasserstoff</b>	<b>108</b>
<b>B</b>	<b>Daten und Fakten der Fahrzeuge mit alternativem Antrieb</b>	<b>109</b>
<b>C</b>	<b>Aufbau MTU Maintenance</b>	<b>113</b>
<b>D</b>	<b>Bogen für die Mitarbeiterbefragung</b>	<b>114</b>

# 1 Einleitung

*„Der Klimawandel ist die größte Herausforderung, der sich die Menschheit derzeit stellen muss.“ - Greenpeace*

Die Luft, Ozeane und die Erdoberfläche werden immer wärmer. Die Pole schmelzen, der Meeresspiegel steigt und es kommt zu Temperaturrekorden auf der ganzen Welt. Zudem vermehren sich Umweltkatastrophen und Wetterextreme. All das sind Auswirkung des Klimawandels (Klimafakten, 2017). Der menschliche Einfluss wird hierbei als dominanter Effekt der Erderwärmung gesehen. Vor allem der Ausstoß von Treibhausgasen beschleunigt den Klimawandel. Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) werden im Kyoto-Protokoll als solche definiert (Umweltbundesamt, 2016).  $\text{CO}_2$  entsteht bei der Verbrennung von fossilen Rohstoffen, wie erdölbasierten Kraftstoffen, Erdgas oder Kohle und bildet den größten Anteil, des durch den Menschen verursachten Effekt auf das Klima. So sind 88,2% der in Deutschland entstehenden Treibhausgase  $\text{CO}_2$  (Umweltbundesamt, 2016). Die Industrie, sowie die Mobilität und die Strom- und Wärmeherstellung sind Haupttreiber des Ausstoßes. Das Gas verweilt nach Ausstoß für durchschnittlich 120 Jahre in der Atmosphäre (Umweltbundesamt, 2016).

Die Treibhausgase wirkt dem atmosphärischen Gleichgewicht entgegen. Die Temperatur bodennaher Luftschichten steigt und die Temperatur der Stratosphäre sinkt. Die solare Strahlung wird durch die Erdoberfläche aufgenommen und als Wärmestrahlung in die Atmosphäre zurück gegeben. Ein Großteil dieser Strahlung wird durch Wasserdampf oder Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre absorbiert und erwärmt durch die vorhandene Rückstrahlung die Erde. Nimmt die Konzentration der oben genannten Gase zu, so wird mehr Wärme absorbiert und die Erdoberfläche wird erwärmt. Dieser Effekt wird als Treibhauseffekt bezeichnet und ist ein Grund für den Klimawandel und die oben genannten Phänomene und Katastrophen (Schönwiese, n.d.).

Eine weitere negative Auswirkung der Verbrennung fossiler Kraftstoffe ist die Freisetzung von Luftschadstoffen. So werden bei Gebrauch eines Dieselmotor Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) frei, die die Umwelt und die menschliche Gesundheit negativ beeinflussen (Umweltbundesamt, 2016). Durch den Stoff entstehen Smog und Waldschäden zudem kann er zu Atemerkrankungen führen (Heintz & Reinhardt, 1990). Auch die Lärmbelastung durch die Verbrennungsmotoren in den Städten und die Endlichkeit von Erdöl als Rohstoff sind zu bedenken. Die Folgen der bisher ausgestoßenen Stoffe und der daraus resultierenden Tem-

peraturerhöhungen sind allgegenwärtig. Bei einer Verstärkung des Klimawandels, wird das Leben auf der Erde langfristig nicht mehr möglich sein. Es muss etwas getan werden, um die Treibhausgase stärker zu reduzieren. Da CO<sub>2</sub> das am meisten ausgestoßene Treibhausgas ist und bei der Verbrennung von fossilen Kraftstoffen entsteht, wird nach Möglichkeiten gesucht, die konventionellen Antriebsformen abzulösen. Ein Weiterführen der aktuellen Mobilität ist daher nicht länger möglich. Ein Umschwung auf alternative Antriebe muss erfolgen, um die Bevölkerung und die Umwelt, durch eine Reduktion der Treibhausgasausstöße zu schützen.

Der gesellschaftlichen Verantwortung gegen den Klimawandel vorzugehen, sind sich Unternehmen bewusst. Es werden Ladesäulen aufgestellt und die Mitarbeiter werden durch verschiedene Programme bei dem Kauf eines Fahrzeugs mit alternativem Antrieb unterstützt. Die MTU Maintenance am Standort Hannover sieht sich ebenfalls in dieser Verantwortung. Es wird an Energieeffizienzmaßnahmen gearbeitet und in zukunftsorientierte Bearbeitungs- und Lüftungsverfahren investiert. Ein Engagement im Kerngeschäft und darüber hinaus ist zu erkennen. Einer Analyse bedarf die Mobilität am Standort. Die Nutzung konventioneller Antriebe soll durch alternative Mobilität abgelöst werden. Es gibt viele Aspekte der Mobilität am Standort, die beleuchtet werden könnten. Sowohl für den Verkehr innerhalb des Werks durch Flurförderfahrzeuge, als auch für den Verkehr außerhalb durch Mitarbeiter, die täglich zur Arbeit fahren und anfallende Dienstfahrten mit dem unternehmenseigenen Fuhrpark. Die Flurförderfahrzeuge sind elektrifiziert und einen Schritt weiter als die meisten Autos auf deutschen Straßen. Eine Verbesserung kann bei den Fuhrpark- und Dienstwagen herbeigeführt werden. Doch was muss ein solches Konzept können? Und welche Ansätze kommen in Frage? Erst soll ausgearbeitet werden, was die Alternativen leisten müssen und welche Forderungen an diese gestellt werden. Auf Basis dieser Anforderungen wird analysiert, welche Konzeptanstöße diese Leistungen erbringen können und die Forderungen der Mitarbeiter und des Unternehmens erfüllen. Die Forschungsfrage, die dieser Arbeit zu Grunde liegt lautet dementsprechend :

### **Welche Anforderungen haben die Mitarbeiter und das Unternehmen im Allgemeinen an ein alternatives Mobilitätskonzept und wie können diese erfüllt werden?**

Um die Forschungsfrage zu beantworten werden im Folgenden die Anforderungen der Mitarbeiter und des Unternehmens definiert und die gewählten Konzeptansätze auf Basis dieser analysiert. Zur Einordnung der Antriebe und Ideen werden in Kapitel 2 die verschiedenen alternativen Antriebe mit ihrem Aufbau, sowie Vor- und Nachteilen vorgestellt. Nach einer kurzen Übersicht zu konventionellen Antrieben, wird auf den alternativen Kraftstoff Methan bzw. CNG (compressed natural gas), die batterieelektrische Mobilität, Brennstoffzellenfahrzeuge und Hybride eingegangen. Zusätzlich werden die je-

weiligen Lade- bzw. Tankvorgänge angerissen.

Im dritten Kapitel wird auf die Techniken und Methoden eingegangen, die in dieser Arbeit verwendet werden. So wird definiert was Anforderungen sind und wie diese ermittelt werden können. Als Erhebungsmethode wird die schriftliche Befragung vorgestellt. Es wird auf den Aufbau einer solchen Befragung eingegangen und die Grundlagen der Fragebogengenerierung, sowie die Häufigkeitsverteilung als Analyseinstrument werden vorgestellt. Zur Anforderungsbestimmung der Mitarbeiter wird diese Erhebungsmethode dann verwendet.

In Kapitel 4 werden die durch die Mitarbeiter und das Unternehmen gestellten Anforderungen definiert. Das Vorgehen bei der Mitarbeiterbefragung wird erläutert und die Ergebnisse werden aufgeführt. Aus den Ergebnissen werden die Anforderungen an den Fuhrpark, die Ladeinfrastruktur und ein alternatives Mobilitätskonzept im Allgemeinen abgeleitet. Die Anforderungen des Unternehmens im Allgemeinen werden an Hand von Gesprächen und der Firmenphilosophie definiert.

Im Anschluss werden die Fahrzeuge mit den verschiedenen Antrieben unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen verglichen. Es wird unter anderem auf Kostenaspekte, die Umweltbilanz und die Zuverlässigkeit der Fahrzeuge eingegangen. Als Ergänzung werden Carsharingoptionen, zur besseren Erfüllung der Anforderungen, beleuchtet.

Die Ergebnisse dieser Analyse werden in Kapitel 6 diskutiert und eingeordnet. Außerdem wird eine Handlungsempfehlung zur Umsetzung eines alternativen Mobilitätskonzeptes gegeben. Es folgen die Limitation der Arbeit und eine abschließende Zusammenfassung mit integriertem Ausblick.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

In der Arbeit wurden die Anforderungen der Mitarbeiter und des Unternehmens an ein alternatives Mobilitätskonzept definiert. Im Anschluss werden die verschiedenen Antriebe auf Basis dieser Anforderungen verglichen und zu Konzepten zusammengefasst. Die Anforderungen der Mitarbeiter wurden durch eine Mitarbeiterbefragung definiert. Insgesamt haben 31 % der Mitarbeiter an der Befragung teilgenommen. In dieser wurde die Meinung zu alternativer Mobilität im Allgemeinen und zu einem alternativen Mobilitätskonzept im Bezug auf eine Einführung bei der MTU Maintenance abgefragt. Insgesamt stehen die Mitarbeiter dem Thema positiv, aber auch skeptisch gegenüber. Vor allem die hohen Anschaffungskosten und die geringere Reichweite sind Gründe, warum sich die Mitarbeiter kein Fahrzeug mit alternativem Antrieb gekauft haben oder kaufen werden. Insgesamt kristallisiert sich heraus, dass die Mitarbeiter eine kostengünstige, umweltschonende, zuverlässige und sichere Alternative bevorzugen. Auch die Reichweite der Alternative soll für die unternommenen Fahrten ausreichen und eine Ladung muss einfach möglich sein. Ein weiterer Punkt, der den Mitarbeitern wichtig ist, ist die ethische Vertretbarkeit der Alternative. Der Rohstoffabbau für die Antriebskomponenten spielt hier Rolle. Die definierten Anforderungen beziehen sich sowohl auf den Fuhrpark, als auch auf die Ladeinfrastruktur.

Dem Unternehmen ist vor allem wichtig, dass das Kosten-Nutzen Verhältnis des Konzeptes stimmt. Es ist bereit Geld zu investieren, sobald ein monetärer oder nicht monetärer Nutzen entsteht. Als nicht monetärer Nutzen wird in diesem Zusammenhang vor allem die Mitarbeiterzufriedenheit und ein positiver Einfluss auf die Umwelt genannt. Auch die Attraktivität als Arbeitgeber und die damit zusammenhängenden Verbesserung des Images wird als ein nicht monetärer Nutzen betrachtet. Zudem soll das Tagesgeschäft durch ein alternatives Konzept nicht beeinträchtigt werden. Die Fahrten des Fuhrparks müssen weiterhin abgedeckt werden können.

Die genannten Anforderungen werden durch weitere Analysen von Befragungsergebnisse und Dokumenten, wie den Fahrtenbüchern der Fuhrparkfahrzeuge konkretisiert. Die definierten Anforderungen können in spezielle und allgemeinen Anforderungen aufgeteilt werden. Allgemeine Anforderungen können einfach auf andere Unternehmen übertragen werden. Der Kosten und der Umweltaspekt stellen solche Anforderungen dar. Spezielle Anforderungen, wie die Zuverlässigkeit oder die Mitarbeiterzufriedenheit, sind explizit auf

die MTU Maintenance bezogen.

Bei dem Vergleich der Antriebe sticht heraus, dass die Brennstoffzellenfahrzeuge und die dazugehörige Ladestation sehr teuer und technisch noch unausgereift sind. Die Reichweite der Fahrzeuge ist gut, die fehlenden Tankmöglichkeiten dämpfen diesen Vorteil.

CNG-angetriebene Fahrzeuge haben gute Reichweiten und ein ausgebautes Tanknetz. Die Fahrzeuge und auch die Ladeinfrastruktur sind günstiger als bei den Brennstoffzellenfahrzeugen. Auf Grund der kurzen Ladezeiten sind sie zudem flexibel und zuverlässig. Es sind trotzdem für die nächsten Jahre keine Neuerscheinungen angekündigt. Dies lässt darauf schließen, dass diese Technologie vorerst nicht weiter entwickelt wird. Dieser Aspekt macht die Technologie nicht zukunftsfähig.

Die batterieelektrischen Fahrzeuge sind voraussichtlich das Fahrzeug der Zukunft und werden, wie die Zahlen der kommenden Neuerscheinungen zeigen, mit Hochdruck weiterentwickelt. Die Ladestationen und der Strom sind günstig, die Fahrzeuge an sich teuer. Ein Nachteil der Technologie sind die kurzen Reichweiten und langen Ladezeiten.

Bei drei der vier erstellten Konzepten wird ein ausschließlicher Gebrauch von Brennstoffzellenfahrzeugen (Szenario I), CNG-angetriebenen Fahrzeugen (Szenario II) und batterieelektrischen Fahrzeugen (Szenario III) zu Grunde gelegt. In Szenario IV wird eine Kombination der Antriebe betrachtet. Die Szenarien, die sich nur auf eine Antriebsart konzentrieren, können nicht alle durch die Mitarbeiter und das Unternehmen gestellten Anforderungen erfüllen. Erst die Kombination der verschiedenen Antriebe (Szenario IV) und der damit einhergehenden Vorteile bildet eine gute Option, die die Hauptanforderungen erfüllt. Das Konzept kann noch dazu durch Carsharingkonzepte und finanzielle Unterstützungen von Seiten der MTU Maintenance abgerundet werden. Allein die Erfüllung der Anforderung nach einer ethischen Vertretbarkeit des Antriebs gestaltet sich schwierig. Alle Antriebe, auch die konventionellen, nutzen Rohstoffe, die unter schlechten Verhältnissen abgebaut werden. Hier kann sich keine Alternative positiv abheben.

Eine Betrachtung der Probleme und Risiken bei der Umsetzung des Konzeptes, kann für eine weiter Ausarbeitung verfolgt werden. Auch ein Rotationskonzept, das bei hoher Auslastung den reibungslosen Ablauf an den Ladesäulen garantiert ist als Weiterführung des Themas denkbar. Weiterhin sollte auf die Leistungsabrechnung eingegangen werden. Die Vor- und Nachteile einer Abrechnung über die MTU Maintenance oder einen externen Dienstleister kann detailliert gegenübergestellt werden. Als letztes sind die betrachteten Fuhrpark- und Mitarbeiterbewegung nur ein Aspekt der Mobilität am Standort. Eine Analyse der internen Mobilität ist ebenfalls als Thema für eine weitere Arbeit möglich.